

DOI: 10.37943/AITU.2020.26.65.009

Ye. Kazantseva

Master's degree Student, Department of Information Technologies and Security
kanyakazantseva@list.ru, orcid.org/0000-0002-0356-7446
Karaganda Technical University, Kazakhstan

G. Danenova

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Information Technologies and Security
guldan72@mail.ru, orcid.org/0000-0002-9347-2036
Karaganda Technical University, Kazakhstan

MODEL OF POPULATION MIGRATION IN AGGLOMERATIONS WITHIN THE FRAMEWORK OF THE “SMART CITY” PARADIGM

Abstract: The urban agglomeration is a multitude of united settlements according to economic, labor, cultural, household, and recreational characteristics. Agglomeration is perceived as an integral territorial union; therefore, it is essential to consider it in the framework of the “smart city” paradigm. All movements of the population within the agglomeration, despite the seeming chaos, can be presented systematically and identified certain patterns. These regularities will optimize the city's infrastructure by shaping its transport system in such a way that it will be possible to exclude potentially emergency sections on the roads and reduce the traffic load on highways. In order to optimize the infrastructure of the agglomeration, the existing model of transport networks and population movement (migration) within it are considered.

The article presents an analysis of the “smart city” paradigm, describes its multidimensional structure and levels on which the urban infrastructure is built, and provides mathematical models based on which the agglomeration transport system is formed. To describe the model of population movement within the framework of an agglomeration, a data warehouse is considered, which contains information about an urban transport network comprising a set of points and communications laid between them. Based on this transport network, a route network is formed, which is a collection of all transport routes.

The paper describes a model of a transport and distribution system taking into account temporal and spatial characteristics and a model of an intelligent city transport system based on a hyper network. The models of transport systems used foreign countries' experience, where there is a tendency to improve navigation and monitoring systems within the transport intelligent system of the city, are described.

Keywords: transport systems, smart city, population migration model, correspondence matrices.

Казанцева Е.Ю.

магистрант кафедры информационных технологий и безопасности
katyakazantseva@list.ru, orcid.org/0000-0002-0356-7446
Карагандинский Технический Университет, Казахстан

Даненова Г.Т.

Кандидат технических наук, доцент кафедры информационных технологий и безопасности
guldan72@mail.ru, orcid.org/0000-0002-9347-2036
Карагандинский Технический Университет, Казахстан

МОДЕЛЬ МИГРАЦИИ НАСЕЛЕНИЯ В АГЛОМЕРАЦИЯХ В РАМКАХ ПАРАДИГМЫ «УМНОГО ГОРОДА»

Аннотация: Городская агломерация представляет собой множество поселений, которые объединены согласно хозяйственным, трудовым, культурно-бытовым и рекреационным характеристикам. Агломерация воспринимается как целостное территориальное объединение, поэтому очень важно рассматривать именно его в рамках парадигмы «умного города». Все передвижения населения внутри агломерации, несмотря на кажущуюся хаотичность, можно представить систематически и выделить определенные закономерности. Эти закономерности позволят оптимизировать инфраструктуру города, сформировав его транспортную систему таким образом, что станет возможным исключить потенциально аварийные участки на дорогах и снизить транспортную нагрузку на магистрали. С целью оптимизации инфраструктуры агломерации рассматривается существующая модель транспортных сетей и перемещение населения (миграция) внутри нее.

В статье представлен анализ парадигмы «умного города», описана ее многомерная структура и уровни, на которых строится городская инфраструктура, и приведены математические модели, на основе которых формируется транспортная система агломерации. Для описания модели перемещения населения в рамках агломерации рассматривается хранилище данных, в котором содержится информация о городской транспортной сети, содержащей набор пунктов и проложенных между ними коммуникаций. На основе данной транспортной сети формируется маршрутная сеть, которая представляет собой совокупность всех транспортных маршрутов.

В работе приведено описание модели транспортно-распределительной системы с учетом временных и пространственных характеристик и модель интеллектуальной транспортной системы города на основе гиперсети. Описаны модели транспортных систем, применяемые в опыте зарубежных стран, где на данный момент сохраняется тенденция к улучшению систем навигации и мониторинга в рамках транспортной интеллектуальной системы города.

Ключевые слова: транспортные системы, умный город, модель миграции населения, матрицы корреспонденций.

Введение

Городская агломерация – это совокупность поселений, объединенных многообразными и интенсивными связями (такими, как хозяйственные, трудовые, культурно-бытовые, рекреационные). Как целостное территориальное образование, агломерация возникает на основе функционального и пространственного развития крупного города-ядра (либо нескольких городов-ядер). В окружении данного города формируются поселения разных

типов (города-спутники, пригороды и другие), которые служат его транспортными, рекреационными, производственными, коммунально-хозяйственными дополнениями.

С целью оптимизации инфраструктуры агломерации, включающей в себя несколько населенных пунктов, необходимо рассматривать существующую модель транспортных сетей и перемещение населения (миграцию) внутри нее. При анализе миграции населения необходимо последовательно использовать несколько уровней описания в соответствии с общей методологией системного подхода. Как правило, на этапе описания проблемной ситуации для формализованного представления модели транспортных систем используются методы теории графов и описания коммуникационных систем, при решении задач распределения ресурсов и планировании функционирования транспорта используются соответствующие методы исследования операций.

Инфраструктура представляет собой совокупность материально-технических средств и систем, с помощью которых может обеспечиваться передвижение населения. К ним относятся улично-дорожные и транспортные сети, маршрутные сети, транспортные предприятия, транспортные средства (подвижной состав), ремонтные предприятия, а также другие обеспечивающие организации и службы.

За последние десятилетия в планировании городской инфраструктуры возникла особая парадигма – парадигма «умного города» [1]. Ее появлению способствовали академические исследования и экспериментальные городские проекты. Ряд публикаций и инициатив показывают, как интернет-технологии могут использоваться для улучшения инфраструктуры и расширения возможностей граждан и организаций в разработке инновационных решений, которые позволяют сделать города более современными, эффективными и инклюзивными.

Основная часть

Цифровое пространство города представляет собой составную конструкцию. Его можно представить как набор колец, наложенных друг на друга, каждое из которых имеет определенные характеристики и функции. В самом центре находятся широкополосные сети, проводные и беспроводные, обеспечивающие связь и подключение, сенсорные сети и различные типы устройств доступа. Затем располагается кольцо данных и web-технологий, позволяющих создавать, обрабатывать, визуализировать и анализировать данные. Третье кольцо состоит из программных приложений во многих сферах жизни города, от предпринимательства до образования, здравоохранения, транспорта, энергетики, общественной безопасности и других. Приложения можно классифицировать по основным подсистемам городов: экономика, качество жизни, городская инфраструктура и коммунальные услуги, а также управление городом. Внешнее кольцо состоит из электронных услуг.

Структура «умного города» многомерна и характеризуется гибкостью, функциональной совместимостью и масштабируемостью ее составных компонентов. Данную структуру можно описать тремя ключевыми уровнями:

- городской – он включает в себя население города, наукоемкую деятельность и инфраструктуру;
- информационный – он включает в себя институциональные условия для потоков сотрудничества и знаний в области технологий и инноваций внутри города;
- интеллектуальный – данный уровень представляет собой стек технологий и включает широкополосные сети, программные приложения и электронные услуги, которые улучшают сотрудничество и функционирование городов в реальном времени.

Население города, в частности, та его часть, которая представляет собой совокупность работников умственного труда и инновационных компаний, являются основой, фундаментальным компонентом парадигмы «умного города». Ключевым аспектом в развитии данной парадигмы будет являться агломерация интеллектуального капитала городского

населения. Второй рассматриваемый уровень – уровень информации – предоставляет институциональные условия для развития инноваций и актуализирует знания, управляет исследовательским сотрудничеством, распределением ресурсов. Интеллектуальный уровень предоставляет технологии, которые порождают современные инновационные экосистемы агломераций [2]. Функционирование городов становится более эффективным за счет обмена данными и информацией в реальном времени и автоматизированного управления. На данном уровне рассматриваются технологии управления данными, обработка информации, цифровые сети, а также различные формы межмашинного взаимодействия.

К задачам эффективного формирования инфраструктуры «умного города» относится создание производственных геоинформационных систем, несущих пространственную и атрибутивную информацию об элементах системы, а также информационно-коммуникационных систем о передвижениях населения внутри агломерации. Для анализа данной системы необходимо решить следующие задачи:

- определить корреспонденции между элементами городских структур;
- выявить основные характеристики обслуживающих процессов в рамках транспортных коммуникаций;
- создать экспертную систему для контроля, управления и развития транспортной системы.

Для формирования модели перемещения населения в рамках агломерации необходимо создать хранилище данных, в котором будет содержаться информация о городской транспортной сети, представляющая собой набор пунктов (точек) и проложенных между ними связей или коммуникаций. На основе данной транспортной сети формируется маршрутная сеть, которая представляет собой совокупность всех транспортных маршрутов. Между ключевыми пунктами транспортной сети осуществляется передвижение транспорта (корреспонденции) [3], что представляется интенсивностью потока взаимодействий. Используя данную модель, можно оценивать и анализировать потоки на транспортных маршрутах.

Для анализа данной модели необходимо выделить группы транспорта, которые можно рассматривать как самостоятельные компоненты системы. К ним можно отнести наземный уличный транспорт, железнодорожный транспорт, метро, внеуличный транспорт и т.д. Транспортная система уникальна тем, что поведение ее субъектов носит коллективный характер. В связи с этим такое поведение формирует некоторые закономерности построения транспортной системы. На рисунке приведены уровни, соответствующие временной стабильности и соотносимые с ними объекты управления транспортной системы.

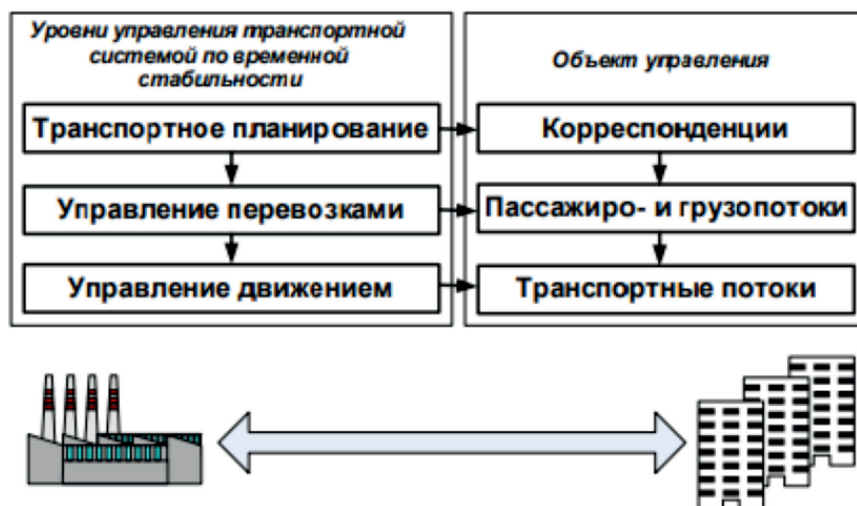


Рис. 1. Уровни управления транспортной системой

Миграция населения в рамках агломерации может быть классифицирована в зависимости от различных факторов. Так пассажиропотоки можно рассмотреть:

- с точки зрения цели можно выделить следующие виды: трудовая (или учебная), служебная и социальная или культурно-бытовая миграция;
- с точки зрения периодичности выделяются регулярные, характеризующиеся сезонной неравномерностью, периодические и разовые;
- с точки зрения времени: свободные и фиксированные;
- с точки зрения пространственной характеристики: концентрированные по направлениям и равномерно распределенные по территории города.

Данную классификацию необходимо учитывать при построении модели миграции населения в агломерациях, при анализе инфраструктуры и транспортной системы города.

В настоящее время становится наиболее актуально создание транспортно-распределительных систем, открывающих доступ населения для использования ресурсов магистральных автотранспортных сетей. С целью оптимизации инфраструктуры города необходимо создать математические модели, способные описать временные характеристики транспортно-распределительных систем.

Используя характер временной зависимости параметров, которые определяют состояние транспортного объекта, выделим этапы, в пределах которых эти параметры будут постоянными. Для построения модели транспортно-распределительной системы используется теория графов, что позволит использовать методики при постановке задач оптимизации процессов функционирования и развития транспортно-распределительных систем. Так модель автотранспортной системы можно описать множеством элементов $S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$, которые не имеют внутренней структуры [4]. Исходя из конкретной модели рассматриваемой структуры, выделяется операция D . То есть для транспортной инфраструктуры города можно определить данную операцию согласно географическим характеристикам. В качестве уровней кластеризации определяются следующие: дом, квартал, улица, район. Система связей, параметры которых задаются конкретной моделью, описывает взаимодействие элементов. Таким образом, задача может быть представлена в виде графа.

В процессе решения задачи и отображения ее в виде графа может возникнуть такая ситуация, при которой исходный детализированный граф модели оказывается слишком велик и в таком случае описывается слишком большой матрицей. Чтобы решить эту проблему, можно выделить подмножества вершин и ребер, которые будут описывать транспортные потоки региональных и муниципальных образований, которые тесно связаны между собой и имеют ограниченное число связей с другими подмножествами. Таким образом, операция D определяется как функция координатного отбора с учетом административно-территориального деления [5].

Модель задается графом $G(X, \Gamma)$, где $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, представляет собой совокупность вершин графа, которая соответствует набору узлов магистральной транспортной сети города, где n – общее количество узлов, вершина x_i соотносится с узлом под номером i , а $\Gamma = \{(x_i, x_j)\}$, ($i, j = 1, 2, \dots, n$) – совокупность ребер графа, которая соответствует всем возможным магистральным связям между узлами. Вес ребра поставлен в соответствие каждому ребру графа. Вес ребра (x_i, x_j) равен $u((x_i, x_j)) \geq 0$. В том случае, если не существует ребра, связывающего рассматриваемые вершины, $u((x_i, x_j)) = 0$. Под весом ребра понимается пропускная способность магистрали между рассматриваемыми вершинами. Таким образом, получаемая матрица пропускной способности может быть несимметрична, хотя граф рассматривается как ориентированный.

На рисунке 2 приведен пример графа, который соответствует кластерной системе со степенью детализации, равной 2.

На представленном графе ребрами являются участки городских улиц, не содержащие перекрестков, светофоров, въездов и выездов. Свойства вершин и параметры магистрали ограничивают движение на рассматриваемых участках, а весовые параметры ребер на данном участке постоянны. Представим вектор \vec{R}_{ij} в качестве совокупности независимых параметров участка дороги между соответствующими вершинами i и j . Набор таких характеристик ребра, которые невозможно выразить через остальные, является системой независимых параметров.

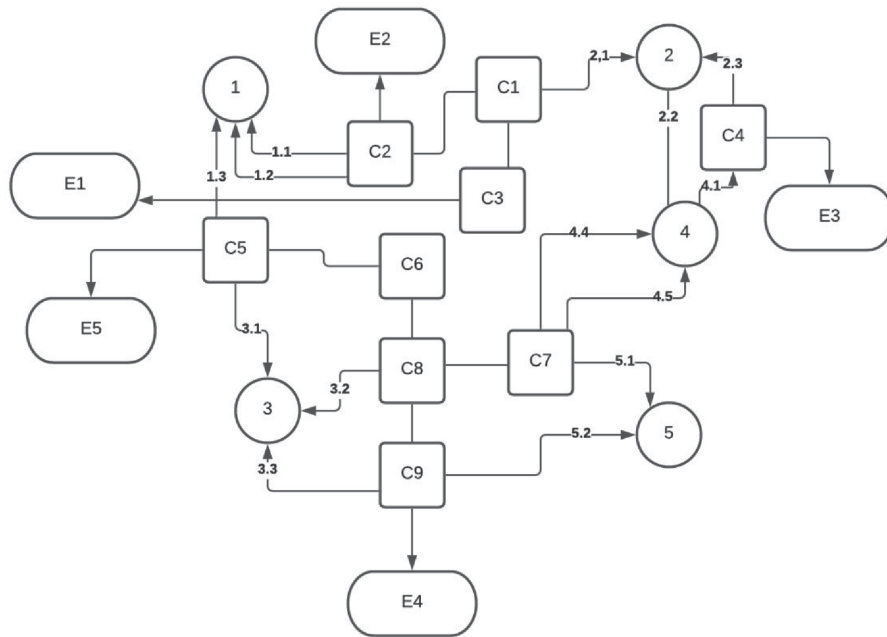


Рис. 2. Граф на основе кластерной системы со степенью детализации, равной двум

В рассматриваемом графе компонентами вектора \vec{R}_{ij} будет являться множество матриц, размерность которых соотносится с размерностью матрицы связности [6]. Таким образом, данный вектор можно описать как:

$$R_{ij} = R(L_{ij}, P_{ij}, V_{ij}) \quad (1)$$

где L_{ij} – матрица длин участков магистрали между соответствующими вершинами (i, j), P_{ij} – матрица пропускных способностей между соответствующими вершинами (i, j), а V_{ij} – матрица скоростных ограничений на заданном участке дороги.

Следующим параметром рассмотрим параметр заполнения дороги транспортными средствами. В качестве этого параметра зададим $l_k, k=1, \dots, r$, что представляет собой характеристику габаритов транспортных средств, которые перемещаются по рассматриваемой магистрали. Максимальное число транспортных средств, допустимых на магистрали можно рассчитать по следующей формуле:

$$g_{ij} = L_{ij} P_{ij} / \bar{l}_{ij}, \quad (2)$$

где \bar{l}_{ij} – среднестатистическая длина транспортного средства.

Таким образом, создается подход, который позволяет формулировать и решать задачи оптимизации транспортно-распределительных систем. Представленный комплекс алгоритмов позволяет рассчитывать параметры оптимизируемых процессов, на основе чего ста-

новится возможным сформулировать и решить задачу оптимизации функций управления движением на базовой сети транспортных магистралей с различной степенью детализации муниципальных объектов.

Другим подходом к формализованному описанию транспортных систем является представление транспортной, маршрутной сети и путей перемещения между ее пунктами в виде гиперсети. Дуги данной гиперсети являются путями передвижения. В графе корреспонденций можно выделить два типа вершин: $i = \overline{1, n}$, которые соответствуют пунктам или районам и j_k , которые соответствуют остановкам различных маршрутов $k = \overline{1, m}$ которые проходят через пункт i . Множество дуг W графа состоит из четырех типов дуг: дуг типа (i, j_k) , длины которых $t^{no}(i, j_k)$ равны времени подхода и ожидания пассажиров, желающих осуществить посадку на k -том маршруте; дуг типа (i_k, j_k) , длины которых $t^{np}(i_k, j_k)$, задают время передвижения по соответствующему перегону k -го маршрута; дуг типа (i, j) , длины которых $t^{no}(i, j)$, задают время пешего передвижения между пунктами i и j ; дуг пересадок (i_k, j) , длины которых $t(i_k, j)$, равны дополнительным затратам времени, которые возникают у пассажиров при пересадках.

Таким образом, путь между точками i и j можно описать следующей формулой:

$$h^{pkij} = \{i, j; t(h^{pkij}); p; k_1, \xi_1, \eta_1; k_2, \xi_2, \eta_2; \dots; k_l, \xi_l, \eta_l, \dots, k_p, \xi_p, \eta_p\}, \quad (3)$$

где $t(h^{pkij})$ – затраты времени на передвижение по пути h^{pkij} ; p – порядок пути; k_l – индекс ТМ, осуществляющего l -ю маршрутную связь (ξ_l, η_l) ; ξ_l и η_l – начальный и конечный пункты в маршрутной связи (ξ_l, η_l) , $l = \overline{1, p}$.

Согласно полученным данным, стратегия выбора пути пассажиром задается вероятностной функцией, которая зависит от характеристик пути перемещения. Если учесть факторы времени и количества пересадок, можно получить следующую формулу:

$$P_{\varepsilon}^{ij} = \frac{1}{N} \left\{ 1 + \alpha_t \ln \left[\frac{\prod_{\varepsilon=1}^N T_{\varepsilon}^{ij}}{(T_{\varepsilon}^{ij})^N} \right] + \alpha_q \ln \left[\frac{\prod_{\varepsilon=1}^N q_{\varepsilon}^{ij}}{(q_{\varepsilon}^{ij})^N} \right] \right\} \quad (4)$$

где $N \geq 2$ число возможных путей; T_s^{ij}, q_s^{ij} соответственно время передвижения и число посадок на s -ом пути следствия; α_t, α_q коэффициенты относительного влияния времени проезда и числа пересадок на выбор пути.

Рассмотренный метод обработки корреспонденций носит характер «идеального». Это означает, что такое потокораспределение удовлетворяет интересам тех пассажиров, которые совершают перемещения и не учитывает те аспекты, которые возникают при обслуживании. С учетом процесса обслуживания [7] будет происходить перераспределение идеальных потоков и приспособление передвижения к реальной пропускной способности маршрутов гиперсети. Для того чтобы учесть это, используется процедура пересчета временных параметров гиперграфа $L(Z, W)$ [8].

Минимальным затратам на передвижение пассажиров соответствует равновесное состояние. Оно определяет распределение пассажиров по путям следования в соответствии со стратегией выбора пути.

В настоящее время сохраняется тенденция к улучшению систем навигации и мониторинга в рамках транспортной интеллектуальной системы города. Это происходит благодаря разработке и установке технологий выделенной связи ближнего действия (DSRC), глобальной системы позиционирования (GPS) и радиоинтерфейса связи, а также технологий большой и средней дальности (CALM). DSRC [9] представляет собой протокол и стандарт беспроводной связи ближнего и среднего радиуса действия, который широко применяется

по всему миру в качестве коммуникационного модуля для службы электронного взимания платы за проезд (ETCS), работающего в широком диапазоне частот. Это технология для различных видов транспортных услуг, использующая полосу частот от 10 МГц до 75 МГц в диапазоне частот 5,9 ГГц в пределах выделенной национальной полосы, дальность связи составляет 300 метров (1000 футов). В Республике Корея DSRC широко внедрен в регионе Тэджон и успешно используется в службе информации о дорожном движении. В Японии и странах Западной Европы использование данного стандарта беспроводной связи предполагается в рамках сбора данных о трафике и общественном транспорте.

Японская система данных ITS-Spot применяет технологию V2X, которая позволяет транспортным средствам коммуницировать между собой и окружающей средой посредством мобильной телефонии. ITS-Spot представляет собой совместную систему транспортных средств и инфраструктуры, продвигаемую Министерством земельной инфраструктуры, транспорта и туризма Японии. ITS-Spot включает в себя сеть из 1600 датчиков DSRC, которые обмениваются данными с автомобилями, и центральную систему, в которой данные интегрируются и обрабатываются в прогнозной модели трафика в режиме реального времени.

Собранные данные включают в себя следующие данные о перемещениях: время, местоположение, скорость, данные о поведении, ускорение. ITS-Spot использует интерактивную связь между транспортными средствами и дорожной инфраструктурой для обеспечения динамического ведения по маршруту, поддержки безопасного вождения и ETCS. Динамическое ведение по маршруту создает оптимальный варианты маршрута к пункту назначения путем анализа дорожной ситуации в реальном времени. ITS-Spot может дополнительно собирать информацию о возникающих или существующих «черных точках» аварий и привлекать к ним внимание водителей, предлагая альтернативный маршрут.

Услуги данной системы также включают в себя отчеты о погодных условиях в пункте назначения и видео в реальном времени об условиях движения в туннелях. Данные, собранные ITS-Spot, используются при анализе и планировании транспортной системы, разработке мер борьбы с заторами, выявлении зон, подверженных авариям, обследовании условий проезда транспортных средств специального назначения и транспортных средств, перевозящих опасные материалы, использование дорог во время сильных снегопадов или стихийных бедствий.

Внедрение данной системы привело к сокращению времени в пути по основным маршрутам, выявлению опасных мест на дорогах и принятию корректирующих мер (нанесение предупреждающих знаков на поверхность дороги или улучшение видимости путем обрезки придорожной растительности).

Достижения в области вычислительной техники сделали возможным применение «повсеместной» коммуникационной технологии для улучшения связи между информационными системами и дорогами, транспортными средствами и водителями посредством C-ITS [10]. Международная организация по стандартизации (ISO) определяет C-ITS как совокупность интеллектуальных транспортных систем, которые обмениваются информацией между станциями для предоставления рекомендаций или содействия действиям с целью повышения безопасности, устойчивости, эффективности и комфорта за пределами автономных систем. Это системы нового поколения, которые используют беспроводную связь для обеспечения постоянной коммуникации между транспортными средствами, а также между транспортными средствами и придорожной инфраструктурой.

Благодаря C-ITS возможно информировать водителя о потенциальных опасностях, таких как дорожные работы или гололед, посредством сообщений, отправляемых либо другими транспортными средствами, либо через инфраструктуру. По оценкам Austrroads, при

100-процентном освоении рынка C-ITS, количество серьезных аварий с несчастными случаями будет сокращено более чем на четверть. Фактически, C-ITS представляет собой расширение традиционных интеллектуальных транспортных систем и обеспечивает более высокий уровень комфорта и безопасности для пользователей транспортных средств за счет предоставления информации в реальном времени.

Такие крупные производители автомобилей, как BMW, Chrysler, Fiat и Volkswagen, организовали промышленную ассоциацию (C2C-CC), целью которой является повышение безопасности и эффективности перевозки за счет применения технологии передачи данных между автомобилями. Данная ассоциация стремится установить промышленные стандарты для межкосмической связи в Европе, начиная с 2015 года. Технологии, стоящие на повестке дня для этой интеллектуальной транспортной системы, ориентированной на автомобиль, включают в себя систему предупреждения для лобового столкновения для защиты пассажиров, руководство по маршруту для предотвращения заторов и снижения расхода топлива, а также межкорпоративные каналы связи.

Заключение

В ходе проведенного исследования были представлены и описаны математические модели перемещения (миграции) населения в рамках интеллектуальной транспортной системы агломерации. Была рассмотрена модель транспортно-распределительной системы на основе теории графов, что позволяет использовать методики при постановке задач оптимизации процессов функционирования и развития транспортно-распределительных систем с разной степенью детализации структуры.

Была рассмотрена модель перемещения пассажирского транспорта на основе гиперсетей. Согласно данной модели, равновесное состояние соответствует минимальным затратам времени на передвижение пассажиров и определяет распределение пассажиров по путям следования в соответствии со стратегией выбора пути. Стратегия выбора пути пассажиром задается вероятностной функцией, которая зависит от характеристик пути перемещения.

В статье были описаны примеры использования интеллектуальных транспортных систем, стандарта DSRC и технологии V2X в зарубежных странах, которые наглядно показали эффективность такого подхода к анализу инфраструктуры города и планированию транспортного сообщения внутри агломераций.

Литература

1. Городская агломерация [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://bigenc.ru/geography/text/2371705> – Дата доступа: 22.11.2020.
2. Komninos, N. (2018). Smart cities. *The SAGE Encyclopaedia of the Internet*, 783-789.
3. Яворский, В.В. (2019). *Обработка данных в хранилище интеллектуальной транспортной системе города с использованием оркестрации*. IV Международная научно-практическая конференция «Информатика и прикладная математика», – Алматы, 59-64.
4. Утепбергенов, И.Т. (2019). Организация хранилищ данных для SMART систем городского общественного транспорта // Алматы, 114-119.
5. Пугачев, И.Н. (2015). Теоретические принципы и методы повышения эффективности функционирования транспортных систем городов // Уральский государственный университет. – Екатеринбург, 21-39.
6. Дмитриев, И.И. (2017). Умные дороги и интеллектуальная транспортная система // Строительство уникальных зданий и сооружений, 8-28.
7. Ахмедиярова, А.Т., Сонькин, М.А., Яворский, В.В., Фофанов, О.Б., Ключева, Е.Г., & Чванова, А.О. (2019). Формирование хранилища данных путей передвижения в городе. In *Информационные*

технологии в науке, управлении, социальной сфере и медицине: сборник научных трудов VI Международной конференции, 14-19 октября 2019 г., Томск. – Томск, 2019. (pp. 73-78).

8. Клюева, Е.Г., Яворский, В.В., Адамов, А.А. (2019). Определение оптимального разбиения элементов матриц при параллельном умножении на гетерогенных процессорах. *Материалы научной конференции ИИВТ КН МОН РК «Инновационные IT и Smart-технологии», посвященной 70-летию юбилею профессора Утепбергенова И.Т. – Алматы: ИИВТ МОН РК. (pp. 176-181).*
9. Интеллектуальная транспортная система: «умный» город в движении [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://rostec.ru/news/intellektualnaya-transportnaya-sistema-umnyu-gorod-v-dvizhenii/> – Дата доступа: 25.11.2020.
10. Intelligent Transportation Systems for Sustainable Development in Asia and the Pacific [Электронный ресурс]