МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ

ФЕДЕРАЦИИ ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Организация перевозок и дорожного движения»

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ**

ДЛЯ МАГИСТРОВ НАПРАВЛЕНИЯ 23.04.01 «ТЕХНОЛОГИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПРОЦЕССОВ» ЗАОЧНОЙ ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

Ростов-на-Дону

ДГТУ

2021

Оглавление

[Тема №1 «АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ РАЗВИТИЯ И ВНЕДРЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ» 3](#_Toc91082033)

[Тема №2 «АРХИТЕКТУРА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ» 5](#_Toc91082034)

[Тема №3 ВНЕДРЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ 9](#_Toc91082035)

[Тема №4 МОДЕЛИРОВАНИЕ ВНЕДРЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ 15](#_Toc91082036)

[5. Рекомендуемая литература 26](#_Toc91082037)

# Тема №1 «АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ РАЗВИТИЯ И ВНЕДРЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ»

Эффективность и безопасность функционирования транспортных сетей современных городов осуществляется путём широкого применения интеллектуальных транспортных систем (ИТС). Транспортная политика всех развитых стран мира уже более 45 лет базируется на разработке и продвижении интеллектуальных транспортных систем и создании единого информационного пространства. Изначально внедрение ИТС требовало решения широкого ряда задач: разработок концепции архитектуры ИТС и глобальной международной стандартизации предоставляемых услуг, привлечение инвестиций, и т.д., что затрудняло развитие отрасли ИТС услуг. Поэтому развитие ИТС происходило от внедрения и использования отдельных сервисов и программ к комплексному интегрированному набору услуг.

**Начало развития отдельных элементов ИТС в Европе** можно отнести к 1981 году, когда в ряде стран (Нидерланды, Франция, Германия, Италия, Великобритания) впервые начали применяться динамические информационные табло. Далее, в 1988 в Лондоне появляется компания Trafficmaster, которая по настоящее время специализируется на выпуске программного обеспечения по предоставлению информации о скорости движения автомобильного потока в режиме онлайн, системы навигации, карты движения транспортных потоков и т.д. В 1989 году на скоростных дорогах Италии начинает применяться Telepass - электронная система, базирующаяся на использовании зарегистрированных автомобилей: оплата за пользование скоростными дорогами, снимается со счета владельца транспортного средства без его участия. В 1991 году во Франции различные радиостанции (107.7) начали предоставлять информацию об автомобильном движении города. К концу 90х в Европе начинают приобретать распространение бортовые компьютеры, информирующие водителя транспортного средства о движении автомобильного транспорта и программы, предоставляющие информацию о времени прохождения заданного маршрута. В начале 2000х во Франции была разработана система оплаты Liber-t, благодаря которой оплата за пользование автомагистралями (а во Франции они практически все платные) происходит без очереди и без остановки автомобиля. В 2006 году в Берлине создан единый центр управления дорожным движением. Далее и по настоящий день развитие ИТС в Европе направлено на совершенствование технологий передачи и обработки данных автомобильного движения.

**История распространения телематических устройств и будущих компонентов ИТС в США** берет своё начало в 1961 году, когда впервые начал осуществляться мониторинг автомобильного движения благодаря камерам видеонаблюдения (система телевидения замкнутого контура). Затем, в начале 90х, появляются первые тестовые программы контроля дорожного движения, а уже в 1994 году публикуется национальная архитектура ИТС США. С начала 2000х на всей территории США применяется унифицированное управление автомобильным движением.

**Начало применения элементов ИТС в Азиатско-Тихоокеанском регионе** относят к 1963 году с появлением продукта SCATS (Sydney Coordinated Adaptive Traffic System) – системой управления дорожным движением при помощи которого осуществлялось измерение интенсивности движения автомобильного транспорта. В настоящее время данная система позволяет построение маршрута, моделирование перекрестков для повышения пропускной способности и уменьшения количества остановок на маршруте. Система SCATS получила широкое распространение не только по всей Австралии, но и за её пределами, включая Сингапур, Китай, Ирландию, Чили, Бразилию, Южную Африку, США и Катар. В 1971 году в Токио (Япония) появляется единый центр управления автомобильного движения. 1988 год – в Сингапуре разработана и внедрена система координированного регулирования транспортных потоков по городским улицам, при использовании индуктивных детекторов. К середине 2000х в ряде стран (Япония, Корея, Австралия, Сингапур, Китай, Малайзия) функционируют интегрированные национальные интеллектуальные центры управления дорожным движением на автомобильных маршрутах и автострадах.

К настоящему времени транспортные проблемы носят особенно острый характер. Замедление темпов развития экономики, загрязнение окружающей среды, климатические изменения, всё это вынуждает максимально эффективно использовать имеющиеся ресурсы и повышать конкурентоспособность ИТС.

# Тема №2 «АРХИТЕКТУРА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ»

Архитектура ИТС определяет основную структуру системы. Основой ИТС являются информационные технологии, которые содержат информацию об элементах транспортной сети (наземная транспортная инфраструктура, транспортные средства, перевозки и т.д.) и о пользователях транспортом (экспедиторы, перевозчики, органы государственной власти, таможенное управление и т.д.).

Основные средства ИТС можно разделить на следующие:

* Технические средства (физические средства, аппаратные средства коммуникационных и информационных технологий, датчики, исполнительные элементы и т.д.);
* Средства управления процессами (стратегии и алгоритмы управления, аппаратные средства коммуникационных и информационных технологий и т.д.);
* Средства организационной поддержки (организационная структура, управление транспортом, ответственность отдельных организаций, национальные стандарты и т.д.)

Архитектура ИТС определяет основную структуру изучаемой системы в пространстве и вместе с определением границы стыковки (интерфейс) является исходным шагом идентификации или компоновки системы. Элементы системы считаются носителями частных системных функций (услуг), связи системы определяют возможность соединения элементов в цепочку и, следовательно, возможность существования процессов. Архитектуру ИТС можно разделить на: опорную, функциональную, информационную, физическую, коммуникационную, организационную. Формирование архитектуры ИТС – это методика получения на основании требований потребителей, транспортной политики и т.д функциональной концепции реализации транспортно-телематических приложений, находящихся в разных слоях ИТС. Ниже рассматривается подробно данная методика.

Функциональная архитектура (ее так же называют логической) показывает необходимые функции для удовлетворения запросов пользователей. Она выстраивается в виде диаграммы потока данных, которая содержит функции, приложения, услуги, базы данных, а также данные, передаваемые между ними. Построение функциональной архитектуры представлено на рисунке 2.1.



Рисунок 2.1 – Построение функциональной архитектуры

Каждая составляющая имеет собственное описание, которое отражает, какую именно функцию она выполняет.

Функциональная архитектураопределяет модульную структуру ИТС, в которой прописываются целевые направления развертывания ИТС (безопасность, организация дорожного движения, мониторинг на дороге и в транспортном средстве), а также целевые группы задач, вокруг которых формируются комплексы подсистем ИТС (подсистем ИТС в транспортных средствах, в дорожной инфраструктуре, интегрированные подсистемы). Также к уровню модулей отнесено определение объектов ИТС (по назначению транспорта: коммерческие и индивидуальные, а также по функциональному охвату – подсистемы ИТС в дорожном хозяйстве).

По завершении составления функциональной архитектуры, выделяется место каждой функции и хранилищу данных в подсистеме или в пределах модуля, который является частью подсистемы.

Ещё одна составляющая архитектуры ИТС – физическая архитектура. Её формирование состоит из следующих шагов:

- выбор функциональной структуры в качестве основы для процесса создания физической архитектуры;

- определение необходимых подсистем и их расположение;

- выбор функций и данных для подсистем;

- при необходимости создание модулей в рамках подсистем;

- определение функций и данных для модулей в подсистемах;

- подготовка сведений о содержании физической архитектуры.

В программном обеспечении, осуществляющем услуги ИТС, имеется инструмент, с помощью которого из общего перечня выбирается необходимая услуга (инструмент выбора). Таким образом, запускаются физические потоки данных между подсистемами. Данным запросам присваивается номер, который при необходимости может быть изменен в конкретное название.

Физическая архитектура определяет точные требования, предъявляемые к программному обеспечению и аппаратным средствам информационных и телекоммуникационных технологий, включая их пространственную локализацию. В соответствии с установленной функциональной и информационной архитектурой следует определить конкретные физические решения телематических элементов и программное обеспечение ИТС. Критерием для принятия решений является функциональность, безопасность, надежность и не в последнюю очередь общие расходы, связанные с приобретением и эксплуатацией системы.

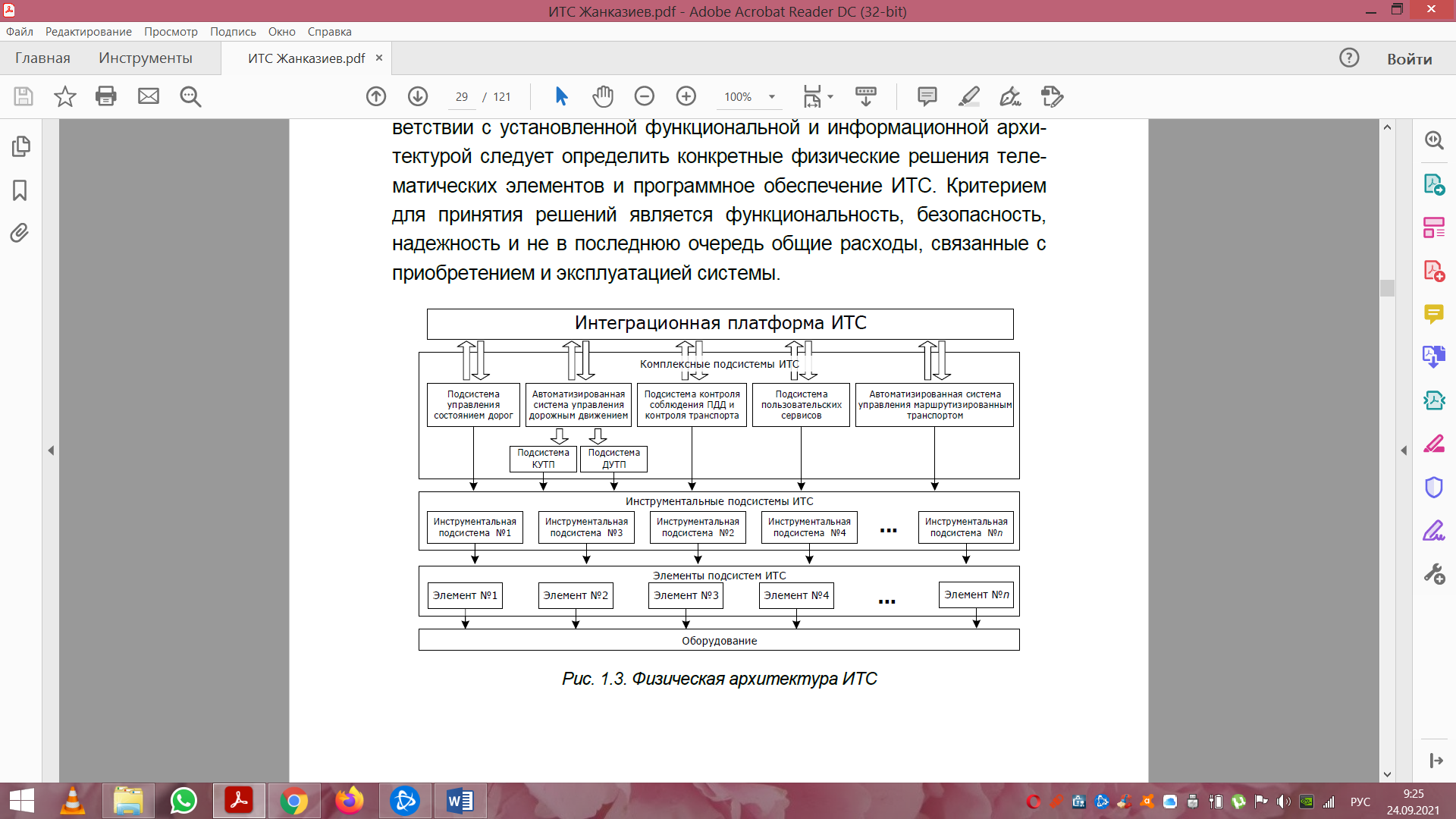


Рис. 5.2. – Физическая архитектура ИТС

Физическая архитектура первого уровня обусловлена выбором датчиков и исполнительных элементов. Между первым и вторым уровнем осуществляется передача самых важных данных, которая в большинстве случаев тесно связана с безопасностью дорожного движения и управлением транспортными потоками. Передача между первым и вторым уровнями обычно обеспечивается с помощью собственной специальной телекоммуникационной среды, которая должна гарантировать удовлетворение требований к защищенности, доступности и надежности передачи информации.

Второй уровень обрабатывает данные и осуществляет зональное управление. Он образуется в основном вычислительной техникой, состав которой определяется в соответствии с требованиями к обрабатываемой информации. Телекоммуникация между вторым и третьим уровнями реализуется в соответствии с требованиями конкретных процессов.

Третий уровень определен информационными технологиями управления и логистики крупнейших транспортных областей. Выбор программного обеспечения и аппаратных средств осуществляется исходя из требований отдельных процессов.

Телекоммуникационная среда между третьим, четвертым и пятым уровнями в подавляющем большинстве случаев образуется обычной средой одного из существующих операторов постоянных сетей. Передача в транзитном слое телекоммуникационных сетей отличается особенно высокой степенью доступности и вообще высоким качеством среды. Однако необходимо обеспечить защиту системы от злоупотребления, хранящейся и передаваемой информации.

По завершении построения архитектуры ИТС она может быть использована в качестве основы для решения следующих проблем: создание проектов ИТС, подбор технических средств реализации услуг ИТС, дальнейшее развитие ИТС, прогнозирование экономической эффективности реализации проектов ИТС, анализ возможных рисков при эксплуатации объектов ИТС.

# Тема №3 ВНЕДРЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

Создание модели ИТС состоит из следующих пяти стадий:

* Создание списка потребностей пользователей.
* Создание архитектуры, которая будет удовлетворять эти потребности.
* Создание отдельных частей ИТС, которые затем интегрируются вместе, формируя таким образом полную архитектуру ИТС.
* Анализ, проверка и утверждение всех компонентов ИТС.

Каждый процесс характеризуется как частными функциями, так и требования к входной и выходной информации, а также к способу обработки информации. К требованиям к входной информации отдельных процессов относятся: частота сигналов входной информации, определение интерфейсов входной информации, требования к передаче входной информации от датчиков и т.д. К требованиям к обработке информации в рамках процесса относятся, в частности, защищенность и надежность данных в процессах обработок, свойства используемых алгоритмов и т.д. К требованиям к выходной информации относятся в, первую очередь, частота сигналов выходной информации, определение интерфейса выходной информации, задержка во времени между происшествием и получением выходной информации и т.д. При внедрении интеллектуальных транспортных систем важным моментом является **системный подход к проектированию объектов ИТС.** Интеграция отдельных услуг ИТС в сложную интегрированную систему – трудоёмкий процесс, затрагивающий различных участников внедрения и эксплуатации объекта: органы власти, системных администраторов, программистов, центры управления данными и т.д.

Для надежного функционирования транспортных интеллектуальных приложений следует обеспечить синхронизацию между частными процессами, а именно:

- кодовая синхронизация, которая требует наличия определенного интерфейса между отдельными процессами так, чтобы имелась возможность совместно использовать и передавать заданные параметры информации, а также функционально связывать их между собой;

- временная синхронизация, которая требует приведения частной информации к единой шкале времени так, чтобы можно было сравнивать и обрабатывать информацию, относящуюся к определенному моменту времени;

- пространственная синхронизация, которая требует, чтобы информация была отнесена к единой общей точке пространства (характерно для местоположения транспортных средств или товара при мультимодальных перевозках).

Приложения интеллектуальных транспортных систем используют выходы отдельных частных процессов, которые синхронизированы во времени, по коду и в пространстве. К приложениям ИТС относятся, например, поддержка транспортного планирования, информация для водителей легковых автомобилей, электронный сбор оплаты за проезд на автомагистралях, управление общественным транспортом, управление перевозками грузовыми транспортными средствами и т.д.

Для анализа спроса на объекты ИТС, участникам проекта необходимо рассмотреть риски относительно функционирования транспортной сети в целом. Экономические показатели и плотность населения (факторы, влияющие на спрос) могут быть отражены в матрицах корреспонденций. Распределение транспортных потоков обусловлено структурой и условиями транспортной сети. Стоит отметить, что данные функционирования транспортной сети являются переменными показателями. Динамичное изменение спроса на определенные транспортные услуги зависит от реализации объектов ИТС.

Рассмотрим внедрение объекта ИТС на примере реализации проектов платных дорог. Когда к существующей транспортной сети добавляется платная дорога, то, естественно, происходят значительные изменения в распределении транспортного потока. Водители могут пользоваться платными дорогами как полностью, так и частично, а могут вообще не пользоваться. Работа платных дорог полностью зависит от платежей пользователей и информационной инфраструктуры, т.к. недостаточное информирование об объектах ИТС значительно снижает спрос на них. В ходе изучения принятия решений пользовании платных дорог, с учетом отправной точки маршрута, фактора времени, расстояния не было выведено ожидаемых закономерностей, и эффективность реализации проекта и изменения в транспортной сети чаще всего остаются непредсказуемыми.

В качестве решения этой проблемы была разработана методология анализа спроса, которая даёт объективную оценку изменений в структуре транспортной сети на экономическую эффективность существующих и внедряемых проектов платных дорог. Данная методология включает в себя следующие действия:

* определение факторов риска, от которых зависит данный проект;
* выявление основных конкурирующих маршрутов;
* анализ транспортной сети при реализации подобных проектов;
* развитие системы принятия решений.

На фазе *определения факторов риска, от которых зависит данный проект,* исследовательская группа определяет стратегические цели проекта: финансовая прибыль, снижение уровня транспортных заторов, повышение безопасности на транспортных сетях, соблюдение экологических норм.

После составления приведенной выше таблицы, основное внимание уделяется прибыли от проекта, т.к. этот параметр имеет наибольшее значение для инвесторов. Отметим, что чем выше стоимость пользования платными дорогами, тем выше уровень риска.

*Выявление основных конкурирующих маршрутов* включает в себя анализ распределения транспортных потоков до внедрения объекта ИТС. В то время как многие исследования проектов платных дорог основное внимание направляют на условия транспортной сети и выбор маршрута, оценку целесообразности внедрения объекта, важный аспект анализа транспортной сети, чаще всего пренебрегается. Этот параметр является одним из важнейших при финансировании проекта. В данном контексте конкурирующие дороги выявляются путем определения, какая из них наиболее эффективно сможет повлиять на транспортные потоки сети. Согласно схематичному анализу и этому показателю, методология основывается на выявлении всех возможных вариантов реализации проекта путем моделирования, затем, исследовав результаты, определяется проект, наиболее позитивно влияющий на транспортные потоки.

*Анализ транспортной сети при реализации подобных проектов* основывается на оценке воздействия внедрения объектов ИТС в условиях существующей транспортной сети и последующих структурных изменений.

Последним компонентом анализа является *развитие системы принятия решений*, он заключается в моделировании проекта, что позволит оценить воздействие проекта на транспортную сеть в целом и на доходы от его реализации.

Традиционная оценка транспортной сети состоит из четырех последовательных этапов, при которых моделируются транспортные потоки всей сети (рисунок 3.1).



Рисунок 3.1 «Схема оценки транспортной сети»

На первом этапе анализа дается оценка топологии транспортной сети, спроса на определенные маршрута (например, матрица корреспонденций).

На втором этапе делаются прогнозы возможных изменений поведения транспортной сети при реализации проекта. При помощи программ моделирования и построения графиков транспортных заторов, анализируется текущая ситуация на транспортной сети, затем при помощи тех же инструментов анализируется изменение потоков транспорта.

На третьем этапе анализируются и сравниваются конкурирующие маршруты. Суть данного этапа, прежде всего, заключается в изучении, как именно повлияет перераспределение транспортных потоков на существующие маршруты.

На четвёртом этапе всё внимание фокусируется на изменениях транспортного движения, вызванного реализацией проекта. На данном этапе осуществляется более точная оценка финансовых рисков. Ожидается, что проект позитивно повлияет на транспортный поток, что повысит доход от проекта, тем самым снизятся финансовые риски.

Прежде чем предлагать конкретные проекты, необходимо представлять – не только к чему приведёт их реализация, но и необходимо ли внедрение проектов вообще. Одним из решений этого вопроса является математическое моделирование. Среди всего разнообразия математических моделей, практически применяемых на сегодняшний день для анализа транспортных сетей городов и регионов, можно выделить три основные группы моделей: прогнозные модели; имитационные модели; оптимизационные модели.

# Тема №4 МОДЕЛИРОВАНИЕ ВНЕДРЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

Многие крупные города современного мира столкнулись с проблемой перегрузки улично-дорожных сетей (УДС), следствием чего является снижение скоростей перемещения транспортных средств по отрезкам УДС, т.е. снижение эффективности их использования. Разница между временем движения в свободных условиях и в часы «пик» может составлять 6-8 раз и более. При этом, уровень автомобилизации продолжает расти. Так, например, в г. Ростове-на-Дону в настоящее время уровень насыщения населения легковыми автомобилями составляет 387 автомобилей на 1000 жителей. По материалам Генерального плана развития города Ростова-на-Дону к 2025году уровень автомобилизации спрогнозирован в объеме 500 автомобилей на 1000 жителей. В подобных условиях необходимо проведение мероприятий по оптимизации функционирования транспортной сети города. Одним из способов решения выделенной проблемы является развитие системы магистральной улично-дорожной сети, обеспечивающей высокую пропускную способность и реализацию скоростных наземных транспортных связей. В последнее время всё более широкое распространение приобретает внедрение объектов совершенствования транспортной сети, например, «транспортные коридоры» - объекты, при помощи которых пользователи могут перемещаться с максимально допустимой скоростью, избегая транспортных заторов.

Внедрение объектов совершенствования транспортной сети требует больших финансовых затрат, т.е. существует необходимость привлечения частного сектора к разработке и внедрению подобных объектов. При государственно-частном партнёрстве не существует универсальных правил, в каждом конкретном случае используются определенные договоренности о распределении прибыли, правительственных гарантий, применяются различные математические модели. В данной статье подробно рассматривается анализ выкупа объектов совершенствования транспортной сети государственным сектором.

Анализ и прогноз спроса на перевозки является неотъемлемой частью развития проектов платных объектов совершенствования транспортной сети. Исходя из этого прогноза, проект платной дороги разрабатывается согласно особенностям будущего транспортного движения. Кроме того, от этой оценки зависит финансовая структура проекта. Окупаемость проекта рассчитывается на основе спроса и установленного тарифа.

Предполагая, что поток трафика имеет стохастический характер, модель транспортного спроса и предложения будет иметь случайные величины. Будущие транспортные потоки на внедряемом объекте могут быть смоделированы с учетом распределения известных различных ожидаемых показателей и дисперсией. Кроме того, при моделировании спроса на пользование платным объектом предполагается, что:

• ожидаемый трафик на объекте постоянно увеличивается;

• транспортный спрос на предполагаемом объекте в определенный момент времени зависит только от показателей транспортного потока в данный момент времени, независимо от предыдущих состояний.

Государственный сектор имеет право выкупа платных объектов совершенствования транспортной сети, если доход от эксплуатации превышает запланированные показатели, с дальнейшим его эксплуатированием и привлечением прибыли. Сложность заключается в определение стоимости объекта, которая рассчитывается исходя из ожидаемой суммы дохода и фактической.

Моделирование работы транспортной сети (рисунок 4.1) может осуществляться на любых уровнях при использовании различных характеристик транспортного потока и дорожной сети города. Модели должны учитывать стохастическое поведение водителей, зависимости между распределением транспортных потоков, взаимодействия в системе «водитель – автомобиль – дорога – среда».



Рисунок 4.1 «Задачи моделирования в интеллектуальных транспортных системах»

Aimsun - программа транспортного моделирования, которая позволяет моделирование от маршрута одного автобуса до целого региона. Особенности моделирования:

- определение уровня транспортного спроса при помощи матриц корреспонденций;

- унифицированная база данных;

- динамический анализ движения транспортных средств с учетом стохастического характера выбора маршрутов;

- динамический анализ движения транспортных средств с учетом динамического равновесия транспортного спроса;

-управление движением транспортных средств.

Основные достоинства такого моделирования:

- применение максимально эффективных инструментов;

- построение расширенных имитационных моделей в одном документе;

- отсутствие ошибок, которые возникают при моделировании разных уровней в отдельных программах;

- устранение лишней работы, которая возникает при соединении уровней, смоделированных в разных программных обеспечениях;

- снижение стоимости работ, повышение скорости выполнения заказов.

Т.к. разработчики Aimsun сами являются специалистами в области транспортного движения, данное программное обеспечение создано с максимально удобным интерфейсом, учитывая все потребности пользователя:

- возможная настройка интерфейса самим пользователем;

- модели транспортной сети, имитационные модели и выходная информация находятся в отдельных разделах программы;

- возможность копировать/вставить информацию;

- сравнение различных сценариев;

- создание сценариев для автоматически повторяющихся задач.

Aimsun позволяет максимально быстрое моделирование с возможностью выбора дополнительных элементов, как, например, сам город, так и его междугородние магистрали. На экране монитора Aimsun может запустить модель транспортной системы Сингапура, имеющей 10 580 перекрестков, 4 483 км внутригородских дорог, в 2-3 раза быстрее, чем это происходит в реальном времени. Такая высокая скорость позволяет: моделировать огромные участки, не пропуская при этом проблемные зоны и протестировать больше сценариев при различных параметрах транспортной сети. В данном программном обеспечении осуществлялось моделирование Монреаля (Канада), Торонто (Канада) и Нью-Йорка (США).

Возможность моделирования с учетом стохастического характера выбора маршрутов и динамическим представлением данных позволяет получить максимально точную модель транспортной сети. В дальнейшем эта модель применяется при составлении маршрута, т.к. позволяет увидеть существующую ситуацию на транспортной сети. Операторы транспортной сети, таким образом, могут влиять на выбор маршрутов, предоставляя информацию о транспортных заторах (рисунок 4.2).



Рисунок 4.2 «Осуществление сбора информации о движении транспортных средств»

Aimsun совместим с уже существующими программами: CAD, GIS, различные программы моделирования, оптимизации светофорных сигналов и т.д.

Так же Aimsun позволяет моделировать поведение пешеходов, что позволяет повысить уровень безопасности, прогнозирование инцидентов, анализ городской среды. Aimsun может учитывать до 30 000 пешеходов в час, таким образом, имитационные модели могут содержать и транспортные средства, и пешеходов. Используя при моделировании статистические данные о численности населения, программа учитывает и среднюю скорость пешеходов, и необходимое личное пространство.

Разработка различных сценариев в данной программе позволяет постоянное внесение дополнительных деталей, копирование информации из разных файлов (что позволяет избежать множества ошибок). Все сценарии хранятся в отдельном файле.

Все разработанные имитационные модели и сценарии могут быть открыты в программе 3D Max, что позволяет экспертам отслеживать движение транспортных средств при помощи виртуальных камер наблюдения. Ещё одним достоинством Aimsun является применение OpenStreetMap, что позволяет начать моделирование проекта с импортирования данных о выбранной территории.

**PTV Group** предоставляет программные решения и консалтинговые услуги для расширения возможностей мобильности и транспорта для более чистого и разумного будущего. Клиенты в более чем 120 странах мира полагаются на решения PTV - программное обеспечение для интеллектуального управления движением и оптимизации транспорта позволяет лицам, принимающим решения в политике, городах, организациях, промышленности и логистике, экономить время и деньги, делать дороги более безопасными и защищать окружающую среду. Более 2 500 городов принимают интеллектуальные решения на основе данного программного обеспечения. Расположенный в самом сердце технологического региона Карлсруэ, головной офис ПТВ является центром развития и инноваций компании с момента ее основания в 1979 году в качестве филиала Карлсруэского технологического университета (KIT). Новейшие достижения в области науки, техники и исследований постоянно учитываются при разработке нашей продукции. Сегодня около 900 сотрудников по всему миру работают над мощными, ориентированными на будущее решениями для создания умной и экологичной мобильности для каждого.

PTV Visum — самый распространенный программный продукт для транспортного планирования, обеспечивающий надежную поддержку при принятии стратегических и оперативных решений. С помощью этого продукта строятся достоверные транспортные модели для визуализации и тестирования различных сценариев.

**TRANSYT** - это программный пакет, содержащий макроскопическую модель трафика, оптимизатор сигналов светофоров и имитационную модель с целью проектирования, оценки и моделирования от отдельных дорожных развязок до больших транспортных сетей со смешанным сигналом и управлением приоритетным движением.

Время подачи светофорных сигналов на перекрестках дорог имеет важное влияние на уровень загруженности как на самом перекрестке, так и на прилегающих перекрестках, которые могут регулироваться по приоритету. Обеспечение эффективного определения времени сигналов светофора - один из наиболее экономичных методов снижения уровня транспортных заторов.

Основываясь на десятилетиях исследований и разработок, TRANSYT в настоящее время представляет собой комплексный глобальный продукт, используемый для оптимизации сигналов трафика на отдельных перекрестках и больших транспортных сетях со смешанным управлением. Он разработан специально, чтобы предлагать быстрые решения с минимальным вмешательством пользователя, а также более продуманные решения при необходимости.

Моделирование TRANSYT может использоваться во многих процессах - его планы сигналов используются для сигналов с фиксированным временем; средства беспроводной связи; Базовые тайминги SCOOT; максимальное время срабатывания транспортного средства, а также используется для прогнозирования вышеупомянутых характеристик.

**Emme** - это полная система прогнозирования транспортных потоков для планирования передвижения людей по городу, региону и стране. Emme снабжает некоторые из самых сложных транспортных моделей в мире надежными алгоритмами и процедурами, предназначенными для точной работы с приложениями. Emme поддерживает современные профессиональные рабочие процессы с помощью комплексных API-интерфейсов, удобного сетевого лицензирования, поддержки стандартов открытых данных и сценариев Python. Работает с ОС Windows или Linux. Данный продукт обеспечивает обоснованными решениями по планированию с помощью карт, диаграмм и отчетов, которые всегда актуальны. Быстрые сравнения сценариев помогают сделать выходные данные понятными и пригодными для принятия мер.

Процесс моделирования ИТС состоит из следующих этапов:

1. **Определение зоны моделирования.** На данном этапе определяется масштаб влияния внедряемого объекта на перераспределение транспортных потоков и устанавливаются его границы («зона влияния»). При определении границ модели необходимо учитывать следующие особенности:

- функциональные возможности реализуемых мероприятий по организации дорожного движения и развитию транспортной инфраструктуры с применением компонентов ИТС;

- возможная зона воздействия мероприятий на элементы улично-дорожной сети и вариация этих воздействий по характерным временным периодам;

- динамичность распространения возмущений в транспортном потоке на соседние элементы улично-дорожной сети.

Так же проводится анализ как данный объект может повлиять на транспортную нагрузку на тех участках, которые не включены в зону влияния. При моделировании «зоны влияния» объектов ИТС необходимо учитывать все возможные варианты поведения транспортных потоков и условий их движения.

2. **Второй этап** – разработка алгоритма моделирования внедряемого объекта. На рисунке 4.3 поэтапно рассмотрен данный процесс.



Рисунок 4.3 «Алгоритм моделирования оценки влияния объектов ИТС на распределение транспортных потоков»

На **первом шаге** прогнозирования транспортного спроса на внедряемый объект строятся детерминированные макромодели транспортного потока. Для этого формируются матрицы корреспонденций, показывающие объемы движения между различными пунктами улично-дорожной сети. На основе матриц корреспонденций производится распределение транспортного потока на улично-дорожной сети с учетом пропускной способности участков сети. Моделирование в данном случае базируется на принципе транспортного равновесия, согласно которому пользователи транспортной сети выбирают наиболее эффективные маршруты, тем самым снижая показатели времени и стоимости прохождения нужного им маршрута. Это распределение потоков является исходным для начала моделирования, с необходимостью корректировки под реальные условия.

На **втором шаге** осуществляется микромоделирование движения транспортных потоков на улично-дорожной сети. Микромоделирование позволяет учесть детальные характеристики улично-дорожной сети, параметры работы светофорного регулирования, ограничения по организации дорожного движения. Однако наиболее важным обстоятельством является то, что на этом шаге используется имитационное моделирование, учитывающее возможные случайные отклонения в режимах движения транспортного потока, распределении маршрутов движения автомобилей. Кроме того, этот метод моделирования позволяет более реально оценить пропускную способность ключевых участков улично-дорожной сети. Следовательно, поскольку транспортный поток является стохастическим и моделируется как случайный процесс, могут быть рассмотрены различные сценарии, показывающие возможные объемы движения на участках сети.

На **третьем шаге** осуществляется сравнение существующей ситуации с перспективной при внедрении компонентов ИТС. Используя такие параметры как время поездки в сети, интенсивность движения, скорость определяется степень влияния перераспределения транспортных потоков на изменение условий движения.

**Четвертый шаг** выполняется на основании данных о транспортном спросе в зоне моделирования. На основе данных о возможном объеме движения, затратах на внедрение компонентов ИТС, эффективности мероприятий определяются параметры окупаемости проекта.

# 5. Рекомендуемая литература

* 1. Горев, А.Э. Информационные технологии в управлении логистическими системами (монография) / А.Э. Горев. – СПбГАСУ, 2004. – 180 с.
  2. Горев, А.Э. Основы теории транспортных систем: учебное пособие / А.Э. Горев. – СПб.: СПбГАСУ, 2011. – 173с.
  3. Евстигнеев, И. А. Интеллектуальные транспортные системы на автомобильных дорогах федерального значения России. — М. : Изд-во «Перо», 2015. — 164 с.
  4. Жанказиев, С.В. Интеллектуальные транспортные системы: учеб. пособие /С.В. Жанказиев. – М.: МАДИ, 2016. – 120 с.
  5. Жанказиев, С.В. Разработка проектов интеллектуальных транспортных систем: учеб. пособие / С.В. Жанказиев. – М.: МАДИ, 2016. – 104 с.
  6. Зырянов В.В., Семчугова Е.Ю. Качество транспортного обслуживания: Учебное пособие. – Ростов н/Д: Рост. гос. строит. ун-т., 2013. – 195 с.
  7. Зырянов В. В., Феофилова А. А. Управление дорожным движением при возникновении заторов: Учебное пособие. - Ростов н/Д.:ДГТУ, 2017. - 88с
  8. Зырянов В. В., Феофилова А. А., Володина М. С. Managing traffic urban congestion. Учебное пособие. - Ростов н/Д.:ДГТУ, 2017. - 63с.
  9. Клинковштейн Г.И. Организация дорожного движения: учебник для автомобильно-дорожных вузов и факультетов. – М.: Транспорт, 1975. – С. 192.
  10. Кочерга В.Г., Зырянов В.В., Коноплянко В.И. Интеллектуальные транспортные системы в дорожном движении: Учебное пособие. – Ростов н/Д: Рост. Гор. Строит. Ун-т, 2001 – 108 с.
  11. Миротин Л.Б., Гудков В.А. Зырянов В.В и др. Управление грузовыми потоками в транспортно-логистических системах: монография / Л.Б. Миротин, В.А. Гудков, В.В. Зырянов и др. – М.: Горячая линия – Телеком, 2010. – 704 с.
  12. Персианов, В.А. Пассажирский транспорт большого города: учебное пособие / В.А. Персианов - М., ГУУ 2006. – 80 с.
  13. Пржибыл Павел, Свитек Мирослав. Телематика на транспорте: Перевод с чешского О.Бузека и В.Бузковой. Под редакцией проф. В.В. Сильянова – М.: МАДИ (ГТУ). 2003. – 540с.
  14. Управление транспортными потоками в городах: монография / под. Общ. ред. А.Н. Бурмистрова и А.И. Солодкого. – М.: ИНФРА-М, 2019. – 207 с.
  15. А.Э.Горев, К.Бёттгер, А.В.Прохоров, Р.Р.Гизатуллин /Транспортное моделирование: Учеб. пособие для студ. направления подготовки 190700: Технологии транспортных процессов / – СПб.: СПб. гос. архит.-строит. ун-т, 2014, 182 с.