МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

Кафедра «Организация перевозок и дорожного движения»

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ ПО КУРСУ**

**«Моделирование интеллектуальных транспортных систем»**

для студентов заочного обучения направления 23.04.01 Технология транспортных процессов

образовательная программа «Интеллектуальные транспортные систем»

**Ростов-на-Дону**

**2024**

**Тема «Организация работ по моделированию»**

Организация работ по моделированию транспортных систем городов. Оценка масштабов проекта: формулирование цели и задач проекта, подходы к решению задач, определение зоны моделирования, выбор типа моделирования, составление календарного плана работ; сбор данных: характеристики транспортных потоков, улично-дорожная сеть, организация дорожного движения, матрицы корреспонденций; разработка базовой модели: создание базы исходных данных, разработка требований к качеству моделирования, разработка базовой модели; тестирование базовой модели: оценка первичных результатов, устранение ошибок; калибровка и оценка достоверности модели; выполнение расчетов.

Создание моделей дорожного движения является сложной задачей и требует многосторонних знаний организации дорожного движения, проектирования дорог, математической статистики, опыта моделирования. Доступность программно-моделирующих комплексов и простота графического представления дорожной сети создают представление о легкости моделирования, привлекают большое число пользователей, имеющих недостаточный уровень знаний и опыта. Однако, для полного использования всех возможностей этих программно-моделирующих комплексов и оценки адекватности полученных результатов необходимы соответствующие знания моделей транспортных потоков и методов организации дорожного движения. Кроме того, транспортные системы являются специальным классом сложных систем, в которых необходимо принимать во внимание не только физические компоненты систем, но также поведенческие аспекты водителей, которые во многом определяют особенности транспортного спроса, выбор маршрута, стиль вождения и т. д.

Моделирование осуществляется не само по себе, а как составная часть разработки проектов организации дорожного движения и развития транспортной инфраструктуры. Поэтому цель моделирования должна соответствовать разрабатываемому проекту организации дорожного движения, определять уровень детализации и точности модели, влиять на выбор типа модели. Рассматривая непосредственно различные направления моделирования при совершенствовании организации дорожного движения следует выделять следующие типы задач:

- оперативные решения организации дорожного движения на локальных участках;

- решения, связанные с реконструкцией локальных участков улично-дорожной сети и изменением схем организации дорожного движения;

- оптимизация параметров светофорного регулирования на сетевом уровне;

- планирование развития улично-дорожной сети на долгосрочный период с соответствующим изменением организации дорожного движения.

Формулируя цели моделирования необходимо установить, какова роль моделирования в данном проекте, какие проблемы должны быть решены при моделировании, какие возможные альтернативные решения по организации дорожного движения могут быть выявлены в процессе моделирования, для руководителей какого уровня предназначены результаты моделирования. Одной из типичных ошибок при моделировании является постановка целей существенно превышающих потребности соответствующих проектов организации дорожного движения, а поскольку достижение этих целей требует значительного времени и ресурсов, то реальное моделирование, в конечном счете, подменяется тривиальной визуализацией.

Поэтому уже на стадии постановки целей и задач моделирования должны быть привлечены специалисты, имеющие опыт моделирования с использованием соответствующего программного обеспечения, сбора данных параметров дорожного движения, определения полноты и достоверности данных, хорошее понимание функциональных возможностей программно-моделирующих комплексов.

После формулирования целей и задач моделирования необходимо определить масштабы моделирования. Это, главным образом, относится к установлению пространственных и временных границ модели. Недостаточная зона моделирования может исказить результаты моделирования, поскольку не будет учтено влияние объекта проектирования (узел, участок сети) на близлежащие участки сети. При выборе излишне большой зоны моделирования возникают дополнительные проблемы со сбором данных, созданием модели и ее калибровкой. Время моделирования должно быть достаточным, чтобы убедиться, что модель устойчиво функционирует при заданных характеристиках транспортных потоков. Пространственные и временные рамки модели должны быть достаточными, чтобы выявить возможные условия появления заторовых ситуаций в зоне моделирования.

Выбор масштабов моделирования достигается в процессе анализа следующих факторов:

* целевые характеристики и сложность проектируемого объекта (локальный объект, линейный, коридор, улично-дорожная сеть), сложность предусмотренных в проекте мероприятий по организации дорожного движения, работы по реконструкции или развитию дорог;
* наличие в проекте альтернативных решений. Как правило, модель никогда не создается для одного единственного расчета. Необходимо уже на предварительной стадии выявить возможные альтернативные варианты организации дорожного движения, которые необходимо будет промоделировать. Дать краткое описание этих вариантов и оценить их сложность;
* параметры дорожного движения, которые будут использоваться при оценке эффективности проекта организации дорожного движения. Необходимо сопоставить эти параметры с соответствующими показателями результатов моделирования. Определение возможности измерения этих показателей экспериментальным путем и при моделировании;
* ресурсное обеспечение разработки модели и ее использования. Техническое обеспечение сбора данных о дорожном движении, наличие документации по проекту, наличие программного обеспечения, наличие квалифицированных специалистов, время выполнения проекта, дополнительные работы по сопровождению проекта;
* область влияния планируемых изменений на улично-дорожной сети и временные рамки этого влияния. Пространственные и временные границы моделирования должны быть достаточными, чтобы охватить все ожидаемые сложные ситуации для обеспечения прочной основы для сравнения альтернативных вариантов;
* необходимость анализировать динамику развития ситуации, а не только усредненные данные. Это влияет на перечень показателей и требования к их точности, обеспечение условий для сопоставимости показателей для различных альтернативных вариантов;

зона влияния проектируемых изменений на условия функционирования соседних участков улично-дорожной сети. В каждом случае это является оригинальной задачей и зависит от многих факторов, однако нельзя ограничиться только одним узлом или перегоном. Для автомобильных дорог рекомендуется выполнять моделирование для участка на 2,5 км вверх и вниз по потоку от места предполагаемых изменений, т.е. участок моделирования должен составлять 5 км. Соответственно, при моделировании пересечения в дополнение к пересечению, где будут производиться изменения, следует рассматривать, по крайней мере, по одному пересечению вверх и вниз по потоку.

**Тема 2 «Методические рекомендации по моделированию»**

Существующие подходы и модели анализа транспортной ситуации при решении задач организации дорожного движения можно разбить на следующие категории:

- аналитические детерминированные модели, входящие в нормативные и методические документы для решения относительно простых задач прогнозирования транспортной нагрузки, пропускной способности;

- модели транспортного спроса для транспортного планирования при разработке проектов развития сети;

- модели оптимизации параметров светофорного регулирования;

- макромодели, основанные на зависимостях между интенсивностью, плотностью и скоростью для оценки условий движения на определенных участках дороги;

- мезомодели, как промежуточный тип между моделями макро и микроуровней, базирующиеся на макромоделях и моделях транспортного спроса для сетей больших размеров. Модели мезоуровня более упрощенно описывают динамические процессы в транспортном потоке;

- микромодели для воспроизведения режимов движения каждого автомобиля в потоке с учетом геометрических характеристик дороги, параметров автомобиля, косвенным учетом типа вождения.

Макро, мезо и микро подходы к моделированию транспортных потоков, хотя имеют некоторые общие концепции, основаны на различных типах представления улично-дорожной сети. Общим является то, что в моделях транспортного спроса в терминах матрицы корреспонденций, которая определяет число поездок между выбранными пунктами начала и окончания поездки для данного периода времени и цели поездки, пункты начала и окончания поездки могут быть представлены в модели в виде центроид, в которых транспортные потоки генерируются и поглощаются. Различия в представлении спроса состоят в том, что при макроподходе обычно используется принцип статического равновесия в сети и матрица спроса является одной и той же для различных временных периодов. При мезо и микро подходах формируются матрицы корреспонденций для различных временных периодов, что позволяет в большей степени учесть фактические особенности изменения транспортного спроса.

Макро и мезо подходы основаны, соответственно, на описании ситуации с разбиением на перегон и пересечения. При микромоделировании имеется возможность более детального описания улично- дорожной сети, включая технические средства организации дорожного движения, особенности движения по полосам и т. д.

На макро и мезо уровнях участки сети отображаются как ориентированный граф, который хотя и описывается некоторыми параметрами (длина, скорость, интенсивность, пропускная способность) весьма относительно характеризует реальный участок сети. При микромоделировании имеется возможность учесть множество других параметров, таких как ширина полосы, тип полосы, ограничения на движение определенных типов транспортных средств, маршруты общественного транспорта и их остановки и многое другое.

На выбор метода моделирования влияют следующие основные факторы:

- характеристики объекта проектирования;

- наличие и доступность баз данных по характеристикам транспортных потоков и дорожной сети;

- методы и средства организации дорожного движения;

- функциональные задачи проектирования;

- ресурсное обеспечение.

В настоящее время в основном применяют моделирование движения на микроуровне для решения различных задач, используя при этом как собственные модели и программы моделирования, так и интегрированные коммерческие программные продукты, которые существенно сокращают сроки разработки проектов, гарантируют корректность заложенных в них алгоритмов и моделей, имеют графический интерфейс, обеспечивают проработку различных сценариев. Основой всех этих коммерческих программных продуктов являются различные типы моделей: макромодели, модели транспортного спроса, мезомодели, модели следования за лидером в совокупности с моделями смены полосы движения. Особенно чувствительными в этой совокупности моделей являются микромодели. Поэтому применение той или иной модели следования за лидером в этих программных продуктах влияет на результаты моделирования. С расширением применения коммерческих программных продуктов появились различные исследования по сопоставлению результатов моделирования для одних и тех же сценариев. В этой связи целесообразно также привести некоторую информацию о типах моделей следования за лидером в различных коммерческих программах.

**Тема 3**

**Расчет параметров дорожного движения по динамической модели транспортного потока**

Динамические макромодели транспортного потока используются для определения изменения транспортной нагрузки на связанных элементах улично-дорожной сети в течение заданного промежутка времени. Это важно для прогнозирования условий движения на дорожной сети при изменении ситуаций на смежных участках. Например, интенсивность движения на входе в участок становится больше пропускной способности этого участка. Через некоторое время на этом участке плотность транспортного потока увеличивается до заторовой плотности и при достаточном времени существования такой ситуации очередь может распространиться на смежный участок ниже по потоку. Сложные условия движения могут также распространиться на участок дороги выше по потоку. Фактически могут возникнуть самые разные сочетания состояния транспортного потока на смежных участках и что особенно важно это могут быть состояния динамической нестабильности.

Динамические макромодели базируются на макросоотношениях между интенсивностью, плотностью и скоростью транспортного потока с введением дополнительных уравнений, учитывающих влияние друг на друга параметров транспортных потоков на смежных участках дорог. Эти модели используются в автоматизированных системах управления дорожным движением на автомагистралях.

Моделирование выполняется для следующих расчетных схем. Первоначально моделирование выполняется для участков дороги без въездов и съездов для калибровки модели. Расчетная схема для этого сценария приведена на рис. 1.



Рис. 1 – расчетная схема моделирования для первого этапа разработки модели

На этой схеме:

*q –* интенсивность движения;

*v –* скорость транспортного потока;

*k –* плотность транспортного потока;

*∆s –* длина участка дороги;

*i -* момент времени;

*n –* участок дороги.

На следующем этапе используется более сложная расчетная схема.



Рис. 2 – расчетная схема моделирования для второго этапа разработки модели

На втором этапе схема моделирования предусматривает наличие въезда и съезда на участок моделирования, а также создание инцидента с перекрытием одной полосы движения.

Из баланса сохранения транспортного потока определяется изменение интенсивности и плотности транспортного потока на *n* – ом участке за промежуток времени Δ*t* :

 (1)

где *q* – интенсивность движения;

*qin* – количество автомобилей, вошедших на участок дороги

за время Δ*t*;

*qout* – количество автомобилей, покинувших участок дороги

за время Δ*t*;

*k* – плотность транспортного потока;

*v* – скорость транспортного потока;

*Δs* – длина участка дороги;

*l* – число полос движения на участке;

*n* – индекс, относящийся к номеру участка;

*i* – индекс, относящийся к промежутку времени Δ*t*.

Важнейшей частью модели является уравнение, описывающее изменение скорости движения с использованием таких аналогий с физическими процессами, как конвекция и релаксация. Параметр конвекции учитывает, что автомобили, движущиеся со скоростью *v* на участке дороги с порядковым номером (*n*-1) вверх по потоку имеют тенденцию к сохранению этой скорости на участке *n*:

(2)

Параметр релаксации представляет стремление водителя к выбору скорости, соответствующей равновесному состоянию транспортного потока, и выражается разностью между фактической скоростью и скоростью, определенной по какой-либо зависимости между скоростью и плотностью:

 (3)

где *vr* – составляющая скорости с учетом процесса релаксации;

*ve(kni)* – равновесная скорость при данной плотности.

Кроме того, при определении скорости учитывается способность водителей предвидеть изменение дорожно-транспортной ситуации введением параметра, который называют иногда градиентом плотности *vg* :

 (4)

где *μ* – коэффициент чувствительности.

В конечном счете, уравнение для расчета скорости в динамической модели выглядит следующим образом:



 (5)

где *τ* – коэффициент.

Интенсивность движения определяется с учетом весового коэффициента *α*:

 , (6)

где *α* – весовой коэффициент с пределом изменения от 0 до 1.

Для определения скорости установившегося транспортного потока при данной плотности рекомендуется использовать следующее уравнение:

 (7)

где *vf* – скорость свободного движения;

*kj* – максимальная плотность;

*l, m* – коэффициенты.

Для расчетной схемы первого этапа выполняется моделирование для устранения ошибок и выводов, что модель обеспечивает получение результатов, сопоставимых с теоретическими зависимостями между характеристиками транспортных потоков. Для этого производятся расчеты при плотности транспортного потока для свободных условий (5-10 авт/км) до плотности при пропускной способности (40-50 авт/км).

Для расчетной схемы второго этапа выполняется моделирование для следующих сценариев:

- изменение транспортной нагрузки от свободных условий до пропускной способности;

- моделирование условий движения в условиях инцидента, связанного с перекрытием одной из полос движения.

Результаты моделирования представляются в следующем виде.

В табличном виде с приведением изменения интенсивности, плотности и скорости на каждом участке дороги.

В графическом виде:

- зависимости между интенсивностью и плотностью, интенсивностью и скоростью, скоростью и плотностью;

- графики изменения интенсивности, скорости и плотности для каждого участка во времени.

По результатам моделирования должны быть сделаны выводы о соответствии полученных расчетных данных реальным соотношениям в транспортном потоке.

**Литература**

1. Капский Д.В., Кот Е.Н. Основы автоматизации интеллектуальных транспортных систем: Учебник. Вологда: Инфра-Инженерия, 2022. Книга находится в ЭБС ДГТУ.

Архитектура интеллектуальных транспортных систем = Intelligent Transport Systems Architecture: учеб. Пособие: Ростов н/Д.: ИЦ ДГТУ, 2023. Книга находится в ЭБС ДГТУ.

1. Зырянов В.В. Моделирование дорожного движения [Электронный ресурс] / В.В. Зырянов. - : РГСУ, 2015. - Книга находится в ЭБС ДГТУ. - ISBN 978-5-9525-0141-6.
2. УПРАВЛЕНИЕ ДОРОЖНЫМ ДВИЖЕНИЕМ ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ ЗАТОРОВ [Электронный ресурс] / В.В. Зырянов, А.А. Феофилова. - : ДГТУ, 2017. - Книга находится в ЭБС ДГТУ. - ISBN 978-5-7890-1352-
3. Технические средства организации дорожного движения: учебник / С.В. Жанказиев и др. – М.: Техполиграфцентр. 2022