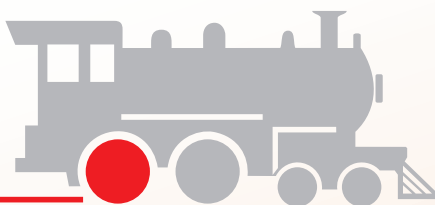


сетевое издание

НАУКА И ТЕХНОЛОГИИ

железных дорог



ЕЖЕКВАРТАЛЬНОЕ СЕТЕВОЕ НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ИЗДАНИЕ

В ВЫПУСКЕ

СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Розенберг И.Н., Дулин С.К.

«Об онтологическом статусе изображения»

Лёвин Б.А., Цветков В.Я.

«Развитие интеллектуальных транспортных систем»

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ НА ТРАНСПОРТЕ

Рогов И.Е.

«Применение мультиагентных систем в управлении транспортом мегаполиса»

Козлов А.В.

«Двухалгоритмическая система управления подвижными объектами»

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ НА ТРАНСПОРТЕ

Ознамец В.В.

«Геодезическое обеспечение мониторинга железных дорог»

Андреева О.А.

«Информационные единицы в моделировании транспортной инфраструктуры»

ЦИФРОВЫЕ МЕТОДЫ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Озеров А.В., Переднев В.А., Охотников А.Л.

«Квантовые вычисления и железные дороги»

Коваленко Н.И., Суворова Д.Р., Аноховская И.В.

«Применение системы ЕК АСУИ при планировании работ
путевого хозяйства ОАО «РЖД»»

№ 1

Март 2020



Стратегия развития железных дорог

Розенберг Игорь Наумович, Дулин Сергей Константинович

Об онтологическом статусе изображения

3

Лёвин Борис Алексеевич, Цветков Виктор Яковлевич

Развитие интеллектуальных транспортных систем

15

Интеллектуальные системы и технологии на транспорте

Рогов Игорь Евгеньевич

Применение мультиагентных систем в управлении транспортом мегаполиса

26

Козлов Александр Вячеславович

Двухалгоритмическая система управления подвижными объектами

37

Геоинформационные технологии и системы на транспорте

Ознамец Владимир Владимирович

Геодезическое обеспечение мониторинга железных дорог

46

Андреева Ольга Александровна

Информационные единицы в моделировании транспортной инфраструктуры

57

Цифровые методы на железнодорожном транспорте

Озеров Алексей Валерьевич, Переднев Владимир Анатольевич,

Охотников Андрей Леонидович

Квантовые вычисления и железные дороги

69

Коваленко Николай Иванович, Суворова Дарья Романовна,

Аноховская Инна Валерьевна

Применение системы ЕК АСУИ при планировании работ путевого хозяйства ОАО «РЖД»

78

УДК: 004.9

ОБ ОНТОЛОГИЧЕСКОМ СТАТУСЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ

- Розенберг И.Н.** д.т.н., профессор, Генеральный директор, АО «НИИАС»,
E-mail: I.Rozenberg@vniias.ru, Москва, Россия
- Дулин С.К.** д.т.н., профессор, главный научный сотрудник, АО «НИИАС»,
E-mail: skdulin@mail.ru, Москва, Россия
- Аннотация.** В статье обсуждается онтологический статус изображения, полученного в результате дистанционного зондирования. Утверждается, что изображения имеют двойную природу: они являются полями с непрерывными характеристиками (пиксельный формат) на уровне измерения и объектами (векторный формат) на уровне классификации. Для изображений необходимо собственное онтологическое описание, отличное и независимое от онтологии прикладной области, которая используется в геоинформатике. В работе предлагается использовать многоуровневую онтологию для изображений, комбинируя парадигмы поля и объекта и проводя различия между онтологиями изображения и пользователя. На основе предлагаемой структуры могут быть реализованы два ключевых момента: (1) поддержка множественных представлений для одного и того же изображения и (2) использование изображений для обнаружения пространственно-временных конфигураций географических явлений.
- Ключевые слова:** геоданные; онтологический статус изображения; онтологии изображений

ABOUT ONTOLOGICAL IMAGE STATUS

- Rosenberg I.N.** D.ofSci.(Tech), Professor, General Director, JSC «NIIAS»,
E-mail: I.Rozenberg@vniias.ru, Moscow, Russia
- Dulin S.K.** D.ofSci., Professor, Leading Researcher, JSC «NIIAS»,
E-mail: skdulin@mail.ru, Moscow, Russia
- Annotation.** The ontological status of the image obtained as a result of remote sensing is discussed. It is argued that the images have a dual nature: they are fields with continuous characteristics (pixel format) at the measurement level and objects (vector format) at the classification level. Images need their own ontological description, which is different and independent of the ontology of the applied area, which is used in geoinformatics. The paper proposes to use a multi-level ontology for images, combining the field and object paradigms and distinguishing between ontologies of the image and the user. Based on the proposed structure, two key points can be realized: (1) support for multiple representations for the same image and (2) use of images to detect spatio-temporal configurations of geographical phenomena.
- Keywords:** geodata; ontological status of the image; image ontology

Введение

Изображения как образы сканированных пространственных объектов - один из самых распространенных источников пространственных данных, доступных в настоящее время для

исследователей, которые интересуются крупномасштабными географическими явлениями. Однако, несмотря на большой накопленный опыт сбора, обработки и анализа данных и широкое применение изображений поверхности Земли, онтологический статус таких изображений остается открытой проблемой. По-прежнему распознавание изображения земной поверхности – актуальная и непростая задача.

Для ответа на вопрос об онтологическом статусе информационного содержания изображений, полученных в результате дистанционного зондирования поверхности Земли необходимо решить как минимум две проблемы [1]: 1) разработать концептуальное основание для всех типов компьютерных представлений географического пространства, включая изображения, векторные данные, информацию о расположении и цифровые модели ландшафта: 2) разработать технологию географической информационной системы, которая могла бы объединить изображения без разрывов в пространственную базу данных на основе понимания онтологического статуса изображений, полученных в результате дистанционного зондирования. Такая интеграция особенно актуальна в контексте нового поколения пространственных информационных систем, которые, как ожидается, обеспечат представление и использование онтологий.

Онтологии и пространственные типы данных

Наиболее широко принятая концептуальная модель данных для пространственной информации предполагает, что географическая действительность представлена или как полностью определимые сущности (*объекты*) или как непрерывное пространственное изменение (*область, поле*) [2]. Модель объекта представляет мир как поверхность, занятую дискретными объектами с геометрическим представлением и описательными признаками. Модель на основе парадигмы поля представляет географическую действительность как ряд пространственных распределений в географическом пространстве. Хотя эта простая дихотомия была неоднократно подвергнута критике, она оказалась полезной системой взглядов и была принята с некоторыми уточнениями при проектировании существующих технологий географических информационных систем [2].

Дихотомия объекта с непрерывными характеристиками - характерное географическое понятие, не предназначенное, тем не менее, обеспечивать поддержку специфики семантики различных типов пространственных данных. Этот недостаток заставил многих исследователей перенести акцент на использование онтологий как средства диссеминации знаний в группах пользователей с различными интересами, тем самым улучшая функциональную совместимость с различными базами геоданных [3].

Онтология в информатике, согласно современным толкованиям [4], является «точной спецификацией концептуализации предметной области», но с определенными ограничениями в зависимости от области интересов, и должна включать словарь терминов и некоторые спецификации их значений. Использование онтологий способствует созданию адекватных концептуальных моделей, обеспечивая качественное, контролируемое информационное интегрирование.

Онтологии - содержательные теории, которые включают общий набор распространяемых фактов, чье основное назначение - идентифицировать определенные классы объектов и отношений, которые существуют в некоторой части предметной области. Таким образом, неформально определенные онтологии – это соглашения об общедоступной концептуализации. Формальное определение основывалось бы на том, что онтология является (возможно

неполной) аксиоматизацией возможных прикладных моделей [3].

Следует заметить, что специфика географического мира в достаточной мере определяет параметры создания онтологий. Чтобы адекватно представлять географический мир, необходимо иметь компьютерные представления географических знаний (в первую очередь – изображений), которые способны фиксировать не только описательные атрибуты пользовательских концепций, но также и описывать геометрические и позиционные компоненты этих концепций. Эти представления также должны фиксировать пространственные и временные зависимости между экземплярами этих концепций. В отличие от случая обычных информационных систем, большинство пространственных и временных зависимостей не представлены в ГИС и чаще всего могут просто выводиться путем использования различных географических функций. Поэтому обязательно должна быть привнесена дополнительная семантика в схему географического приложения, семантические спецификации которой, являющиеся частью онтологии этого приложения, зафиксированы разработчиком модели. Новое поколение информационных систем должно обладать способностью обрабатывать семантическую неоднородность, возникающую в результате использования разнородных источников информации.

Использование множественных онтологий становится основной особенностью современных информационных систем, если в них предполагается поддержка семантики при интеграции информации. Онтологии могут фиксировать семантику информации, могут быть представлены в формальном языке и могут также использоваться, чтобы хранить связанные метаданные, допуская, таким образом, семантический подход к информационному интегрированию.

Другими словами, онтология – внешнее описание по отношению к информационным системам и является спецификацией возможных миров.

Фактически, использование онтологий развивается с более широкими возможностями обеспечения консолидации знаний, что, несомненно, выходит за рамки возможностей, которыми обладают текущие инструментальные средства и методы моделирования данных.

Онтология играет существенную роль в создании ГИС, так как она позволяет устанавливать соответствия и взаимосвязи среди различных типов геоданных - пространственных сущностей и отношений. Использование онтологий будет способствовать улучшению функционирования информационных систем, благодаря тому, что удастся избежать проблем, вызванных противоречиями между онтологиями, неявно внедренными в ГИС, конфликтами между онтологическими концепциями и реализацией, и конфликтами между онтологиями «здравого смысла» пользователя и математическими концепциями программного обеспечения.

Ниже онтологии классифицированы согласно их зависимости от специфики задачи или точки зрения пользователя [10]:

- Онтологии верхнего уровня описывают обобщённые понятия (например, пространства). В частности, теория, описывающая части и целое и их отношение к топологии, названная меретопологией, также относится к этому уровню.
- Онтологии типов геоданных описывают словарь, связанный с групповым доменом концепций геоданных типа дистанционного восприятия перегона или железнодорожной станции.
- Онтологии задачи описывают задачу или действие типа интерпретации изображения или оценки вредного воздействия.
- Прикладные онтологии описывают концепции, зависящие как от типов геоданных, так и

от задачи, и обычно являются их специализацией. Они представляют собой потребности пользователя относительно специфики приложения.

Можно заметить, что существующие концептуальные схемы баз геоданных могут быть весьма полезны для формирования онтологий, так как они - формальные документы, которые были разработаны, чтобы зафиксировать взгляд специалиста на некоторую предметную область реального мира. Существующие концептуальные схемы могут поэтому использоваться, чтобы создать приблизительные онтологии, в то время как существующие онтологии могут использоваться, чтобы генерировать концептуальные схемы, с помощью или без помощи опытного разработчика модели (рис. 1).

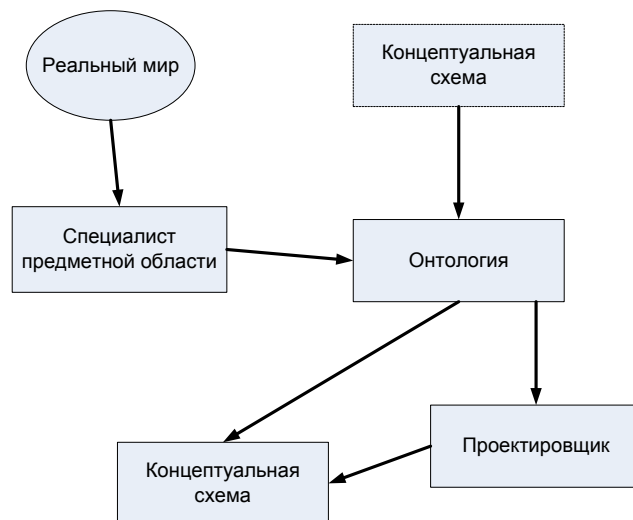


Рисунок 1. Порядок создания концептуальной схемы.

Имеются три различных уровня абстракций, на которых находятся как онтологии, так и концептуальные схемы (рис. 2).

	Онтологии	Концептуальные модели
Формальный уровень	Абстракция формальных особенностей научных предметов: <i>геометрия, география, время, пространство</i>	Понятия концептуального моделирования: <i>объекты{цели}, области{поля}, отношения</i>
Уровень логических типов данных прикладной области	Онтология географических видов: <i>представление, местоположение, топология, географическая информатика</i>	Концептуальная модель и нотация: <i>классы, пространственные отношения, пространственные ограничения целостности</i>
Прикладной уровень	Онтология инфраструктуры объектов ОАО «РЖД» <i>Станции, перегоны и др.</i>	Концептуальная схема БГД атрибутивное описание сущностей ОАО «РЖД»

Рисунок 2. Три уровня абстракций для онтологий и концептуальных схем

Первый уровень - формальный, на котором в конструкции онтологий и концептуальных схем включены абстрактные концепции. В случае онтологий на этом уровне мы имеем абстракции формальных особенностей сущностей, такие, как понятия времени и пространства. В случае концептуальных схем, на этом уровне мы находим основные идеи, взятые из концептуальных моделей данных, то есть, понятия, которые широко используются в концептуальном моделировании данных: объекты, поля и связи.

Когда мы сопоставляем содержание формального уровня с географическими приложениями, мы получаем второй уровень абстракции, или уровень типов геоданных. На этом уровне, онтологии описывают словарь, который используется, чтобы представить действительное содержание знания о свойствах геоданных. Онтология географических понятий, которая описывает географическое пространство, географические объекты, и явления географического пространства, явно присутствует на этом уровне.

На прикладном уровне, онтологии более конкретны, являясь уточнением специализаций уровня типов геоданных, и формируются в соответствии с концепциями поля знания, заданного приложением. На этом уровне онтология – это способ осмысления набора концепций, позволяющего совместно и согласованно использовать его группой пользователей. В концептуальном моделировании данных на прикладном уровне примитивы концептуальной модели объединены, чтобы образовать удобочитаемые диаграммы, из которых можно получить детальные потребности приложения по организации данных. Тем самым, примитивы модели данных используются, чтобы определить концептуальную схему приложения, перемещаясь от уровня типов геоданных до прикладного уровня.

Представление пользовательских онтологий прикладной области, в этом контексте, рассматривается как существенная часть фиксации концепций информационного пространства [3]. Исследование онтологического статуса пространственных типов данных – наиболее актуальное направление в геоинформатике [3]. В [5] вводится понятие географической информационной системы, управляемой онтологиями (ODGIS), призванной обеспечивать пользователей географической информацией возможностью достигнуть соглашения по основным сущностям географического мира. Идея управления с помощью онтологий заключается в том, что существенная часть географического знания зафиксирована процедурами, которые извлекают информацию из пространственных наборов данных. То есть, для этого необходимо создать онтологии не только для объектов некоторой области, но также и для намеченных действий, которые выражены процедурами, применимыми к набору данных, предназначенному для извлечения знания. OGDIS - это структура, в которой онтологии различных пользовательских интересов могут быть скомбинированы, приводя к интеграции различных источников географической информации.

В [6] утверждается, что модели географического мира должны сводиться друг к другу, и что формальное описание геоинформационных сущностей обеспечило бы создание онтологии географических видов. Исследователи и практики ГИС все более и более признают важность онтологии как практического средства совместного использования знания.

Приложение понятий онтологий пространственных типов к характеристике изображения все еще недостаточно изучены в литературе. В [5] рассматриваются изображения как подмножества цифровых моделей ландшафта и, следовательно, как подклассы поля. С этой точки зрения, изображение - 2-мерная функция, являющаяся результатом отражения сигналов внешнего источника энергии (солнце или луч радара) от выбранной области Земли, измеренных

пассивным или активным датчиком. Так как большинство геометрических алгоритмов может быть применено к модели ландшафта как к изображению (например, фильтрация, расширение, дифференцирование, или изменение детализации), то такое представление имеет большую практическую значимость.

Простота растрового представления безусловно помогла в развитии теории алгоритмов обработки изображения, основанных исключительно на геометрических свойствах изображений. Однако, концепция изображений как строгой специализации именно полей неадекватна для отражения полноты их информационного содержания. Есть фундаментальное различие между цифровыми ландшафтными моделями и изображениями как представлениями непрерывных явлений. Большинство моделей ландшафта получено или из представлений на основе парадигмы поля в результате испытаний и тестов (как в случае экологических исследований), или в результате сбора стандартизированных данных некоторого мероприятия (как в воздушной фотограмметрии). Процесс измерения непосредственно зависит от онтологической привязки, сделанной исследователем априорно, так как собранные значения должны характеризовать интересующие исследователя явления (например, характеристики грунта под железнодорожным полотном).

В отличие от непосредственных физических экспериментов, в дистанционном сканировании свойства каждого датчика (то есть, число полос, спектральные, временные, и пространственные разрешающие способности) - результат компромисса между потребностями различных групп исследователей и технологическими возможностями датчика. Не всегда можно рассчитывать на получение непрерывных значений спектрального отраженного сигнала от поверхности Земли, выраженных с помощью значений пикселей. Эти измерения – просто компоненты более сложного информационного содержания изображения. Большинство используемых методик классификации изображения не основывается явным образом на преобразовании отраженного сигнала, зафиксированного датчиком в цифровые данные и фактической энергией, но в любом случае полученные цифровые данные используются для фиксации характеристик изображения. Как следствие, рассмотрение изображения только как поля оцифрованных значений отраженной энергии явно недостаточно для их онтологической характеристики.

Ограничения, связанные с представлением изображения как поля, заставили некоторых исследователей рассматривать изображения как контейнеры неявного набора объектов, которые выявляются или вручную, или полуавтоматическими процедурами пространственного анализа. Следуя терминологии, используемой в [3], это представление предполагает, что процедуры пространственного анализа создают типовые объекты, которые соответствуют объектам, существующим только в силу установленных на изображении границ, в противоположность реальным объектам, границы которых существуют независимо от возможностей человеческой познавательной деятельности. Работа [6] как раз посвящена обсуждению важного различия между типовыми объектами, созданными в результате пространственного анализа и реальными объектами окружающего мира, которым эти типовые объекты должны соответствовать. Типовой объект пространственного анализа должен порождаться:

- (1) понятием соответствующего реального объекта,
- (2) измерением (процессом дистанционного сканирования или фотосъемкой),
- (3) результатом пространственного анализа.

Характеристики объекта являются фундаментальным компонентом онтологии изображений и инкапсулируют адекватный набор методик классификации изображения. Однако, во многих

случаях для типового объекта не существует никакого соответствующего объекта в реальности, если мы имеем дело с чисто физическими явлениями. Изображения могут представлять собой изменение непрерывной переменной, где диапазонам этой переменной просто соответствуют различные цвета. На таком изображении не имеет смысла выделять типовые объекты, так как они не могут передавать онтологическое содержание изображения. В этом случае изображения лучше моделируются как непрерывное поле.

Таким образом, существует два различных (и дополняющих друг друга) подхода к онтологическому описанию изображений, полученных в результате дистанционного сканирования или фотосъемки. Следует заметить, что ни один из них по отдельности не является достаточным, чтобы поддерживать полный процесс представления знания для данных изображения. Основная причина этого в том, что изображения имеют двойную природу: изображения – это, с одной стороны, поля на уровне измерения, но, с другой стороны, - набор типовых объектов - на уровне классификации. Поэтому, можно говорить о дуализме изображения: распознавая объекты на изображении, мы фактически измеряем части непрерывного поля. Чтобы принять во внимание этот дуализм, необходимо более полное понимание роли изображения как источника географической информации.

Принято считать, что изображения, полученные в результате дистанционного сканирования или фотосъемки – онтологические инструменты для фиксации изменения ландшафта. Этот подход предполагает, что географические процессы происходят в многошкальном пространстве и являются результатом временных и пространственных взаимодействий различных пространственных явлений физического ландшафта. Географический ландшафт – это изменяющийся от точки к точке сценарий земной поверхности, и процесс сбора данных спутниками подразумевают, что изображение – это измерение, фиксирующее снимки траекторий изменения. Поэтому, в центре онтологической характеристики изображений должен быть поиск изменений вместо поиска содержания. Акцент такой онтологии должен быть не в процедурах установления простого соответствия и идентификации объекта, а в фиксации изменений конечного ландшафта [6].

Представление знаний на изображениях

Как следует из вышесказанного, изображения имеют собственное онтологическое описание, отличное и независимое от онтологии прикладной области, которую специалисты используют, чтобы извлечь информацию из изображений (рис. 3).

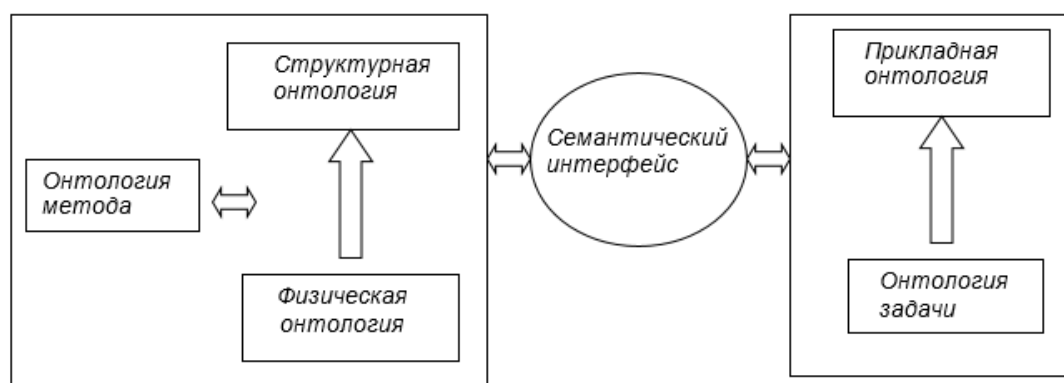


Рисунок 3. Онтологический контекст извлечения информации из изображения

Онтологическое описание изображений (названное в [5] феноменологической прикладной онтологией), зависит от процедуры измерения. Оно имеет три различных, но взаимодействующих компонента:

- Физическая онтология, которая описывает физический процесс создания изображения. Здесь мы интересуемся выражением знания об отношении между энергией, отраженной поверхностью Земли и измерениями, полученными сенсорным датчиком. Типичными понятиями здесь являются спектральный отраженный сигнал и обратное рассеяние.

- Структурная онтология, включающая геометрические, функциональные и описательные структуры, которые могут быть получены на основе анализа изображения посредством методов извлечения специфических особенностей, сегментации и классификации. Типичными понятиями для этой онтологии являются такие геометрические объекты как линии и зоны и функциональные описания типа кривой спектрального отраженного сигнала, оптического потока, и градиента интенсивности света.

- Онтология метода, состоящая из набора алгоритмов и структур данных, которые представляют многократно используемое знание в форме методов обработки изображения. Эти методы могут быть использованы, чтобы преобразовать изображение физического уровня (например, фильтруя или улучшая его) или выполнить выделение признаков и классификацию.

Алгоритмы, которые являются частью онтологии метода, выполняют преобразования данных физического уровня до структурного уровня, так что этот процесс можно назвать структурной идентификацией. Будучи примененным к изображению (или ряду изображений), этот процесс приводит к набору структур, строго связанных со свойствами устройства измерения и его взаимодействием с физическим ландшафтом. Эти структуры могут быть геометрическими (например, области, выявленные процедурой сегментации) или функциональными (например, оценками, полученными из ряда изображений).

В то время как феноменологическая онтология независима от наблюдателя, специалисты оперируют привычными понятиями из их областей знаний. Следуя [1], можно различать прикладную онтологию, которая описывает словарь, связанный с конкретной прикладной областью (например, геологией или экологией), и онтологии прикладных задач, которые являются спецификациями прикладной онтологии, описывая задачу или некую деятельность в пределах такой спецификации.

Например, исследование природопользования Земли и изменений покрова Земли использует такие понятия как лес, поле, пахотное угодье, заболоченное место для покрова Земли и регистрация, кадастровый учет и железные дороги для использования Земли. Эти понятия принадлежат прикладной онтологии, и их отношение к изображению (феноменологическая прикладная онтология) строго зависит от пространственно-временного масштаба проводимого анализа. Крупномасштабные сканирования земной поверхности для фиксации глобальных изменений обычно не способствуют точной идентификации отдельных объектов в наборе получаемых изображений. В этом случае онтология прикладных задач могла бы использоваться подобно прикладной онтологии. Напротив, для локального анализа ограниченных географических областей могла бы потребоваться идентификация объектов на основе онтологии прикладных задач. Например, области, которые классифицированы в крупномасштабном обзоре как относящиеся к типу «железные дороги» могли бы быть приписаны к определенному типу промышленного использования (например, ж/д пути, станции, мосты) в онтологии прикладной задачи, используемой в локальном обзоре.

Прикладные онтологии включают два различных типа пространственных сущностей: классы идентифицируемых объектов (которые могут быть связаны с типовыми объектами изображения), и классы пространственных непрерывных явлений (которые могут быть связаны с серией изображений, которые моделируются как поля). Отношение между онтологией изображения и прикладной онтологией устанавливается посредством семантического интерфейса, который выполняет две основные функции:

- Идентифицировать, какая обработка изображения и алгоритмы распознавания образов (описанные в онтологии метода), необходимы, чтобы извлечь желаемые структуры из изображения или преобразовать физические (то есть, пиксельные) значения, чтобы получить желаемую информацию.
- Отображать понятия прикладной онтологии (то есть, объекты и поля) на структуры, извлеченные из изображения. Например, прикладная онтология может содержать понятие железной дороги. Используя семантический интерфейс, мы можем искать идентичные железные дороги среди линейных структур, которые являются частью структурной онтологии изображения.

Предложенная многоуровневая онтология позволяет различным прикладным областям быть соотнесенными с одной и той же феноменологической прикладной областью, так что одно и то же изображение (или набор изображений) может использоваться во многих областях знаний. Для примера, один и тот же набор изображений может использоваться для землеустройства и отображения покрытия земли или для геологических исследований.

Существует много возможностей построения семантического интерфейса. Наиболее предпочтительным считается конструктивный подход [1], когда аналитик строит семантический интерфейс, формируя соответствие между понятиями прикладной области и понятиями феноменологической прикладной области. Такое отношение обычно называется отображением (по аналогии с соответствующим понятием отображения в системах распознавания изображений). В случае единовременного отображения, набор соответствий понятий прикладной области понятиям феноменологической прикладной области называется пространственной конфигурацией. Если учитывается временная последовательность изображений, набор пространственных конфигураций называется пространственно-временным образом.

При использовании связи между изображением и прикладными онтологиями, необходимо создать структуру, которая способствует обнаружению пространственно-временных конфигураций географических явлений, взятых в качестве идентифицируемых структурных элементов изображения. Эта идея согласуется с моделированием изменения на основе идентичности [1], где идентичность объекта используется как центральное понятие для моделирования пространственно-временного изменения. Структура позволяет соотнести объект, идентифицированный как часть пользовательской онтологии, с различными описаниями изменяющегося во времени изображения. Например, рассматривая отображение разрастания города, на основе 20-летнего временного ряда изображений, можно установить, что геометрические конфигурации, которые описывают ежегодное изменение границ города, позволяют все же идентифицировать этот город. Другое важное последствие раздельного представления изображения и прикладной онтологии - возможность одних и тех же структур быть многократно использованными различными приложениями.

Можно привести простой пример обнаружения линейных сегментов у ряда изображений.

Линейный сегмент – понятие, которое является частью структурной онтологии изображения и имеет ясно определенные геометрические свойства. Линейные сегменты могут играть различные роли в прикладных онтологиях различных пользовательских групп.

Формальная структура представления онтологии изображений

Чтобы, предложенные выше понятия использовать в вычислимой модели, необходима формальная структура, позволяющая зафиксировать основные аспекты онтологической модели. Рассмотрим случай обнаружения и мониторинга пространственного временного развития объектов в прикладной онтологии.

В предлагаемой структуре, данные и операции соотносятся с анализируемым пространством S , отображенным на гомогенное 2-мерное точечное множество [7]. Изображения считываются в дискретные моменты времени в линейной временной последовательности. Чтобы упростить формулировку, будем полагать, что степень детализации временной последовательности равна периоду получения отдельного изображения. Обозначим объединение всех дискретных временных интервалов для $\cup t_i$ как T .

Тогда формальная структура состоит из следующего [7]:

Изображение. Пусть задана физическая онтология PO , тогда изображение определяется как

$$\text{image: } [f, t_i, \{po_i\}], f: S \subset R^2 \rightarrow R^n, t_i \in T, po_i \in PO,$$

где:

f является отображением между анализируемым пространством S и рядом реальных значений,

t_i - интервал получения изображений, и

$\{po_i\}$ является набором понятий, который определяет физические особенности изображения.

Последовательность получаемых изображений является набором *изображений* I_s , определенных на S ,

$$\text{image_sequence: } [\{I_i\}]$$

Геометрическая структура. Пусть дано анализируемое пространство S , структурная онтология SO и набор атрибутов $A_1, \dots, A_n$, тогда геометрическая структура определяется как

$$\text{geom_str: } [\{P_i\}, t_i, \{so_i\}, \{a_i\}], P_i \subseteq S, t_i \in T, so_i \in SO, a_i \in \text{dom}(A_i)$$

где

P_i - набор пространственных местоположений (объединение замкнутых точечных наборов),

t_i - интервал времени, соответствующий ссылке на получение изображения,

$\{so_i\}$ является набором понятий, которые определяют геометрическую структуру,

$\{a_i\}$ набор значений атрибутов $a_1, \dots, a_n$, взятых из доменов $D(A_1), \dots, D(A_n)$.

Функция обработки изображения. Пусть дана онтология метода MO , а функция обработки изображения преобразует одно изображение в другое, тогда функция обработки

$$\text{proc_funct: } [f, \{mo_i\}], f: I \rightarrow I, mo_i \in MO,$$

где mo_i - набор понятий, которые определяют особенности этой функции.

Функция классификации изображения. Эта функция выполняет отображение между изображением и набором *геометрических структур* $\{gs_i\}$ в S . Один из примеров такой функции – классификатор пикселя максимальной вероятности.

$$\text{class_funct: } [f, \{mo_i\}], f: I \rightarrow \{gs_i\}I, mo_i \in MO$$

Объект ландшафта. Пусть дана *прикладная онтология* AO , и набор атрибутов $A_1, \dots, A_n$, тогда объект ландшафта определяется как

$$\text{landscape_object: } [\{ao_i\}, \{a_i\}], ao_i \in AO, a_i \in \text{dom}(A_i)$$

где $\{ao_i\}$ - набор понятий, который определяет объект ландшафта.

Мера подобия. Рассматривается два типа мер подобия. Первая (sm_1) находит соответствия между понятиями в прикладной онтологии AO и понятиями в структурной онтологии SO , и вторая (sm_2) находит соответствия между понятиями в прикладной онтологии AO , понятиями в онтологии метода MO и понятиями физической онтологии PO

$$\text{sim_meas}_1: [f]: f: SO \times AO \rightarrow \mathbf{R}$$

$$\text{sim_meas}_2: [f]: f: MO \times PO \times AO \rightarrow \mathbf{R}$$

Пространственная конфигурация. Пусть задан объект ландшафта l_o , тогда пространственная конфигурация – это кортеж

$$\text{spt_config}: [(l_o, \{gs_i\}, t_i)]$$

где $\{gs_i\}$ - набор геометрических структур изображения,

t_i является привязкой по времени.

Структурное соответствие. Пусть задан объект ландшафта, тогда структурное соответствие генерирует набор пространственных конфигураций, используя меру подобия:

$$\text{struct_matching}: [sm_1, f], f: \{gs_i\} \times l_o \rightarrow \{sc_i\},$$

где

sm_1 - мера подобия типа 1,

$\{gs_i\}$ - набор геометрических структур изображения I ,

l_o – конкретный объект ландшафта,

$\{sc_i\}$ - набор пространственных конфигураций.

Функциональное соответствие. Пусть задан объект ландшафта и онтология метода MO , тогда функциональное соответствие может выбрать соответствующую функцию классификации изображения, используя меру подобия:

$$\text{funct_matching}: [sm_2, f], f: MO \times l_o \rightarrow cf,$$

где

sm_2 - мера подобия типа 2,

l_o – конкретный объект ландшафта,

cf - выбранная функция классификации изображения, которая порождает соответствующий набор геометрических структур.

Пространственно-временной экземпляр: Пусть задан объект ландшафта и последовательность изображений, тогда пространственно-временной экземпляр – это набор всех пространственных конфигураций для конкретного объекта ландшафта в этой последовательности изображений.

$$\text{spt_time_pattern}: [l_o, \{I_i, sc_i\}], I_i \in I_s$$

где:

l_o – конкретный объект ландшафта,

I_i - изображение, которое является частью последовательности изображений I_s ,

sc_i - пространственная конфигурация, определенная на I_i .

База знаний, построенная на основе этой структуры, достаточно гибка и позволяет объединять показания различных типов датчиков для включения новых понятий прикладной области и подключать новые алгоритмы обработки изображения. Такая база знаний могла бы использоваться информационно-поисковой системой для того, чтобы извлекать экземпляры из большой базы данных дистанционно сканируемых изображений, или семантическим

интерфейсом для того, чтобы находить подобные экземпляры на новых изображениях. Предлагаемый подход дает возможность использовать изображения, полученные в результате дистанционного сканирования или фотосъемки поверхности Земли для динамического анализа ландшафта, имея в качестве центральной составляющей набор пространственно-временных экземпляров.

Заключение

Проведенный анализ показывает, что изображения имеют независимый от наблюдателя онтологический статус, поэтому процедуры извлечения знания из изображений требуют семантического интерфейса, который устанавливает соответствие между базовыми понятиями в прикладной онтологии (используемой прикладным исследователем) и понятиями феноменологической онтологии (которая описывает как изображение представляет реальный мир). Проведение четкого различия между изображением и пользовательскими онтологиями позволяет обеспечить два ключевых момента: (1) поддержку множественных представлений для одного и того же изображения; и (2) использование изображений для обнаружения пространственно-временных конфигураций географических явлений.

Список литературы

1. Учаев Д.В., Учаев Дм.В. Разработка онтологии семантического содержания мультимасштабных электронных топографических карт. Часть I. Теоретические предпосылки и методологические аспекты // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2017. № 1. С.53-62.
2. Кравцов С.Л. Обработка изображений дистанционного зондирования Земли (анализ методов) / С.Л. Кравцов. Минск: ОИПИ НАН Беларуси, 2008. 256 с.
3. Кравченко Ю.А., Марков В.В. Онтологический подход формирования информационных ресурсов на основе разнородных источников знаний // Известия ЮФУ. Технические науки. 2013. № 7 (144). С. 116-120.
4. <http://mei06.narod.ru/sem6/pz/shpora/lec7.htm>
5. N. Li, R. Raskin, M. Goodchild, and K. Janowicz. An Ontology-Driven Framework and Web Portal for Spatial Decision Support1//Transactions in GIS, vol. 16, no. 3, pp. 313-329, 2012.
6. Jingya Yan, Eric Guilbert, Eric Saux. An ontology-driven multi-agent system for nautical chart generalization//Cartography and Geographic Information Science. 44(3), 2016. P. 1-15.
7. Hornsby, K. and M. Egenhofer, Identity-Based Change: A Foundation for Spatio-Temporal Knowledge Representation//International Journal of Geographical Information Science, 2000. 14(3): p. 207-224.

УДК: 656, 004.89, 656.052

РАЗВИТИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

- Лёвин Б.А.** д.т.н., профессор, Президент, Российский университет транспорта (МИИТ), E-mail: tu@miit.ru, Москва, Россия
- Цветков В.Я.** д.т.н., профессор, зам. руководителя Центра, АО «НИИАС», E-mail: cvj2@mail.ru, Москва, Россия
- Аннотация.** В статье систематизируется развитие интеллектуальных транспортных систем. Показано различие между автоматизированными системами управления и интеллектуальными системами управления. Статья раскрывает особенность интеллектуальных транспортных систем, такие как ситуационность, распределенность, субсидиарность и комплементарность. Обоснована необходимость применения методов геоинформатики для поддержки интеллектуальных транспортных систем. Показано различие между интеллектуальным управлением и автоматизированным управлением на примере нейронной сети. Показана преемственность между интеллектуальными транспортными системами и кибер-физическими транспортными системами.
- Ключевые слова:** транспорт, управление, интеллектуальные транспортные системы, автоматизированное управление, пространственная информация, комплементарность, субсидиарность, интеллектуальное управление.

THE DEVELOPMENT OF INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS

- Levin B.A.** D.ofSci(Tech), Professor, President, Russian University of Transport (MIIT), E-mail: tu@miit.ru, Moscow, Russia
- Tsvetkov V.Ya.** D.ofSci.(Tech), Professor, deputy head of Center, JSC "NIIAS", E-mail: cvj2@mail.ru, Moscow, Russia
- Annotation.** The article systematizes the development of intelligent transport systems. The difference between automated control systems and intelligent control systems is shown. The article reveals the peculiarity of intelligent transport systems, such as situationality, distribution, subsidiarity and complementarity. The necessity of applying geoinformatics methods to support intelligent transport systems is substantiated. The difference between intelligent control and automated control on the example of a neural network is shown. Continuity between intelligent transport systems and cyber-physical transport systems is shown.
- Keywords:** transport, management, intelligent transportation systems, automated management, spatial information, complementarity, subsidiarity, intelligent management.

Введение.

Начало этого века ознаменовалось переходом от информационного общества к интеллектуальному обществу. Автоматизированное управление начало трансформироваться в интеллектуальное управление. Однако, многие работы, описывающие интеллектуальные

транспортные системы (ИТС), на самом деле описывают системы автоматизированного управления (АСУ) или системы автоматизированного управления транспортом (АСУТ). Это обусловлено тем, что существует непонимание интеллектуального управления и непонимание того, чем оно отличается от автоматизированного управления или информационного управления.

Одним из простых критерием различия является сложность. Автоматизированное управление и информационное управление [1] осуществляется с применением естественного интеллекта, который контролирует ход управляемого процесса и может объяснить все его состояния. Если управление объяснимо с точки зрения человеческого интеллекта, то это автоматизированное или информационное управление, даже если для этого применяют искусственную нейронную сеть. Если состояние управления, ситуация управления, принятие решения интеллектуальной системой сложны и трудно объяснимы с помощью естественного человеческого интеллекта, то в этом случае система осуществляет интеллектуальное управление.

Предшественниками интеллектуальных транспортных систем являются АСУТ в их разных модификациях. Интеллектуальные транспортные системы – это системы, осуществляющие информационное и интеллектуальное управление в соответствии со стратегической задачей, но с учетом реальной ситуации. В настоящее время интеллектуальные системы повсеместно начинают заменяться кибер-физическими системами как системам более высокого уровня организации и возможностей управления. На транспорте интеллектуальные транспортные системы заменяют на транспортные кибер-физические системы. Следует отметить, что интеллектуальное управление [2, 3] является более широкой технологией по сравнению с технологиями интеллектуальных транспортных систем [4]. Аналогичная ситуация существует в геоинформатике: ГИС – технологии более узкое понятие чем геоинформационные технологии.

Основные направления развития интеллектуальных транспортных систем.

Интеллектуальная система — это техническая или программно-техническая система, способная получать творческие решения задач, принадлежащие конкретной предметной области, знания о которой хранятся в памяти такой системы. Упрощенно структура интеллектуальной системы включает три основных блока — базу знаний, решатель и интеллектуальный интерфейс. Интеллектуальные транспортные системы являются специализированными интеллектуальными системами.

Интеллектуальные транспортные системы (ИТС) – системы, создаваемые на основе интеграции средств автоматизации контроля и управления транспортом, информационных и коммуникационных технологий, ГНСС, динамических геоданных и единой информационной среды в транспортную инфраструктуру, транспортные средства, ориентированные на повышение безопасности и эффективности транспортных потоков и пользователей транспорта [5]. Развитие и отличие интеллектуальных транспортных систем от АСУТ можно проследить по следующим направлениям: ситуационность, использование пространственной информации, многоцелевое управление, распределенное управление, применение спутниковых систем, субсидиарность, комплементарность технологий, связь с кибер-физическими системами системы.

Разновидностью интеллектуальных систем на транспорте являются также интеллектуальные логистические системы (ИЛС) [6]. Интеллектуальная логистическая система относится к направлению интеллектуализации транспортной логистики, или интеллектуальной логистики.

Основная цель интеллектуальной логистики это "...процесс организации цепочки доставки и управления этой цепью на основе интеллектуальных систем и интеллектуальных технологий. Эта цель означает, что логистические процессы направлены на доставку грузов с основными ключевыми показателями: минимальные затраты, точное время, заданное место.

Ситуационность ИТС

Ситуационность ИТС заключается в применении моделей информационных ситуаций и ситуационного технологического управления [7]. АСУТ управляют только объектом. Объект управления, представляемый информационной моделью (ИМ) находится в информационном поле, которое можно рассматривать в большом и малом. «В большом» информационное поле определяет макросреду, «в малом» определяет микросреду, которая и приводит к понятию информационной ситуации. Информационная ситуация в лингвистике задает семантическое окружение. Информационная ситуация, как описание характеризует подвижный объект и окружающую его микросреду. Поэтому ситуационное управление должно учитывать не только параметры объекта, но и параметры ситуации.

Информационная ситуация как модель управления [8] характеризуется набором параметров и состояний. Информационная ситуация как информационная модель характеризуется следующими признаками:

- информационной позицией объекта управления;
- информационным взаимодействием модели объекта управления с информационной ситуацией;
- информационной неопределенностью в информационной ситуации;
- степенью информационного соответствия параметров реальной ситуации модели информационной ситуации;
- информационной диссипацией или диссипативной характеристикой микросреды и макросреды.

Информационная позиция определяется на основе сравнения объекта с аналогами в данной ситуации. В соответствии с таким разделением информационная позиция может определяться как внутренняя и внешняя. При введении характеристики «конкуренция», возникает потребность в понятии информационное преимущество. Информационное преимущество определяется исходя из сопоставления информационных возможностей управляющей системы с конкурирующими системами. То есть оно оценивается по внешней информационной позиции.

Еще одним понятием, связанным с ситуационным управлением, является понятие траектории управления или цепочки последовательных действий. В интеллектуальном ситуационном управлении возможно наличие нескольких траекторий управления. Для характеристики наличия множества возможных траекторий и траекторий, по которым осуществляются управление или не осуществляются, целесообразно использовать модель информационной ситуации. Это понятие применительно к процессам управления можно трансформировать в понятие информационной мета ситуации как метамодели [9]. Информационная мета ситуация - это дескриптивная модель, описывающая разнообразие возможных траекторий моделирования и их состояние, а также последовательность перехода от одной траектории к другой

Наиболее ярким примером использования траекторий является управление транспортом мегаполиса [10], при котором возможен выбор траектории или схемы движения в зависимости от сложившейся ситуации движения.

Ситуационность означает, что управляют не изолированным объектом, а объектом с учетом

параметров ситуации. При этом возможно жесткое и мягкое управление. Жесткое управление является директивным и прямым воздействием на объект. Мягкое управление [11, 12] направлено на создание условий для движения объекта.

На рис.1 показан пример информационной ситуации как инструмента мягкого управления. Информационная ситуация описывает пространственную топологию задает условия возможных вариантов движения.

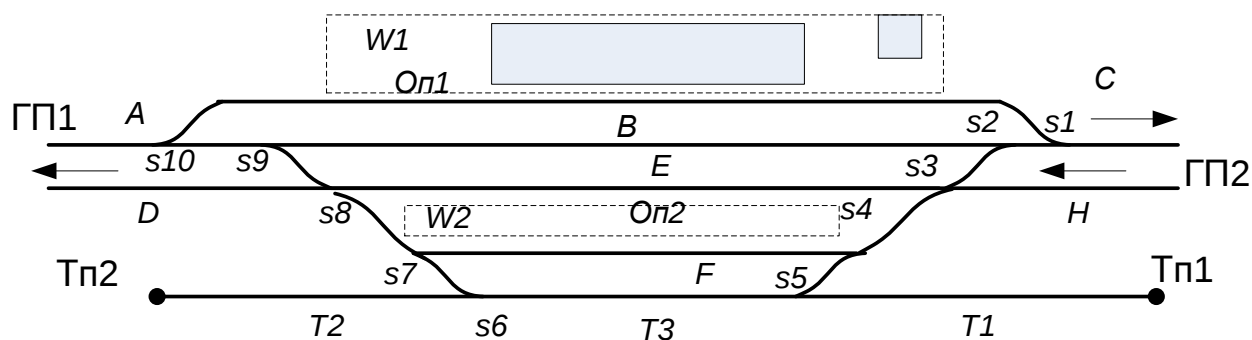


Рисунок 1. Пространственная информационная ситуация [13]

На рис.1 показаны два главных пути (ГП1, ГП2), два объездных пути (Оп1, Оп2), резервный путь (F). Узлы на топологической модели (стрелки) обозначены символами s_i ($i=1...10$). Показаны два тупика Тп1, Тп2. Главные пути состоят из участков ГП1 (А,В,С), ГП2(Н, Е, D). Символами W1, W2 обозначены перрон 1 и перрон 2.

Участки пути обозначены латинскими заглавными буквами, которые одновременно являются логическими переменными. Значение логической переменной равной 1 означает, что поезд находится на этом участке. Логические значения улов (стрелок) означают 1 движение в прямом направлении, значение 0 для поворотного направления. Детально механизм работы модели на рис.1 показан в [13]. В данном пример показа пространственная сторона информационной ситуации. Которая моделируется топологическими средствами.

Субсидиарность в ИТС

Субсидиарность [14, 15] означает самостоятельное принятие решения без оперативного контроля со стороны головной организации, например, ситуационного центра. Субсидиарность является отличительным признаком интеллектуальных транспортных систем.

Термин субсидиарность возник от латинского термина *subsidiarius*, что означает вспомогательный. В настоящее время смысл этого термина изменился и его следует трактовать как дополнительный, оперативный, независимый. Субсидиарность в управлении означает организационные и правовые группы принципов, согласно которым задачи управления должны решаться как в центре, так и на далёком от центра уровне. Критерием необходимости применения субсидиарного управления является рост сложности и требование высокой оперативности решения управленческих задач. Эффективность субсидиарного управления обусловлена снижением рисков принятия решений, адекватностью реакции на изменение ситуации и оперативностью принятия решений.

Субсидиарность как свойство может характеризовать сложную систему и сложный процесс. Субсидиарность имеет несколько направлений развития. Первое направление субсидиарности связано с управлением [16]. Это направление описывает процессы и системы. Второе

направление связано с самоорганизацией [17]. Это направление описывает процессы и системы. Третье направление субсидиарности связано с процессами вычислений. Четвертое направление субсидиарности связано с делимостью систем [18]. Четвертое направление описывает процессы. Пятое направление субсидиарности связано с моделированием процессов живых систем в неживых системах. Шестое направление субсидиарности связано с исследованием интеллектуальных систем. Седьмое направление субсидиарности связано с рыночными процессами и правом [17]. Восьмое направление субсидиарности связано с организацией вычислительных процессов. Девятое направление субсидиарности связано с информационной безопасностью. Таким образом, субсидиарность является объектом широкого применения и логически вписывается в управление транспортом и в ИТС.

Распределенное пространственное управление

Одной из особенностей железной дороги как геотехнической системы является ее протяженность и распределенность в пространстве. Это обуславливает применение пространственной информации. Использование пространственной информации приводит к понятию пространственное управление необходимостью применения геоданных для управления движением. Это управление применяют в АСУТ и в ИТС и ИЛС.

Интеллектуальные транспортные системы используют много целевое управления и распределенное управления. Много целевое управление с большим выбором целей управления и критериев важности целей не доступно человеческому интеллекту. Для эффективного применения пространственной информации возникает необходимость применения методов геоинформатики при организации управления ЖД [19]. Это влечет создание специальных моделей описания железных дорог.

Сравнению ключевых показателей ИТС и ИЛС с геоданными подчеркивает близость между ними. Геоданные [20] включают три составляющие их группы: «место», «время», «тема». Это дает основание считать применение геоданных основой для решения логистических задач.

Причин, обуславливающих применение геоинформатики в ИТС, несколько. Первая это интеграция геоинформатики и методов искусственного интеллекта [21], которые служат основой ИТС. Вторая причина в том, что в отличие от обычных интеллектуальных систем, которые используют параметрическую информацию, ИТС используют только пространственную информацию. Это вытекает из необходимости решения задачи позиционирования транспортного средства.

Позиционирование транспортного средства возможно на основе использования геоинформации и геоданных. Интеграция трех групп геоданных данных «место», «время», «тема» в единую систему создает синергетический эффект, т.е. позволяет решать задачи, которые при разделении на отмеченные группы не решаются или решаются с меньшей эффективностью. Организация геоинформации как совокупности информационных моделей определяет ее как новый информационный ресурс, использование которого позволяет решать прикладные задачи. Геоинформация сочетает в себе все свойства информации и информационных продуктов в этом ее уникальность и ценность.

Применение космических технологий [22] хорошо вписывается в теорию геоинформатики и дает возможность создания информационного подпространства для управления подвижными объектами на основе спутниковых технологий. применение спутниковых систем решает задачи распределенного управления транспортом.

Комплементарность технологий ИТС

Комплементарность [23, 24] является отличительным признаком интеллектуальных транспортных систем. В жестких детерминированных системах такое требование и условие не нужно. В таких системах АСУТ управление следует логическим цепочкам и не прерывается стохастическим воздействием. ИТС обладают свойством самостоятельной активности и действуют не по директиве, а по формируемым правилам. При формировании управления по правилам возможны нестыковки. Для их ликвидации необходимо согласование действий, то есть комплементарность. Комплементарность обусловлена субсидиарностью.

Интеллектуальное управление в ИТС использует различные методы искусственного интеллекта, такие как искусственные нейронные сети, нечёткая логика, машинное обучение, эволюционные вычисления и генетические алгоритмы.

При автоматизированном управлении траектория управления представляет собой логическое следование и для каждого узла управляющей цепочки существует один вход и один выход (рис.2)

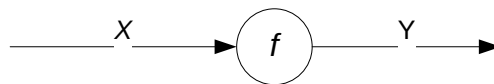


Рисунок 2. Функциональная связь между входом и выходом при автоматизированном управлении

Как следует из рисунка 1, существует однозначная функциональная связь при автоматизированном управлении

$$Y=f(X), \quad (1)$$

При интеллектуальном управлении в ИТС траектория управления представляет собой сеть и для каждого узла сети существует один несколько входов ($X_i \ i=1 \dots n$) и несколько выходов ($Y_j \ j=1 \dots m$) (рис.3)

Математически нейрон представляет собой взвешенный сумматор, единственный выход которого у определяется через его входы и матрицу весов следующим образом:

$$y=f(u), \quad (2)$$

где $w_i x_i + w_0 x_0 \ i=1 \dots n$

В выражении (2) - $x_i \ w_i$ соответственно сигналы на входах нейрона и веса входов, функция u называется индуцированным локальным полем, а $f(u)$ называется передаточной функцией. Возможные значения сигналов на входах нейрона считают заданными в интервале. Они могут быть либо дискретными (0 или 1), либо аналоговыми. Дополнительный вход x_0 соответствующий ему вес w_0 используются для инициализации нейрона. Под инициализацией подразумевается смещение активационной функции нейрона по горизонтальной оси, то есть формирование порога чувствительности нейрона [25]. Кроме того, иногда к выходу нейрона специально добавляют некую случайную величину, называемую сдвигом.

На рис.3 для упрощения веса входом не показаны. Если считать, что нейроны объединяются в сеть, то возникает задача согласования Y_j с X_{i+1} , Y_{j+1} с X_{i+2} , Y_{j+2} с X_{i+3} и так далее. Это и есть часть проблемы комплементарности.

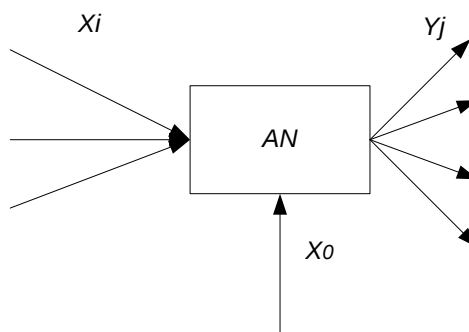


Рисунок 3. Искусственный нейрон как узел интеллектуальной сети

При организации управления транспортом и организации ИТС управленческие процессы и модели должны обладать свойствами согласованности и непротиворечивости. Эти свойства можно рассматривать как результат комплементарности и наличия комплементарных отношений. В теории системы сложные системы должны обладать свойствами целостности и полноты. Наличие этих свойств есть признак комплементарных отношений. Совокупность разных технологий, решающих общую задачу, связывают комплементарные отношения.

Комплементарные отношения могут присутствовать в коммуникационных сетях, ситуациях, в сложных системах. Комплементарные отношения создают свойство комплементарности или состояние комплементарности

В теории математической оптимизации проблема линейной комплементарности часто возникает в вычислительной механике и включает в себя квадратичное программирование. Проблемы комплементарности были первоначально изучены, в линейном программировании и квадратичном программировании. Они представляют собой проблему линейной комплементарности (LCP), проблему нелинейной комплементарности (NCP) и проблему смешанной комплементарности (MCP).

Принципиальным является то, что комплементарность не может быть описана формально одним типом отношений. Она охватывает комплекс разных отношений: логических, функциональных, теоретико-множественных, лингвистических, математических, юридических. При рассмотрении комплементарности обязательно рассматривают не менее двух объектов. В исчислении высказываний [26, 27] комплементарность выражается отношениями импликации и эквивалентности и конъюнкции. Объекты A и B комплементарны, если между ними имеют место отношения, задаваемые комплементарным рядом

$$A \rightarrow B \equiv 1; A \sim B \equiv 1; A \wedge B \equiv 1; A|B \equiv 0; A \vdash B, \quad (3)$$

Выражение (3) является примером комплементарного ряда, и описывает следующие отношения между A и B : импликация (истина), эквивалентность (истина), конъюнкция (истина), $|$ – штрих Шеффера (ложь), $\vdash$ – выводимость. Объекты A и B не комплементарны, если между ними имеют место другие отношения, которые дает пример не комплементарного ряда.

$$A \rightarrow B \equiv 0; A \oplus B \equiv 1; A \wedge B \equiv 0; A \vee B \equiv 0, \quad (4)$$

Выражение (4) является примером не комплементарного ряда и описывает следующие отношения между A и B : импликация (ложь), «исключающее или» (истина), конъюнкция (ложь), дизъюнкция (ложь) и так далее.

Принципиальным для выражений (3) и (4) является то, что один и тот же логический оператор может описывать комплементарность или не комплементарность в зависимости от логического значения. Это подчеркивает сложность описания комплементарности.

В исчислении предикатов комплементарность как отношение отображается набором двухместных предикатов. Можно ввести двуместный предикат $R(x, y)$, который отображает комплементарность между (x, y) .

Возможна множественная комплементарность между несколькими объектами. Примером является гипотеза в математической логике. Напомним, что гипотезой B формулы A понимается такая формула B , что $(B \rightarrow A) \equiv 1$.

Гипотеза $B(x)$ формулы A называется простой, если она есть конъюнкция переменных или их отрицаний и после отбрасывания любого из ее сомножителей перестает быть гипотезой формулы A . Комплементарными являются конъюнкты гипотезы. В качестве примера рассмотрим 9 конъюнктов.

$$B(x) = (x_1 \wedge x_2 \wedge x_3 \wedge x_4 \wedge \neg x_5 \wedge \neg x_6 \wedge \neg x_7 \wedge x_8 \wedge x_9), \quad (5)$$

Выражение (5) является комплементарным. Не комплементарным является выражение (6), связанное с выражением (5). Оно получается, например, исключением одного из переменных ($\neg x_6$).

$$\bar{B} = (x_1 \wedge x_2 \wedge x_3 \wedge x_4 \wedge \neg x_5 \wedge \neg x_7 \wedge x_8 \wedge x_9), \quad (6)$$

В выражении (6) величина $\bar{B}$ – обозначает «не гипотезу», то есть «не фактор». Выражений типа (6) может быть много, выражение (5) только одно. Не комплементарных ситуаций или выражений всегда больше, чем комплементарных. Это определяет технику организации комплементарности. Согласованность осуществляют множеством методов, что затрудняет выработку единого подхода формирования комплементарности. Непротиворечивость – логическая категория, которая может быть также реализована средствами математической логики для формирования комплементарности. Непротиворечивость может служить инструментом формирования комплементарности. В случае анализа непротиворечивости можно выработать общий подход к оценке и созданию комплементарности средствами математической логики, например, на основе метода резолюций. Инверсия комплементарного выражения $\bar{B}$ или $\neg B$ всегда означает не комплементарность. Поэтому в сложных ситуациях управления решить задачу комплементарности могут только ИТС и ИЛС. Современное развитие интеллектуальных систем показывает тенденцию их замены кибер физическими системами [28, 29]. Кибер физические системы можно рассматривать как распределенные интеллектуальные системы, связанные с техническим средством и его частями и узлами. В области транспорта ИТС меняются на транспортные кибер физические системы.

Причины применения ИТС.

Для управления в простых ситуациях достаточно человеческого интеллекта, а применение компьютера не обязательно и не эффективно. По аналогии, применение ИТС для простых ситуаций затратно и не эффективно. Приведем несколько правил, обуславливающих применение ИТС.

Когда объемы информации большие (проблема больших данных), человеческий интеллект их не в состоянии обработать. Это влечет применение интеллектуальных систем и ИТС. Если информационные коллекции сложны настолько, что человеческий интеллект их не в состоянии анализировать, то применяют ИТС.

Допустимое время принятия решений может быть намного меньше человеческой реакции или времени анализа информации в диспетчерском пункте, причем настолько короткое, что человеческий интеллект не в состоянии принять решение. В этих случаях или ситуациях применяют ИТС.

В случае, когда управленческая ситуация является новой и не может быть сведена к известным стереотипным ситуациям, применяют ИТС.

Если возникает необходимость всестороннего анализа ситуации, извлечения и накопления знаний об управлении, то применяют ИТС. Если возникает проблема «больших данных» (объем, скорость, сложность, не структурированность, оперативность), то применяют ИТС.

Когда возникает необходимость применения ассоциативных решений в сложных ситуациях, применяют ИТС. При необходимости эволюции алгоритмов управления применяют эволюционные алгоритмы, которые относятся к интеллектуальному управлению.

При необходимости беспилотного управления транспортными средствами применяют интеллектуальное управление и ИТС.

При необходимости выбора цели в условиях меняющейся ситуации применяют ИТС (интеллектуальное многоцелевое управление).

Признаком интеллектуальности и ИТС является наличие системы правил и базы знаний. ИТС использует знания, а АСУТ использует информацию.

Автоматизированные системы требуют для работы информации и данных. Информационные системы требуют данных и информационных моделей. Интеллектуальные системы требуют данных, моделей и знаний. Это говорит о том, что информационная поддержка ИТС сложнее чем информационных систем.

Заключение.

Применение интеллектуальных транспортных систем есть вынужденная необходимость, обусловленная ростом информации и сложностью ситуаций управления. Оно не является эффективным для всех случаев управления транспортом, а только для тех случаев, которые требуют его применения.

Существует различие между технологиями ИТС и технологиями АСУТ. Информационные технологии выполняют функции поддержки интеллектуального управления. Основную роль играют интеллектуальные технологии принятия решений. Интеллектуальные технологии дают возможность наряду с решением задач управления осуществлять поиск новых знаний и накапливать интеллектуальные ресурсы. Информационные технологии создают только информационные ресурсы. Это означает, что знания, формализованные в явном виде, будучи освоенными, могут стать частью опыта и частью базы знаний и быть использованы для решения прикладных задач, принятия решений и развития теории управления.

Следует отметить различие между интеллектуальными и автоматизированными технологиями и системами. Автоматизированные технологии и системы используют прямые алгоритмы и не обладают способностью внутренней самоорганизации. Интеллектуальные системы и технологии содержат механизм саморазвития, который в социальных и биологических системах называют аутопойезис [30]. Интеллектуальные технологии и системы содержат механизмы адаптации, которые в автоматизированных технологиях и системах отсутствуют. К ИТС относят только те системы, которые имеют наборы правил принятия решений, наборы правил самоорганизации и базу знаний. Интеллектуальное управление, включая управление на транспорте, можно рассматривать, как результат естественной

эволюции технологий управления. ИТС должны обязательно использовать пространственную информацию и пространственные знания.

Список литературы

1. Замышляев А.М. Информационное управление в транспортной сфере // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – 4(4). – С.11-24.
2. Александров А.В. Интеллектуальное управление // Славянский форум, 2016. -1(11). – С.15-22.
3. Tsvetkov V. Ya. Intelligent control technology // Russian Journal of Sociology, 2015, 2(2).-p.97-104.
4. Щенников А.Н. Интеллектуальные транспортные системы как специализированные системы // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – 4(4). – С.45-53.
5. Цветков В.Я., Розенберг И.Н. Интеллектуальные транспортные системы - LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, Saarbrücken, Germany, 2012. - 297 с. ISBN: 978-3-659-15742-4/.
6. Цветков В.Я. Интеллектуализация транспортной логистики // Железнодорожный транспорт. -2011. - №4. – С.38-40.
7. Коваленков Н.И. Ситуационное управление в сфере железнодорожного транспорта // Государственный советник. – 2015. - №2. – С.42-46.
8. Ожерельева Т.А. Информационная ситуация как инструмент управления // Славянский форум, 2016. -4(14). – С.176-181.
9. Tsvetkov V.Ya., Shaitura S.V., Minitaeva A.M., Feoktistova V.M., Kozhaev Yu.P., Belyu L.P. Metamodelling in the information field // Amazonia Investiga. 2020. Т. 9. № 25. С.395-402.
10. Козлов А.В. Многоцелевое управление транспортом мегаполиса// Наука и технологии железных дорог. – 2018. – 4(8). – С.40-47.
11. Ознамец В. В. Мягкое ситуационное управление // Славянский форум. -2018. – 2(20). - С.57-62.
12. Арнольд В. И. «Жесткие» и «мягкие» математические модели. — М.: МНИМО. 2004. — 32 с.
13. Розенберг И.Н., Цветков В.Я. Пространственная логическая ситуация в управлении транспортом // Наука и технологии железных дорог. – 2019. – 4(12). – С.3-11
14. Логинова А.С. Оценка применимости субсидиарного управления // Актуальные проблемы современной науки. - 2015. - № 3. - С.297-301.
15. Цветков В.Я. Применение принципа субсидиарности в информационной экономике // Финансовый бизнес. -2012. - №6. - С.40-43.
16. Козлов А.В. Принципы субсидиарности // Славянский форум. -2018. – 2(20). - С.28-35.
17. Козлов А.В. Субсидиарные системы и технологии. - Saarbrücken. : Palmarium Academic Publishing, 2019. –125с. ISBN 978-3-659-89076-5
18. Козлов А.В. Делимость в информационном поле//Славянский форум.-2018.–3(21). - С.8-13.
19. Кужелев П.Д. Геоинформационные технологии в управлении транспортом // Перспективы науки и образования- 2014. - №4. – С.157-161.
20. Омельченко А. С. Геоданные как инновационный ресурс // Качество, инновации,

образование. - 2006. - №1. - С.12- 14.

21. Савиных В.П., Цветков В.Я. Развитие методов искусственного интеллекта в геоинформатике // Транспорт Российской Федерации. - 2010. -№ 5. - С.41-43.

22. Савиных В.П. Использование методов дистанционного зондирования для управления транспортом // Науки о Земле. - 2-2012.- С.58 – 61.

23. Цветков В.Я. Комплементарность информационных ресурсов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. - 2016. - №2. – С.182-185.

24. Billups S. C., Murty K. G. Complementarity problems //Journal of Computational and Applied Mathematics. – 2000. – V. 124. – №. 1-2. – p.303-318.

25. Ясницкий Л. Н. Введение в искусственный интеллект. — М.: Издательский центр «Академия», 2005. — 176с.

26. Vereshchagin N.K., SHen' A. Lekcii po matematicheskoj logike i teorii algoritmov. CHast' 2. Yazyki i ischisleniya. — 4-e izd., ispr. — М.: MCNMO, 2012. — 240 с. ISBN 978-5-4439-0013-1.

27. Mordechai Ben-Ari. Mathematical Logic for Computer Science/ Third Edition. Springer London Heidelberg New York Dordrecht, 2012. -364p. ISBN 978-1-4471-4128-0/

28. Baheti R., Gill H. Cyber-physical systems //The impact of control technology. – 2011. – Т. 12. – №. 1. – С.161-166.

29. Lee E. A. Cyber physical systems: Design challenges //2008 11th IEEE International Symposium on Object and Component-Oriented Real-Time Distributed Computing (ISORC). – IEEE, 2008. – С. 363-369.

30. Di Paolo E. A. Autopoiesis, adaptivity, teleology, agency //Phenomenology and the cognitive sciences. – 2005. – Т. 4. – №. 4. – С. 429-452.

УДК: 001.6: 001.51

ПРИМЕНЕНИЕ МУЛЬТИАГЕНТНЫХ СИСТЕМ В УПРАВЛЕНИИ ТРАНСПОРТОМ МЕГАПОЛИСА

Рогов И.Е. Директор Института довузовской подготовки, Российский технологический университет (РТУ МИРЭА), E-mail: rogov@mirea.ru, Москва, Россия

Аннотация. В статье исследуется применение мультиагентных систем для управления транспортом мегаполиса. Транспорт мегаполиса является сложной системой, подверженной влиянию случайных факторов. Это приводит к тому, что детерминированные методы управления не пригодны для управления транспортом мегаполиса. Для управления транспортом мегаполиса целесообразно применение мультиагентных систем. В статье рассматривается применение мультиагентных систем в управлении транспортом, описаны основные свойства агентов. Показано различие между интеллектуальным и информационным агентом. Описаны свойства делиберативных агентов.

Ключевые слова: транспорт, сложные системы, мегаполис, искусственный интеллект, агент, интеллектуальный агент, многоагентные системы.

THE USE OF MULTI-AGENT SYSTEMS IN THE MANAGEMENT OF TRANSPORT IN A MEGALOPOLIS

Rogov I.E. Director of pre-university education institute, Russian Technological University (RTU MIREA), E-mail: rogov@mirea.ru, Moscow, Russia

Annotation. The article explores the use of multi-agent systems for managing the transport of a megalopolis. The transport of a megalopolis is a complex system subject to the influence of random factors. This leads to the fact that deterministic control methods are not suitable for managing the transport of a megalopolis. To manage the transport of a metropolis, it is advisable to use multi-agent systems. The article discusses the use of multi-agent systems in transport management, describes the basic properties of agents. The difference between the intellectual and the information agent is shown. The properties of deliberative agents are described.

Keywords: transport complex systems, metropolis, artificial intelligence, agent, intelligent agent, multi-agent systems..

Введение.

Современный мегаполис является многоаспектной сложной системой [1]. Транспорт является важнейшей составляющей функционирования мегаполиса [2, 3], и образует сложную систему внутри системы мегаполиса. Как система, транспорт мегаполиса имеет разные определения: сложная организационно-техническая система, сложная технологическая система, сложная техническая система, сложная система поддержки мегаполиса, сложная стохастическая система. Транспорт мегаполиса как сложная система характеризуется специфическими

признаками: зависимостью от когнитивного фактора управления; изменчивостью собственной структуры; неполным соответствием структуры потоков, изменяющимся во времени условиям движения; изменчивостью критериев для принятия решений при появлении новых ситуаций. Все компоненты и элементы транспорта мегаполиса являются управляемыми на основе интеллектуальных ресурсов и информации, хранящейся в системе управления мегаполисом.

Основные противоречия и проблемы управления транспортом мегаполиса.

Функционирование транспорта мегаполиса протекает при изменении и воздействии внешней среды. В связи с этим в системе управления транспортом мегаполисом формируются две стратегические группы целей: противодействия среде, изменяющей структуру и ритм транспортных потоков; удовлетворение потребностей мегаполиса как сложной системы в ресурсах и функционировании. Первая группа целей имеет процессуальную направленность и опирается на процессуальные и прескриптивные модели.

Вторая группа целей обеспечивает поддержку сложной системы и является оптимизационной, причем в первую очередь использующей задачи дискретной оптимизации. Очевидно, что если все ресурсы транспорта мегаполиса расходуются на поддержание устойчивого состояния транспортной системы, то развитие мегаполиса как надсистемы будет равно нулю. Если все ресурсы транспорта мегаполиса расходуются на потребности надсистемы, то его противодействие изменению среды будет небольшим и эффективность функционирования транспорта мегаполиса как поддерживающей системы резко упадет [4]. В итоге снизится и эффективность функционирования мегаполиса как надсистемы. Такая ситуация задает конфликт интересов и требует решения оптимизационных задач.

Такая ситуация характеризует первое противоречие в эксплуатации транспорта мегаполиса и мегаполиса в целом как противоречие между частью и целым. На практике такую ситуацию разрешают путем резервирования ресурсов с учётом возможного изменения поведения среды и ее стохастичности. Для управления в таких ситуациях применяют многокритериальные и многоцелевые алгоритмы и системы.

Второе противоречие в управлении транспортом мегаполиса заключено в организации управления. Система управления может быть детерминированной и жесткой. В этом случае процессы управления и поведение объектов управления протекают гладко (без разрывов и скачков производных) и обеспечивают эффективное управление и функционирование объектов управления, то есть транспорта.

Однако из-за стохастических изменений воздействия среды на систему транспорта мегаполиса оптимизационные решения, полученные изначально становятся не оптимальными, а иногда и ошибочными. Оптимизационные решения, получаемые при условии непрерывности процессов движения, становятся неоптимальными. Приходится переходить к методам дискретной оптимизации [5]. Возникает проблема пересмотра управленческих решений в пользу оперативного реагирования на меняющуюся ситуацию. Эта проблема решается путем перехода от непрерывного управления к дискретному [6]. В случае существенного влияния стохастических факторов управляющую систему преобразуют из детерминированной в недетерминированную с возможностью оперативной перестройки. Каждое из рассмотренных противоречий создает соответствующую проблему.

Третья проблема управления транспортом мегаполиса является более мягкой, но важной. Она обусловлена тем, что особенность транспортной системы мегаполиса состоит в том, что ее поведение в целом как системы зависит от локальных ситуаций в узлах. Ситуация становится

фактором, определяющим целесообразность и эффективность управления транспортом [7]. Это приводит к необходимости применения моделей информационной ситуации [8-10] и включения идеологии ситуационного управления [11] в систему управления транспортом мегаполиса.

Принципы управления транспортом мегаполиса.

Транспорт мегаполиса можно рассматривать как технологическую систему [12] в аспекте функционирования и как техническую систему в аспекте используемых технических средств. Техническая система служит поддержкой и основой функционирования технологической системы. Это определяет первый принцип управления транспортом мегаполиса.

Транспорт мегаполиса необходимо рассматривать как пространственную сложную систему. Отсюда основные принципы управления транспортом мегаполиса отражают наиболее существенные свойства, отношения в области управления сложными пространственными системами: использование пространственной информации, использование пространственных знаний [13], использование основных подходов управления [14], использование логических построений [15-17] для исключения противоречивости управления и поведения объектов транспорта; использование пространственных отношений [18] для анализа ситуаций, использование моделей пространственных ситуаций [19]; использование информационных единиц [20-22], использование информационных пространственных моделей [23], использование геоинформационного моделирования [24-26].

Транспорт мегаполиса необходимо рассматривать как абстрактную сложную систему. Отсюда вытекает необходимость применения теории систем и системного анализа для описания. Это задает применения двух групп информационных моделей для описания транспорта мегаполиса: дескриптивных и прескриптивных [17].

Дескриптивная группа информационных моделей задает характеристики описания и протекания процессов управления транспортом мегаполиса и поведения подвижных объектов: система управления, алгоритм управления, технология управления, разрывность управления, ситуация управления, ресурс управления, резерв управления, надежность управления, динамика управления, модель управления, оптимизационная модель, метод оптимизации, информационные потребности, информационное соответствие [27, 28].

Прескриптивная группа информационных моделей задает характеристики процессов и условия их эффективности и протекания. Эти характеристики носят оппозиционный и дихотомический характер: активность/реактивность, устойчивость/неустойчивость, комплементарность [29, 30]/противоречивость, субсидиарность [31, 32]/подчиненность, непрерывность/дискретность, точечное значение/интервальное значение, четкое значение/нечеткое значение, точное решение/приближенное решение, разовое решение/итеративное решение, информационное воздействие/информационное взаимодействие, цикл управления, жизненный цикл, гомеостаз.

Агенты как инструмент снижения сложности управления.

Проблема сложности в управлении и вычислениях связана со структурной сложностью системы управления, с объемной сложностью обрабатываемых данных, с вычислительной сложностью алгоритмов управления. Она существует в задачах обработки информации и в задачах управления транспортом. Мультиагентные системы применяют для снижения сложности и для управления в сложных ситуациях. Здесь следует снова остановиться на понятии и модели информационной ситуации, которая де факто применяется в мультиагентных системах и характеризует условия и характер применения этих систем.

В современных условиях повышения сложности информации и процесса обработки все чаще возникает ситуация, при которой не только человек, но даже алгоритмический метод обработки становятся не эффективными. Эти ситуации требуют применения гибких методов обработки. Одним из таких методов является метод агентов и мультиагентных систем [33, 34]. Агент может быть рассмотрен как вычислительная реактивная система, которая находится в некоторой динамической среде, и которая способна на автономные действия в этой среде. Агент может быть интеллектуальным и не интеллектуальным.

Интеллектуальный агент обладает гибкими автономными действиями для достижения целей. Его характеризуют три качества: реактивность (Reactivity), про-активность (pro-activeness) и социабельность (Socialability) или корпоративность.

Агент в общем случае имеет набор характеристик, которые не обязательно присутствуют в каждом агенте, но задают перечень его возможных свойств.

Это такие характеристики: автономность (Autonomy), целенаправленность (Goal-oriented), корпоративность (Collaborative), реактивность (Reactive), временная неразрывность (Temporal continuity), персонифицированность (Personality), коммуникативность (Communicationability), гибкость (Flexible), мобильность (Mobility), адаптивность (Adaptability), способность к рассуждениям (Capacity for reasoning), надежность (Trustworthiness).

Автономность означает способность агента действовать самостоятельно без поддержки других агентов. Таким ярко выраженным свойством обладают компьютерные вирусы.

Целенаправленность означает способность агента действовать не хаотически, а в соответствии с набором локальных целей.

Корпоративность означает способность агента действовать совместно с другими агентами и образовывать группы (стаи) для решения общей задачи. Это свойство используется в робототехнике, в муравьиных колониях и в роях пчел или птиц.

Реактивность – это важнейшее качество агентов при сложных ситуациях. Оно означает способность агента оперативно отвечать на внешнее воздействие, не дожидаясь указаний из центрального аппарата управления. Реактивность означает способность агента действовать соразмерно внешнему воздействию.

Временная неразрывность означает способность агента отслеживать временные процессы и не допускать пропусков при своих действиях и действиях внешних агентов. Временная неразрывность означает отсутствие семантических разрывов поседении агента.

Персонифицированность означает способность агента иметь индивидуальные характеристики, отличающие его от других подобных агентов. Это в первую очередь затрагивает характер поведения агента.

Коммуникативность означает способность агента к передаче информации, к приему информации и к информационным взаимодействиям

Гибкость означает способность агента к организации различных сетевых комбинаций для отражения внешних угроз и решения совместных задач.

Мобильность означает способность агента к перемещению и нахождения в новых условиях.

Адаптивность означает способность агента к приспособлению к новым условиям.

Способность к рассуждениям означает наличие способности агента к самостоятельному анализу ситуаций. Это свойство только интеллектуальных агентов. Для остальных агентов характерен набор реакций на внешний фактор.

Надежность означает способность агента к устойчивому существованию, наличию ресурса и

устойчивости для противодействия деструктивным действиям, направленным против него или сообщества агентов.

Все эти свойства определили новый подход к управлению транспортом мегаполиса, для которого характерны стохастические факторы и возникает необходимость оперативной реакции на эти факторы. Стохастическое управление связывают с применением мультиагентных технологий [35]. Мультиагентный подход развивается на основе интеграции с методами искусственного интеллекта

Свойства мульти агентов отличают адаптивные и перестраиваемые мультиагентные системы от «жестких» детерминированных систем. Мультиагентные системы способны к саморазвитию и самоорганизации. Агенты могут действовать от имени и по поручению лиц, принимающих решения, и на основе данных им полномочий в автоматическом режиме вести переговоры, находить варианты решений и согласовывать свои решения друг с другом. Здесь следует отметить тенденцию субсидиарного управления [5], которая ярко реализуется в агентных системах. Представляет интерес исследование агентов как новой формы решения управленческих задач для транспорта мегаполиса.

Многоагентные системы.

Поскольку агенты чаще всего действуют в сообществе агентов, то целесообразно рассмотреть такие сообщества или системы. Преимущество системы в наличии у нее эффекта эмерджентности, как дополнительного эффекта, повышающего положительные стороны управления.

Совокупность связанных и комплементарных агентов образует мультиагентные или многоагентные системы (МАС) [35, 36]. Мультиагентная система строится как система активных элементов или активных информационных единиц, которые могут осуществлять информационное или интеллектуальное взаимодействие друг с другом с помощью информационного языка ACL (Agent Communication Language) [37, 38]. Этот язык является одним из многих языков информатики. Структура МАС в первую очередь определяется стратегическими задачами всей системы и во вторую ролевыми функциями агентов и моделями их информационного взаимодействия. Архитектура МАС задает взаимодействие агентов в системе. По организационной структуре МАС выделяют следующие типы агентов:

- агенты-исполнители и агенты-менеджеры - первые подчиняются вторым;
- агенты-координаторы, ответственные за организацию взаимодействия агентов;
- интерфейсные агенты, служащие для связи с внешней средой;
- каналные агенты, обеспечивающие обмен информацией в системе.

Классификация агентов.

По типу связей выделяют агенты звена и агенты системы.

Агенты звена это:

- синтагматические агенты – агенты, между которыми существуют связи между равноправными агентами (двухзвенные горизонтальные связи);
- парадигматические агенты – агенты, между которыми существуют связи между не равноправными агентами подчинения вышестоящему звену (двухзвенные вертикальные связи).

Агенты системы это:

- иерархические агенты – агенты, принадлежащие иерархической системе, между которыми существуют связи подчинения вышестоящему агенту-координатору (многозвенные связи один ко многим);

- сетевые агенты – агенты, принадлежащие сетевой или распределенной системе, между которыми существуют связи эквивалентности или подчинения в сети (многозвенные связи многие ко многим);
- субсидиарные агенты – активные агенты, принадлежащие сетевой или распределенной системе, допускающие изменение полномочий и изменение характера связей, вплоть до отключения некоторых связей (многозвенные изменяемы и модифицируемые связи многие ко многим).

По типам взаимодействия разделяют интеллектуальные и информационные агенты [36]. Интеллектуальные агенты представляют собой интеллектуальную конструкцию или интеллектуальное программное обеспечение, которое осуществляет действия от имени пользователя или другой программы с определенной степенью независимости и автономии. Интеллектуальные агенты используют знания для достижения цели. При управлении транспортом интеллектуальные агенты должны использовать пространственные знания и пространственную логику. Интеллектуальные агенты содержат наборы правил, которые позволяют осуществлять гибкие решения по ситуации и самоорганизацию МАС. Интеллектуальный агент решает задачи управления в стохастических сложных ситуациях.

В активной среде интеллектуальный агент может связываться с локальным или удаленным агентом. Интеллектуальный агент может взаимодействовать с окружающей средой посредством языка связи языка ACL.

В информационных агентах выделяют программные агенты. Информационные агенты используют алгоритмы поведения и управления. Интеллектуальные агенты дополнительно используют правила. Общей моделью интеллектуального и информационного агента является информационная конструкция. Информационным агентом называют информационную конструкцию [39, 40] реализованную в активную физическую модель, которая может воспринимать внешний мир и воздействовать на него с помощью заданного алгоритма действий. Информационные агенты содержат наборы алгоритмов. При управлении с использованием компьютерных или вычислительных технологий используют программные агенты.

Программные агенты - это информационные конструкции, реализованные только в программной среде. Они выполняются асинхронно в соответствии с предписанной целью, располагают индивидуальной моделью внешнего мира, которую строят на основе поступающей информации, и способны адаптироваться к изменениям в окружении благодаря обучению. Агенты можно рассматривать как элементы сложной системы, которой является многоагентная система. Агенты, в отличие от элементов классической теории систем, являются гетерогенными элементами системы.

По степени внутреннего представления картины мира и способу реализации поведения выделяют два типа агентов - реактивные и интеллектуальные.

Реактивные агенты имеют примитивную внутреннюю модель внешнего мира. Для них характерно использование концепции состояния и простейших правил поведения типа «стимул – реакция». Реактивные агенты широко применяются в автоматных моделях. Они могут использовать правила, алгоритмы, темпоральные логики. Их достоинством является прозрачность и верифицируемость.

Интеллектуальные агенты (ИА) отличаются тем, что имеют встроенную базу знаний (правил) и развитого механизма планирования действий. Среди них выделяют делиберативные

агенты (ДА) [41-43], которые обладают самостоятельной моделью внешнего мира и способны принимать решения на этой основе. Они постоянно выполняют три функции: интерпретировать восприятие внешнего мира, решать проблемы, сделать выводы и определить действия. Они направлены на восприятие динамических условий в окружающей среде. Их действие влияет на условия в этой среде. они способны на рассуждения.

Существующий уровень развития теории и технологии проектирования делиберативных агентов далек от практической сферы применения. Альтернативный путь интеллектуализации агентов может базироваться на основе ситуационной методологии и принципах вычислительного интеллекта. Агенты имеют "ментальные" характеристики, которые выражают через следующие категории [41]:

- *ощущения* (perceptions) - восприятие обстановки;
- *убеждения* (beliefs) - правдоподобная часть знаний агента о внешней среде;
- *цели* (goals) - желаемый результат воздействий на объект;
- *намерения* (intentions) - план действий.

Агенты постоянно выполняют следующие функции: восприятие динамических условий в окружающей среде; рассуждение; интерпретация восприятия; выявление и решение проблем, выводы и определение действий. Это сближает их с автоматными моделями и позволяет использовать теорию автоматных моделей для построения поведения агентов. Функционирование ИА включает выполнение следующей последовательности действий: восприятие, моделирование внешней среды, моделирование информационной ситуации, анализ ситуаций, планирование действий, исполнение плана.

Решение задач управления транспортом применением агентов. Для мегаполиса и сложных ситуаций характерными являются задачи второго рода [44]. Решение всякой задачи может быть представлено в виде продукции:

$$(K_P \wedge IS t \wedge E) \rightarrow P i \rightarrow (K_P \rightarrow K_M) \rightarrow P j \rightarrow K_c, \quad (1)$$

В выражении (1) K_P - модель реального состояния подвижного объекта; K_C - модель целевого состояния объекта транспорта. E – воздействие окружающей среды. Ist – текущая информационная ситуация, P - процесс. Интерпретация управленческой сути выражения (1) следующая. В текущей информационной ситуации Ist объект управления находится в состоянии K_P и подвергается воздействию внешней среды E . Это влечет применение итеративного процесса управления P_i , который создает условия для перевода подвижного объекта из исходного состояния в промежуточное состояние K_M . В результате совокупности итераций управления на заключительном этапе завершающий процесс P_j переводит объект управления в целевое состояние K_c .

Решение задачи может быть детализировано на отдельные действия решающей системы и представлено как последовательность этих действий:

$$K_P \rightarrow d_1 (K_P) \rightarrow K_1 \rightarrow d_2 (K_1) \rightarrow K_2 \rightarrow \dots \rightarrow K_T, \quad (2)$$

Последовательность действий решающей системы $\langle d_1, d_2, \dots, d_n \rangle$ есть путь решения задачи. Путем решения называют алгоритм решения задачи. По этому критерию все задачи можно разделить на два типа. Если путь решения исходной задачи известен априори, то имеет место решающая система первого рода. Если же путь решения исходной задачи неизвестен, то решающая система называется решающей системой второго рода [44].

Для решающих систем второго рода путь решения должен быть задан неявно или эвристически. Для таких систем путь решения всегда связан с поиском последовательности $\langle d_1, d_2, \dots, d_n \rangle$ выражение (2). Применение агентов позволяет решать задачи поиска и в итоге задачи управления.

Для поиска агент нуждается в знаниях. Для извлечения и логической обработки знаний (reasoning) требуется специальный интеллектуальный агент поиска знаний. База знаний, образуемая множеством паттернов, прецедентов и стереотипов, вместе с интеллектуальным агентом (ИА) для извлечения знаний образуют структуру, напоминающую искусственный интеллект [45, 46].

При управлении транспортом мегаполиса реально приходится сталкиваться с транспортными потоками. Это означает связь управления с транспортными потоками и связанными с ними информационными потоками. Информационные потоки информируют о состоянии материальных потоков. Еще более важным является то, что информационные потоки моделируют материальные потоки. На основе этой информации принимается решение об управлении материальными потоками. Мультиагентные системы являются наиболее адекватным средством моделирования информационных и транспортных потоков. Мультиагентная технология моделирования информационных потоков базируется на методике WF_{MA} описания потока в виде интеллектуального агента:

$$WF_{MA} = \langle G, B, A, P, C \rangle, \quad (3)$$

где G – цели деятельности агента; B – убеждения агента (агентное видение внешней среды); A – действия (алгоритм поведения) агента; P – знания агента на основе восприятия; C – механизм коммуникаций (взаимодействия) агента с другими агентами. Агенты взаимодействуют со средой (Миром), которая представляется в виде имитационной модели объекта моделирования.

Агент воспринимает окружающий мир ограничено, поэтому ему недоступна полная информация о глобальном состоянии. Это обусловлено тем, что модель полной картины мира для любого агента является неполной. Агент моделирует информационные ситуации, но также ограниченно, в рамках его перцептивного восприятия. Ситуации идентифицируются или моделируются на основе перцепции и отражают знания агента о внешней среде. Поэтому более правильно говорить о восприятии внешней среды, которая является подмножеством внешнего мира.

Оптимизация движения. Агенты позволяют минимизировать межузловые информационные взаимодействия и на этой основе потоки [47] в одноранговых проблемно-ориентированных распределенных системах. Метод оптимизации движения или оптимизации транспортных потоков основан на кластеризации программных агентов в семантическом пространстве, представленном в виде концептуальной модели предметной области, и преобразовании межузловых взаимодействий агентов во внутриузловые [48]. Реализация метода обеспечивает сокращение нагрузки на транспортную инфраструктуру и повышение коэффициента пропускной способности транспортной сети.

Когнитивные методы используют широко и в мультиагентных системах также. Это привело к появлению характеристики агента, которую называют «ментальность». Разработка ментальной структуры МАС базируется на когнитивных моделях и методах, которые должны обеспечивать работу со слабо структурированной информацией и знаниями, а также

реализовывать процессы адаптации (самонастройки, самообучения и самоорганизации). Для этого применяют инструменты конвенционного и вычислительного ИИ [49]: методы машинного самообучения, основанные на формализме и статистическом анализе; рассуждения на основе прецедентов [50] (Case-Based Reasoning); байесовские сети доверия; нейросетевые алгоритмы; нечеткую логику; эволюционные вычисления.

Заключение. Как сложная система транспорт мегаполиса обладает специфическими характеристиками. Главная из них это стохастическое взаимодействие со стохастическими процессами внешней среды. Такая ситуация приводит к необходимости использовать адаптивные алгоритмы и методы управления транспортом как альтернативу жесткому детерминированному управлению. Как сложная система транспорт мегаполиса использует понятие ситуации для анализа и принятия решений. Алгоритм сложной мультиагентной системы также непонятен как алгоритм нейронной сети. Однако он в максимальной степени реагирует на изменения системы управления и выдает оптимальные рекомендации по управлению транспортом мегаполиса. Совокупность агентов обладает свойствами эмерджентности и синергетичности. Применение мультиагентных интеллектуальных систем позволяет решать задачи с динамической неопределенностью, информационной неопределенностью и информационной сложностью (применительно к человеческому интеллекту). Этим расширяются границы управления транспортными системами и методы исследования окружающего мира.

Список литературы

1. Кужелев П.Д. Комплексное управление мегаполисом // Государственный советник. – 2015. - №3. – С.14-18.
2. Семенов В. В. Математическое моделирование динамики транспортных потоков мегаполиса //М.: ИПМ им. МВ Келдыша РАН. – 2004. – С.231.
3. Захаров В. В., Крылатов А. Ю. Системное равновесие транспортных потоков в мегаполисе и стратегии навигаторов: теоретико-игровой подход //Математическая теория игр и её приложения. – 2012. – Т. 4. – №. 4. – С.23-44.
4. Епишкина К. М. Оценка общественной эффективности рельсового транспорта мегаполиса //Регион: экономика и социология. – 2010. – №. 1. – С.255-272.
5. Левин В. И. Дискретная оптимизация в условиях интервальной неопределенности //Автоматика и телемеханика. – 1992. – №. 7. – С.97-106.
6. Илюхина Н. А., Комаревцева О. О. Дискретно-событийное моделирование в управлении экономической системы муниципального образования //Современные наукоемкие технологии. – 2015. – №. 7. – С.77-80.
7. Коваленков Н.И. Ситуационное управление в сфере железнодорожного транспорта // Государственный советник. – 2015. - №2. – С.42-46.
8. Tsvetkov V. Ya. Information Situation and Information Position as a Management Tool // European researcher. 2012, 12-1 (36), p.2166-2170.
9. Цветков В.Я. Систематика информационных ситуаций // Перспективы науки и образования. - 2016. - №5 (23). - С.64-68.
10. Цветков В.Я. Модель информационной ситуации // Перспективы науки и образования. - 2017. - №3(27). - С.13-19.

11. Ожерельева Т.А. Информационная ситуация как инструмент управления // Славянский форум, 2016. -4(14). – С.176-181.
12. Буравцев А.В. Сложные технологические системы// Славянский форум. - 2017. -4(18). – С.14-19.
13. Кулагин В. П., Цветков В. Я. Геознание: представление и лингвистические аспекты // Информационные технологии. - 2013. - №12. - С.2-9.
14. Цветков В.Я. Развитие технологий управления // Государственный советник. – 2015. - №4(12). – С.5-10.
15. Розенберг И.Н., Козлов А.В. Логический анализ схем управления // Славянский форум. - 2018. – 2(20). - С.83-89.
16. Лёвин Б. А., Розенберг И. Н., Цветков В. Я. Пространственные логические рассуждения при поддержке принятия решений // Наука и технологии железных дорог. – 2019. – 1(9). – С.3 - 16.
17. Козлов А.В. Логические дескриптивные и прескриптивные модели // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении. - 2018.- № 6 (10). -С.3–8.
18. Цветков В.Я. Виды пространственных отношений // Успехи современного естествознания. - 2013. - № 5 - С.138-140.
19. Павлов А.И. Пространственная информационная ситуация // Славянский форум, 2016. - 4(14). – С.198-203.
20. Ожерельева Т.А. Логические информационные единицы // Славянский форум, 2015. - 2(8) - С.240-249.
21. Кудж С.А. Тринитарные информационные единицы // Славянский форум, 2016. -4(14). – С.137-143.
22. Чехарин Е.Е. Информационные единицы в сложных системах // Образовательные ресурсы и технологии – 2017. -3 (20). – С.93-99.
23. Tsvetkov V. Ya. Spatial Information Models // European researcher. 2013. №10-1(60). С.2386-2392.
24. Савиных В.П. Геоинформационное моделирование в космических исследованиях // Образовательные ресурсы и технологии – 2017. -3 (20). – С.109-117.
25. Савиных В.П., Цветков В.Я., Шайтура С.В. Основные положения в области геоинформационных технологий// Славянский форум, 2015. - 2(8) - С.293 -301.
26. Андреева О.А. Геоинформационное моделирование // Славянский форум. -2019. – 2(24). - С.7-12.
27. Номоконова О. Ю., Виды информационных соответствий // Славянский форум. -2018. – 2(20). - С.44-49.
28. Ожерельева Т.А. Информационное соответствие и информационный морфизм в информационном поле // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении. 2017 -№4. – С.86-92.
29. Цветков В.Я. Комплементарность информационных ресурсов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. - 2016. - №2. – С.182-185.
30. Щенников А. Н. Комплементарное управление транспортными потоками мегаполиса // Наука и технологии железных дорог. – 2019. – 3(11). – С.17-25.
31. Цветков В.Я. Применение принципа субсидиарности в информационной экономике // Финансовый бизнес. -2012. - №6. - С.40-43.

32. Логинова А. С. Методы субсидиарного управления // Перспективы науки и образования. - 2015. - №3. - С.165-169.
33. Безгубова Ю.О. Модели программных агентов в задачах информационного поиска // Славянский форум, 2015. - 2(8) - С.41-49.
34. Маркелов В.М. Применение мультиагентных систем для управления логистическими системами // Славянский форум. - 2014. – 2 (6). - С.82 -87.
35. Тарасов В.Б. Агенты, многоагентные системы, виртуальные сообщества: стратегическое направление в информатике и искусственном интеллекте // Новости искусственного интеллекта. 1998. - № 2. - С.5-63.
36. Безгубова Ю. О. Мультиагентное управление распределенными информационными потоками // Образовательные ресурсы и технологии. – 2015. - №1(9). – С.113-119.
37. Labrou Y., Finin T., Peng Y. Agent communication languages: The current landscape //IEEE Intelligent Systems and Their Applications. – 1999. – Т. 14. – №. 2. – С.45-52.
38. Wooldridge M. Semantic issues in the verification of agent communication languages //Autonomous agents and multi-agent systems. – 2000. – Т. 3. – №. 1. – С.9-31.
39. Tsvetkov V. Ya. Information Constructions // European Journal of Technology and Design. - 2014. № 3.(5). - p.147-152.
40. Дешко И.П. Информационное конструирование: Монография. – М.: МАКС Пресс, 2016. – 64с.
41. Парасюк И. Н., Ершов С. В. Моделе-ориентированная архитектура нечетких мультиагентных систем //Компьютерная математика. – 2010. – №. 2. – С.62-74.
42. Scheutz M., Logan B. Affective vs. deliberative agent control //Proceedings of the aish'01 symposium on emotion, cognition and affective computing. – 2001. – С.1-10.
43. Larson K., Sandholm T. Mechanism design and deliberative agents //Proceedings of the fourth international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems. – 2005. – С.650-656.
44. Tsvetkov V.Ya. Incremental Solution of the Second Kind Problem on the Example of Living System, Biosciences biotechnology research Asia, November 2014. Vol. 11(Spl. Edn.), p. 177-180.
45. Цветков В.Я. Интеллектуализация транспортной логистики // Железнодорожный транспорт. -2011. - №4. – С.38-40.
46. Рассел С., Норвиг П. Искусственный интеллект: Современный подход. - 2-е изд. / пер. с англ. - М.: Изд. дом «Вильямс», 2006.
47. Рогов И. Е. Моделирование транспортных потоков // Наука и технологии железных дорог. – 2019. – 3(11). – С.26-38.
48. Маслобоев А.В. Мультиагентная технология информационной поддержки инновационной деятельности в регионе // Труды Института системного анализа РАН: Прикладные проблемы управления макросистемами. - Т. 39. - М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. - С.232-256.
49. Васильева Т. Н., Мамонова Т. Е. Применение методов искусственного интеллекта. // XII Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь и современные информационные технологии». Томск, 2014. С.402-403.
50. Варшавский П. Р., Еремеев А. П. Моделирование рассуждений на основе прецедентов в интеллектуальных системах поддержки принятия решений // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2009. – №. 2. – С.45-57.

УДК: 656.02; 004.8

ДВУХАЛГОРИТМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПОДВИЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ

- Козлов А. В.** Зам. директора Физико-технологического института, Московский технологический университет (МИРЭА), E-mail: av-kozlov@mail.ru, Москва, Россия
- Аннотация.** В статье исследуется управление объектами транспорта при изменении условий движения. Такие ситуации движения характерны для транспортных потоков мегаполиса. Предлагается модель управления, названная «ломаным алгоритмом». Такое управление является многоцелевым и многокритериальным. Двухуровневая алгоритмическая система – это алгоритмическая система, которая находится в некоторой динамической среде, и которая способна на автономные действия в этой среде в целях достижения цели. Для двух уровневое управление важное значение приобретает информационная ситуация и ситуационное управление. Управление на основе двух уровней алгоритмов не является жестким, строится на системе правил. Эти ситуации соответствуют векторному управлению, матричному управлению и многомерному управлению.
- Ключевые слова:** транспорт, управление, информационная ситуация, двух уровневое управление, двухуровневые алгоритмы, многоцелевое управление.

DUAL-ALGORITHM CONTROL SYSTEM FOR MOVING OBJECTS

- Kozlov A. V.** Deputy Director of the Physics - Technological Institute, Moscow Technological University (MIREA), E-mail: av-kozlov@mail.ru, Moscow, Russia
- Annotation.** The article explores the management of vehicles under changing traffic conditions. Such traffic situations are characteristic of megalopolis traffic flows. A control model called the “broken algorithm” is proposed. Such management is much targeted and multi-criteria. A two-level algorithmic system is an algorithmic system that is located in some dynamic environment, and which is capable of autonomous actions in this environment in order to achieve the goal. For two-level management, informational situation and situational management are important. Management based on two level algorithms is not rigid; it is based on a system of rules. These situations correspond to vector control, matrix control, and multidimensional control.
- Keywords:** transport, management, information situation, two-level management, two-level algorithms, multi-purpose management.

Введение. В сложных условиях управления транспортом возникают ситуации, осложняющие процесс. Системы и алгоритмы управления в сложной ситуации постоянно выполняют три функции: восприятие динамических условий в окружающей среде, действие влияет на условия в этой среде, и рассуждения интерпретировать восприятие, решать проблемы, сделать выводы и

определить действия. Примером управления в сложной ситуации является управление транспортом мегаполиса [1, 2]. Мегаполис как пространственно-динамический феномен [3] содержит транспортные потоки, протекающие в динамических условиях. Основой управления транспортным средством является алгоритм управления, реализованный на программном и когнитивном [4-6] уровнях. Система управления транспортом является двухзвенной (диспетчерский пункт – водитель). Вполне логично допустить наличие двух алгоритмов управления транспортным средством.

Эти алгоритмы можно обозначить как центральный алгоритм управления и периферийный алгоритм управления. При штатном движении в стационарных условиях центральный алгоритм задает стратегию, а периферийный алгоритм ее реализует. В этом случае можно говорить о секвенции, секвенциальном анализе [7-9] или секвентивном управлении. Это управление является плановым. При движении в нестационарных существенно меняющихся условиях центральный алгоритм не в состоянии охватить все изменения условий движения. В этом случае возникают ситуации, когда периферический алгоритм управления вынужден принять решение не предусмотренной центральным алгоритмом управления, а в отдельных случаях решение, противоречащее изначальному плану.

Управление в сложных ситуациях.

Современное управление движением [10] включает: методы системного анализа, методы топологического анализа, методы пространственного анализа, методы многокритериального анализа, логические методы, методы оптимизации, включая дискретную оптимизацию. Современное движение использует пространственные [11] и семиотические модели [12]. Современное движение имеет тенденцию к интеллектуализации и в силу этого использует различные правила и модели, основанные на правилах

Современное пространственное управление транспортом использует пространственную информацию и геоданные. В силу этого в него органически включается геоинформатика и геоданные [13, 14]. Важную роль в управлении транспортом в условиях интенсификации движения играют модели информационных ситуаций [15, 16]. Они также вписываются в концепцию пространственного ситуационного моделирования и управления [17, 18].

Среди факторов оптимизации управления транспортом в мегаполисе стохастический фактор становится главным. При регулярном и детерминированном движении и управлении математические модели позволяют предсказывать последствия управленческих решений. Технологии статистического моделирования выявляют тенденции, оценивают риски и формируют решения, позволяющие выбрать оптимальный путь в сложной ситуации. Важным фактором анализа в управлении в сложных ситуациях является выбор алгоритмов управления. Классический алгоритм управления представляет собой топологическую последовательную (консеквентную) цепочку (рис.1).

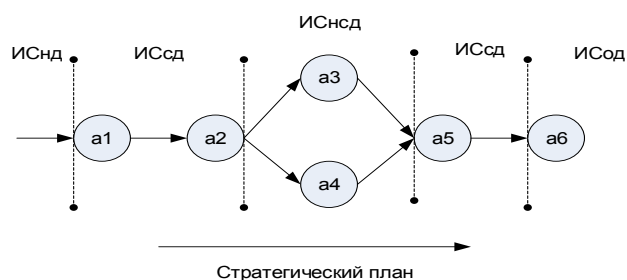


Рисунок 1. Модель консеквентного движения и согласованных алгоритмов.

На рис.1 введены следующие обозначения: ИСнд – информационная ситуация начала движения; ИСсд – информационная ситуация стационарного движения; ИСндсд – информационная ситуация не стационарного движения; ИСод – информационная ситуация окончания движения. Стратегический план состоит в движении от узла (а1) к узлу (а6). Большая стрелка показывает стратегический план, маленькие стрелки показывают оперативный план или оперативные алгоритмы.

При konsekventном управлении транспортом (рис.2) все действия оперативного алгоритма (Р) происходят в рамках центрального алгоритма управления движением (С).

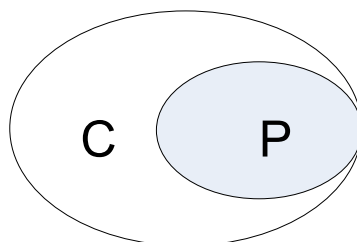


Рисунок 2. Соотношение между периферийным и центральным алгоритмом при konsekventном управлении

На рис.2 показана система «центр- периферия» Такая информационная ситуация имеет место при стационарном движении. Возвращаясь к рисунку 1 следует отметить, что для управления движением большое значение имеют модели информационной ситуации (ИС). Они определяют вид и тип управления, а также задают алгоритм управления.

Мегаполис является примером сложных ситуаций движения [19]. Для таких ситуаций характерно влияние внешних факторов на движение транспортного средства. Под воздействие внешних факторов система «центр - периферия» модифицируется и самоорганизуется (рис.3).

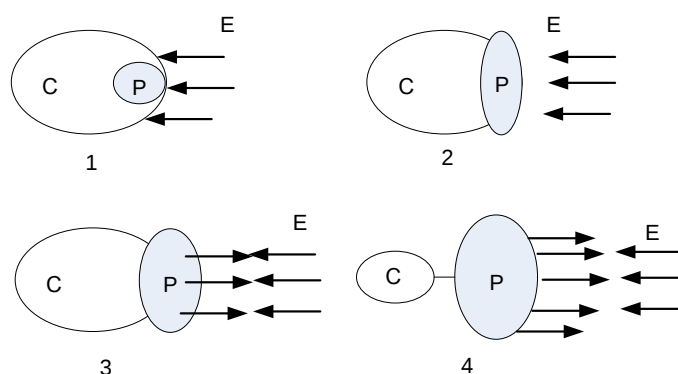


Рисунок 3. Самоорганизация алгоритма управления транспортом из konsekventного в «ломаный».

На рис.1 показаны четыре информационные ситуации. В ситуации 1 на систему начинает оказывать воздействие внешняя среда (Е). Для защиты интересов системы «центр- периферия» периферийный алгоритм начинает отражать воздействие внешней среды, что показано в информационной ситуации 2. Более интенсивное воздействие (ситуация 3) приводит к тому, что периферийный алгоритм начинает отражать воздействие без полного согласования с центральным алгоритмом. Еще более интенсивное воздействие или большая сложность информационной ситуации приводят к тому, что периферийный алгоритм выходит из прямого управления центрального алгоритма и подчиняется ему только концептуально. Это показано на

информационной ситуации 4 рис.3.

Ситуация 4 на рис.3 характеризует «ломаный алгоритм». Этот алгоритм управления означает, что непрерывность траектории управления типа рис. 1 нарушается.

Системы алгоритмов на рис.2, рис.3 называют двухалгоритмическими. Они представляют собой системы связанных алгоритмов. Каждый алгоритм описывает решает свои задачи, но связаны друг с другом. Примерами таких связанных систем являются: стая роботов – отдельный робот, стая птиц – отдельная птица, группа транспортных средств – отдельное транспортное средство.

Двух алгоритмическая система имеет набор целей и набор приоритетов. Эти показатели являются плавающими, а не фиксированными как при стационарном управлении. На рис.4 показана ситуация частичной связанности центрального (С) и периферийного алгоритма (Р).

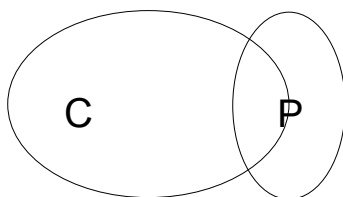


Рисунок 4. Ситуация частичной связанности двух алгоритмов.

Описание системы двух алгоритмов на рис.1 определится теоретико-множественными отношениями.

$$C \cup P = Ta, \quad (1)$$

$$C \cap P = Tu, \quad (2)$$

$$C - (C \cap P) = Tc, \quad (3)$$

$$P - (C \cap P) = Tp, \quad (4)$$

Выражение (1) характеризует общую область задач Ta , которую решают две алгоритмические системы. Выражение (2) характеризует совместную область задач Tu , которую совместно решают обе системы и которая входит в область задач центральной системы $M2$. Эта область характеризует резерв управления [20] всей системы. Выражение (4) характеризует индивидуальную область задач Tp , которую решает периферическая система и которую не решает центральная система C . Выражение (3) характеризует индивидуальную область задач Tc , которую решает центральная система и которую не решает периферическая система. Алгоритм, решающий задачи в области Tp называют субсидиарный реактивный алгоритм [21-23].

Если вернуться к рисунку 1, то для него может быть записана следующая логическая последовательность

$$a1 \rightarrow a2 \rightarrow (a3 \oplus a4) \rightarrow a5 \rightarrow a6, \quad (5)$$

Выражение (5) описывает консеквентный вывод. Если ввести множество формул Γ которые описывают стратегический план (рис.1), то для консеквентных алгоритмов имеет место

$$\Gamma \sqsubset a6, \quad (6)$$

Выражение (6) говорит о том, что при консеквентном выводе любая конечная формула периферийного алгоритма выводима из множества формул Γ стратегических задач. На рис.5 приведен пример консеквентного и ломаного алгоритма

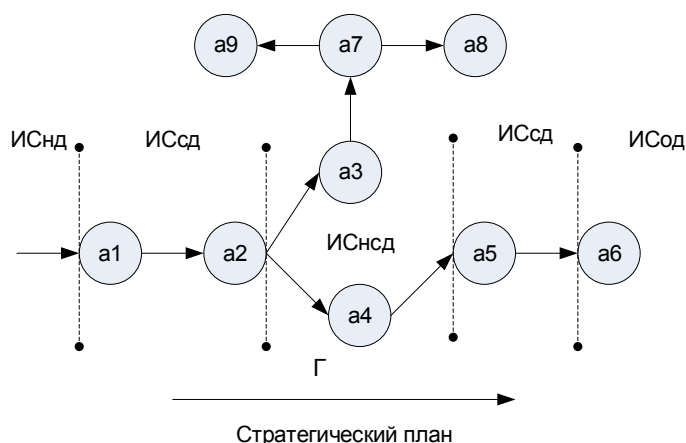


Рисунок 5. Консеквентный и ломаный алгоритмы.

Для консеквентного алгоритма, приведенного на рис.5 имеют место выражения.

$$a1 \rightarrow a2 \rightarrow a4 \rightarrow a5 \rightarrow a6, \quad (7)$$

$$\Gamma \sqsubset a6, \quad (8)$$

Для «ломаного» алгоритма, приведенного на рис.5 имеют место выражения.

$$a1 \rightarrow a2 \rightarrow a4 \rightarrow a7 \rightarrow (a8 \oplus a9), \quad (9)$$

$$\Gamma, a8 \sqsubset \emptyset, \quad (10)$$

$$\Gamma, a9 \sqsubset \emptyset, \quad (11)$$

Выражение (9) говорит о том, что при ломаном выводе конечная цель, поставленная стратегическим алгоритмом, не достигается. Выражения (10), (11) говорят о том, что при ломаном выводе любая конечная формула периферийного алгоритма не выводима из множества формул Γ стратегических задач

Особенность управления с выбором цели.

Управление с текущим выбором цели [22] является сложным видом управления, который в реальной практике управления транспортом встречается в сложных ситуациях. Управление с текущим выбором цели может служить характеристикой сложности управления транспортом. На рис.6 приведена упрощенная схема управления с выбором цели. На рис.6 символом ИС выделена информационная ситуация. Квадрат с символом ВЦ обозначает решатель или блок выбора цели в зависимости от текущей информационной ситуации. Узлы обозначены буквами (а). Особенностью схемы на рис.6 является то, что развилкам предшествует выбор цели. При этом в качестве цели может быть тупиковое решение, а не конечное.

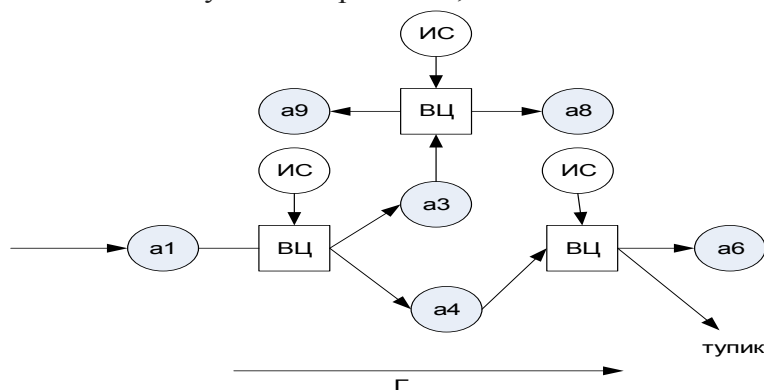


Рисунок 6. Управление с выбором цели

Характерным примером является изменения цели является ситуация при перевозке грузов, когда возникает пробка. Возможны решения в этой ситуации: поиск другого маршрута; отгрузка на другой склад, перегрузка на другое транспортное средство и так далее, что обуславливает изменения маршрута перевозки. Многоцелевое управление [22] использует множество альтернативных критериев и является многокритериальным. Это допускает качественно разные подходы выбора текущей цели.

В сложных ситуациях практикуется субсидиарное управление многоцелевое управление. Многоцелевым управлением называют управление, при котором имеется несколько возможных путей достижения цели и допускается самостоятельность объекта управления в выборе пути для достижения цели. Выбор пути для достижения цели осуществляют исходя из оперативной информационной ситуации.

Выбор пути для достижения цели, исходя из оперативной ситуации, означает изменение критерия оптимальности доставки в течение перевозки. Изменение критерия оптимальности означает смену приоритетов в первоначальном наборе альтернативных критериев. Тот критерий, который был наиболее важным, теряет свой приоритет и уступает место другому. В процессе управления в сложных ситуациях важными факторами, влияющими на отношение между алгоритмами являются: вариабельность а цели; нечеткость и неопределенность [24] информационных ситуаций. Возможен следующий подход к формализации этих факторов:

Цель моделируется на основе набора критериев как при решении задач дискретной оптимизации на комбинаторном пространстве допустимых решений;

Неопределенность моделируется либо теоретико-вероятностными моделями, либо представлением информационной ситуации как нечеткой ситуации.

Для решения задачи управления используется двух уровневая математическая модель. Математическая модель верхнего (стратегического) уровня строится на основе методов оптимизации, на базе стратегии управления подвижным объектом. Она задает центральный алгоритм. Математическая модель нижнего (операционного) уровня строится на основе методов реактивного взаимодействия подвижного объекта или методов информационного взаимодействия периферийного алгоритма с внешней средой в рамках реализации стратегии управления подвижным объектом. Она задает периферийный алгоритм. Двухуровневый подход предполагает организацию данных в виде дополняющих друг друга наборов моделей.

Для выбора целевых критериев при перевозке груза используют следующие показатели экстремальности: минимальное время доставки; минимальное расстояние доставки; минимальные затраты доставки; максимальная прибыль за счет перевозки; минимизация затрат на простои груза; минимизация риска перевозки особо ценного груза и т.д.

Поясним некоторые критерии. Минимальная стоимость доставки соответствует ситуации в городских условиях, при которой множество факторов, сдерживающих движение замедляют перевозку и повышают затраты на износ и простой транспорта. Критерий минимизация затрат на убытки из-за отсутствия груза соответствует информационной ситуации, когда на одном из складов истекают запасы и возможны убытки из-за отсутствия товаров на складе и не поступлению в торговые точки. Информационные ситуации, обуславливающие изменение важность критериев экстремальности, являются основой применения многоцелевого управления.

Внешняя среда всегда оказывает воздействия на транспортное средство. Воздействие

внешней среды можно разграничить по двум альтернативным критериям: существенное по выбору цели или несущественное по выбору цели. Существенным по выбору цели называют такое воздействие внешней среды, которое требует анализа целей на основе анализа ситуаций, изменению локальной цели управления и возможному изменению маршрута. Несущественным по выбору пути называют такое воздействие на объект, которое не требует изменения цели и маршрута.

При многоцелевом управлении используют понятия вектором многих целей и вектором локальной цели. Вектор многих целей (ВМЦ) – это фактор (векторный) стратегического управления, компонентами которого являются разные критерии и каждый из них имеет свой приоритет. Вектор локальной цели (ВЛЦ) – это вектор, компонентами которого являются ключевые показатели текущей информационной ситуации. Эти вектора в зависимости от текущей ситуации перемещения могут быть комплементарны [25, 26] или не комплементарны. При этом степень комплементарности может быть различна.

Векторное двухуровневое многоцелевое управление означает, что существует множество условий эффективности цели $\langle EC_i | T_i \rangle$ для центрального алгоритма и множество целей $|T_i\rangle$, а также множество условий эффективности для периферийного алгоритма $\langle EP_i |$. В данном случае используется скобочное обозначение для «ко» и «контр» - вариантных векторов, введенное П. Дираком [27].

Для двухуровневых систем можно говорить о трех видов оптимальности и управления: комплементарное, не комплементарное, противоречивое. В общем виде условие оптимальности многоцелевого управления имеет вид

$$\langle EC_i | T_i \rangle + \langle EP_i | T_i \rangle = I, \quad (12)$$

В выражении (12) I - функция полезности или критерий полезности. Производная от выражения (12) дает экстремальное значение I_0 .

Для комплементарного двухуровневого управления имеет место сохранение целей и критериев ценности целей

$$EC_i = k_i EP_i \quad (k_i < 1), \quad (13)$$

$$\langle EC_i (1+k_i) | T_i \rangle = I_k, \quad (14)$$

В выражении (14) I_k - функция полезности при комплементарности целей. При $(k_i < 1)$

$$\langle EC_i | T_i \rangle \approx I_k, \quad (15)$$

Выражение (15) есть унимодальная функция.

Для не комплементарного двухуровневого управления имеет место сохранение целей и различие в критериях ценности целей

$$EC_i \neq k_i EP_i, \quad (16)$$

$$\langle EC_i | T_i \rangle + \langle EP_i | T_i \rangle = I_{nk}, \quad (17)$$

В выражении (17) I_{nk} - функция полезности при не комплементарности целей. Выражение (17) есть бимодальная функция.

Для противоречивого двухуровневого управления имеет место различие целей (TP_i TC_i) и различие в критериях ценности целей

$$\langle EC_i | TC_i \rangle + \langle EP_i | TP_i \rangle = I_c + I_p, \quad (18)$$

В выражении (18) две функция полезности при противоречивости алгоритмов. Выражение (18) по опыту управления подвижными объектами в ситуации (4 рис.3) есть унимодальная функция. При этом $I_c < I_p$ при максимизации критерия полезности и $I_c > I_p$ при минимизации критерия полезности.

Если в параметры эффективности ввести время, то в этом случае от стационарной задачи оптимизации переходим к нестационарной оптимизации. Отсюда при перевозке грузов в сложных ситуациях необходимо учитывать все факторы. Рассматривая управление с выбором цели, следует отметить, что управление согласно выражению (13) требует решения задач первого рода. Управление согласно ситуации (18) требует решения задач второго рода.

Заключение.

Современное управление в сложных ситуациях требует применения двухуровневых алгоритмов управления. Двухуровневые алгоритмы управления подвижными объектами основаны на сочетании алгоритмов стратегического и оперативного управления, между которыми возможен разрыв. Для комплементарного управления существует полное согласование в действиях алгоритмов. Для противоречивого управления важным становится оперативный алгоритм. Управление в сложных ситуациях требует применения моделей информационной ситуации на разных этапах управления. Модели информационных ситуаций задают условия управления и критерии полезности. Таким образом, управление подвижными объектами в сложных условиях является ситуационным и комплексным. Особенность двух уровней алгоритмов состоит в том, что они не являются жесткими, и построены на системе правил взаимодействия. Это означает использование интеллектуального подхода и интеллектуализацию управления транспортом [28-30].

Список литературы

1. Кужелев П.Д. Принципы управления транспортом мегаполиса // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – 1(1). – С.27-33.
2. Козлов А.В. Многоцелевое управление транспортом мегаполиса// Наука и технологии железных дорог. – 2018. – 4(8). – С.40-47.
3. Кужелев П.Д. Комплексное управление мегаполисом // Государственный советник. – 2015. - №3. – С.14-18.
4. Цветков В.Я. Когнитивная логика // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении. - 2019. - № 1(11). – С.106-110.
5. Болбаков Р. Г. Основы когнитивного управления // Государственный советник. – 2015. - №1. – С.45-49.
6. Цветков В.Я. Когнитивные аспекты построения виртуальных образовательных моделей// Перспективы науки и образования. - 2013. -№3. – С.38-46.
7. Воронин Д. А. Модифицированный метод секвенциального анализа //В мире научных открытий. – 2011. – №. 3. – С. 258-266.
8. Тутов Е. Б., Грищенко И. Н., Шиховцева И. В. Некоторые аспекты формализации понятий секвенциального анализа //Национальная Ассоциация Ученых. – 2015. – №. 2-4. – С. 95-96.
9. Кудж С.А., Цветков В.Я. Логика и алгоритмы: Монография. – М.: МАКС Пресс, 2019. – 112с.
10. Рогов И. Е. Моделирование транспортных потоков // Наука и технологии железных дорог. – 2019. – 3(11). – С.26-38.
11. Андреева О.А. Мобильное пространственное управление // Славянский форум. -2019. – 4(26). - С.174-184.
12. Розенберг И.Н., Цветков В.Я. Семиотическое управление транспортными системами //

Славянский форум, 2015. - 2(8) - С.275-282.

13. Цветков В.Я. Модель геоданных для управления транспортом // Успехи современного естествознания. -2009. - №4. - С.50-51.

14. V. P. Savinykh and V. Ya. Tsvetkov. Geodata As a Systemic Information Resource. Herald of the Russian Academy of Sciences, 2014, Vol. 84, No. 5, pp. 365–368. DOI: 10.1134/S1019331614050049.

15. Tsvetkov V. Ya. Information Situation and Information Position as a Management Tool // European researcher. 2012, 12-1 (36), p.2166- 2170.

16. Цветков В.Я. Систематика информационных ситуаций // Перспективы науки и образования. - 2016. - №5 (23). - С.64-68.

17. Ожерельева Т.А. Информационная ситуация как инструмент управления // Славянский форум, 2016. -4(14). – С.176-181.

18. Коваленков Н.И. Ситуационное управление в сфере железнодорожного транспорта // Государственный советник. – 2015. - №2. – С.42-46.

19. Кужелев П.Д. Интеграция данных транспортных потоков мегаполиса // Славянский форум, 2015. - 3(9) - С.153-159.

20. Цветков В.Я. Развитие технологий управления // Государственный советник. – 2015. - №4(12). – С.5-10.

21. Цветков В.Я. Применение принципа субсидиарности в информационной экономике // Финансовый бизнес. -2012. - №6. - С.40-43.

22. Козлов А.В. Многоцелевое субсидиарное управление // Наука и технологии железных дорог. – 2019. – 2(10). – С.17-28.

23. Логинова А. С. Методы субсидиарного управления // Перспективы науки и образования. - 2015. - №3. - С.165-169.

24. Елсуков П.Ю. Информация, уменьшающая неопределенность и информация, увеличивающая содержательность // Образовательные ресурсы и технологии – 2017. -3 (20). – С.62-68.

25. Цветков В.Я. Комплементарность информационных ресурсов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. - 2016. - №2. – С.182-185.

26. Щенников А. Н. Комплементарное управление транспортными потоками мегаполиса // Наука и технологии железных дорог. – 2019. – 3(11). – С.17-25.

27. Дирак П. А. Принципы квантовой механики. – Наука, 1979.

28. Цветков В.Я. Интеллектуализация транспортной логистики // Железнодорожный транспорт. -2011. - №4. – С.38-40.

29. Пугачёв И. Н., Маркелов Г. Я. Интеллектуальное управление транспортными системами городов //Транспорт и сервис. – 2014. – №. 2. – С.58-66.

30. Гапанович В. А., Розенберг И. Н. Основные направления развития интеллектуального железнодорожного транспорта //Железнодорожный транспорт. – 2011. – №. 4. – С.5-11.

УДК: 519.113.115+681.3

ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ТРАСС

Ознамец В. В. к.т.н., профессор, зав. кафедрой, Московский государственный университет геодезии и картографии (МИИГАиК), E-mail: voznam@bk.ru, Москва, Россия

Аннотация. В статье раскрывается содержание методов геодезического обеспечения трасс. Детализируются следующие методы: геодезические, визуально-инструментальные, параметрические, виброметрические, геофизические и температурные. Исследования показывают необходимость использования моделирования как основы геодезического обеспечения, использования геоданных и геоинформатики для интеграции наблюдений и комплексной оценки состояния железнодорожных трасс. Результатом геодезического обеспечения железнодорожных трасс должны быть информационные и пространственные модели и наборы стереотипов ситуаций с готовыми решениями.

Ключевые слова: транспорт, железнодорожный путь, геодезическое обеспечение, геотехнический мониторинг, методы наблюдений, моделирование, интеграция.

GEODETIC SUPPORT OF RAILWAY LINES

Oznamets V. V. PhD, Professor, Head of the chair, Moscow State University of Geodesy and Cartography (MIIGAiK), E-mail: voznam@bk.ru, Moscow, Russia

Annotation. In the article is revealed the content of methods of geodetic support, the following methods are detailed: geodetic, visual-instrumental, parametric, vibrometric, geophysical and temperature. Studies show the need to use modeling as the basis of geodetic support. Studies show the need for the use of geodata and geoinformatics for the integration of observations and a comprehensive assessment of the state of railway lines. The result of geodetic support of railway lines should be information and spatial models and sets of stereotypes of situations with ready-made solutions.

Keywords: transport, railway, geodetic support, geotechnical monitoring, methods of observation, modeling, integration.

Введение.

Геодезическое обеспечение железнодорожных трасс является комплексом технологий и включает: техническое, базовое технологическое и специальное технологическое обеспечение [1-5]. Техническое геодезическое обеспечение включает набор технических средств, применяемых ранее и новых технических средств. Особенность этого обеспечения состоит в том, что результаты использования должны быть комплементарны [6-8] и не должны противоречить друг другу. Процесс модернизации технических средств является постоянным. Он приводит не только к повышению производительности, но и к появлению возможности решения новых задач. Это влечет необходимость научных исследований в области мониторинга трасс железных дорог и создания новых методов их контроля. Базовое технологическое

обеспечение в значительной степени опираются на геотехнический мониторинг [9], геомониторинг [10-16] и геоинформационный мониторинг. Базовое технологическое обеспечение включает не только мониторинг трассы, но и мониторинг окружающей среды [16-19], который не всегда является геотехническим мониторингом. Специальное технологическое обеспечение опирается на модели участков железных дорог, на существующие модели и технологии выправки пути.

Железная дорога является геотехническим объектом [20]. Мониторинг геотехнических объектов является частным видом геомониторинга и его называют геотехническим мониторингом [9, 21]. Мониторинг геотехнических объектов, в котором используют методы геоинформатики, называют геоинформационным мониторингом [22]. Особенность геоинформационного мониторинга в том, что методически он объединяет разные технологии сбора информации и разные данные в интегрированный комплекс. Это свойство геоинформационного мониторинга обусловлено тем, что в своей основе он использует интегрированную модель геоданных, представляющую системный ресурс [23]. Это делает геоинформационный мониторинг системной основой геодезического обеспечения трасс железных дорог. Геомониторинг и геотехнический мониторинг являются технологическими средствами геодезического обеспечения эксплуатации железнодорожных трасс.

Системное описание базового геодезического обеспечения железнодорожных трасс.

Базовое технологическое геодезическое обеспечение железнодорожных трасс задает перечень технических средств, применяемых при мониторинге и контроле трасс. Его можно анализировать как сложную систему и применять системный подход [24]. Базовое технологическое геодезическое обеспечение железнодорожных трасс определяет базовые принципы и методы определения геометрических и физических параметров трассы. Оно основными функциями включает оценку следующих параметров: контроль физического состояния трассы (Кфстр), контроль геометрического состояния трассы (Кгстр), контроль соответствия трассы нормативным требованиям (Кстрн), динамику процессов на трассе (Кдптр). Используя модель сложной системы [25] можно изобразить функцию базового технологического обеспечения железнодорожных трасс (БТГОЖТ) в виде выражения

$$\text{БГОЖТ1} = \Phi_1(\text{Кпр}, \text{Кстр}, \text{Кснстр}, \text{Кспз}, \text{Кврс}), \quad (1)$$

Выражение (1) включает ключевые или системные параметры наблюдения и первичной оценки. Дополнительно геодезическое обеспечение включает мониторинг окружающей среды трассы (Мостр) и прогнозную оценку состояния трассы (Кпстр).

$$\text{БГОЖТ2} = \Phi_2(\text{Мостр}, \text{ФФм}, \text{ИНм}, \text{МЖЦут}, \text{ДМстр}, \text{Кпстр}), \quad (2)$$

Выражение (2) включает параметры: ФФм – фактофиксирующие и интерпретирующие модели, ИНм – интерпретирующие модели, МЖЦут модель жизненного цикла участка трассы, ДМстр – динамическая модель состояния трассы, Кпстр – прогнозная оценка состояния трассы. Можно констатировать, что базовое технологическое геодезическое обеспечение железнодорожных трасс включает два этапа: этап сбора информации и расчета ключевых параметров (1); этап моделирования и получения оценок (2).

В любом геодезическом обеспечении выделяют общие параметры: поле наблюдения, объект

наблюдения, методы наблюдения. Поле наблюдения включает трассу и окружающую среду. Из поля наблюдения выделяют часть, которая существенно влияет на состояние объекта наблюдения, то есть на трассу. Эту часть поля моделируют с помощью специальной информационной модели, которую называют моделью информационной ситуации [26-28]. Информационная ситуация помогает описать и связать состояние трассы с наиболее важными факторами, влияющими на ее состояние. По этой причине в модель БГОЖТ2 входит расчет жизненного цикла, а не всей трассы и ее участков, поскольку жизненные циклы разных участков трассы различны. В первую очередь это касается криволинейных участков трассы, которые быстрее выходят из строя по сравнению с прямолинейными участками трасс.

Базовое технологическое геодезическое обеспечение железнодорожных трасс детализируют описанием функций геотехнического мониторинга, которые играют вспомогательную, но важную роль сбора информации. Функция геотехнического мониторинга описывается выражением:

$$\text{ФГТМ} = \text{ДПН}(t) + \text{ЦН}(t) + \text{КН} \quad (3)$$

В выражении (3): (ФГТМ) - функция геотехнического мониторинга, ДПН – периодические наблюдения с длительным периодом, ЦН - циклические наблюдения с коротким периодом, КН - конъюнктурные наблюдения. Геодезическое обеспечение являются более общими и включают в себя геотехнический мониторинг. Функция КН не зависит от времени и осуществляется по требованию, например, в случае чрезвычайных ситуаций.

Геодезическое обеспечение включает накопление опыта и решение научных задач. Научная компонента геодезического обеспечения включает два направления. Первое направление связано с совершенствованием технологий и методов измерений. Второе направление научной компоненты геодезического обеспечения представляет собой инновационные исследования. Это задает особенность геодезического обеспечения - интеграцию с другими научными направлениями.

Методы технологического геодезического обеспечения железнодорожных трасс.

Методы технологического геодезического обеспечения железнодорожных трасс являются одинаковыми для базового и специального технологического обеспечения. При геодезическом обеспечении железнодорожных трасс применяют геодезические методы, визуальные методы, параметрические методы, виброметрические методы, геофизические методы, температурные методы. Основными являются геодезические методы наблюдений.

Геодезические методы наблюдений [29] используют для измерения вертикальных и горизонтальных перемещений искусственных сооружений, земной поверхности, грунтового массива по глубине. Геодезические методы основаны на применении широкого спектра геодезических приборов - нивелиров, теодолитов, тахеометров, сканеров (в том числе оптических, электронных, лазерных и др.) и приемников ГНСС. При осуществлении циклических и разовых наблюдений геодезическими методами измеряют следующие параметры:

- вертикальные смещения: осадки, вертикальные сдвиги, просадки, подъемы, прогибы участков железных дорог;
- горизонтальные перемещения участков железных дорог.
- наклоны (крены) объектов железнодорожной инфраструктуры.

Дополнительно к штатным наблюдениям геодезическое обеспечение включает следующие

виды работ:

- определение участков железнодорожной трассы, подверженных наибольшим отклонениям от первоначального положения;
- выявление величины и направления деформационных процессов;
- выявление закономерностей, позволяющих спрогнозировать дальнейшее развитие деформационных процессов.

Применение геодезических методов производят согласно требованиям ГОСТ 24846-2012.

Визуальный метод геодезического обеспечения. Визуальный или визуально-инструментальный метод состоит из оптических наблюдений [27] и инструментальных измерений. Визуально-инструментальный метод позволяет вести наблюдения за сооружениями инфраструктуры, поверхностью прилегающего грунта, включая трассы железных дорог.

Перечень используемых геодезических методов и приборов выбирают в зависимости от требуемой точности измерений, особенностей контролируемых объектов, а также характеристик грунтов. Необходимо, исходя из исходных данных, определить периодичность проведения измерений. Дополнительно необходимо получить следующую информацию:

- сведения о наличии пунктов государственной геодезической сети, а также знаков, установленных для целей строительства;
- данные о системе координат и высотных отметок;
- сведения о ранее выполненных работах по определению деформаций железнодорожной трассы и связь их с последующими работами;
- описание мест закладки геодезических знаков, обоснование выбора типа знаков;
- предварительную схему реперной сети, точность определения деформаций;
- методы измерений горизонтальных и вертикальных перемещений, применяемые инструменты.

Камеральную обработку результатов геодезических измерений (проверка полевых журналов, уравнивание ходов, расчёты по оценке точности и подготовка материалов для отчетной документации) выполняют отдельно по каждому циклу.

Параметрический метод наблюдения трасс железных дорог.

К параметрическим методам [28] геодезического обеспечения относится:

- скважинная инклинометрия (определение поперечных смещений измерительных точек вдоль линейного профиля);
- скважинная экстензометрия (определение продольных смещений измерительных точек относительно линейного профиля);
- тензометрические измерения (фиксация деформаций в основании под подошвой фундамента, под пятой сваи, в несущих конструкциях и др. с применением тензометров);
- измерения давления (грунтового массива, на контакте конструкции с основанием, поровое давление подземных вод);
- измерения усилий (в анкерных креплениях ограждающих и подпорных конструкциях, свайных фундаментах).

Параметрические методы геодезического обеспечения основываются на количественном и качественном определении свойств Окружающей среды трассы железной дороги. На основе совокупности измеренных параметров строят фактофиксирующие модели [29] окружающей среды, которые позволяют количественно и качественно оценить состояние участка трассы

железной дороги. При параметрических методах измеряют абсолютные значения параметров и оценивают их изменение во времени. Контроль отдельных параметров проводят с использованием информационно-измерительных систем [30] и датчиков, устанавливаемых в заранее определенные контрольные точки.

При измерениях напряжений в арматуре и бетоне следует использовать закладные точечные тензодатчики (струнные, электрические, оптоволоконные). Датчики следует устанавливать на различных высотных отметках ограждающей конструкции с шагом не более 5 метров. Результаты измерений группы датчиков, объединенных в измерительное сечение, должны анализироваться совместно.

При измерениях напряжений в стальных распорных элементах объекта следует применять накладные точечные тензодатчики (струнные, электрические, оптоволоконные). Измерительные датчики устанавливаются группами (4 датчика, расположенные ортогонально по окружности) в центральной части распорного элемента. Количество контролируемых распорных элементов, а также предельно допустимые значения относительных деформаций устанавливаются в программе мониторинга на основе результатов расчетов распорной системы котлована.

Допускается интеграции измерительных датчиков или измерительных систем, устанавливаемых в несущих конструкциях и грунтах объектов транспортной инфраструктуры.

Измерительные датчики и приборы должны обладать необходимой надежностью, чтобы эффективно выполнять свои функции в течение всего жизненного цикла наблюдений, с учетом воздействия окружающей среды.

При геодезическом обеспечении необходимо предусмотреть меры для снижения влияния внешних факторов на результаты измерений: применение датчиков с автоматической компенсацией температурных воздействий и перепадов атмосферного давления, с защитой от перепадов напряжения; применение материалов с низким коэффициентом теплового расширения, высокой коррозионной стойкостью. На основе проведенных измерений и их анализа строят интерпретирующие модели [29, 31-33]. Именно интерпретирующие модели дают более полную информацию о состоянии трассы.

Виброметрический метод геодезического обеспечения.

Виброметрический метод [34] геодезического обеспечения осуществляет контроль допустимого уровня вибраций рельс и объектов инфраструктуры. При оценке допустимости вибраций следует исходить из обеспечения: эксплуатационной надежности пути и штатного функционирования виброчувствительного железнодорожного оборудования.

В состав работ по виброметрическому геотехническому мониторингу входят системно организованные инструментальные наблюдения за вибрациями и их контроль, выполняемые в соответствии с программой геотехнического мониторинга. Вибрационные обследования проводят в целях получения фактических данных об уровнях вибраций грунта и конструкций фундаментов сооружений при наличии динамических воздействий от: стационарного оборудования, установленного или планируемого к установке внутри или вблизи сооружения; автомобильного и железнодорожного транспорта и метрополитена; строительного оборудования; взрывные работы и т.д.

Геофизический метод геодезического обеспечения.

Геофизические измерения [35] на трассах железных дорог предназначены для фиксации и оценивания изменений состояния окружающей среды. Эти изменения зависят от техногенных

или природных факторов. Геофизический метод геодезического обеспечения применяют в условиях ограниченной возможностей использования прямых методов измерений.

По результатам геофизических наблюдений оценивают пространственно-временные изменения напряженно-деформированного состояния (НДС) грунтов оснований, а также изменения особенностей их залегания в массиве (зоны разуплотнения, обводнения и прочее). В современной интерпретации это означает сбор геоданных, которые включают пространственно-временные и специальные характеристики. Геофизические наблюдения могут выполняться: в основаниях и строительных конструкциях подземных частей возводимых сооружений, в т.ч. окружающей застройки; на участках развития опасных геомеханических процессов (оползни, карст, подтопление и т.п.).

Температурный метод контроля трасс железных дорог.

Температурные наблюдения в районах трасс железных дорог выполняются для получения информации о температуре грунтов на различной глубине. Температурные наблюдения трасс железных дорог должны включать информационное моделирование и нахождение закономерностей в развитии температурных процессов.

Измерения температуры грунтов проводят в заранее подготовленных и выстоянных термометрических скважинах. Измерения выполняют термоизмерительными комплектами, представляющими собой «заленивленные» ртутные термометры или электрические датчики температуры с соответствующей измерительной аппаратурой. Также используют устройства для накопления информации (логгеры) [36]. Оборудование термометрических скважин, а также требования к измерительному оборудованию должно соответствовать требованиям ГОСТ 25358-2012.

Специальное геодезическое обеспечение железнодорожных трасс.

Разделяют [3] *трассирование* - комплекс работ для выноса линейного сооружения (трассы) на местности и *позиционирование* - комплекс работ для определения положения существующего линейного сооружения на местности. Технологии применения ГНСС являются эффективным средством для определения пространственных координат любых объектов на земной поверхности, то есть для позиционирования. Координаты, полученные с помощью измерений, трансформируются в нужную систему координат и экспортируются в информационную систему.

Применение технологий ГНСС дает возможность построения цифровой модели трассы, которая имеет множество разновидностей. В частности, это касается построения цифровой модели оси пути (ЦМП), которая может применяться для решения широкого круга задач: начиная от управления движения и заканчивая контролем геометрического положения пути.

Цифровые модели линейных сооружений (ЦМЛС) [37, 38] характеризуются большим объемом измерений и установки постоянных знаков на ограниченных территориях. При их создании применяют *каркасные* сети, служащие основой и *заполняющие* сети, используемые для определения координат основной массы пунктов ЦМЛС. Для различных задач требуется различная точность построения ЦМП. Наибольшей точности определения координат требует контроль геометрических параметров пути. Построение подобных систем является построением геодезических сетей специального назначения. Их создают в два этапа:

- создание каркасной опорной сети;
- создание сети сгущения, охватывающей все интересующие точки.

Применительно к железнодорожному транспорту в качестве опорных сетей могут

использоваться каркасные сети реперных систем или создаваться сети им подобные. Каркасные сети реперных систем представляют собой цепь точек, расположенных вдоль железной дороги на расстоянии 2-5 км друг от друга. Координаты этих точек определяют с помощью ГНСС-аппаратуры [39] с высокой точностью (на порядок превосходящей необходимую точность определения точек сети сгущения).

После построения опорной сети можно переходить к определению координат точек пути. Эти определения можно проводить с помощью спутниковой аппаратуры в режиме кинематики относительно опорных точек (рис.1).

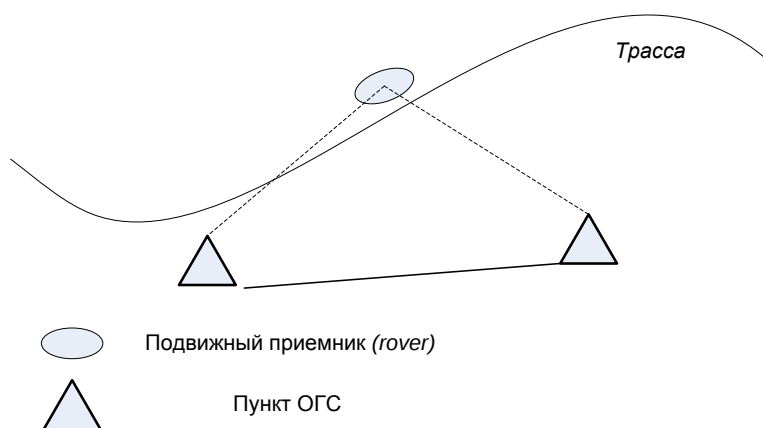


Рисунок 1. Координирование пути спутниковой аппаратурой

При этом антенну подвижного приемника мы можем закрепить на вехе и перемещать, центрируя над головкой рельса вручную (для небольших участков) или закрепляя на тележке (дрезине). При перемещении вехи вручную, она приводится в отвесное (соответствующее отвесной линии в данной точке) положение по уровню. В случае закрепления ее на тележке необходимо учитывать наклон вехи, вызванный наличием кривых в плане и профиле. Необходимо привести результаты съёмки кривой к единой форме представления. Естественным кажется получение координат точек трассы в декартовых прямоугольных координатах. Однако в практике железнодорожного транспорта решение почти всегда сводят к вычислению длин эвольвент точек кривой. Поскольку снимаемая кривая обычно делится на одинаковые интервалы, то наиболее простое решение задачи получают на основе теории разностных схем. Обычно получают решение разностной задачи при некотором наборе краевых условий.

Съемка железнодорожного пути выполняется для поиска информационного соответствия между фактическим планом пути и проектным планом. Съемка пути выполняется также для определения величин необходимых рихтовок пути для его исправления. В местах поворота трассы, на закруглениях пути, называемых кривыми, решение задачи состоит из трех частей: съемка существующей кривой, назначение параметров исправленной кривой и вычисление величин рихтовок.

Съемку кривой чаще всего выполняют измерением стрел изгиба рельсовой нити. При подготовке к съемке кривую и примыкающие к ней отрезки прямых длиной 30-40 м по наружной рельсовой нити разбивают с помощью измерительных приборов на 10-метровые отрезки (h_i), а при радиусе кривой менее 400 м – на 5-метровые отрезки (h_i) (рис.2).

Схема на рис.2 представляет собой пример пространственной информационной ситуации и может сохраняться как информационная модель, стереотип или паттерн. Следует отметить, что

специальное геодезическое обеспечение железнодорожных трасс еще в большей мере требует накопления опыта, чем базовое геодезическое обеспечение.

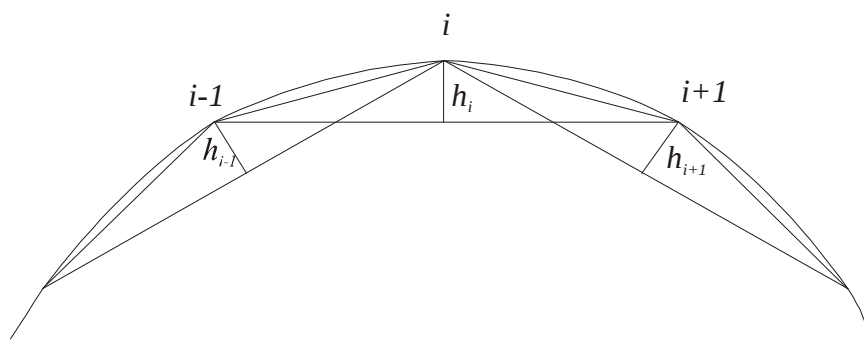


Рисунок 2. Съёмка кривой измерением стрел изгиба.

Полученные при разбивке точки отмечают на внутренней стороне шейки рельса. Достоинством метода является его простота и наглядность. Представление кривой линии некруговой формы участка трассы должно быть представлено одинаковыми отрезками. Недостатком метода является накопление ошибок измерений от начала кривой к ее концу, делающее ненадежными определяемые значения рихтовок положения рельсов. Дополнение измерений стрел изгиба определением координат точек автономными методами определения координат, например, спутниковыми определениями, служит устранению указанного недостатка. При этом ввиду избыточности числа измерений при их математической обработке возникает необходимость уравнивания.

Таким образом, специальные методы геодезического обеспечения железнодорожных трасс связаны со специальными расчетами и специальными геометрическими моделями. Они требуют уравнивания геодезических измерений. Их объединяет информационное моделирование [40] и геоинформационное моделирование [41. 42] информационные модели.

Заключение.

Анализ проведенных исследований показывает, что при наблюдениях и геотехническом мониторинге пути необходимо использовать модели информационной ситуации и накапливать стереотипы таких ситуаций совместно с методами решения задач правки пути. Обеспечение эксплуатационной надежности железнодорожных трасс достигается за счет своевременного выявления изменения контролируемых параметров и построения комплексной модели состояния пути. Задачей геодезического обеспечения является не только выявление изменений состояния пути, которые могут привести к переходу пути в ограниченно работоспособное состояние, но разработка корректирующих величин для приведения пути в нормативное состояние. Анализ показал, что геодезическое обеспечение железнодорожных трасс представляет собой комплекс разных технологий. Общим для разных технологий является применение геоанных, методов моделирования, методов информационного моделирования, геоинформационного моделирования, информационных и геоинформационных моделей. Моделирование и модели являются итогом современного геодезического обеспечения. Эффективность применения геодезического обеспечения определяется возможностью и необходимостью интеграции разных моделей в единую модель. Основой для создания интегрированной системы геодезического обеспечения являются методы геоинформатики.

Следовательно, современная организация геодезического обеспечения железнодорожных трасс должна опираться на методы геоинформатики и на методы ГНСС.

Список литературы

1. Брынь М. Я., Никитчин А. А., Толстов Е. Г. Геодезический мониторинг объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта спутниковыми методами // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. – 2010. – №. 4 (29). – С.58-60.
2. Ознамец В. В. Геодезическое обеспечение транспортной сферы // Славянский форум. - 2018. – 2(20). - С.50-56.
3. Куприянов А.О Геодезическое обеспечение при строительстве трассы туннелей // Науки о Земле" № 1-2013 – С.32-38.
4. Булгаков С.В. Развитие методов геодезического обеспечения железной дороги // Наука и технологии железных дорог. – 2018. – 2(6). – С.25-35.
5. Ознамец В.В. Геодезическое обеспечение цифровой железной дороги // Наука и технологии железных дорог. – 2018. – 3(7). – С.64-70.
6. Цветков В.Я. Комплементарность информационных ресурсов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. - 2016. - №2. – С.182-185.
7. Розенберг И.Н. Сложность и комплементарность // Перспективы науки и образования. - 2016. - №5. - С.7-10.
8. Щенников А.Н. Неопределенность и комплементарность // Славянский форум. -2018. – 4 (22). - С.85-90.
9. Цветков В.Я. Геоинформационный геотехнический мониторинг // Науки о Земле. - 2012. - №4. - С.054-058.
10. Ильичев В. А., Коновалов П. А., Никифорова Н. С. Особенности геомониторинга при возведении подземных сооружений в условиях тесной городской застройки // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1999. – №. 4. – С. 20-26.
11. Ознамец В.В., Цветков В.Я. Геомониторинг: Монография. – М.: МАКС Пресс, 2018. – 112 с.
12. Bernard R., Pacovsky J., Zemánek I. Geo-monitoring performed during the construction of the Valík highway tunnels //Tunnelling and Underground Space Technology. – 2006. – Т. 21. – №. 3-4.
13. Маркелов В.М., Цветков В. Я. Геомониторинг// Славянский форум, 2015. - 2(8) - с.177-184.
14. Мальцев А. В., Астафьева Н. С., Булавкина Ю. В. Значение геомониторинга при новом строительстве и реконструкции //Региональное развитие: электронный научно-практический журнал. – 2014. – №. 3-4.
15. Sharapov R., Kuzichkin O. The polarizing characteristics of electrolocation signals and their analysis in geomonitoring system //International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM: Surveying Geology & mining Ecology Management. – 2013. – V. 2. – С. 913.
16. Зятькова Л. К., Лесных И. В. Геомониторинг природной среды. – Сиб. гос. геодез. акад.(СГГА), 2004.
17. Королев В.А. Мониторинг геологической среды. - М.: МГУ, 1995. - 270 с.
18. Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды. - Л.: Гидрометеиздат, 1984 -560 с.

19. Епишин В.К., Трофимов В.Т. Особенности взаимодействия геологической среды и инженерных сооружений // Теоретические основы инженерной геологии. Социально-экономические аспекты/ под ред. Акад. Е.М. Сергеева. - М.: Недра, 1985 - С. 32 - 36.
20. Цветков В.Я., Кужелев П.Д. Железная дорога как геотехническая система //Успехи современного естествознания. -2009. - №4. - С. 52.
21. Шереметов И. М., Курдюк А. Ю. Геотехнический мониторинг основания зданий и сооружений Астраханского кремля //Геология, география и глобальная энергия. – 2011. – №. 4. – С. 8-14.
22. Цветков В.Я. Геоинформационный мониторинг //Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. - 2005.- №5. - С.151 -155.
23. V. P. Savinykh and V. Ya. Tsvetkov. Geodata As a Systemic Information Resource. Herald of the Russian Academy of Sciences, 2014, Vol. 84, No. 5, pp. 365–368.
24. Цветков В.Я., Ознамец В.В., Филатов В.Н. Геодезическое обеспечение как сложная система // Информация и космос. 2019.- №2. – С.88-92.
25. Цветков В.Я. Теория систем: Монография. – М.: МАКС Пресс, 2018. – 88 с. ISBN 978-5-317-05718-3.
26. Tsvetkov V. Ya. Information Situation and Information Position as a Management Tool // European researcher. 2012, 12-1 (36), p.2166- 2170.
27. Павлов А.И. Пространственная информационная ситуация // Славянский форум, 2016. - 4(14). – С.198-203.
28. Лотоцкий В.Л. Информационная ситуация и информационная конструкция // Славянский форум. - 2017. -2(16). – С.39-44.
29. Бородко А.В., Бугаевский Л.М., Верещака Т.В., Запрягаева Л.А., Иванова Л.Г., Книжников Ю.Ф., Савиных В.П., Спиридонов А.И., Филатов В.Н., Цветков В.Я. ГЕОДЕЗИЯ, КАРТОГРАФИЯ, ГЕОИНФОРМАТИКА, КАДАСТР. Энциклопедия. В 2 томах. / Под редакцией А.В. Бородко, В.П. Савиных. - Москва, 2008. Том I А-М.
30. Молотов И. Е. и др. Научная сеть оптических инструментов для астрометрических и фотометрических наблюдений //Известия Главной астрономической обсерватории в Пулкове. – 2009. – Т. 219. – №. 1. – С. 233-248.
31. Меньшиков С. С. Методы параметрической диагностики грунтовых насосов систем гидротранспорта //Обогащение руд. – 2012. – №. 2. – С. 37-39.
32. Цветков В.Я. Фактофиксирующие и интерпретирующие модели // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. - 2016. - №9-3. – С.487-487.
33. Цветков В.Я. Информационно измерительные системы и технологии в геоинформатике. - М.: МАКС Пресс, 2016. - 94с.
34. Чехарин Е. Е. Интерпретация в информационном поле // Славянский форум. -2018. – 2(20). - С.110-117.
35. Чехарин Е.Е. Методы и алгоритмы информационной интерпретации // Образовательные ресурсы и технологии. – 2016. - №5 (17). – С.39-49.
36. Чехарин Е.Е. Метод информационной интерпретации // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении. 2018. № 1. С. 62–71.
37. Роготнева А. М., Трифанов М. Г. Исследование виброметрического метода контроля состояния армировки шахтных стволов //Научные исследования и инновации. – 2010. – Т. 4. – №. 1. – С. 95-99.

38. Ельцов И. Н. и др. Интерпретация геофизических измерений в скважинах с учетом гидродинамических и геомеханических процессов в зоне проникновения // Доклады Академии наук. – Федеральное государственное бюджетное учреждение " Российская академия наук", 2012. – Т. 445. – №. 6. – С. 677-677.

39. Белов А. В., Ананьев И. П. Многоканальные логгеры для сбора измерительной информации в полевых опытах //Инструментальные средства и методы в агрофизике. – 2007. – С. 80-90.

40. Ознамец В.В. Геодезическое обеспечение формирования охранных зон линейных объектов// Славянский форум. -2018. – 1(19). - С.42-48.

41. Куприянов А. О. Цифровое моделирование при подземных геодезических работах // Образовательные ресурсы и технологии. – 2015. - №4 (12). – С.57-65.

42. Куприянов А.О., Цветков В.Я. Применение ГНСС в прикладной геоинформатике // Образовательные ресурсы и технологии. – 2016. - 1 (13). – С.135-144.

43. Охотников А. Л. , Павловский А.А. Информационное моделирование при ведении кадастра транспортной инфраструктуры // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – 4(4). – С.34-44.

44. Розенберг И.Н. Геоинформационное моделирование как фундаментальный метод познания // Перспективы науки и образования. - 2016. - №3. - С.12-15.

45. Маркелов В.М. Геоинформационное ситуационное моделирование // Науки о Земле. - №4-2012.- С.72-76.

УДК: 528.9; 004.94

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ЕДИНИЦЫ В МОДЕЛИРОВАНИИ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

- Андреева О.А.** Заместитель генерального директора, АО «Транспутьстрой», E-mail: andreeva_olga@inbox.ru, Москва, Россия
- Аннотация.** Объекты транспортной инфраструктуры в процессе эксплуатации требуют проведения пространственного мониторинга или геомониторинга. Вынос в натуру проектов новых объектов транспортной инфраструктуры также требует пространственного сопровождения или геодезического обеспечения. Перепроектировка объектов также требует измерения их габаритов методами геодезии, фотограмметрии или применения мобильного лазерного сканирования. Все перечисленные технологии требуют построения пространственных моделей и проведения пространственного моделирования. Сложные пространственные модели состоят из более простых, которые состоят из элементарных моделей. Элементарные модели и есть информационные единицы. Статья исследует информационные единицы как основу моделирования объектов транспортной инфраструктуры.
- Ключевые слова:** транспорт, пространственная информация, пространственный анализ, геоинформатика, геоинформационное моделирование, геоинформатика транспорта, трехмерное моделирование.

INFORMATION UNITS IN MODELING TRANSPORT INFRASTRUCTURE

- Andreeva O.A.** Deputy Head, JSC «Transputstroy», E-mail: andreeva_olga@inbox.ru, Moscow, Russia
- Annotation.** Transport infrastructure during operation require spatial monitoring or geomonitoring. The removal of new transport infrastructure facilities to the nature of projects also requires spatial support or geodetic support. Redesigning objects also requires measuring their dimensions using geodesy, photogrammetry, or the use of mobile laser scanning. All of these technologies require the construction of spatial models and spatial modeling. Complex spatial models consist of simpler ones that consist of elementary models. Elementary models are information units. The article explores information units as the basis for modeling transport infrastructure facilities.
- Keywords:** transport, spatial information, spatial analysis, geoinformatics, geoinformation modeling, geoinformatics of transport, three-dimensional modeling.

Введение.

Современное пространственное моделирование объектов транспортной инфраструктуры применяет методы геодезии, геоинформатики и технологии мобильного лазерного сканирования (МЛС). Технологии МЛС являются синтезом фотограмметрических и

геодезических технологий [1]. Широкое применение геоинформатики для решения задач транспорта привело к появлению специального направления в геоинформатике – геоинформатика транспорта. В геоинформатике транспорта [2] применяют разные виды моделирования: геоинформационное моделирование [3, 4], пространственное моделирование, информационное моделирование [5], цифровое моделирование [6, 7], геометрическое моделирование, когнитивное пространственное моделирование [8], визуальное моделирование [9] и виртуальное моделирование [10], семантическое моделирование [11] и другие виды.

Большинство из этих видов моделирования могут использоваться при моделировании и проектировании объектов транспортной инфраструктуры. В геоинформатике основным видом есть моделирования является геоинформационное моделирование. При мониторинге и правке железнодорожного пути основным видом моделирования является геометрическое моделирование. Объединение этих видов моделирования осуществляется на основе применения информационных единиц. Объединение геоинформационного моделирования и геометрического моделирования осуществляется с помощью общей технологии пространственного моделирования [12]. Пространственное моделирование состоит в построении пространственных моделей, последующем их преобразовании и применении для решения прикладных задач. Оно также использует информационные единицы.

Применение информационных единиц.

Применение информационных единиц широко практикуется при проектировании и наблюдении линейных объектов транспортной инфраструктуры. Модели объектов транспортной инфраструктуры принадлежат к трем классам пространственных объектов: точечным, линейным, площадным. Эти классы приняты в картографии и геоинформатики и обеспечивают совместимость пространственного моделирования с картографическим представлением. Плоскостные линейные объекты моделируются в виде прямых, кривых и полилиний. Такие модели имеют следующие геометрические характеристики: протяженность, ширина (для объектов постоянной ширины), ширина начальной и конечной точек, тип линии, координаты начальных, конечных и промежуточных точек. Такие модели, как правило, являются составными и состоят из более простых моделей. Самые простые модели являются информационными единицами [13-15]. Таким образом информационные единицы являются основой моделирования, основой сравнения разных моделей и основой сравнительного анализа разных моделей.

Идея использования информационных единиц восходит к лингвистике, логике и программированию. Любой язык: язык логики, язык карт [16], язык информатики [17] или язык пространственной агрегации [18] - использует алфавит как набор информационных единиц. Информационные единицы играют роль систематизации описания любой области. Информационные единицы задаются не сами по себе, а совместно с синтаксисом их применения. Основным типом информационных единиц является слово. В лингвистике применяют символ, слово и предложение. Символ входит в слово, слово входит в предложение. Существует понятие машинное слово, которое является информационной единицей обработки информации. В логике простейшей информационной единицей является логическая связка. Более сложной информационной единицей, аналогом предложения, является логическая формула. Аналогом «слова» - в лингвистике - в логике является «подформула». При обработке изображений элементарной информационной единицей является пиксель. Более сложной информационной единицей является паттерн, тайл, шаблон, пиктограмма, иконический символ.

В проектировании и в геоинформатике информационными единицами являются графические примитивы: линия, треугольник, прямоугольник. Треугольник является пространственным симплексом. Информационные взаимодействия [19] также используют информационные единицы. В теории вычислений используют информационные единицы: процесс, шаг, цикл. Информационные единицы могут быть описательными – дескриптивными и процессуальными [20] – прескриптивными. Информационные единицы в картографии образованы наборами условных картографических знаков. В топологии информационными единицами являются вершины и ребра. В теории систем применяют неделимые части элементы, которые являются примером информационных единиц. В теории информационного поля [] информационные единицы выступают как элементы информационного поля. Таким образом во многих научных направлениях де-факто применяют информационные единицы, хотя до настоящего времени не разработана их общая теория. Объекты транспортной инфраструктуры также состоят из информационных единиц. Пространственное моделирование использует модели информационных единиц.

Формализм пространственного моделирования.

Основой моделирования объектов транспортной инфраструктуры является пространственное моделирование и пространственный анализ. Основу классификации объектов реального мира задают формальная и содержательная классификации [21]. Обе классификации являются формализованными описаниями. Но содержательная классификация опирается на закономерности реального мира, а формальная классификация использует системы классификации, придумываемые человеком. Основу формализации пространственного моделирования составляют: элементы теории множеств, законы формальной логики, законы геометрии, законы алгебры, лингвистики и др. Объектами пространственного моделирования являются пространственные объекты и пространственные явления. Результатом пространственного моделирования являются пространственные модели: точечные, линейные, ареальные, трехмерные.

При моделировании модель формируют описываются с помощью специального аппарата. Такое описание называют формализованным. Оно служит для сопоставления и анализа исследуемых элементов явлений и их взаимосвязей. Пространственное моделирование является технологическим. В отличие от чисто теоретических методов моделирования оно взаимодействует с технологиями: измерений, предобработки, коррекции данных, технологиями базы данных, технологиями ГИС. При технологическом моделировании имеется совокупность объектов, одни из которых являются объектами моделирования, другие - нет. Поэтому для пространственного моделирования выделяют объект моделирования среди других, не участвующих в процессе моделирования. Данная процедура называется *селекцией* объекта моделирования. Для формального описания обозначают выделенный объект символами AP , а счетное множество других объектов символом O .

$$AP \in O$$

При пространственном моделировании часто применяют шаблон S , Модифицируемый объект на основе исходного объекта AP обозначают символом M . В рамках такого формального подхода процедуры пространственного моделирования имеют различные виды, приводимые ниже. Выражения (1-3) описывают линейные объекты.

$$AP \wedge R1 \rightarrow M, \quad (1)$$

$$AP \wedge R2 \wedge S \rightarrow MS, \quad (2)$$

$$Iu1 \wedge Iu2 \wedge \dots IuN \wedge R3 \rightarrow M(Iu), \quad (3)$$

Выражение (1) означает что на основе модели исходного объекта AP и пространственных отношений $R1$ формируют модель нового объекта M . Выражение (2) означает что на основе модели исходного объекта AP и модели шаблона, а также пространственных отношений $R2$ между ними формируют модель нового объекта MS . Выражение (3) означает что на основе полного набора информационных единиц Iu и пространственных отношений $R3$ между ними формируют модель нового объекта $M(Iu)$, включающего информационные единицы как элементы структуры. Таким образом применение информационных единиц позволяет задавать структуру объекта. Для линейных объектов характерно индивидуальное моделирование, в силу чего для этого применяют аппарат математической логики и математические операторы.

Линейные объекты транспортной инфраструктуры занимают важное значение. Это железнодорожные пути, контактная сеть, ЛЭП, а также автодороги. Эти объекты отображают линейные геоинформационные модели. Линейные геоинформационные модели имеют следующие атрибутивные характеристики: пропускная способность, загруженность, допустимая максимальная скорость, связанность с другими объектами, оценка риска, экономическое значение, региональное значение, объем перевозок, срок эксплуатации, износ. В геоинформатике первая группа характеристики называется метрической, вторая - атрибутивной [22]. Таким образом, возможности пространственного моделирования полностью подходят под решение задач проектирования линейных объектов транспортной инфраструктуры.

Для площадных моделей удобной формой описания является теоретико-множественный формализм. Ареальный объект представляет собой естественное отражение множества. Описание такого моделирования приведено в выражениях (4-7)

$$AA1 \cup AA2, = Mu, \quad (4)$$

$$AA1 \cap AA2, = Mi, \quad (5)$$

$$AA1 - AA2, = M, \quad (6)$$

$$Ilu1 \wedge Ilu2 \wedge \dots IluN \wedge R4 \rightarrow M(Ilu), \quad (7)$$

Выражение (4) означает что на основе ареальной модели объекта $AA1$ и основе ареальной модели объекта $AA2$ формируют модель нового объекта Mu как объединение исходных моделей. Количество исходных моделей не ограничено. Выражение (5) означает, что на основе ареальной модели объекта $AA1$ и основе ареальной модели объекта $AA2$ формируют модель нового объекта Mi как пересечение исходных моделей. Количество исходных моделей не ограничено. Выражение (6) означает, что на основе ареальной модели объекта $AA1$ и основе ареальной модели объекта $AA2$ формируют модель нового объекта M как разность исходных моделей. Выражение (7) означает, что на основе полного набора информационных ареальных единиц Ilu и пространственных отношений $R4$ между ними формируют модель нового объекта $M(Ilu)$, включающего информационные ареальные единицы как элементы структуры. Применение ареальных информационных единиц позволяет задавать структуру ареального объекта.

Для трехмерных моделей удобной формой описания является трехмерный формализм

$$IIIu1 \wedge IIIu2 \wedge \dots IIIuN \wedge R5 \rightarrow M3D(IIIu), \quad (8)$$

Выражение (8) означает, что на основе полного набора информационных трехмерных единиц

III_u и пространственных отношений $R5$ между ними формируют модель нового трехмерного объекта $M3D(III_u)$, включающего информационные трехмерные единицы как элементы структуры. Применение трехмерных информационных единиц позволяет задавать структуру трехмерного объекта

Объединение объектов. Наиболее распространенной процедурой построения моделей пространственных объектов является их объединение на основе частей (паттернов), или информационных единиц. Эту процедуру удобно использовать, когда один из объектов является определяющим, например, материковую часть государства и острова, относящиеся к нему, в одну территорию. Этот вид моделирования описывается теоретико множественным отношением объединения и не представляет сложности при его компьютерной реализации

$$A1 \cup A2 \cup A_i \cup A_k \rightarrow M_u$$

где k - число исходных объектов, участвующих в объединении.

В результате такого вида моделирования создается новый объект M_u и определяются, соответствующие ему метрические и атрибутивные данные. На рис.1 показано объединение трех объектов $A1, A2, A3$ в объект M .



Рисунок 1. Построение модели на основе объединения частей

Выделение нескольких объектов из одного. Процедура выделения объектов называется в теории моделирования [23] экземплярией. Она является обратной процедуре объединения. Она позволяет разбить изменяемый объект на более мелкие объекты. При этом возможны два варианта. Первый вариант основан на использовании отношения признаковой принадлежности элементов множества к своим подмножествам. Если имеется множество $M(x_1, x_2, x_3, x_n)$, в котором можно выделить характерные элементы $\{x_1, x_2, x_3, x_n\}$, каждый из которых характеризует не пересекающееся подмножество (X_1, X_2, X_3, X_n) , данного множества, то процедура выделения имеет вид.

$$\forall x_i \in M(x_1, x_2, x_3, x_n); (x_1 \wedge x_2 \wedge x_3 \wedge x_n) \rightarrow X_i,$$

Этот вариант используется, когда задано пространство признаков, которые в явной форме можно отделить друг от друга [24]. Второй вариант выделения пространственных объектов основан на использовании отношения групповой принадлежности элементов множества к своим подмножествам. Этот вариант используют при пространственном проектировании и межевании земель. Исходным условием моделирования является наличие общего ареала (множества), в котором необходимо создать непересекающиеся множества. Эта задача всегда возникает при выделе участков в садовом товариществе или ином образовании. С помощью набора шаблонов можно разбить большую территорию на составляющие части.

$$A \nearrow S1 \rightarrow M1; A \nearrow S2 \rightarrow M2; \dots A \nearrow Sn \rightarrow Mn.$$

Шаблоны могут задаваться морфологически как пространственные образы или геометрически, путем измерения на местности по заданным координатам участков.

Моделирование трехмерных объектов транспортной инфраструктуры

Трехмерное моделирование - это процесс разработки пространственной формы поверхности или объекта в трех измерениях с помощью специализированного технологического и программного обеспечения [25]. Такой проект называется 3D-модель. Иногда трехмерность может отображаться в виде двумерного изображения с помощью процесса, называемого 3D-рендерингом [26], или использоваться при компьютерном моделировании физических явлений. Трехмерные проекты и модели могут быть созданы автоматически или вручную. Процесс ручного (технологического) моделирования подготовки геометрических данных для трехмерной компьютерной графики аналогичен пластическому искусству, такому как скульптура. Программное и технологическое обеспечение для 3D-моделирования - это класс программного обеспечения для компьютерной 3D-графики, используемого для создания 3D-моделей. Отдельные программы этого класса называются приложениями моделирования или разработчиками моделей

Многие 3D модели создаются на основе 2D-снимков. Трехмерные 3D модели описывают физическое тело. Для этого они используют набор точек в трехмерном пространстве, соединенных различными геометрическими объектами, такими как треугольники, линии, изогнутые поверхности и т. д. Трехмерный проект можно рассматривать как модель геоданных, который может быть создан вручную или алгоритмически. Поверхности трехмерных проектов могут быть дополнительно определены с помощью наложения текстур или паттернов. Трехмерные проекты и 3D-модели широко используются в самых разных областях. Инженерное сообщество использует их как проекты новых устройств, транспортных сетей и конструкций, а также для множества других применений.

Моделирование пространственного тела или оболочки может создавать оболочки или модели реальных объектов. Различия между ними в том, как они создаются и редактируются, как они используются и какие приближения имеют между моделью и реальностью. Модели оболочки должны не иметь пустых мест или разрывов, чтобы иметь смысл как реальный объект. Полигональные сетки (полигоны Тиссена или Вороного – Делоне [27]) являются наиболее распространенным представлением. Процесс представлений объектов, таких как координата средней точки сферы и точка на ее окружности, в многоугольное представление сферы, называется тесселяцией [28, 29]. Сетки из треугольников (вместо, например, квадратов) популярны, поскольку доказано, что их легко представить как в растровой, так и в линейной форме. Поверхность, описываемая каждым треугольником, плоская, поэтому совокупность всегда выпуклая. Представления полигонов используются не во всех методах визуального представления и в этих случаях шаг тесселяции не включается в переход от абстрактного представления к визуализированной сцене.

Трехмерное моделирование пространственных объектов является одной из естественных задач геоинформатики. В геоинформатике трехмерное моделирование является разновидностью геоинформационного моделирования и тесно связано с проектированием пространственных моделей [30].

Представление объектов в виде плоских карт не позволяет отразить специфику трехмерного объекта и соотнести его с реальными трехмерными объектами и местностью [31]. Трехмерное представление позволяет также рассматривать объект в виртуальной реальности [32], в дополненной реальности [33] и в виде смешанной реальности [34]. Это является преимуществом трехмерного моделирования. Виртуальная реальность позволяет осуществлять

имитационное моделирование и выбирать оптимальное расположение проектируемого объекта. Виртуальная реальность позволяет решать задачи размещения пространственных объектов на уровне когнитивного моделирования [35]. Трехмерное моделирование является важным направлением в развитии геоинформационных технологий и систем. Оно позволяет представлять реальную местность, объекты окружающего мира и их взаимное расположение. На рис.2 дана технологическая схема трехмерного моделирования. В трехмерном моделировании используют семантическую и геометрическую информацию

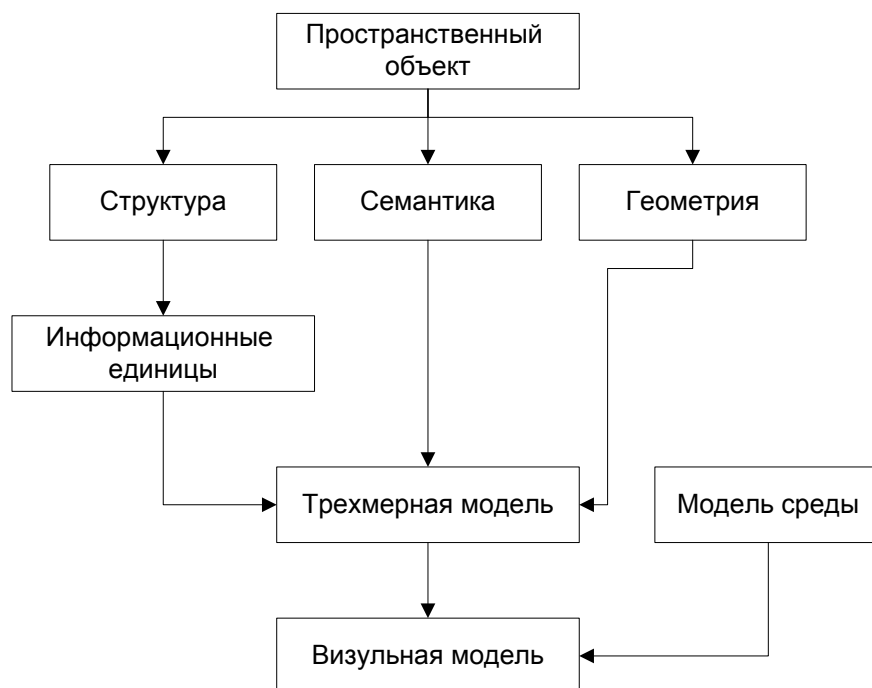


Рисунок 2. Схема трехмерного моделирования.

На схеме линиями показаны процессы моделирования. Геометрия создается на основе сбора информации техническими средствами измерений. Семантика создается на основе использования когнитивных наблюдений. Формализация семантики осуществляется на основе построения семантических моделей.

Главным принципом пространственного моделирования является использование моделей информационных единиц для построения моделей объектов инфраструктуры. Методика обычного трехмерного моделирования включает несколько этапов: создание базовой библиотеки информационных единиц, измерение объектов местности, построение проволоочной модели объекта местности или поверхности, коррекция измерений, формирование модели объекта, создание покрытий трехмерных объектов, создание точек зрения и перспективных видов.

Методика трехмерного моделирования с МЛС [36] включает: создание базовой библиотеки трехмерных информационных единиц, сканирование участков местности с одновременным проведением фотосъемки, построение облака точек участка местности, векторизация облака точек, уравнивание измерений, формирование моделей трехмерных объектов с применением информационных единиц, создание точек зрения и перспективных видов, создание картографических сцен или ситуаций.

Выше было показано в выражениях (3), (7), (8), что пространственная модель объекта создается с помощью информационных единиц как структурированная модель. Это выявляет еще одно качество и функцию информационных единиц – структуризация пространственных моделей.

Метод использования информационных единиц состоит в том, что задается базисный набор информационных единиц как алфавит языка моделирования и создается синтаксис моделирования. Этот принцип обеспечивает логику, возможность логического анализа. Этот принцип задает пространственный язык, элементами которого данные единицы являются.

На этапе построения объекта на основе измерений или сканирования формируется логически структурированная модель как совокупность информационных единиц. Некоторые первичные единицы могут исключаться при построении модели, другие, наоборот, вводятся для обеспечения целостности и логики. На следующем этапе информационные единицы наполняют семантическим содержанием объект и происходит окончательное семантическое моделирование объекта или локального участка. Особенность трехмерных информационных единиц в том, что они являются пространственными и семантическими информационными единицами. В отличие от семантических информационных единиц, имеющих определенный смысл, графические примитивы (прямоугольники, линии, эллипсы) не имеют однозначного смысла и могут обозначать существенно разные объекты.

Информационные единицы хранятся в библиотеках. В библиотеках содержится необходимая информация об объектовом составе, степени детализации и атрибутивному наполнению элементов создаваемой 3D-модели. Объекты отображались в соответствии с электронной 3D-библиотекой, соблюдая их плановое и высотное положение, а также конфигурацию и направление. Фрагменты библиотеки пространственных информационных единиц для моделирования транспортной инфраструктуры представлены на рисунке 3.

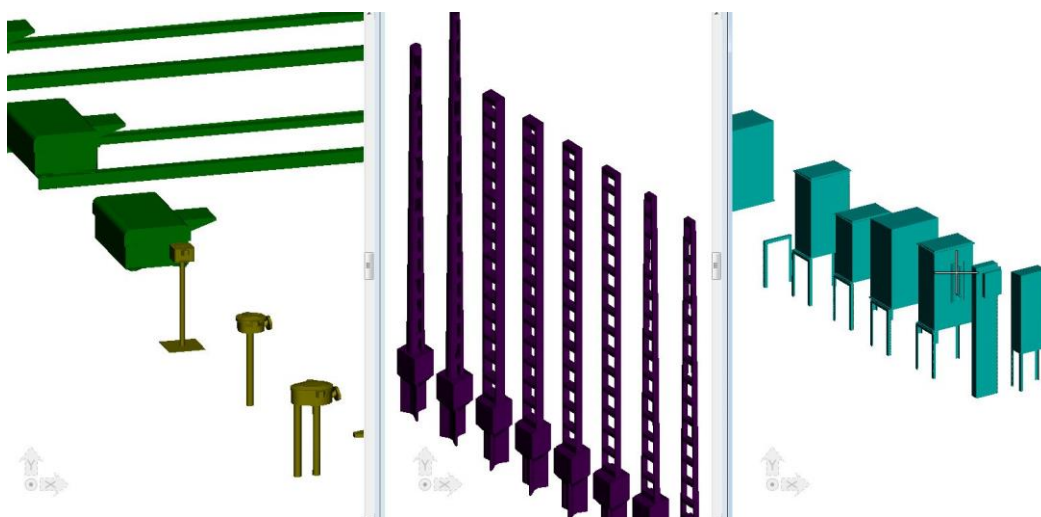


Рисунок 3. Пространственные информационные единицы

Принцип использования информационных единиц состоит в том, что задается базисный набор информационных единиц как алфавит языка моделирования и создается синтаксис моделирования. Этот принцип обеспечивает логику, возможность логического анализа. Этот

принцип задает пространственный язык, элементами которого данные единицы являются.

На этапе построения объекта на основе измерений или сканирования строится логически структурированная модель как совокупность информационных единиц. Некоторые первичные единицы могут исключаться при построении модели, другие наоборот вводятся для обеспечения целостности и логики. На следующем этапе информационные единицы наполняют семантическим содержанием объект и происходит окончательное семантическое моделирование объекта или локального участка. Особенность трехмерных информационных единиц в том, что они являются семантическими информационными единицами [37]. В отличие от семантических информационных единиц, имеющих определенный смысл, графические примитивы (прямоугольники, линии, эллипсы) [38] не имеют однозначного смысла и могут обозначать существенно разные объекты.

Следует отметить различие между трехмерным моделированием (3D) в САПР, и трехмерным геоинформационным моделированием реальных объектов в геоинформатике (3GD) для моделирования объектов транспортной инфраструктуры. Геоинформационная система может работать в режиме САПР. Режим моделирования в САПР - это режим чистого геометрического моделирования, безотносительно к условиям местности. Режим моделирования ГИС - это моделирование в условиях учета кривизны земли в криволинейных или прямоугольных координатах с учетом возможности преобразования плановых координат в любую картографическую поверхность. Перечислим основные различия между ГИС и САПР:

1. Одной из различий состоит в том, что моделирование в САПР основано на использовании чистых проектных (геометрических) данных (date -D) , а моделирование ГИС основано на использовании геоданных (geodate – GD), которые по-разному структурированы и организованы.

2. Обычное трехмерное моделирование (3D) решает локальные задачи построения объектов не связанных с реальными точками поверхности Земли. Геоинформационное трехмерное моделирование (3GD) может учитывать кривизну Земли и ряд дополнительных пространственных связей, которые обозначаются терминами «топология» и «геореференция» [39, 40].

3. Главное целью 3D является проект объекта. Главное целью 3GD моделирования является показ объектов в реальной среде с учетом и показом пространственных отношений.

4. В 3D проектировании используют только Декартовы системы координат. В 3GD могут использовать большее число координат соразмерно решаемым задачам. Соответственно в 3GD проектировании при необходимости применяют геоцентрические системы координат для показа кривизны Земли и возможности отражения связи объектов, находящихся в разных точках земной поверхности.

5. В 3D проектировании используют математическую модель как основу представления объекта. В 3GD проектировании существует такая же возможность, но к ней могут применять дополненную реальность.

Заключение

При анализе состоянии объектов транспортной инфраструктуры возникает необходимость их моделирования. Главным принципом пространственного моделирования объектов транспортной инфраструктуры является использование трехмерных информационных единиц, которые описывают геометрию и семантику. Если рассматривать объекты транспортной инфраструктуры как пространственные системы, то информационные единицы являются

элементами этих систем. Пространственное моделирование и геоинформационное моделирование обладает свойством целостности и поэтому эти виды моделирования являются технологическими системами. Для обеспечения структурности пространственные модели должны использовать информационные единицы. Информационные единицы могут быть линейными, ареальными и трехмерными. Технология пространственного моделирования опирается на геоинформационное моделирование. Преимуществом геоинформационного моделирования является то, что оно учитывает ряд важных пространственных факторов: пространственные отношения и геореференцию [39, 40]. Геоинформационное моделирование позволяет получать цифровые модели. Геоинформационное моделирование позволяет получать пространственное знание и геознание [23]. Геоинформационное моделирование поддерживает язык пространственной агрегации и качественные пространственные рассуждения. Пространственное моделирование объектов транспортной инфраструктуры решает задачи размещения [41] на уровне пространственного и плоского моделирования с использованием информационных единиц. Концепция информационных единиц является важным принципом, обеспечивающим сравнение, структурность и связанность пространственных моделей транспортной инфраструктуры.

Список литературы

1. Ознамец В.В. Геодезическое обеспечение мобильного лазерного сканирования железных дорог // Наука и технологии железных дорог. – 2019. – 2(10). – С.64-76.
2. Андреева О.А. Геоинформатика транспорта. - Saarbrücken.: Palmarium Academic Publishing, 2019. –181с. ISBN 978-620-0-55592-7.
3. Цветков В.Я. Геоинформационное моделирование // Информационные технологии. - 1999. - №3. - С.23- 27.
4. Андреева О. А. Геоинформационное моделирование // Славянский форум. -2019. – 2(24). - С.7-12.
5. Цветков В.Я. Информационные модели объектов, процессов и ситуаций // Дистанционное и виртуальное обучение- 2014. – 5(83). - С.4- 11.
6. Куприянов А.О. Цифровое моделирование железнодорожного пути // Образовательные ресурсы и технологии. – 2016. - 3 (15). – С.104-114. DOI: 10.21777/2312-5500-2016-3-104-114.
7. Андреева О. А., Булгаков С. В. Цифровое моделирование при проектировании трассы железных дорог // Информация и космос. 2019.- №3. – С.136-134.
8. Болбаков Р.Г. Когнитивное пространственное моделирование // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении.- 2019.- № 3 (13). – С.3-9.
9. Scicluna J., Abela C., Montebello M. Visual modeling of owl-s services //Proceedings of CSAW'04. – 2004. – С. 86.
10. Майоров А.А. Виртуальные модели при изучении логистики // Славянский форум. -2015. - 1(7) - С.169-176.
11. Андреева О.А. Геоинформационное семантическое моделирование // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении. - 2019.- № 3 (13). – С.27-32.
12. Омельченко А. С. Информационные модели пространственных объектов в геоинформационных системах // Качество, инновации, образование. - 2006. - №3. - С.14- 17.
13. Tsvetkov V. Ya. Information objects and information Units // European Journal of Natural

History. - 2009. - №2. - p.99.

14. Кудж С.А. Тринитарные информационные единицы // Славянский форум, 2016. -4(14). – С.137-143.

15. Козлов А.В. Информационные единицы в субсидиарных технологиях // Славянский форум. -2019. – 1(23). - С.14-19.

16. Лютый А.А. Язык карты: сущность, система, функции. - 2-е изд.-М.: ГЕОС, 2002. -327 с.

17. Цветков В. Я. Язык информатики // Успехи современного естествознания. - 2014.- №7. - С.129-133.

18. Bailey-Kellogg, C., & Zhao, F. (2003). Qualitative spatial reasoning extracting and reasoning with spatial aggregates. *AI Magazine*, 24(4), 47.

19. Tsvetkov V. Ya. Information interaction // European researcher. 2013. № 11-1 (62). С. 2573-2577.

20. Раев В.К. Процессуальные и дескриптивные информационные модели // Славянский форум. -2018. – 3(21). - С.28-32.

21. Цветков В.Я. Формальная и содержательная классификация // Современные наукоёмкие технологии. - 2008. - №6. - С. 85-86.

22. Цветков В.Я. Геоинформационные системы и технологии - М.: Финансы и статистика, 1998. -288с.

23. Цикритзис Д., Лоховски Ф. Модели данных. - М.: Финансы и статистика, 1986. - 344с.

24. Аникина Г.А., Поляков М.Г., Романов Л.Н., Цветков В.Я. О выделении контура изображения с помощью линейных обучаемых моделей. // Известия академии наук СССР. Техническая кибернетика. -1980. - №6. - С.36-43.

25. Габидулин В. Трехмерное моделирование в AutoCAD 2013. – Litres, 2017.

26. Akenine-Moller T., Haines E., Hoffman N. Real-time rendering. – AK Peters/CRC Press, 2018.

27. Лёвин Б. А., Розенберг И. Н., Цветков В. Я. Моделирование рельефа на основе триангуляции Делоне // Наука и технологии железных дорог. – 2018. – 1(5). – С.3-15.

28. Плессер П. Л., Ильинский Н. И. Видозависимая тесселяция 3d-объектов как инструмент управления динамическим уровнем детализации //Информационные технологии в проектировании и производстве. – 2011. – №. 3. – С. 81-87.

29. Борнев А. Ю., Разборщикова А. В. Адаптивная тесселяция гладких параметрических поверхностей на GPU //Молодежный научно-технический вестник. – 2017. – №. 4. – С. 21-21.

30. Андреева О. А., Дышленко С. Г. Геоинформационное проектирование трехмерных объектов // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении. - 2019. - № 1(11). – С.39-46.

31. Цветков В.Я. Цифровые карты и цифровые модели // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. - 2000. - №2. - С.147-155/

32. Burdea G. C., Coiffet P. Virtual reality technology. – John Wiley & Sons, 2003.

33. Дышленко С.Г., Цветков В.Я. Развитие дополненной реальности // Науки о Земле. – 2017. - № 1. - С.69-78.

34. Pan Z. et al. Virtual reality and mixed reality for virtual learning environments //Computers & graphics. – 2006. – Т. 30. – №. 1. – С.20-28.

35. V. Ya. Tsvetkov. The Cognitive Modeling with the Use of Spatial Information // European Journal of Technology and Design, 2015, 4 (10), pp. 149-158.

36. Андреева О.А. Применение мобильного лазерного сканирования для мониторинга

объектов транспортной инфраструктуры // Наука и технологии железных дорог. – 2019. – 3(11). – С.61-74.

37. Markelov V.M. The Application of Information Units in Logistics// European Journal of Technology and Design, 2014, № 4(6), p. 176-183.

38. Докукин П. А. Графические информационные единицы // Перспективы науки и образования. - 2015. - №3. - С.32-39.

39. Майоров А.А., Цветков В.Я. Геореференция как применение пространственных отношений в геоинформатике // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. - 2012.- №3. - С.87 -89.

40. Кулагин В.П. Геореференция в пространственных отношениях // Образовательные ресурсы и технологии. – 2016. - №5 (17). – С.80-86.

41. Ознамец В. В. Ситуационное решение задачи пространственного размещения // Геодезия и картография. - 2018. - №9. – С.45-51.

УДК: 001.895; 004.9; 629.066; 656.029; 656.3

КВАНТОВЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ И ЖЕЛЕЗНЫЕ ДОРОГИ

- Озеров А.В.** Начальник Международного управления АО «НИИАС»,
E-mail: A.Ozerov@vniias.ru, Москва, Россия
- Переднев В.А.** Руководитель проектов, Международное управление АО «НИИАС»,
E-mail: v.perednev@vniias.ru, Москва, Россия
- Охотников А.Л.** Заместитель руководителя по инновационному развитию Центра стратегического анализа и развития АО «НИИАС»,
E-mail: a.ohotnikov@vniias.ru, Москва, Россия
- Аннотация.** В статье дано описание квантовых компьютеров и вычислений. Описаны ведущие разработки в области квантовых вычислений в России и за рубежом. Проведен анализ технических разработок в области железнодорожного транспорта при применении квантовых вычислений, дано описание основных направлений развития технологий. Дан анализ технических и технологических задач для преодоления барьеров при внедрении квантовых технологий.
- Ключевые слова:** железнодорожный транспорт, квантовые вычисления, кубиты, квантовые компьютеры, беспилотный транспорт, транспортные потоки.

QUANTUM COMPUTING AND RAILWAYS

- Ozerov A.V.** Head, International Department, JSC «NIIAS»,
E-mail: A.Ozerov@vniias.ru, Moscow, Russia
- Perednev V.A.** Project Manager, International Department JSC «NIIAS»,
E-mail: v.perednev@vniias.ru, Moscow, Russia
- Okhotnikov A.L.** Deputy Head, Center for strategic analysis and development, JSC «NIIAS», E-mail: a.ohotnikov@vniias.ru, Moscow, Russia
- Annotation.** The article describes quantum computing and computers. The leading developments in the field of quantum computing in Russia and abroad are described. The analysis of technical developments in the field of railway transport as regards the application of quantum computing is made. The main directions of technology development are described. The analysis of technical and technological problems for overcoming barriers in the implementation of quantum technologies is given.
- Keywords:** Railway transport, quantum computing, qubits, quantum computers, self-driving transport, traffic flows.

Введение

Увеличение вычислительных мощностей компьютеров открывают новые горизонты в промышленности и различных отраслях, включая железнодорожный транспорт. В отличие от обычных компьютеров, выполняющих вычисления последовательно, одно за другим, квантовые вычислительные машины способны одновременно выполнять различные сложные действия. Ожидается, что квантовым компьютерам будет по силам то, на что даже самые быстрые традиционные компьютеры тратят огромное количество времени. Рассмотрим для примера

разложение больших чисел на множители (научный термин – факторизация или факторинг). В 1997 году английский математик Питер Шор разработал квантовый алгоритм, позволяющий разложить число из 256 цифр на два сомножителя за несколько минут, но машина, способная совершить такой расчет, к тому времени еще не была создана [1]. Современная криптография базируется на том, что никто не сможет быстро разложить число из 30–40 знаков (или большее) на простые множители.

Современный суперкомпьютер потратит на данное вычисление многие часы, а квантовый компьютер сможет сделать это примерно за 18 секунд. В теории это означает, что всего за 18 секунд лицо, решившее задачу разложения больших чисел на множители, станет обладателем доступа к транзакциям всех банков мира. На данном примере можно показать, что означает так называемое «квантовое превосходство» (англ. Quantum supremacy) над традиционными вычислительными системами [2]. Кроме операций по разложению больших чисел на множители, традиционные компьютеры не справляются с квантовым моделированием или моделированием молекул ДНК, а квантовые компьютеры, по всей видимости, способны решить такие задачи.

Квантовые компьютеры построены по традиционной схеме на основе кубитов. Эта схема, представленная ниже на Рисунке 1, дает сравнение возможных комбинаций для двух классических битов и двух кубитов [3]:

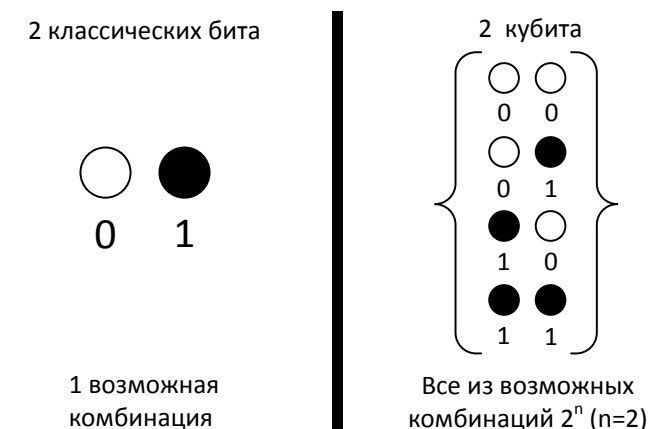


Рисунок 1. Возможные комбинации для битов и кубитов

Очевидно, что 2 кубита дают в 4 раза больше комбинаций, чем 2 классических бита. Свойство кубита одновременно находиться в нескольких состояниях (или позициях) именуется когерентностью (англ. Quantum coherence). Благодаря своей квантовой природе, когерентности и суперпозиции, а также благодаря другой важной особенности – квантовой «зацепленности» (англ. Quantum entanglement), группа кубитов позволяет значительно увеличить вычислительную мощность компьютеров в сравнении с таким же количеством бинарных битов. Например, если два объекта находятся в одном квантовом состоянии, то изменение одного кубита мгновенно изменяет состояние другого кубита даже на большом расстоянии объектов друг от друга. Чтобы поместить кубиты в суперпозицию, исследователи воздействуют на микрочастицы точными лазерами и микроволновыми лучами.

Основные вызовы

Говоря о возможностях квантовых компьютеров, нельзя исключать сложности и проблемы, с которыми сталкиваются исследователи в данной сфере. Теоретически для получения рабочего кубита нужно взять одну микрочастицу, максимально её зафиксировать, оградить от посторонних воздействий (радиации, космического излучения, колебания температуры, вибрации и т.п.), а затем связать её с другой микрочастицей посредством специальной квантовой связи. Эксперименты, проведенные в 1995 году, позволили создать первые кубиты на

базе ионов, захваченных в специальные ловушки. Взамен ионов в дальнейшем использовали другой «строительный материал» для создания кубитов: ядра атомов, электроны, фотоны, дефекты в кристаллах, сверхпроводящие цепи.

Чтобы добиться «квантового превосходства» над традиционными компьютерами, специалистам корпорации Google удалось создать компьютерный процессор «Sycamore» из 53 кубитов. На практике такое количество связанных между собою кубитов означает менее стабильную работу системы в целом, т.к. система из 53 кубитов отличается крайне низкой устойчивостью. Такая система сильно зависит от внешнего воздействия и обладает очень коротким жизненным циклом. При большой зависимости кубитов друг от друга малейшее внешнее воздействие на них приводит к тому, что они выходят из суперпозиции и утрачивают свои квантовые свойства еще до окончания вычислений, в результате скорость квантового компьютера падает до уровня обычных медленных ЭВМ. Дестабилизирующими факторами для устойчивого состояния кубитов могут выступать космические лучи, радиация, колебания температуры, шумы, вибрации и другие явления окружающего мира. Поддержание жизни кубита является одной из важнейших проблем в развитии квантовых вычислений. Для этих целей, к примеру, канадский производитель квантовых компьютеров компания D-Wave охлаждает атомы почти до абсолютного нуля ($-273,15^{\circ}\text{C}$), чтобы исключить все внешние воздействия. Другие исследователи помещают кубиты в вакуумную среду. По понятным причинам такие решения имеют высокую стоимость и ограниченное применение, а сами компьютеры отличаются большими размерами, основная часть которых приходится на защиту от окружающего воздействия и охлаждение.

Ошибки в квантовых компьютерах являются еще одной важнейшей проблемой, требующей решения. Непроизвольная смена кубитов или bit-flipping, например, возникающая под действием радиации, когда бит перепрыгивает из положения 0 в 1 или наоборот, относится к ошибкам первого уровня [4]. Эта проблема проявляется и в обычных компьютерах. Специалисты Google смогли создать схему из 9 кубитов, где информация содержится в 5 из них (так называемые «data qubit»), а оставшиеся 4 кубита отвечают за нахождение ошибок. Такие «кубиты-корректоры» ведут скрытое «слежение» за состоянием содержащих данные соседних кубитов, так как любое открытое измерение кубита в квантовой системе неизбежно даст ошибку, поскольку влечёт его изменение. Успешный опыт инженеров дал понять, что существуют способы повысить сохранность информации квантовых процессоров, сделать шаг вперед на пути развития квантовых вычислений. Результаты этой работы команды инженеров из Google публиковались в научном журнале Nature в 2015 году. Ошибки второго уровня вытекают из нестабильности связей внутри квантовой системы в целом, а кубитов в частности, под внешним воздействием. Со слов инженера Google Джулиана Келли (Julian Kelly), квантовый компьютер производства D-Wave, на котором совместно с этой фирмой проводят эксперименты Google и NASA, вообще не имеет встроенной системы исправления ошибок. Многие исследователи в группе были убеждены, что по причине квантовой природы исследуемых процессов, в такой вычислительной машине исправление ошибок не представляется возможным. Тем не менее, инженерам Google удалось на практике опровергнуть предположения своих партнёров и конкурентов.

Еще одним вызовом для создателей квантовых компьютеров является повышение точности вычислений. Ответ квантового компьютера на решение задачи – это ответ с определенной долей вероятности, составляющей до 98%, в случае использования квантовой вычислительной системы с 2 кубитами на основе кремния. Лучшее достижение принадлежит команде исследователей профессора Андроу Дзурака (Andrew Dzurak) из Университета Нового Южного Уэльса в Сиднее [5]. И хотя однокубитный квантовый компьютер на основе ионной ловушки от

Honeywell Quantum Solutions [6] демонстрирует точность выше, чем 99,997% (на январь 2019 года), подобный результат пока и близко не возможен в случае использования сложных многокубитных систем. Задача исследователей и инженеров при построении алгоритмов состоит в том, чтобы, располагая значительно более мощными квантовыми вычислительными мощностями, максимально приблизить вероятность правильного ответа к 100%.

По мнению руководителя Российского квантового центра, (РКЦ) Руслана Юнусова [7], комментирующего заявления некоторых исследователей о достижении квантового превосходства, степень готовности квантовых технологий определяется по шкале QTRL, где уровень QTRL1 означает существование только теоретических разработок в квантовой области, а последний, девятый уровень — возможность квантового компьютера превзойти обычный ПК. По его словам, разработки компаний в мире на данный момент соответствуют уровням QTRL4-QTRL5. Это означает, что реализация практически значимых алгоритмов в вычислительных системах пока не решена, так же, как и задача коррекции ошибок квантовых кодов. В России реализованы только прототипы квантовых компьютеров с двумя кубитами и квантовые симуляторы с 10–20 кубитами, что соответствует уровню QTRL3-QTRL4. Глава РКЦ отметил, что наиболее перспективными платформами с уровнем готовности технологий QTRL4-QTRL5 в мире считаются следующие: фотонные чипы и нейтральные атомы, сверхпроводящие цепочки, ионы в ловушках. Эти направления достаточно сильно развиты в России (на уровне QTRL2-QTRL4).

Ожидания от развития квантовых вычислений/технологий

С помощью квантового компьютера появляется способность быстро раскладывать большие числа на множители и создавать сверхсложные модели. На основе квантовых вычислений станет возможным создание моделей городов, сложных молекул ДНК и новых материалов, оптимизация транспортных потоков, построение сложных финансовых прогнозов. Одним из существенных бонусов использования квантовых компьютеров могут стать энергосберегающие технологии, например, оптимизация ресурсов на железных дорогах и других видах транспорта. Квантовые вычисления помогут еще сильнее развить технологии искусственного интеллекта (ИИ), технического зрения, распознавания лица и автоматизацию в целом.

Перспективными направлениями развития квантовых вычислений являются квантовая криптография и дешифровка, высокоточная навигация, не требующая использования GPS. Квантовые компьютеры могут служить для защиты информационно-телекоммуникационных сетей государств и госструктур, защиты информации для крупных технологических компаний и держателей критической информационной инфраструктуры, финансового сектора. Одной из «побочных» технологий является использование квантовых сенсоров, которые могут найти применение в разных отраслях: оборона и безопасность, навигация (космос, беспилотный транспорт).

Существующие исследования показывают, что квантовые сенсоры, которые расположены вдоль железнодорожных путей, могут даже предсказывать землетрясения. Грузовые поезда генерируют удивительно мощные сейсмические волны, а изменения в скорости таких волн являются ранним сигналом об опасной сейсмической активности. Портал physicsworld.com [8] сообщает, что ученые Франции, Бельгии и США изучили шум грузовых составов, движущихся в Южной Калифорнии, и установили, что они могут быть использованы для наблюдений за расположенным неподалеку разломом Сан-Хасинто. По мнению геофизика Такаки Таира ([Taka'aki Taira](#)) из университета Беркли, данное исследование – первый всеобъемлющий научный отчет по использованию сейсмических сигналов от движущихся автомобилей, грузовиков, поездов для постоянного наблюдения за структурой Земли.

Человечество не остановилось в желании постоянно улучшать работу компьютерной техники, чтобы с её помощью достигать новых вершин познания и развития. В XXI веке США,

Китай, страны ЕС, Япония и Южная Корея активно ведут работы по созданию сверхмощного квантового компьютера и по развитию технологий квантовой криптографии. Не является секретом и то, что данной темой очень интересуются военные ведомства многих стран, при содействии которых выделяются крупные ассигнования на научные разработки в данной области. Среди прочих важных областей применения, исследования квантовых вычислений затрагивают и сферу транспорта.

В 2017 году эксперты в сфере ИТ из группы Volkswagen успешно разработали и испытали алгоритм оптимизации транспортных потоков на квантовом компьютере D-Wave [9]. Аналитики и эксперты в области больших данных обработали информацию от 10000 такси в Пекине. Президент компании D-Wave International Роберт Эвальд (Robert Ewald) считает, что специалисты Volkswagen смогли за очень короткое время разработать и провести тестирование алгоритма для решения важной задачи оптимизации движения транспорта, тем самым успешно продемонстрировав, что с помощью квантового компьютера они способны более эффективно управлять транспортными потоками в мегаполисе. Проведя анализ движения автомобилей из центра китайской столицы в аэропорт Пекина, специалисты Volkswagen выстроили алгоритм, при котором движущиеся одновременно 487 такси не попадают в заторы. Такое решение позволяет снизить расходы на топливо, уменьшить время в пути и сократить выбросы вредных веществ в атмосферу. Изначально особое внимание уделялось повышению квалификации специалистов и разработке коммерчески значимых приложений. Группа Volkswagen стала одним из первых автопроизводителей, которые интенсивно работают над технологиями квантовых вычислений.

После успешного эксперимента с такси Пекина проводятся изыскания по оптимизации автобусного движения в городах, о чем объявлено в ноябре 2019 года на конференции WebSummit в Лиссабоне, Португалия [10]. Девять автобусов производства MAN, управляемые лиссабонской транспортной компанией Carris, будут оборудованы системой управления движением, разработанной группой Volkswagen в сотрудничестве с производителем квантовых вычислителей D-Wave. Система призвана вычислить самый быстрый и энергооптимальный маршрут для каждого автобуса с целью оптимизации использования парка машин и улучшения транспортных потоков.

Пилотный проект поможет проанализировать анонимную информацию о пассажиропотоке с 26 остановками для определения пиковых нагрузок на определенных участках и предсказывать количество пассажиров.

В дальнейших планах специалистов Volkswagen – разработка модуля предсказания пассажиропотока с целью создания временных автобусных маршрутов, приуроченных к многолюдным событиям (выставкам, форумам, праздничным мероприятиям и т.п.).

Эксперты VW в сфере ИТ ожидают появления больших перспектив в области автопилотируемого транспорта, роботизации предприятия (под управлением ИИ), в таких сферах, как умное производство, предиктивное техническое обслуживание, машинное обучение и умная мобильность.

Исследователь из группы VW, австрийский математик и разработчик технологий ИИ, Флориан Нойкарт (Florian Neukart) считает, что ближайшие задачи в области квантовых вычислений с помощью квантового процессора – это разработка блока цилиндров двигателя для снижения его веса и поиск оптимальной конфигурации нейросетей [11].

Один из ведущих мировых экспертов в области квантовой механики и квантовых вычислений (соучредитель РКЦ, профессор Гарвардского университета) Михаил Лукин разделяет мнение ученых о том, что квантовым компьютерам по силам то, что не могут сделать обычные ЭВМ, например, решить проблемы оптимизации движения в мегаполисах и другие сложные транспортные задачи. Группа Лукина является одной из ведущих исследовательских команд в мире в сфере квантовой механики, которая предложила оригинальное решение для получения устойчиво работающих кубитов. Его команда использовала холодные атомы,

которые при сверхнизких температурах удерживались внутри лазерных ловушек. По сведениям издания «Коммерсантъ», уже в 2017 году эта международная группа ученых из Гарварда (США) создала самый большой 51-кубитный квантовый вычислитель, который успешно решил ряд специальных научных задач квантовой механики и некоторые прикладные задачи, востребованные в промышленности [12].

При создании беспилотного транспорта и электрокаров немецкий автоконцерн Daimler в тесном партнерстве с IBM и Google осваивает квантовые технологии, рассчитывая, что вычислительные мощности партнеров помогут исследовать новые активные материалы для батарей. По словам руководителя исследовательского подразделения электродвигателей концерна Daimler Андреаса Хинтеннаха (Andreas Hintennach), специалисты группы VW полагают, эти продвинутые компьютеры помогут повысить мощность двигателей для электромобилей до 40%.

Кроме концернов VW и Daimler, к новым наработкам в сфере квантовых технологий подключаются компании Ford и Bosch. Еще один пример сотрудничества автомобильной индустрии с лидером квантовых вычислений показывает их эффективность и высокий потенциал для коммерческого использования. Так, роботизированные тележки для доставки комплектующих на заводах японского производителя автозапчастей Denso с помощью квантового компьютера D-Wave 2000Q на 15 процентов улучшили эффективность своей работы по сравнению с управлением процесса традиционными ЭВМ [13]. Исследователи из автомобильной отрасли только начинают открывать огромные возможности, которые предоставляет для них эта новая технология.

Автопром – не единственная отрасль, обратившая свой взор на квантовые вычисления и сопутствующие технологии. Ведущие международные банки очень заинтересованы в действенных методах квантовой криптографии. Перед ними стоит жизненно важная задача – обезопасить себя и своих клиентов от потенциальных атак злоумышленников, способных реализовать на практике факторинговый алгоритм Шора, против которого окажутся беззащитными современные методы шифрования, принятые в банковском деле. В этой связи, по данным Bloomberg [14], банки Barclays и JPMorgan Chase&Co ведут свои изыскания по развитию новых методов шифрования на основе квантовых вычислений. Крупные корпорации из других сфер производства, например, Samsung Electronics, Hitachi Metals, JSR планируют исследовать квантовые вычисления на машинах IBM для своих целей.

В России разработка квантовых технологий идет под патронажем государства, где созданием квантового компьютера занимается консорциум, в который входят Внешэкономбанк, ФПИ, «ВЭБ-инновации», МГУ и АНО «Цифровая экономика». В феврале 2018 года участники консорциума подписали в ходе Российского инвестиционного форума соглашение о реализации проекта по созданию отечественного оптического квантового симулятора, рассчитанного как минимум на 50 кубитов. Основой для симулятора, создаваемого в МГУ, должны послужить фотонные чипы и нейтральные атомы – два главных способа организации квантовых вычислителей [15].

В октябре 2018 года учеными МГУ была начата работа по созданию квантового компьютера, рассчитанного на 55 кубитов. В основу этого компьютера легли интегральные оптические схемы и нейтральные атомы. Согласно плану, данная работа должна быть завершена в 2021 году.

Квантовые вычисления и железные дороги

Оценивая состояние квантовых вычислительных технологий в сравнении с состоянием развития таких технологий на железнодорожном транспорте по информации на 2 июля 2019 года, специалисты Британского Совета стандартизации и безопасности железнодорожного транспорта (RSSB или RAIL SAFETY AND STANDARDS BOARD LTD) полагают, что по девятибалльной шкале, означающей полную готовность, текущий уровень готовности мировых технологий квантовых вычислений в общем соответствует шкале 4. Это означает наличие

теоретических разработок и решение отдельных научных или практических задач без реализации алгоритмов исправления ошибок. При этом уровень вовлеченности железных дорог в сферу квантовых вычислений аналитики RSSB считают нулевым, как представлено ниже на Рисунке 2.



Рисунок 2. Степень готовности технологии квантовых вычислений применительно к железнодорожной отрасли

Первые эксперименты ж.д. отрасли с квантовыми вычислениями

Специалисты Государственных железных дорог Италии (Ferrovie dello Stato Italiano) заинтересовались возможностями квантовых вычислений компании D-Wave для оптимизации инфраструктуры и, в частности, распределения поездов на платформах крупных пересадочных узлов в целях улучшения клиентского обслуживания пассажиров. В октябре 2019 года на научно-исследовательской железнодорожной конференции в Токио, Япония (World Railway Research Conference) представлен доклад [16] об исследованиях по данной теме.

На примере работы крупного пересадочного транспортного узла Флоренции (станция Firenze Santa Maria Novella, Италия) отмечаются текущие недостатки в организации работы: расположение всех 19 путей на одном уровне, из-за чего при одновременном прибытии высокоскоростных поездов, поездов дальнего следования, пригородных электричек и скоростных региональных поездов происходят задержки, сбои, включая отмену поездов. Не все стыковочные поезда, например, Пиза-Флоренция, Флоренция-Рим могут приходить на соседние платформы, что приводит к неудобству пассажиров, вынужденных перемещаться по узким подземным переходам при пересадках, переходя с тяжелым багажом, например, с пути 1 на путь 17 и т.п. Такая организация работы крупного пересадочного узла ухудшает клиентский опыт и снижает качество обслуживания пассажиров.

Ежедневное планирование управления транспортными потоками на станции ведется наполовину ручным способом и без коммерческой оптимизации процессов. Предпринята попытка исследовать проблему на основе вычислений квадратичной неограниченной бинарной оптимизации (QUBO – от англ. Quadratic Unbounded Binary Optimization), где среди прочих параметров учитывается дистанция, преодолеваемая пассажирами пешком, чтобы улучшить пропускную способность железнодорожного узла Firenze Santa Maria Novella и усовершенствовать планирование использования персонала станции и логистики.

Масштабную задачу по оптимизации с 7000 переменными и графиком движения из 400

поездов в сутки, требующую больших вычислительных мощностей, попытались решить на традиционной ЭВМ (с помощью одного вычислительного узла на ноутбуке), что в итоге заняло 15 минут. Высокопроизводительный вычислительный кластер (HPC cluster) справился с её решением за 2 минуты, что существенно быстрее, но, тем не менее, результат не удовлетворил заказчика, заинтересованного в решении проблемы в режиме реального времени. Оптимизация на 30% улучшила клиентский опыт, измеряемый для пешей дистанции. Следующим шагом станет вычисление этой задачи на квантовом компьютере D-Wave с помощью технологий квантового выжига. Также перед исследователями стоят следующие задачи – улучшить алгоритм управления движением, учесть стыкуемость платформ и мультимодальность перевозок (включая автопарковку, каршеринг, автобусное движение и т.п.), оперативно учесть изменения движения поездов и текущей обстановки в режиме реального времени.

Выводы

Поскольку возможности использования квантовых компьютеров находятся на стадии оценки, предположительно, существует ряд направлений, где они могут иметь большое значение для железнодорожной индустрии. Квантовые компьютеры могут решать сложные задачи в области оптимизации технического обслуживания инфраструктуры, составления расписания движения и логистики. Это может улучшить точность выполнения графика движения и обеспечивать быстрое восстановление движения при сбоях в режиме реального времени. Перспективное применение видится также в области развития новых средств диагностики и мониторинга с использованием виброакустических методов на основе ВОЛС и переходе к предиктивным моделям диагностики и технического обслуживания объектов железнодорожной инфраструктуры и подвижного состава.

Потенциально высокие вычислительные мощности могут быть использованы для внедрения анализа больших данных – улучшения технического обслуживания и текущего ремонта материально-технических объектов или, например, для предоставления более персонализированного клиентского обслуживания. Помимо этого, они могут быть использованы для развития технологий ИИ, систем распознавания лица и беспилотного управления. Универсальный квантовый компьютер может быть также использован в открытии инновационных материалов для применения в производстве подвижного состава и железнодорожного полотна.

Квантовые компьютеры могли бы заменить некоторые существующие методы криптографии посредством использования алгоритма Шора. Основные перспективы использования квантовых вычислений на железных дорогах лежат в области развития знаний, позволяющих добиться оптимизации управления большим массивом данных и сокращения времени управляющего воздействия при принятии решений, особенно в условиях нечеткости или неопределенности.

Список литературы

1. Сайт Theory and Practice. Просто о сложном: что такое квантовый компьютер и зачем он нужен // URL: theoryandpractice.ru/posts/13588-kvantovyy-komputer Дата обращения 10.12.2019
2. Сайт Julich Forshungszentrum // URL: www.fz-juelich.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/UK/EN/2019/2019-10-23-quantum-Supremacy.html Дата обращения 10.12.2019
3. Technology Focus: Will Quantum Computing transform optimisation of the rail network? // URL: www.rssb.co.uk/Insights-and-News/Industry-Topics/Horizon-Scanning/Enabling-technologies/Technology-Focus-will-quantum-computing-transform-optimisation-of-the-rail-network Дата обращения 10.12.2019
4. Google Tackles Quantum Computing's Hardest Problem: Errors // URL: www.wired.com/2015/03/google-tackles-quantum-computings-hardest-problem-errors/ Дата обращения 10.12.2019
5. Fidelity benchmarks for two-qubit gates in silicon // URL: www.nature.com/articles/s41586-

019-1197-0.epdf?author_ Дата обращения 07.02.2020

6. Honeywell Enters the Quantum Race // URL: projectqsydney.com/2019/05/31/honeywell-enters-the-quantum-race/ Дата обращения 07.02.2020

7. Сайт Эксперт Online. Борьба за квантовое превосходство // URL: expert.ru/expert/2019/40/borba-za-kvantovoe-prevoshodstvo/ Дата обращения 10.12.2019

8. Noisy freight trains could help predict California earthquakes // URL: physicsworld.com/a/noisy-freight-trains-could-help-predict-california-earthquakes/ Дата обращения 10.12.2019

9. Volkswagen tests quantum computing for traffic flow optimization // URL: www.eurologport.eu/volkswagen-test-quantum-computing-for-traffic-flow-optimization/ Дата обращения 10.12.2019

10. Better bus operations through quantum computing // URL: www.railwaygazette.com/data-and-digital/better-bus-operations-through-quantum-computing/54957.article Дата обращения 10.12.2019

11. How VW, Bosch, Ford, Daimler aim to gain from quantum computing // URL: europe.autonews.com/automakers/how-vw-bosch-ford-daimler-aim-gain-quantum-computing Дата обращения 10.12.2019

12. 51-кубитный квантовый компьютер Михаила Лукина бьет все рекорды // URL: www.kommersant.ru/doc/3368646 Дата обращения 10.12.2019

13. DENSO Improves Factory Automation Routing by 15% with D-Wave // URL: www.dwavesys.com/press-releases/denso-improves-factory-automation-routing-15-d-wave Дата обращения 10.12.2019

14. Самый мощный коммерческий квантовый компьютер IBM стал втрое быстрее // URL: <https://news.myseldon.com/ru/news/index/216423594> Дата обращения 10.12.2019

15. В России совершен прорыв в создании 50-кубитного квантового компьютера // URL: cnews.ru/news/top/2019-01-18_uchenye_mgu_dobilis_pervyh_uspehov_v_sozdanii Дата обращения 10.12.2019

16. Allocating Railway Traffic with QUBO Formulated Models // URL: www.dwavesys.com/sites/default/files/29_dwave%20Milano_FSI-Data.pdf Дата обращения 10.12.2019

УДК: 625.173.1

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ ЕК АСУИ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ РАБОТ ПУТЕВОГО ХОЗЯЙСТВА ОАО «РЖД»

- Коваленко Н. И.** д.т.н., профессор, Российский университет транспорта (МИИТ), E-mail: kni50@mail.ru, Москва, Россия
- Суворова Д.Р.** студент, Российский университет транспорта (МИИТ), E-mail: dasha.suvorova@list.ru, Москва, Россия
- Аноховская И.В.** студент, Российский университет транспорта (МИИТ), E-mail: inna45738@gmail.com, Москва, Россия
- Аннотация.** В статье проанализирована структура информационно-аналитической системы ОАО «РЖД» (ЕК АСУИ), описана взаимосвязь ее подсистем. Рассмотрено дальнейшее упорядочивание и консолидация взаимодействия различных систем управления, входящих в общую структуру ЕК АСУИ, путём создания Ситуационного центра управления. Разделение исходной информации на истинную и ложную ещё на стадии её предварительного анализа до начала выполнения расчётов может существенно сократить количество производимых расчётных итераций (ориентировочно на 3-5%), за счёт уменьшения времени на обработку массива исходных данных и повысить работоспособность информационно-аналитического блока системы ЕК АСУИ (ориентировочно на 6-10%). Такое разделение позволит рассматривать стадию подготовки к расчётным итерациям в автоматическом режиме.
- Ключевые слова:** Единая информационная среда ОАО «РЖД», автоматизированная система управления инфраструктурой РЖД, подсистемы и компоненты, ситуационный центр, сокращение производственных издержек, качественные показатели информатизации.

APPLICATION OF UNIFIED CORPORATE AUTOMATED INFRASTRUCTURE MANAGEMENT SYSTEM FOR WORK PLANNING TRACK DIVISIONS IN JSC «RUSSIAN RAILWAYS»

- Kovalenko N.I.** DofSci.(Tech.), Professor, Russian University of Transport (MIIT), E-mail: kni50@mail.ru, Moscow, Russia
- Suvorova D. R.** student, Russian University of Transport (MIIT), E-mail: dasha.suvorova@list.ru, Moscow, Russia
- Anohowskaja I.V.** student, Russian University of Transport (MIIT), E-mail: inna45738@gmail.com, Moscow, Russia
- Annotation.** The article analyzes the structure of the information-analytical system of JSC Russian Railways (EC ASUI), describes the relationship of its subsystems. Further streamlining and consolidation of the interaction of various control systems included in the overall structure of the EC ASUI by creating a Situational control center is considered. Separation of the initial information into true and false even at the stage of its preliminary analysis before the start of calculations can significantly reduce the number of calculated iterations (approximately 3-5%), by reducing the time it takes to process the source data array and increase the efficiency of the information-analytical

unit of the system EC ASUI (approximately 6-10%). Such a separation will allow us to consider the stage of preparation for the design iterations in the automatic mode.

Keywords: unified information environment in Russian Railways. automated, infrastructure management system, situation center, the reduction of production costs, qualitative indicators of Informatization.

Введение.

В настоящее время состояние инфраструктуры ОАО «РЖД» в недостаточной мере отвечает условиям безопасности и устойчивой организации перевозочного процесса. Значительный рост цен на материалы сказался на увеличении себестоимости ремонтов. В инфраструктуре ОАО «РЖД» стоимость содержания основных фондов достигает 30% от суммы всех расходов железнодорожного транспорта. Следовательно, оптимизация расходов на содержание инфраструктуры является одной из ключевых задач. Немаловажным обстоятельством сложившегося современного состояния инфраструктуры вызвано результатами многолетнего недофинансирования, которое привело к увеличению износа основных средств.

Управление инфраструктурой является сложной задачей, которая требует целого комплекса решений. Модель эффективного управления процессами содержания инфраструктуры показана на рисунке 1 и заключается в слаженной работе всех составляющих.



Рисунок 1. Управление процессами содержания инфраструктуры

Для улучшения оперативности управления и повышения качества работы структурных подразделений, актуальной задачей является совершенствование системы управления эксплуатационной работой инфраструктуры. Одним из решений является применение современных информационных технологий и разработка автоматизированной системы управления.

Единая корпоративная автоматизированная система управления инфраструктурой (ЕК АСУИ) – это человеко-машинная система, обеспечивающая эффективное функционирование объекта, в которой сбор и обработка информации осуществляется с применением средств автоматизации и вычислительной техники. Часть ЕК АСУИ, выделенная по определенному

признаку управления, называется подсистемой. ЕК АСУИ представляет собой иерархию подсистем, которая ориентирована на достижение определенных целей.

ЕК АСУИ является единой информационной моделью для всех инфраструктурных хозяйств, в том числе и хозяйства пути и сооружений.

Главной функцией управления содержанием эксплуатационной инфраструктуры ОАО «РЖД» является обеспечение работоспособного состояния сооружений, устройств, механизмов и оборудования, безопасного для движения поездов экономически рационально обоснованными скоростями движения поездов и осевыми нагрузками при оптимальном соотношении эксплуатационных затрат на содержание [1].

ЕК АСУИ - как система предназначена для оперативного решения задач управления и информационного обеспечения бизнес-проектов по техническому обслуживанию объектов инфраструктуры ОАО «РЖД» (рисунок 2).

На рисунке 3 приведено современное распределение работ на объектах инфраструктуры ОАО «РЖД». Из представленных материалов видно, что, порядка, 50% работ (46%) выполняются по результатам мониторинга. Следовательно, своевременность их выполнения, качество и обоснованность их производства зависит от надёжности получаемой информации.

В качестве целевых задач при создании системы ЕК АСУИ рассматривались:

- поддержка реформирования инфраструктурного комплекса ОАО «РЖД»;
- повышение экономической эффективности содержания инфраструктуры, путем автоматизации и оптимизации функций планирования и учета всех видов ресурсов;
- оптимизация процессов управления путём создания единого источника информации о функционировании процессов инфраструктуры;
- обеспечение прозрачности процессов за счет создания единого источника информации по содержанию инфраструктуры на всех уровнях деятельности;
- повышение управляемости и эффективности управленческих решений;
- повышение безопасности движения путём системного контроля их требований.



Рисунок 2. Структура производственного плана инфраструктурного подразделения в ОАО «РЖД»

Система построена на платформе программного продукта компании IBM – IBM Maximo и

реализует свои функции с помощью входящих в нее подсистем и компонентов, тесно связанных между собой. Консолидация сотен АРМов в единое современное решение обеспечивает эффективную поддержку и развитие инфраструктуры.

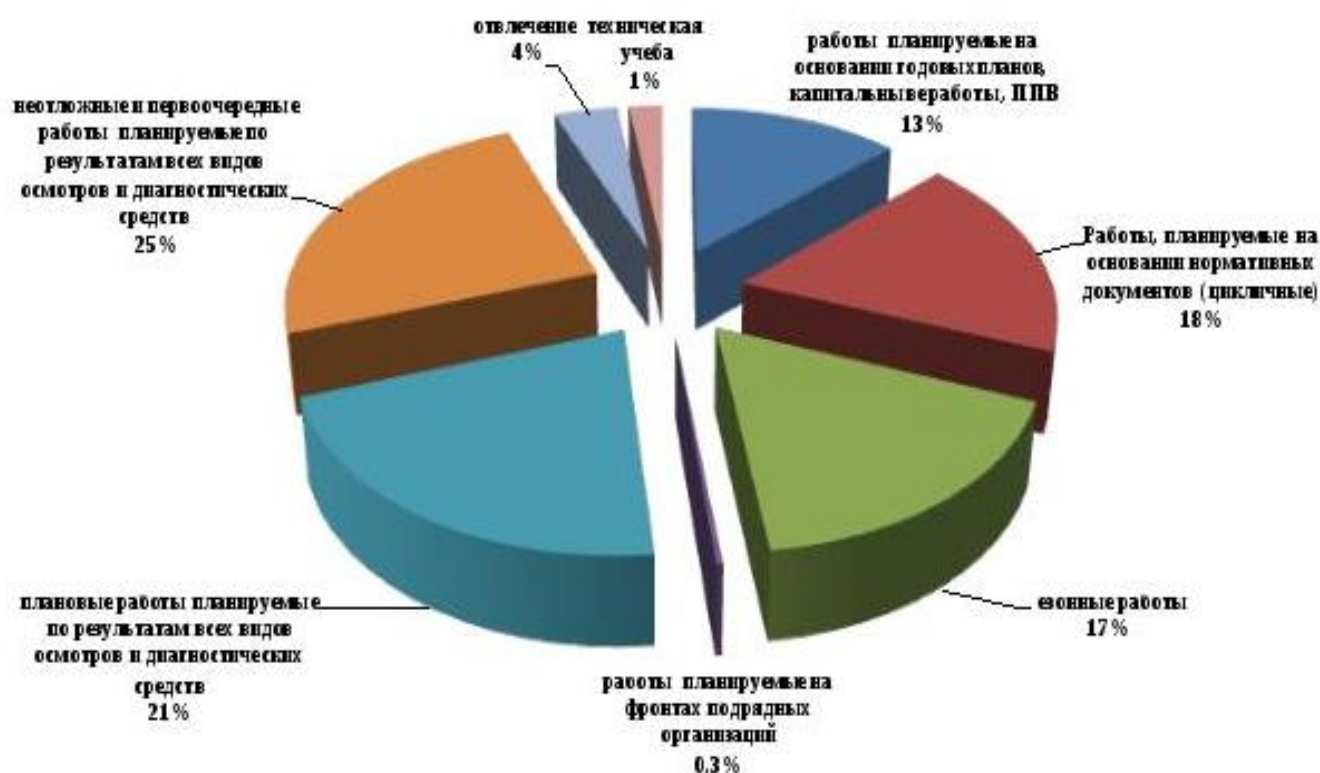


Рисунок 3. Диаграмма распределения трудозатрат по видам деятельности на объектах инфраструктуры ОАО «РЖД» (железнодорожный путь, стрелочные переводы, ИССО, земляное полотно, полоса отвода)

Основные подсистемы и компоненты ЕК АСУИ [1]:

- Единая технологическая база объектов инфраструктуры (ЕТБ);
- Единая система мониторинга и диагностики объектов инфраструктуры (ЕК АСУИ ДМ);
- Типовая система управления инцидентами на объектах инфраструктуры (ТСИ);
- Типовая система управления текущим содержанием инфраструктуры (ТС-2);
- Система оценки и прогнозирования состояния объектов инфраструктуры (СОПС);
- Система сводной корпоративной отчетности (СКО);
- Технологические автоматизированные системы управления (АСУ) хозяйств;
- Геоинформационная система (ГИС);
- ESB – единая сервисная шина, связующее программное обеспечение, обеспечивающее обмен между информационными системами;
- Электронный архив технической документации (ЭАТД);
- Система центрального хранения и предоставления нормативно-справочной информации (ЦНСИ);

Основой для функционирования системы ЕК АСУИ является Единая технологическая база объектов инфраструктуры (ЕТБ), предназначенная для хранения подробных характеристик объектов инфраструктуры и их связей на физическом и логическом уровне, в соответствии с

информационной моделью. Каждый пользователь системы ЕТБ имеет свою зону ответственности, на которую распространяется его полномочия.

ЕТБ позволяет решать задачи по следующим направлениям:

- формированию и ведению общей информационной модели эксплуатационной инфраструктуры;
- формированию единого описания объектов и связей между ними;
- формированию и ведению единой нормативно-справочной информации и геоинформационной составляющей;
- формированию единого интерфейса для ручного или автоматизированного ведения данных.

Функциональная схема ЕК АСУИ представлена на рисунке 4.

Единая система мониторинга и диагностики объектов инфраструктуры (ЕК АСУИ ДМ) создана для мониторинга и диагностики объектов инфраструктуры.

Источниками данных для работы ЕК АСУИ ДМ являются:

- системы централизованного мониторинга состояния объектов;
- бортовые системы мобильных средств диагностики (вагоны-путеизмерители, средства дефектоскопии, вагоны-лаборатории);
- различные осмотры состояния объектов инфраструктуры;
- автоматизированные системы управления безопасностью движения (АС РБ);
- автоматизированные системы комиссионных месячных осмотров (АС КМО);
- автоматизированные системы замечаний машинистов (АСУ ЗМ).

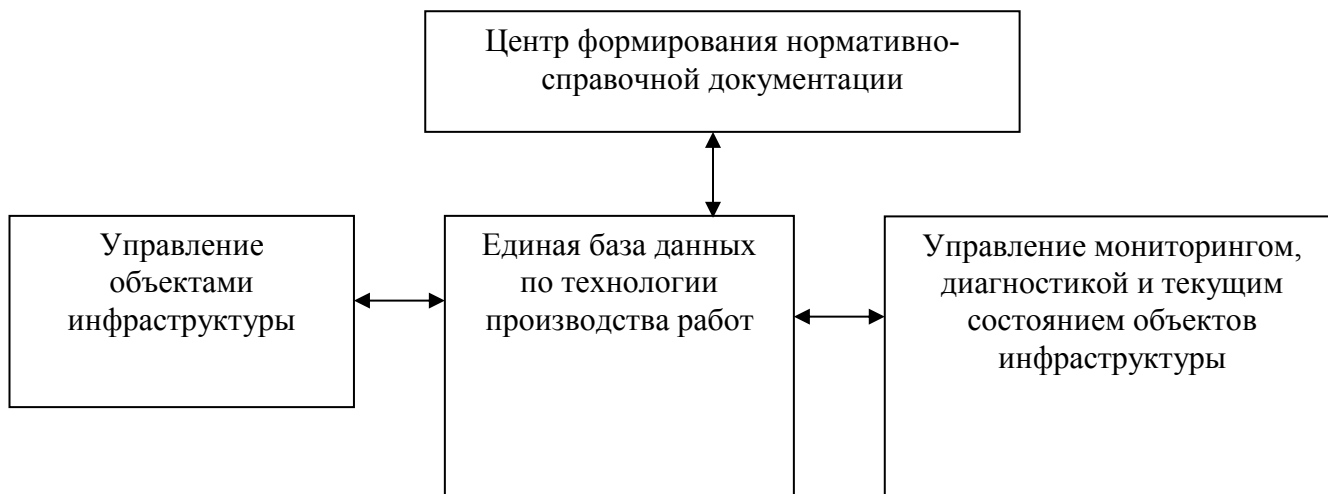


Рисунок 4. Функциональная схема ЕК АСУИ

Схема взаимодействия ЕТБ с внешними системами показана на рисунке 5.

Типовая система управления инцидентами (ТСИ) предназначена для автоматизации процессов управления устранением неисправностей и предотказных состояний (инцидентов) на объектах хозяйств инфраструктуры.

Целями подсистемы являются процессы деятельности отраслей инфраструктуры в части управления работами по ликвидации неисправностей и инцидентов.

Задачами ТСИ являются:

- регистрация инцидентов в ЕТБ и ТС-2;
- предоставление исполнителям информации для устранения инцидентов;
- организация устранения инцидентов, регистрация их устранения;
- контроль состояния работ по восстановлению работоспособности объектов;
- предоставление информации хозяйствам о состоянии процесса устранения инцидента.

Типовая система управления текущим содержанием объектов эксплуатационной инфраструктуры (ТС-2) предназначена для автоматизации управления текущим содержанием инфраструктуры и производством планово-предупредительных ремонтов.

С ее помощью решаются следующие задачи:

- ведение нормативно – справочной информации, а также ведение технологических карт по видам работ;
- годовое, месячное и оперативное планирование работ по текущему содержанию;
- управление работами на эксплуатационных объектах;
- управление персоналом (формирование потребности в трудозатратах;
- назначение персонала на работы; фактический учет трудозатрат при выполнении работ);
- управление материально-техническими ресурсами (МТР);
- формирование отчетности по объектам.

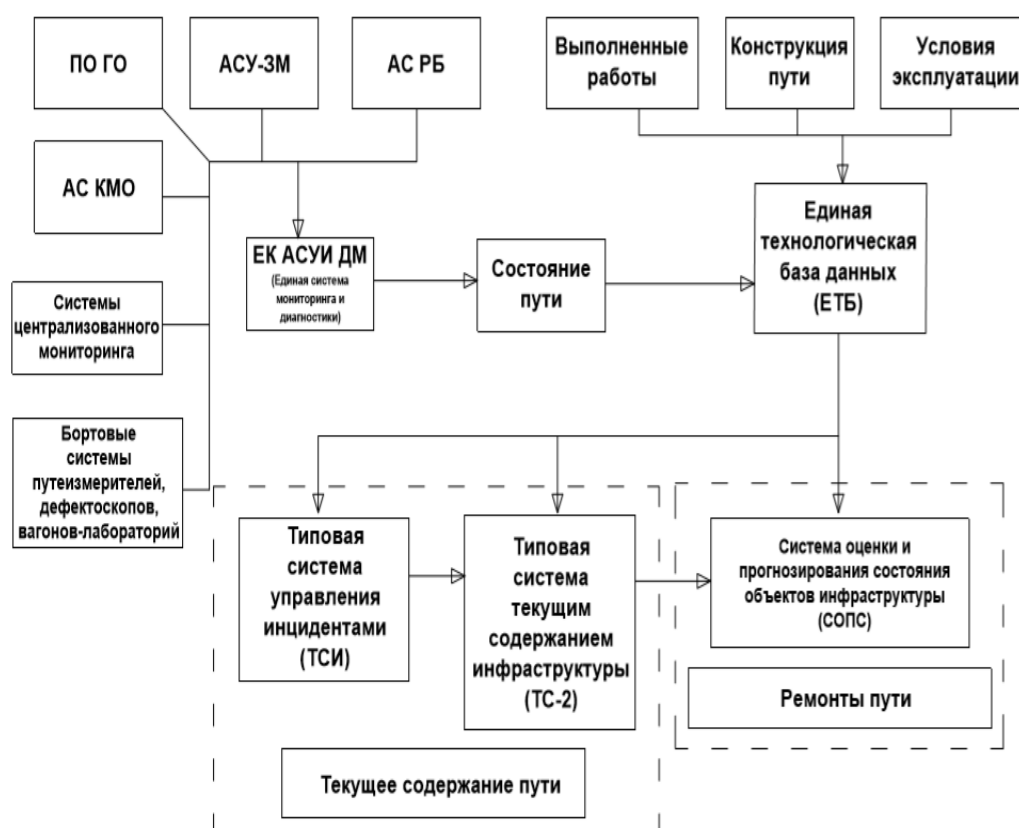


Рисунок 5. Схема взаимодействия ЕТБ с внешними системами.

Система оценки и прогнозирования состояния объектов инфраструктуры (СОПС) помогает сформировывать экономически оптимальный план работ по текущему содержанию объектов

инфраструктуры.

СОПС на основе собранных данных об объектах инфраструктуры и современных методологий управления надежностью позволяет производить комплексный анализ и оценку состояния инфраструктуры, проводить прогнозирование и определять вероятности безотказной работы, а также риски возникновения отказов.

Система позволяет перейти от стратегии обслуживания, основанной на планово-предупредительных ремонтах, к более современной системе обслуживания по фактическому состоянию объектов, что заметно сокращает расходы на содержание.

Дальнейшее упорядочивание и консолидация взаимодействия различных систем управления, входящих в общую структуру ЕК АСУИ, на современном этапе возможно и наиболее эффективно, путём создания Ситуационного центра управления [2].

Функционирование Ситуационного центра позволяет сократить загрузку работников управлений и ревизорского аппарата, в результате чего достигается косвенное сокращение производственных издержек, улучшаются качественные показатели, что и обуславливает получение также определенного экономического эффекта. Все косвенные эффекты, имеющие место при использовании Ситуационного центра ЦРБ ОАО «РЖД», можно разделить на две группы: 1-ая – количественные: сокращение затрат при решении сложных задач; 2-ая – качественные: улучшение качества работы, снижение напряженности работы оперативных диспетчеров и аналитиков.

Технологическое направление ситуационного управления состоит в разработке методов и технологий анализа и управления, снижающего нагрузку на лицо, принимающее решение (далее, ЛПР) [4 – 6]. Это направление использует информационный подход, в основе которого принимаются информационные методы управления. Кроме того, для ОАО «РЖД» в этом направлении неотъемлемой частью становятся методы геоинформатики.

Система управления ситуационного (диспетчерского) центра обеспечивает интегрированное взаимодействие всех элементов ситуационного анализа. Высокая сложность систем ситуационного центра требует постоянного обслуживания и совершенствования.

Анализ принимаемых решений.

При анализе принимаемых решений рассматриваются качественный, логический, количественный и системный уровни. Анализ принимаемых решений, как правило, строится на анализе ситуации или нескольких связанных ситуаций. Поэтому, по существу, такой анализ является ситуационным.

Формально любой анализ, в том числе логический, включает два этапа.

Первый этап заключается в построении формальных информационных конструкций [7 – 9] в виде связанных последовательностей и качественной оценки. Эти конструктивные последовательности впоследствии могут быть описаны логическими выражениями, математическими формулами или топологическими конструкциями.

Второй этап анализа включает детальное исследование качественного содержания конструктивной последовательности и применение к ней математического или логического анализа. Однако может случиться так, что качественная оценка уже позволяет принять решение или начать его формирование.

Под гипотезой события $\{A\}$ (формула 1) понимается такое событие $\{B\}$, которое подразумевает полное их совпадение [10, 11]:

$$(B \rightarrow A) \equiv 1, \quad (1)$$

Построение гипотезы при проведении анализа строится на использовании условия каузальной полноты. То есть, достигается правдоподобность на фоне уменьшения фактов и гипотез с оценками «неопределенно». Проверка этого условия интерпретируется так, если полученные гипотезы объясняют исследуемую ситуацию меньшим количеством параметров с учетом всех оценочных показателей. То есть имеет место казуальная полнота и предполагаемая гипотеза является полной. Существуют частные гипотезы о возможных причинах свойств или состояний объектов. Они могут объяснить наличие или отсутствие свойства (P_j) у объектов, для которых не было изначально известно, что они обладают или не обладают свойством (P_j) в текущей ситуации.

Цель проверки условия каузальной полноты состоит в том, чтобы определить, можно ли принимать гипотезы, полученные в результате работы метода. Если условие каузальной полноты не выполняется, необходимо изменить применяемую когнитивную технику. Например, выбрать другой способ кодирования паралингвистических единиц или другой набор информационных единиц.

В качестве примера применимости данного анализа в системе ЕК АСУИ можно рассмотреть систему мониторинга состояния геометрии рельсовой колеи (далее, ГРК) при использовании различных приборов и оборудования. В частности, достаточности применения более упрощенного и менее дорогостоящего оборудования для мониторинга ГРК малоинтенсивных участков пути (например, путеизмерительных тележек и ручных приборов). Применения более сложного и более дорогостоящего оборудования для мониторинга ГРК линий 1 – 3 классов (например, путеизмерительных вагонов с системой КВЛП). И, наконец, применения высокоточных и дорогостоящих комплексов (например, ЭРА, ИНТЕГРАЛ) для участков высокоскоростного движения.

Гипотеза события $\{A\}$ называется простой и казуально полной, если она есть конъюнкция параметров ситуации или их отрицаний, но после отбрасывания любого из ее сомножителей перестает быть гипотезой события $\{A\}$. Параметры ситуации могут быть негативными и позитивными. Штатная ситуация содержит позитивные параметры и отрицание негативных параметров. Например, простая гипотеза может быть представлена в виде формулы (2):

$$B(x_1 \wedge x_2 \wedge x_3 \wedge x_4 \wedge \neg x_5 \wedge \neg x_6 \wedge \neg x_7 \wedge x_8 \wedge x_9) \equiv 1, \quad (2)$$

В данном случае гипотеза включает все параметры ситуации, число которых равно 9. Она тождественно равна 1 (истинна), что определяет выполнение условия казуальной полноты. Исключение любого параметра нарушает условие казуальной полноты и переводит гипотезу в «не гипотезу». Её интерпретация представляется в виде формулы (3):

$$B(x_1 \wedge x_2 \wedge x_3 \wedge x_4 \wedge \neg x_5 \wedge \neg x_7 \wedge x_8 \wedge x_9) \neq B, \quad (3)$$

Гипотеза подчеркивает обязательность и комплементарность параметров. Например, выражение (1) может описывать штатную ситуацию.

Отрицание любого параметра в выражении приводит к не штатной ситуации

$$B_n(x_1 \wedge x_2 \wedge x_3 \wedge x_4 \wedge x_5 \wedge \neg x_6 \wedge \neg x_7 \wedge x_8 \wedge x_9) \equiv 1, \quad (4)$$

В выражении (4) негативный фактор x_5 присутствует в ситуации, в то время как в выражении (2) он отсутствует. Выражение (4) описывает нештатную ситуацию появления негативного фактора (например, получение неполноценной информации по оценке ГРК путеизмерительными тележками и ручными приборами) для оценки состояния ГРК на участках высокоскоростного движения. Под следствием события $\{A\}$ понимается такое событие $\{C\}$, при котором тождественно выполняется равенство (5):

$$(A \rightarrow C) \equiv 1, \quad (5)$$

Следствие задает возможность сочетания параметров и допускает их комплементарность или некомплементарность. Событие $\{A\}$ называется простым, если оно есть дизъюнкция переменных ситуации или их отрицаний, но после отбрасывания любого из ее слагаемых перестает быть следствием события $\{A\}$. Например, простое следствие в виде сочетаний (6):

$$C (y_1 \vee y_2 \vee y_3 \vee y_4 \vee \neg y_5 \vee \neg y_6 \vee \neg y_7 \vee y_8 \vee y_9), \quad (6)$$

В последующем может трансформироваться в новое сочетание в виде (7):

$$CC (y_1 \vee y_2 \vee y_3 \vee y_4 \vee \neg y_5 \vee \neg y_6 \vee \neg y_7 \vee y_9, \quad (7)$$

Полученное таким образом новое сочетание уже не является следствием (6). Важно отметить, что: если $\{A\}$ — гипотеза события $\{B\}$, то $A \wedge C$ есть тоже гипотеза события $\{B\}$; если $\{A\}$ — следствие события $\{B\}$, то $A \wedge C$ есть тоже следствие из $\{B\}$; если $\{A\}$ и $\{B\}$ — гипотезы события $\{C\}$, то $A \wedge B$ — тоже гипотеза для $\{C\}$; если $\{A\}$ и $\{B\}$ — следствия из $\{C\}$, то $A \wedge B$ — тоже следствие из $\{C\}$.

Логический анализ позволяет не только оценить событие на истинность и ложность в логической цепочке, но и показать принципиальную возможность получения результата из совокупности событий, не совершая сам расчёт (вывод). В работах [10, 11] отмечается, что семантическое следование равносильно выводимости. Это подчеркивается сходством символов. Существует символ $\vdash$ выводимость и аналогичный $\models$ символ логического следования. Доказательство выводимости или следования входит в логический анализ.

В представленном примере системы мониторинга состояния ГРК при использовании различных приборов и оборудования представленные результаты мониторинга с применением ручных приборов и оборудования будут истиной для малоинтенсивных участков пути и будут ложными для участков высокоскоростного движения поездов.

В ЕК АСУИ содержится информация более чем 15 миллионов инфраструктурных объектах и их состоянии, инцидентах и работах, с которой работают более 20 тысяч пользователей. ЕК АСУИ является одной из самых крупных на сегодняшний день инфраструктурных АСУ в мире.

Дальнейшее развитие ЕК АСУИ предполагает:

- создание унифицированного мобильного рабочего места ЕК АСУИ с использованием современных мобильных устройств;
- разработка типового решения по управлению натурными осмотрами;
- создание единого решения по диагностике и мониторингу;
- автоматизация производственного планирования и создание системы оценки результатов работы инфраструктурных предприятий с использованием **KPI** («Key performance indicators» - ключевые показатели);

- разработка системы оценки и прогнозирования состояния инфраструктуры с использованием математического моделирования.

Можно сделать вывод, что реализация стратегии информационных технологий ОАО «РЖД» позволит создать перспективную высокотехнологичную цифровую платформу, обеспечивающую единое информационное пространство ведения бизнеса.

Разделение исходной информации на истинную и ложную ещё на стадии её предварительного анализа до начала выполнения расчётов может существенно сократить количество производимых расчётных итераций (ориентировочно на 3-5%), за счёт уменьшения времени на обработку массива исходных данных и повысить работоспособность информационно-аналитического блока системы ЕК АСУИ (ориентировочно на 6-10%). Такое разделение позволит рассматривать стадию подготовки к расчётным итерациям в автоматическом режиме.

Список литературы

1. Единая корпоративная автоматизированная система управления инфраструктурой (ЕК АСУИ). Концепция. / Распоряжение ОАО «РЖД» от 12.09.2011 г.
2. Розенберг И.Н., Цветков В.Я. Комбинаторное решение транспортной задачи. Наука и технологии железных дорог. 2018. Т. 2. № 4 (8) . С. 3-10.
3. Розенберг И.Н., Цветков В.Я. Когнитивная и пространственная логика в ситуационных центрах Наука и технологии железных дорог. 2019. Т. 2. № 2 (10) . С. 3-16.
4. Поспелов Д. А. Ситуационное управление: теория и практика. М.: Наука, 1986.
5. Лёвин Б. А., Цветков В.Я. Объектные и ситуационные модели при управлении транспортом // Наука и технологии железных дорог. - 2017. -2(2). – С.2-10.
6. Охотников А.Л. Информационное ситуационное управление на транспорте. Saarbrücken.: Palmarium Academic Publising, 2018. –143с. ISBN 978-613-9-82104-4.
7. Tsvetkov V. Ya. Information Constructions // European Journal of Technology and Design. - 2014, Vol (5), № 3. - p. 147-152.
8. Дешко И.П. Информационное конструирование: Монография. – М.: МАКС Пресс, 2016. – 64с. ISBN 978 -5-317-05244-7
9. Бондур В.Г. Информационные конструкции в космических исследованиях // Образовательные ресурсы и технологии. – 2016. - 3 (15). – С.79-88.
10. Алябьева В.Г. Математическая логика. Учебное пособие. – Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2017. – 112с.
11. Верещагин Н.К., Шень А. Лекции по математической логике и теории алгоритмов. Часть 2. Языки и исчисления. — 4-е изд., испр. - М.: МЦНМО, 2012. – 240с.

