

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Плотные транспортные потоки – массовое явление для крупных и крупнейших городов России (в т.ч. г. Тюмени). Транспортное обслуживание населения и организации движения в городах по мере роста их территории, численности населения и роста уровня автомобилизации вырастает в важнейшую градостроительную проблему. Особенно это характерно в последнее десятилетие для большинства крупных и крупнейших городов России, испытавших в 90-х годах процесс «взрывной автомобилизации». На определенном этапе развития города возникает перенасыщение уличной сети транспортными средствами. Улично-дорожная сеть (УДС) городов России, сформировавшиеся в то время, когда уровень автомобилизации был 30-80 автомобилей на 1000 жителей, не удовлетворяют современным требованиям. Перегрузка городских магистралей в «часы пик» приводит в крупнейших и крупных городах России к появлению заторов транспортных потоков.

Наблюдаемое в случае заторов снижение средней скорости движения приводит к снижению эффективности использования транспортных средств, перерасходу горючего, загрязнением воздушной среды и непроизводительным тратам времени городским населением. Все вышесказанное можно объединить общим понятием – транспортные потери пользователей улично-дорожной сети города.

Одним выходом из создавшегося положения служит сооружение на перекрестках городских магистралей развязок в разных уровнях, которые обеспечивают требуемую скорость и безопасность движения. Поскольку такое строительство связано со значительными затратами средств, оно может быть оправдано лишь в случае его технико-экономической целесообразности. Существующая методика обоснования строительства развязок в разных уровнях базируется на определении задержек транспортных средств от однократной остановки на регулируемом пересечении и не учитывает задержек от заторов. Поэтому *актуальной задачей является создание методики, позволяющей рассчитывать потери времени при условии существования на пересечениях улично-дорожной сети заторов транспортных потоков.*

Актуальность рассматриваемой темы подтверждается также тем, что исследования выполнялись в рамках муниципального контракта на исследование транспортных потоков и разработку рекомендаций к проекту перспективной транспортной схемы г. Тюмени (хоздоговоры 39/01 от 1.03.01г. и 89/02 от 1.10.02г.)

Объект исследования: транспортные потоки на регулируемых пересечениях улично-дорожной сети крупного города.

Предмет исследования: методика расчета потерь времени на регулируемых пересечениях.

Цель: разработка методики расчета потерь времени в заторах, учитывающей характеристики очередей на регулируемых пересечениях улично-дорожной сети крупного города.

Для достижения этой цели необходимо решить следующие **задачи:**

1. Провести анализ транспортных потоков на перегонах и регулируемых пересечениях улично-дорожной сети крупного города;
2. Разработать математическую модель, отображающую процесс развития заторов на регулируемых пересечениях;
3. Создать и программно реализовать методику расчета потерь времени на регулируемых пересечениях с учетом заторных явлений.

Методологическими основами исследования являются теория транспортных потоков, теория вероятностей, методы математической статистики и теории надежности.

На защиту выносятся:

1. Классификация очередей транспортных средств на регулируемых пересечениях по критерию однократной или многократной остановки, которая позволяет полнее учитывать возникаемые задержки;
2. Классификация регулируемых пересечений улично-дорожной сети по однородности фактической пропускной способности, позволяющая учесть влияние неоднородности на динамику заторов;

3. Результаты математического моделирования очередей методом статистических испытаний («Монте-Карло») с определением параметров заторов на регулируемом пересечении;
4. Ранжирование участков улично-дорожной сети крупного города (на примере г. Тюмени) по степени влияния на параметры заторов;
5. Методика и программа расчета потерь времени на регулируемых пересечениях, которая учитывает существование заторов на регулируемых пересечениях.

Научная новизна:

1. Произведена классификация очередей транспортных средств на регулируемых пересечениях по критерию однократной или многократной остановки, позволяющая полнее учесть возникаемые задержки;
2. Произведена классификация регулируемых пересечений улично-дорожной сети по однородности фактической пропускной способности на основе коэффициентов вариации, которая позволяет учесть влияние неоднородности на динамику заторов;
3. Разработана математическая модель состояния транспортного потока, описывающая динамику очередей на регулируемых пересечениях методом статистических испытаний («Монте-Карло»), которая определяет параметры заторов на регулируемом пересечении;
4. Проведено ранжирование участков улично-дорожной сети крупного города по степени влияния на параметры заторов (на примере г. Тюмени), позволяющее определить время существования затора;
5. Разработана методика и компьютерная программа в среде «Borland C++» для расчета потерь времени на регулируемых пересечениях при условии существования заторов.

Практическая значимость:

Предложенная методика расчета потерь времени от заторов позволяет повысить эффективность вложения средств, направляемых на реконструкцию регулируемых пересечений улично-дорожной сети.

Личный вклад автора в решение проблемы:

Все методические постановки решаемых в работе вопросов, разработка модели, расчеты, обработка результатов, формулировка выводов и рекомендаций по практическому использованию результатов исследований выполнены автором самостоятельно.

Реализация результатов работы: отдельные положения диссертационной работы использованы в отчете по муниципальному контракту на проведение исследований транспортных потоков и разработку рекомендаций к проекту перспективной транспортной схемы г.Тюмени, согласно заключенным договором с Администрацией г. Тюмени в 2001-2003гг. Результаты исследований использовались ФГУП Российским государственным научно-исследовательским и проектным институтом урбанистики, г. Санкт-Петербург, при работе над генеральным планом г.Тюмени. Также выявленные в работе закономерности и выводы используются в процессе обучения студентов и в дипломном проектировании в Тюменском государственном архитектурно-строительном университете.

Апробация работы: основные положения диссертационной работы доложены в 2001-2006гг. на научных конференциях и семинарах Тюменского государственного архитектурно-строительного университета и Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии.

Публикация работы. По материалам исследований опубликовано 8 печатных работ общим объемом – 35 страниц.

Объем работы: Диссертация состоит из введения, четырех глав, основных результатов и выводов, списка литературы из 144 наименования. Объем работы 184 стр., в т.ч. 28 таблиц, 48 иллюстрации и графиков, 64 формулы, 6 приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В **первой главе** проведен анализ литературных источников по теории транспортных потоков (Сильянов В.В., Дрю Д., Лобанов Е.М., Фишельсон М.С., Черепанов В.А., Капитанов В.Т., Хилажев Е.Б., Трибунский В.М., Буслаев А.П., Приходько В.М., Таташев А.Г., Новиков А.В., Яшина М.В.). Проанализированы основные характеристики транспортных потоков с точки зрения условия образования заторов. Приводится определение затора на регулируемых пересечениях: затор – это состояние транспортного потока, когда длительность задержки транспортных средств на пересечении составляет более длительности одного цикла светофора [Капитанов В.Т., Хилажев Е.Б.].

Проанализировано состояние транспортных потоков на регулируемых пересечениях УДС. Существующая методика расчета задержек транспортных средств на регулируемых пересечениях, разработанная М.С. Фишельсоном, в современных условиях имеет недостатки, т.к. рассчитывает задержки только от однократной остановки транспортных средств и не учитывает существование заторов.

Также в работе приводится краткий анализ ситуации с заторами в г. Москве. Рассматриваются существующие пути борьбы с заторами, которые включают в себя **строительство улиц и развязок**, запретительные меры по въезду транспорта в центр городов, развитие систем общественного транспорта, создание систем автоматического управления движением, рассредоточение мест приложения труда и притяжения населения.

Во **второй главе** приводятся данные обследования транспортных потоков г. Тюмени на основных магистральных улицах города по интенсивности в «час пик» и ее распределение в течении дня. Общий коэффициент неравномерности движения с 8ч до 20ч составляет 1,13-1,63. Характерным являются т.н. «часы пик» приблизительно во время 10-13ч и 16-18ч.

Исследование формирования очередей на выборочном регулируемом пересечении города позволило выделить пять схем очередей по одной полосе движения при условии постоянной интенсивности движения и пропускной способности:

- 1) $q_{\max} < m$; $q'_{\min}=0$; $q_{\min}=0$; при $N < P$;
- 2) $q_{\max} < m$; $0 < q'_{\min} < m$; $q_{\min}=0$; при $N > P$;
- 3) $q_{\max} > m$; $q_{\min} < m$; $q'_{\min} < m$; при $N > P$;
- 4) $q_{\max} > m$; $q_{\min} < m$; $q'_{\min} > m$; при $N > P$;
- 5) $q_{\max} > m$; $q_{\min} > m$; $q'_{\min} > m$; при $N > P$;

Где P – общая пропускная способность одной полосы движения в створе стоп-линии за один час;

N – интенсивность движения подходящего к пересечению потока за один час;

q_{\max} – накопленное количество автомобилей к началу действия разрешающей фазы светофора;

q_{\min} – оставшееся от первоначальной очереди количество автомобилей к началу действия запрещающей фазы светофора; $q_{\min} = q_{\max} - m$;

q'_{\min} – фактическое минимальное количество накопленных автомобилей в очереди, $q'_{\min} = q_{\min} + n$;

n – количество автомобилей, подошедших к очереди за время разрешающего сигнала светофора;

m – пропускная способность одной полосы движения в створе стоп-линии за один цикл светофора;

В ситуациях №2-4 продолжительность задержки определенной части автомобилей будет менее продолжительности цикла светофора. В связи с этим в работе автором предложено уточнить формулировку затора. Затор – это режим движения транспортного потока, при котором образуется некоторое количество транспортных средств, не успевших проехать через регулируемое пересечение за разрешающую фазу светофора.

Образование очередей – вероятностный процесс, и для создания модели заторов необходимо определить наиболее подходящий вероятностный закон, с помощью которого можно описать движение транспортных потоков по городским магистральным улицам. Одним из основных законов в теории транспортных по-

токов является пуассоновский. В городских условиях при плотных транспортных потоках и влиянии регулируемых пересечений транспортный поток будет распределяться по закону отличным от пуассоновского. В работах Бабкова В.Ф., Дрю Д. рекомендовано описывать распределение скоростей движения и интервалов между автомобилями в потоках в городах с интенсивностью более 600авт/ч на полосу нормальным распределением случайной величины. Это обусловлено влиянием на исходную характеристику множества случайных малозначащих факторов. На основании этого и фундаментальной зависимости между скоростью, плотностью и интенсивностью движения можно также предположить о нормальности распределения интенсивности потоков в городских условиях. При проверке на сходимость по статистическим критериям гипотеза о нормальности распределения интенсивности движения по двум перегонам городских улиц с интенсивностями 350 и 600 авт/ч подтвердилась. Вероятность ошибки второго рода при этом составила 11-23%, что является допустимым в подобных расчетах.

Существующие детерминированные методы определения пропускной способности регулируемого пересечения в городских условиях являются неэффективными при создании модели затора. Это обусловлено наличием множества помех для осуществления как левого, так и правого поворота, которые трудно учитываются. Ввиду множества факторов, влияющих на практическую пропускную способность пересечения за время цикла светофора, ее значение не является постоянным и подчиняется законам математической статистики. В работе также была проверена гипотеза о нормальном распределении пропускной способности регулируемого пересечения в сечении стоп-линии за время продолжительности цикла. Полученные по 3-м участкам данные позволяют говорить о приблизительно нормальном и нормальном распределении (ошибка второго рода 71%, 18% и 1,5% соответственно).

При дальнейшем обследовании регулируемых пересечений на предмет неоднородности (неравномерности) пропускной способности по коэффициенту вариации - C_v , они были разбиты на 3 группы (таблица):

1. Пересечения, у которых направления поворота и движение пешеходов запрещены или выделены в отдельные фазы; $C_v=8-13\%$;
2. Пересечения, у которых только левое поворачивающее направление запрещено или выделено в отдельную фазу; $C_v=11-22\%$;
3. Пересечения, у которых поворачивающие направления и движение пешеходов осуществляется в общем потоке $C_v=20-24\%$.

В **третьей главе** определяется необходимый математический аппарат для моделирования очередей и заторов.

В общем случае возникновение затора согласно Д.Дрю обуславливается большим коэффициентом загрузки регулируемого пересечения (K_3) в «час пик» $K_3 > 1$. Процесс образования и исчезновения очередей перед стоп-линией регулируемого пересечения за каждый цикл светофора автором предложено выражать следующим образом:

$$q_j = \begin{cases} 0 & \text{при } q_{j-1} + y_j - x_j \leq 0 \\ q_{j-1} + y_j - x_j & \text{при } q_{j-1} + y_j - x_j > 0 \end{cases} \quad (1)$$

где q_j – общее количество накопленных автомобилей в очереди после j -го цикла (соответствует q'_{\min});

q_{j-1} – количество накопленных автомобилей после цикла $j-1$;

y_j – количество подъехавших к пересечению автомобилей за цикл j ,

x_j – количество проехавших пересечение автомобилей за цикл j ;

За начальную фазу цикла принята запрещающая фаза светофора.

Условие 1 можно записать с использованием функции Хэвисайда:

$$q_j = (q_{j-1} + y_j - x_j) \cdot H(q_{j-1} + y_j - x_j) \quad (2)$$

Формулу 2 можно преобразовать для расчета q_{\max} путем добавления приставки:

$$q_{\max}^j = (q_{j-2} + y_{j-1} - x_{j-1}) \cdot H(q_{j-2} + y_{j-1} - x_{j-1}) + y_i \frac{t_k + 0,5t_{\text{жс}}}{T_u} \quad (3)$$

где q_{\max}^j – общее количество накопленных автомобилей в очереди после j -го цикла (соответствует q_{\max});

$T_{ц}$, $t_{к}$, $t_{ж}$ – соответственно продолжительность всего цикла,
красной и желтой фаз, сек.

Для решения подобных задач существует теория массового обслуживания. Расчетные формулы этой теории получены на основании распределения случайной величины по закону Пуассона. На основании изложенного во второй главе мы показали непригодность данного вида распределения в городских условиях. Ввиду сложности вывода расчетных формул для нормального распределения теории массового обслуживания и неравномерного движения, а также неравномерности интенсивности движения в течении дня (Золотарь И.А., Сильянов В.В., Лобанов Е.М.), то для описания очередей и заторов на регулируемых пересечениях хорошо подходит метод *статистических испытаний* («Монте-Карло»). Он представляет собой математическое моделирование различных ситуаций на ЭВМ путем генерирования случайных чисел на основе известных законов распределения.

В модели генерируется подход автомобилей к стоп-линии и ее пропускная способность, т.к. подход транспортных средств к стоп-линии и ее пропускная способность в течение одного цикла работы светофора являются случайными величинами с соответствующими параметрами – математическим ожиданием a и дисперсией σ^2 . Тогда величины x_j и y_j в формуле 3 будут являться обратными функциями от интегральной функции нормального распределения.

$$x_i = F^{-1}(x_{cp}, \sigma_x, s) \quad (4) \quad y_i = F^{-1}(y_{cp}, \sigma_y, K_u, r) \quad (5)$$

где r, s – равномерно распределенные случайные числа

в интервале от 0 до 1;

x_{cp}, y_{cp} – математические ожидания пропускной способности стоп-линии пересечения (полосы движения) и подходящего количества автомобилей за цикл соответственно, авт/ц;

σ_x, σ_y – стандартные отклонения пропускной способности стоп-линии пересечения (полосы движения) и подходящего количества автомобилей за цикл соответственно, авт/ц;

K_u – коэффициент приведения интенсивности движения в «час

пик» к соответствующему часу.

При общем $K_3 > 1$ затор будет стабильным и количество накопленных автомобилей будет увеличиваться (рис.2). При $K_3 < 1$ то затор будет случайным со случайными характеристиками (рис.1). Для практического применения нам необходимо знать параметры таких случайных во времени заторов: частота появления, среднее число накопленных транспортных средств и средняя величина задержки транспортных средств. Для их оценки необходимо осуществить статистический эксперимент.



Рис. 1 Розыгрыш модели №1 $K_3=0,9$ (расчет по q'_{min})



Рис. 2 Розыгрыш модели №2 при $K_3=1,1$ (расчет по q'_{min})

Имеющиеся в настоящее время среды (Matlab, GPSS, Арена и др.) подходят для выполнения поставленной задачи, однако ввиду относительной простоты задачи расчет производился в приложении «Microsoft Excel».

При проведении численного эксперимента мы определяем параметры:

- максимальной и средней длины очереди (количества накопленных автомобилей) – q_{\max} , $q_{\text{ср}}$;
- среднего времени существования затора - T_z ,

Для этого необходимы следующие исходные данные с реальных пересечений и участков УДС:

- Продолжительность цикла светофора. $T_{\text{ц}}$;
- Характер дневного хода интенсивности движения с коэффициентами приведения интенсивности движения за каждый час к часу «пик» $K_{\text{ч}}$;
- Интенсивность движения в «час пик» и стандартное отклонение подходящего за время цикла транспортного потока, x , σ_x ;
- Средняя пропускная способность стоп-линии пересечения и ее стандартное отклонение, y , σ_y .

Блок-схема моделирования очередей показана на рис.6.

В процессе математического моделирования очередей на ЭВМ были получены промежуточные результаты по требуемым параметрам. Неравномерности параметров пропускной способности и подхода автомобилей влияют на количество накопленных в заторе автомобилей и продолжительность затора в течение суток. При значениях коэффициента загрузки $K_3 < 1$ из-за значительной неравномерности подхода транспортных средств и пропускной способности ($C_{v1,2} = 22-28\%$) наблюдается резкий рост параметров затора в 2 - 3 раза по сравнению с меньшими значениями коэффициента вариации ($C_{v1,2} = 10-15\%$) (рис.3). Это говорит о необходимости введения на пересечении дополнительных мер по организации движения, которые привели бы к относительному постоянству пропускной способности пересечения (отдельные фазы для поворотов, пешеходов, внеуличные пешеходные переходы и др.).

После проведения численного эксперимента был произведен неконтролируемый эксперимент по проверке полученных с помощью модели закономерностей на одном из пересечений УДС. Для рандомизации эксперимента условия наблюдения соответствовали движению транспортных потоков в будние дни (вторник, среда, четверг) при любых погодных условиях. Полученные данные были проверены на сходимость по F-критерию Фишера и путем определения доверительных интервалов. Согласно оценке по этим критериям результаты численного эксперимента не расходятся значимо с результатами натурного эксперимента.

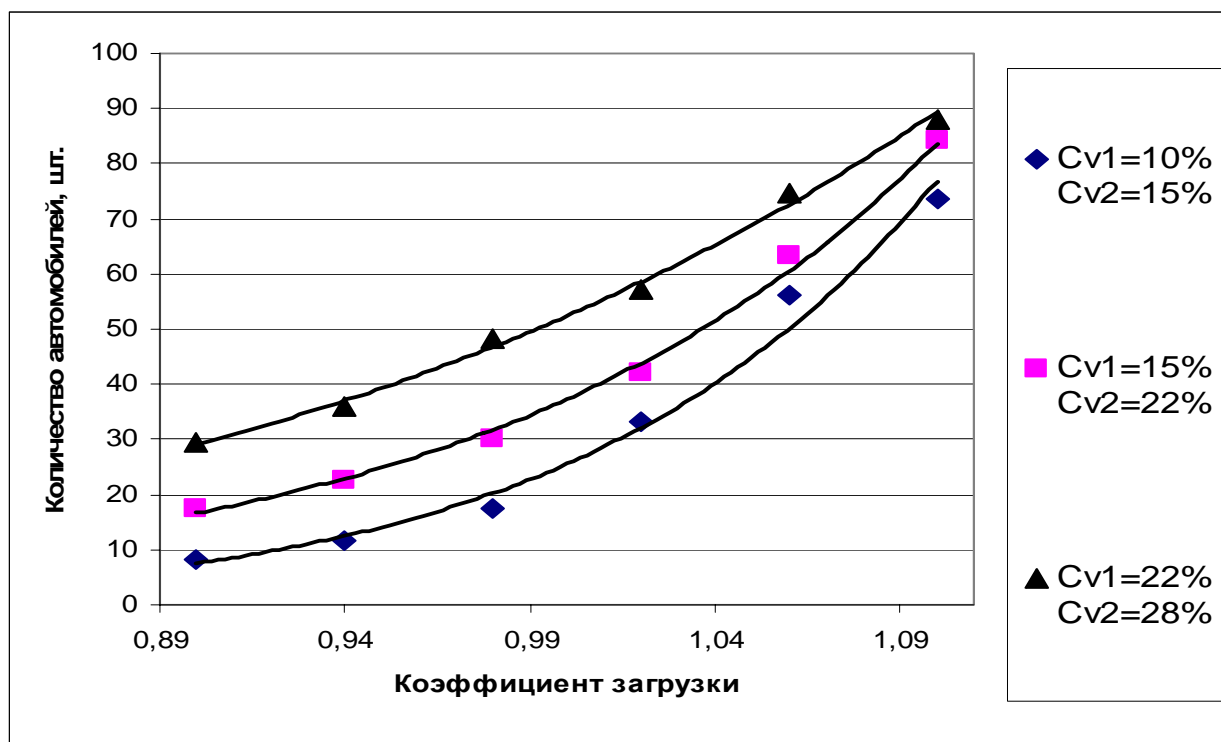


Рис.3 Пример моделирования максимальной длины затора с различными коэффициентами вариации пропускной способности ($Cv1$) и подходящего к пересечению транспортного потока ($Cv2$)

В **четвертой** главе рассчитываются потери времени пользователей от заторов, в дальнейшем выраженные через денежный эквивалент как экономические потери.

В дополнение к существующей методике М.С. Фишельсона, рассчитывающей задержки от однократной остановки транспортных средств на регулируемых пересечениях, в работе разработана методика учета экономических потерь пользователей с учетом существования заторов. Вводится параметр: $Q_{отн}$ — отношение максимальной длины затора, выраженной в количестве накопленных транспорт-

ных средств, к пропускной способности данного направления регулируемого пересечения.

В результате моделирования заторных явлений на ЭВМ было произведено ранжирование графиков дневного распределения интенсивности движения на магистралях города по влиянию на параметры заторов. Выделены 3 характерных группы магистралей. На рис. 4 и 5 показаны графики для определения параметров $T_{зат}$ и K_{max} для разбитых по группам соответствующих магистралей города.

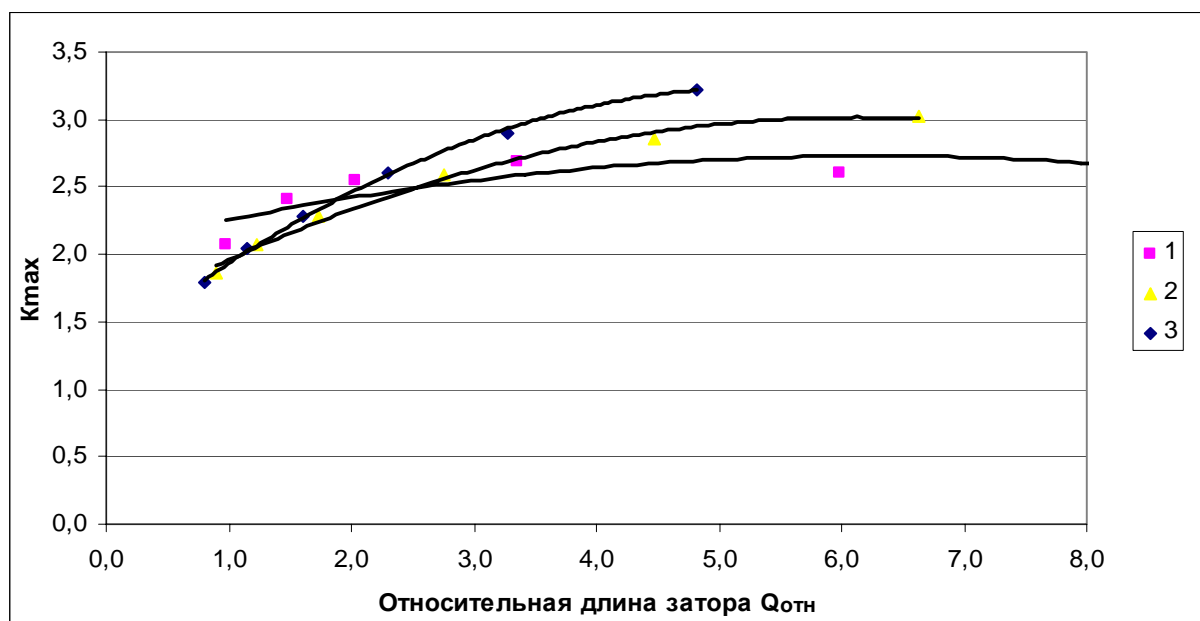


Рис.4. Отношение максимальной длины затора к средней длине за время существования

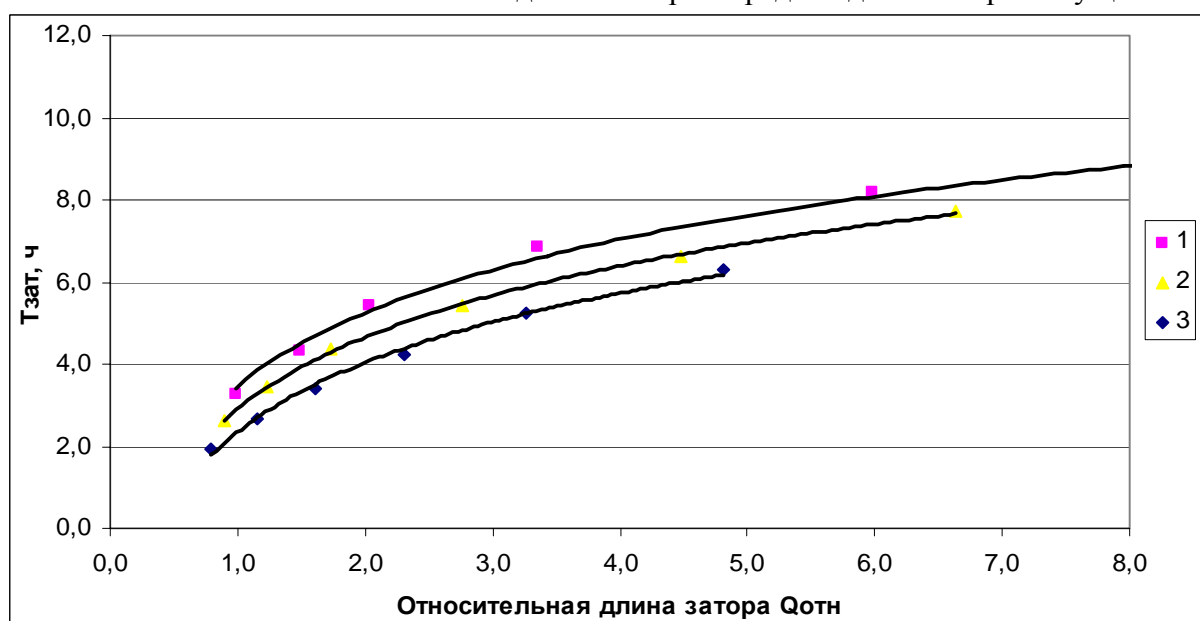


Рис.5. Время существования затора в течение дня, ч
Условные обозначения: 1- магистральные улицы в центральной части города, 3 – магистрали в пределах преимущественно «спальных» районов, 2 – остальные магистрали

Потери времени предложено рассчитывать по формуле:

$$P_{зам} = \sum_{i=1}^d \frac{D \cdot N \cdot t_3}{3600 \cdot K_{max}} \cdot T_{зам}; \quad (6)$$

где D – число дней с существованием заторов на УДС, принято 300 за вычетом выходных и праздничных дней;

$T_{зам}$ – среднее время существования затора, принято по графикам на рис.5. в зависимости от длины затора и принадлежности магистральной улицы к характерному району (центр, периферийная зона или остальные магистрали);

K_{max} – коэффициент, учитывающий отношение максимальной наблюдаемой длины затора к его средней длине (рис.4);

t_3 – время задержки, т.е. движения автомобиля в заторе, сек, определяется по формуле:

$$t_3 = \frac{L_{зам} \cdot 3,6}{V_{зам}} + 0,24 \cdot V_p; \quad (7)$$

где $L_{зам}$ – средняя максимально наблюдаемая длина затора в «час пик», м;

$0,24 \cdot V_p$ – средние потери времени в результате остановки-разгона, ч [Фишельсон М.С.];

V_p – средняя скорость движения перед подъездом к пересечению, принимается 40 - 60 км/ч;

$V_{зам}$ – средняя скорость движения автомобиля в заторе, км/ч, определяется по данным натурных обследований или по формуле:

$$V_{зам} = \frac{N \cdot l_{cp}}{1000 \cdot n}; \quad (8)$$

где N – интенсивность движения в направлении пересечения в «час пик», авт/ч;

l_{cp} – среднее расстояние по длине, занимаемое в заторе

автомобилем, м, определяемое по формуле [Лобанов Е.М., Сильянов В.В.]:

$$l_{cp} = \frac{1000}{81 + 0.125p} \quad (9)$$

где p – количество легковых автомобилей в транспортном потоке, %

n – число полос движения на подходе к пересечению;

В течение периода суток с отсутствием заторов на пересечении, задержки рассчитываются по методике М.С. Фишельсона. Далее, на основании известных методик, потерянное время можно оценить через денежный эквивалент с получением значения экономических потерь. Разработанная в работе методика реализована для расчета на ЭВМ в среде «Vorland C++».

На основе исходных данных по интенсивности и составу потоков выполнены расчеты суммарных потерь для 42 пересечений. Общее значение их значение составило 2,5 млрд. руб/год. На 10 наиболее загруженных пересечениях потери составили 60-150 млн. руб/год. Полученные значения экономических потерь для пересечений с существованием заторов по разработанной в работе методике являются в 1,3-3 раза большими, чем рассчитанные по существующей методике.

Расчет масштабов потерь пользователей автомобильных дорог на регулируемых пересечениях может использоваться для оценки экономической целесообразности строительства транспортных развязок.

В работе на основе существующих укрупненных расценок на строительство развязок в разных уровнях и методик расчета окупаемости рассчитан экономический эффект от реконструкции регулируемых пересечений города. Срок окупаемости устройства развязки в разных уровнях на 4-х наиболее загруженных пересечениях города составит от 4 до 9 лет.

Определение практической пропускной способности и коэффициента ее вариации по регулируемым пересечениям

Наименование пересечения	Наблюдаемое сечение стоп-линии	Количество полос перед стоп-линией	Средняя пропускная способность, авт/цикл	Пропускная способность на полосу, авт/час	Средний интервал между автомобилями при проезде стоп-линии, сек	Коэф-т вариации, %	Группа перес.
Мельникайте - Республики	ул.Республики	2	21,8	435	3,7	24	3
Герцена - Первомайская	Герцена	2	17,6	446	3,4	22	3
50 лет Октября - М.Горького	50 лет Октября (1-е напр.)	4	45,9	469	3,5	15	2
	50 лет Октября (2-е напр.)	4	36,5	373	4,4	14	2
50 лет Октября - Профсоюзная	50 лет Октября	4	50,2	502	2,5	9	1
	Осипенко	4	31,1	311	2,2	12	1
	Профсоюзная	4	25,3	254	2,0	13	1
Республики-Челюскинцев	Челюскинцев (1-е напр.)	2	21,7	574	3,1	14	2
	Челюскинцев (2-е напр.)	2	15,2	402	4,5	20	3
	Республики	2	22,0	388	4,6	22	2
Республики – М.Тореза	Республики	2	29	549	2,4	8	1
Республики – М.Горького	М.Горького	2	15,7	628	2,0	9	1
50 лет Октября - Одесская	50 лет Октября	4	51,1	511	2,7	12	1
	Одесская	2	13,9	278	2,2	11	2
Аккумуляторная - Ямская	Аккумуляторная	2	10,9	262	5,1	23	3

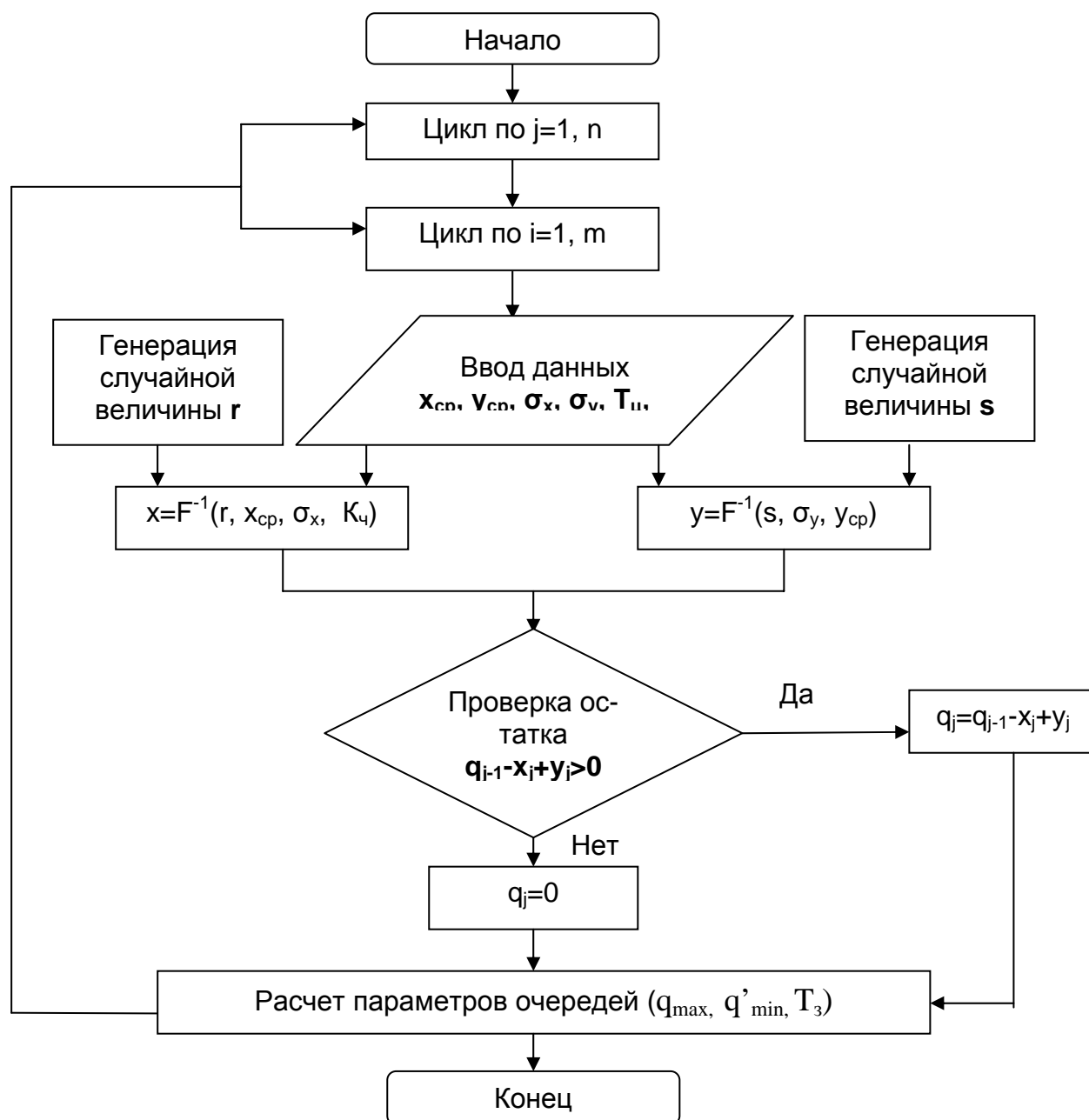


Рис. 6. Блок-схема моделирования очередей на регулируемых пересечениях

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

1. Сняты существенные ограничения существующей методики расчета задержек транспортных средств на регулируемых пересечениях:
 - а) расчет потерь времени только от однократной остановки транспортных средств;
 - б) расчет потерь времени без учета существования заторов;
2. Произведена классификация очередей транспортных средств, образующихся на регулируемых пересечениях по критерию однократной и многократной ос-

тановки, позволяющая полнее учесть возникаемые задержки. Выделено 5 схем очередей.

3. Произведена классификация регулируемых пересечений улично-дорожной сети по однородности фактической пропускной способности, которая позволяет учесть влияние неоднородности на динамику заторов.
4. Разработанная математическая модель, описывающая динамику очередей на регулируемых пересечениях методом статистических испытаний («Монте-Карло»), дает характеристики о длине очереди и времени существования затора в течение дня.
5. Создана и реализована программно в среде «Borland C++» методика расчета потерь времени в заторах с производением расчетов для основных регулируемых пересечений г. Тюмени. Сравнение с существующей методикой дает более полный учет потерь (полученные значения в 1,3 – 3 раза больше, чем по существующей методике М.С. Фишельсона). Значение потерь времени, выраженное через денежный эквивалент, в 2006г. составило на 10 наиболее загруженных пересечениях 60-150 млн. руб/год.
6. Использование разработанной методики при обосновании реконструкции регулируемых пересечений уменьшает срок окупаемости по сравнению с использованием существующей методики, что дает весомый аргумент для принятия решений о реконструкции.

Результаты исследований опубликованы в следующих работах:

1. *Андронов Р.В. Елькин Б.П.* К вопросу оптимального вложения средств в совершенствование транспортной сети крупного города // Сборник докладов научно-практической конференции, посвященной 30-летию ТюмГАСА: – М., 2000 г. - С. 32-40.
2. *Елькин. Б.П., Германова Т.В., Андронов Р.В., Германов А.Л.* Расчет выбросов от автотранспорта при реконструкции магистралей г. Тюмени // 4-я всероссийская научно-практическая конференция «Окружающая среда»: – Тюмень, 2001г. - С.187-189.