

ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ

Gantimurova J.O.

OBJECT-ORIENTED APPROACH TO TRANSPORT SYSTEM MODELING

Аннотация. Управление и контроль над процессами, протекающими в транспортной системе, можно осуществлять на макрокопическом уровне на основе методов исследования операций или на микрокопическом с помощью имитационного моделирования и теории управления. В статье анализируются характеристики транспортной системы и представлена концепция, подходящая для обоих типов моделей. Приведено описание структуры транспортной системы по трем основным компонентам: инфраструктура, позволяющая определять маршруты движения транспортных средств по звеньям сети; транспортные средства, осуществляющие процесс перевозки; искусственный интеллект, управляющий отдельными транспортными средствами или движением в транспортной сети.

Ключевые слова: транспортная система, объектно-ориентированный подход, транспортные средства, инфраструктура, транспортируемая единица, железнодорожный транспорт, автомобильный транспорт.

Abstract. Management and control over the processes occurring in the transport system can be carried out at the macroscopic level based on operations research methods or at the microscopic level using simulation and control theory. The article analyzes the characteristics of the transport system and presents a concept that is suitable for both types of models. The description of the structure of the transport system is given in three main components: infrastructure that allows you to determine the routes of movement of vehicles that move along the links of the network; vehicles that carry out the transportation process; intelligence that controls individual vehicles or traffic in a transport network.

Keywords: transport system, object-oriented approach, vehicles, infrastructure, transportable unit, rail transport, road transport.

Транспортные системы – это сложный комплекс путей сообщения, видов транспорта, инфраструктуры, распределенные на конкретной географической территории. Если принять во внимание только общие процессы, то представление о транспортной системе применимо ко многим различным системам, таким как логистика, телекоммуникация, компьютерные сети. Транспортные процессы могут быть исследованы на разных уровнях: от подробного описания динамики движения транспортных средств и потоков до задач оптимизации, сформулированных на статических моделях линейного программирования [1-4].

Важной особенностью транспортных систем является присутствие человек-оператора, который решает большинство задач, таких как управление транспортным средством или диспетчеризация. Модель транспортной системы должна охватывать искусственный интеллект и выражать его алгоритмическим способом. Данные об инфраструктуре и транспортных средствах используются в модели, а искусственный интеллект заложен в алгоритмах.

Модель транспортной системы может быть использована для решения различных оптимизационных задач с использованием методов исследования операций, искусственного интеллекта, имитационного эксперимента или итеративного подхода. Разные методы могут решать задачи на реальном объекте, а используемые модели существенно различаются по уровню детализации. Макроскопические модели позволяют сымитировать интенсивность всего транспортного потока, в то время как в микроскопических моделях каждое транспортное средство (грузовая единица) распознается в модели. Модели взаимодействуя между собой совместно используя характеристики, описывая реальную систему и, применяя входные данные. Объектно-ориентированный подход позволяет использовать инструменты для создания гибких моделей при этом интерпретация полученных результатов может отличаться в зависимости от поставленной задачи [5]. Таким образом, целью проведенного исследования является определение общих черт транспортных систем, которые могут быть представлены в каждой модели, в то время как специальные характеристики включаются только в особых случаях.

При создании модели приходится допускать абстракцию и упрощение реальной системы, поскольку важны только системные характеристики. Объект в модели может иметь несколько параметров. Топология является обязательной характеристикой транспортной сети, а остальные параметры – необязательными. Например, такие параметры, как геометрия пути, сила тяги и другие динамические параметры транспортного средства используются только в микроскопической модели, тогда как топология и объемы потока достаточны для макроскопической. Транспортный поток может иметь разный уровень детализации. Интенсивность потока (количество перемещений за временной интервал) является основным атрибутом, используемым в модели оптимизации, а также определяет частоту генерируемых транспортных средств в имитационных моделях. Макроскопическая модель строит расписание, используя данные о времени в пути между узлами сети. Время в пути оценивается посредством микроскопической модели, которая, включает объемы потока для оценки времени в сети [5, 6].

Транспортную систему можно разделить на три части: транспортная сеть (инфраструктура) как стационарная подсистема для определения маршрутов движения; транспортные потоки как подвижная часть системы и подсистема управления, представляющая искусственный интеллект в транспортной системе.

Важнейшей информацией об инфраструктуре является топология сети. Транспортная сеть состоит из узлов и звеньев, где звенья соединяют два соседних узла и определяют топологию. Звенья представляют дорожную сеть (автомобильные, железнодорожные пути сообщения) в транспортных системах, и являются ненаправленными, поэтому движение транспортных средств может

осуществляться в обоих направлениях. Последовательность объезда звеньев создает маршрут движения, но в этом должны быть заданы направления. Таким образом, следует различать два типа объектов:

- звенья, представляющие собой участки дорожной сети, которые являются ненаправленными и содержат необходимую информацию (атрибуты) об условиях движения;

- дуги, которые представляют собой направленные элементы при определении маршрута или методах оптимизации.

Каждое звено и дуга имеет обязательный атрибут, определяющий длину. Координаты объекта, расположенного на звене, можно выразить как функцию расстояния от начала звена. Аналогичным образом можно оценить положение на дуге или на маршруте [7-9].

Траектория пути транспортного средства определяется геометрией сети и типом транспортного средства. Передние и задние колеса подвижного состава железнодорожного транспорта следуют по траектории, определенной рельсами, поэтому не возникает проблем оценить их положение. Таким образом, подвижной состав следует траектории, определяемой геометрией пути, которая ограничивает максимально допустимую скорость.

Автомобильные транспортные средства не так жестко привязаны к колее, что позволяет им свободно двигаться по дороге, а значит, управлять не только продольным ускорением или замедлением, но и в определенной степени изменять траекторию движения. Радиус кривой траектории ограничивает скорость, так что центробежное ускорение не превышает максимально допустимое трение для реальных дорожных условий. Задние колеса следуют направлению, определяемому продольной осью автомобиля. Следовательно, даже если выбрана правильная траектория для передних колес, задние колеса могут оказаться за пределами границ дороги. Траектории движения подвижного состава железнодорожного и автомобильного транспорта показаны на рисунке 1.

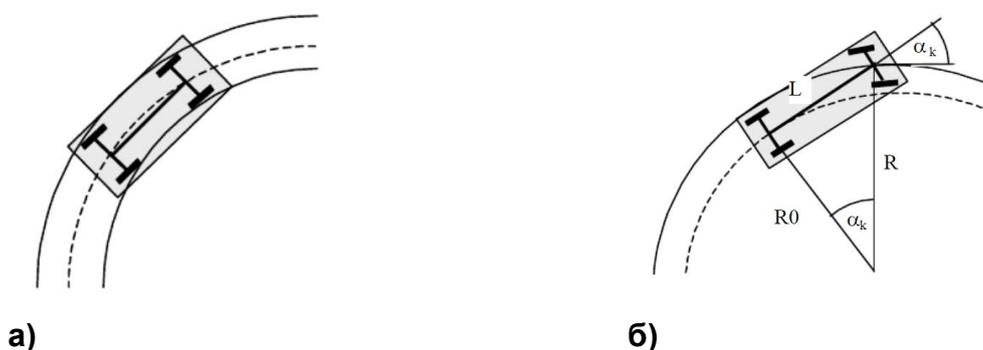


Рисунок 1 – Траектории движения подвижного состава:
а) железнодорожного транспорта; б) автомобильного транспорта

В детализированной модели необходимо учитывать основное различие между кинематикой движения автомобильного и железнодорожного транспорта. Общая модель динамики автомобиля основана на законе Ньютона (формула 1):

$$\sum_i F_i = m \cdot a, \quad (1)$$

где m – масса транспортного средства, кг; a – ускорение, м/с²; F_i – действующие силы, Н.

Если ускорение a заменить второй производной расстояния по времени, то дифференциальное уравнение (2) описывает движение транспортного средства:

$$\frac{d^2x}{dt^2} = \frac{1}{m} \sum_i F_i. \quad (2)$$

Эта модель может использоваться как для автомобильного, так и для железнодорожного транспорта и может отличаться уровнем детализации. Например, модель может учитывать только среднюю постоянную скорость без ускорения или замедления, либо процесс ускорения или замедления с постоянной скоростью, или все моменты динамики, такие как сопротивление качению, сопротивление воздуха, тяговые и тормозные усилия. Эти характеристики присущи конкретному автомобилю и различаются незначительно в зависимости от типа транспортного средства.

Траектория скорости вдоль пути в зависимости от геометрии и фактической дорожной ситуации должна учитывать профиль дороги и соблюдать ограничения скорости. Скорость не должна превышать максимальное центробежное ускорение, рассчитанное исходя из траектории и состояния дороги, иначе транспортное средство может опрокинуться. Транспортное средство, движущееся по кривой, подвергается центробежному ускорению a_c :

$$a_c = \frac{v_{max}^2}{R}, \quad (3)$$

где v_{max} – максимально допустимая скорость в повороте, м/с; R – радиус кривой, м; a_c – центробежное ускорение, м/с².

Транспортное средство не может превысить максимально допустимое центробежное ускорение a_{cmax} , которое может быть определено для каждого типа транспортного средства и дорожных условий. Ограничение скорости должно соответствовать неравенству (4):

$$v_{max} \leq \sqrt{a_{cmax} \cdot R}, \quad (4)$$

полученному из уравнения (3). Допустимое ускорение a_{cmax} устанавливается для предотвращения скольжения автомобиля, а также его опрокидывания.

На железнодорожном транспорте профиль имеет ограничение на скорость, а время движения по пути контролируется внешним сигнальным оборудованием. На автомобильные транспортные средства модель сложнее, поскольку должны учитываться как характеристики автомобиля и дорожные условия, так и время реакции водителя, и время на предотвращение дорожно-

транспортного происшествия с учетом правил дорожного движения [10]. Таким образом, управление распределяется между моделью транспортного средства с учетом его кинематических и динамических характеристик и управляющим блоком, который определяет профиль скорости и движение транспортного средства (ускорение, замедление или остановка) [5, 11].

Объектно-ориентированный подход позволяет создать общую модель, определяющую обязательные атрибуты и методы, которые можно менять в зависимости от целей исследования транспортных процессов. Приведенные объекты, атрибуты и методы более ориентированы на имитационные модели, но также могут использоваться и в моделях оптимизации. Для моделирования транспортной сети направленные дуги используются вместо связей во многих задачах оптимизации, а также в имитационных моделях для определения маршрутов. Последовательность дуг определяет маршрут, а список дуг, прилегающих к узлу, создает «прямую звезду», которая является структурой данных для быстрого поиска соседних узлов в алгоритмах оптимизации [12, 13]. Основные элементы транспортной сети схематично отображены на рисунке 2.

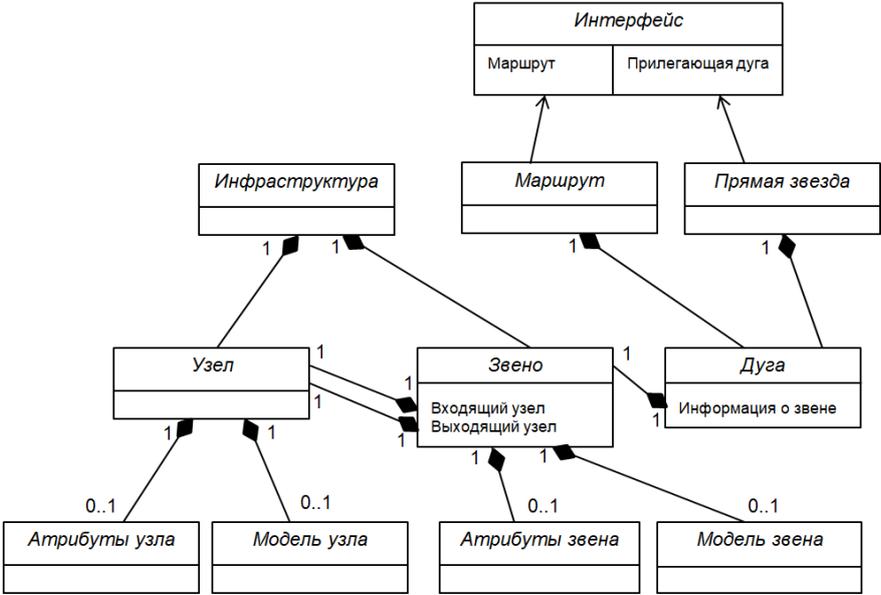


Рисунок 2 – Схема сетевой структуры данных

Данные инфраструктуры могут использоваться для различных целей:

- изменения маршрутов – для чего нужен динамический список звеньев;
- оптимизации и моделирования – необходимо обеспечить быстрый доступ к направленным дугам.

Пассажир или любой перевозимый груз может быть распознан в системе, и обозначен как «элемент». Транспортируется в конечный пункт элемент назначения может храниться только в течение определенного периода времени и иметь любое количество атрибутов (размер, вес, форма), которые его характе-

ризуют. Другими важными атрибутами являются его фактический адрес и положение.

Система мультимодальных перевозок не обслуживает отдельные элементы по одному, а собирает их и затем обрабатывает целую партию. Таким образом, объект «транспортируемая единица» наследуется от объекта «элемент» с такими же характеристиками. Транспортируемая единица может быть статическим или динамическим объектом. Статический объект – транспортируемая единица располагается для временного хранения на транспортном терминале. Динамическое использование предполагает, что объект является атрибутом транспортного средства или другого манипуляционного средства и может перемещать партии элементов между узлами сети. Объект имеет два атрибута: емкость хранилища и фактическое содержимое (количество загруженных элементов).

Транспортное средство представляет подвижный элемент в иерархии классов. Наследуется от предметного элемента и дополняется модулем динамики. Во время движения транспортного средства меняется не только его положение, но также скорость и ускорение, которые и являются атрибутами его динамики. Поскольку подвижный объект перемещается во времени, для состояния транспортного средства важен момент времени последнего изменения. Иерархия подвижных объектов транспортной системы представлена на рисунке 3 [14-16].

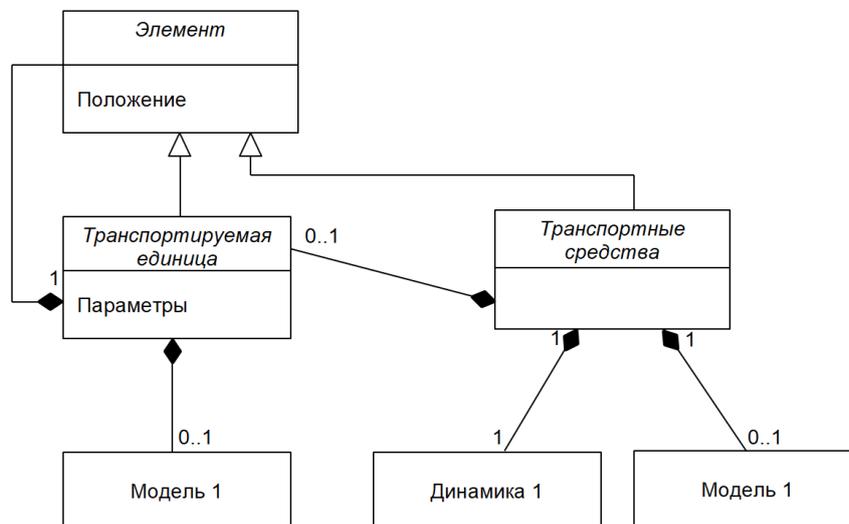


Рисунок 3 – Иерархия объектов транспортной системы

Автомобиль представляет собой объект дорожного движения с определенной кинематикой, динамикой контроля скорости и предотвращения дорожно-транспортных происшествий. Реализация интеллектуальных функций транспортного средства может стать серьезной проблемой при моделировании транспортной системы автомобильного и железнодорожного транспорта, а ал-

горитмы должны быть адаптированы для различных типов транспортных средств [6, 17].

Современные средства программирования для объектно-ориентированного подхода позволили определить иерархию, общие атрибуты и методы каждого описываемого объекта, которые можно модифицировать в соответствии с поставленными задачами моделирования транспортных систем. Таким образом, базовая модель является общей, и процессы, протекающие в системе, могут быть рассчитаны с использованием стандартных методов, в то время как специальные характеристики различных видов транспорта и типов транспортных средств выражаются значениями атрибутов.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Преловская, Е. С.** Транспортное моделирование: от города к агломерации / Е. С. Преловская, А. Ю. Михайлов // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2014. № 3. С. 86.

2. **Крипак, М. Н.** Проблемы и перспективы развития транспортной инфраструктуры в современных городах / М. Н. Крипак, А. И. Колесник // Сборник научных трудов Ангарского государственного технического университета. 2014. Т. 1. № 1. С. 194-198.

3. **Антонов, Д. В.** Основные принципы развития транспортных систем городов / Д. В. Антонов, О. А. Лебедева // Вестник Ангарской государственной технической академии. 2014. № 8. С. 149-155.

4. **Эрдэнэбат, М.** Оптимизационный подход к стохастической задаче управления запасами / М. Эрдэнэбат, О. В. Кузьмин, Н. Тунгалаг, Р. Энхбат // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2017. № 3 (55). С. 106-110.

5. **Сенек, Р.** Vehicle Kinematics and Micro-simulation Models / Р. Сенек // Journal of Information, Control and Management Systems, Vol.1, No.1, 2003, pp. 7-14.

6. **Сенек, Р.** Object-Oriented Model of a Transportation System / Р. Сенек // 12th WSEAS International Conference on Computers, Heraklion, Greece, July 23-25, 2008, pp. 1060-1065.

7. **Кузьмин, О. В.** Комбинаторные свойства плоских сечений обобщенной пирамиды Паскаля и построение навигационных маршрутов / О. В. Кузьмин, Б. А. Старков // Итоги науки и техники. Современная математика и ее приложения. Тематические обзоры. 2022. Т. 214. С. 53-59.

8. **Зедгенизов, А. В.** Управление скоростью движения на скоростных дорогах городских и урбанизированных территорий / А. В. Зедгенизов, А. Ю. Михайлов // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2010. № 6 (46). С. 141-146.

9. **Михайлов, А. Ю.** Интегральный критерий оценки качества функционирования улично-дорожных сетей / А. Ю. Михайлов // Известия Иркутской государственной экономической академии. 2004. № 2. С. 50-53.

10. **Ляпустин, П. К.** Оценка социально-экономического ущерба от дорожно-транспортных происшествий / П. К. Ляпустин, А. А. Кобак // Современные технологии и научно-технический прогресс. 2020. Т. 1. № 7. С. 171-172.

11. **Елисеев, С. В.** Современное состояние разработок в области транспортной динамики / С. В. Елисеев, Р. Ю. Упырь, В. Е. Гозбенко // Депонированная рукопись № 739-B2009 27.11.2009

12. **Кедрин, В. С.** Применение программной архитектуры Model-View-Controller для построения системы визуального проектирования и моделирования алгоритмов / В. С. Кедрин, О. В. Кузьмин // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление. 2011. № 4 (128). С. 36-42.

13. **Полтавская, Ю. О.** Применение геоинформационных систем для обеспечения устойчивого развития транспортной системы города / Ю. О. Полтавская // В сборнике: Информационные технологии в науке, управлении, социальной сфере и медицине. Сборник научных трудов VI Международной научной конференции. Под редакцией О.Г. Берестневой, В.В. Спицына, А.И. Труфанов, Т.А. Гладковой. 2019. С. 164-167.

14. **Полтавская, Ю. О.** Моделирование процессов взаимодействия элементов транспортно-технологической системы региона / Ю. О. Полтавская, А. П. Хоменко, О. Д. Толстых // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2020. – № 4 (68). – С. 158–165. – DOI: 10.26731/1813-9108.2020.4(68).158-165.

15. **Гозбенко, В. Е.** Автоматизация отдельных операций перевозочного процесса с целью обеспечения достаточных условий для оптимального функционирования "цифрового" транспорта и логистики / В. Е. Гозбенко, В. А. Оленцевич, Ю. И. Белоголов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2018. № 4 (60). С. 125-132.

16. **Комаров, А. В.** Позиционирование технологических процессов в структуре транспортных систем / А. В. Комаров // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2020. – Т. 66 № 2. – С. 163–169. – DOI: 10.26731/1813-9108.2020.2(66).163-169.

17. **Полтавская, Ю. О.** Оптимизация транспортной сети на основе минимума общих затрат на доставку грузов / Ю. О. Полтавская // Вестник Ангарского государственного технического университета. 2019. № 13. С. 178-183. DOI: 10.36629/2686-777x-2019-1-13-178-183.