ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 56670— 2015

Интеллектуальные транспортные системы

ПОДСИСТЕМА МОНИТОРИНГА ПАРАМЕТРОВ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ТЕЛЕМАТИЧЕСКИХ ДАННЫХ ГОРОДСКОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2016

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего профессионального образования «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)»

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 57 «Интеллектуальные транспортные системы»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 23 октября 2015 г. № 1626-ст

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

5 ПЕРЕИЗДАНИЕ. Ноябрь 2018 г.

*Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (*gost.e-ecolog.ru

© Стандартинформ, оформление, 2016, 2018

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Термины и определения 1
4 Сокращения 2
5 Общие положения 2
6 Архитектура подсистемы мониторинга параметров транспортных потоков на основе анализа телематических данных транспортных средств городского пассажирского транспорта 3
7 Организация работ по мониторингу параметров транспортных потоков на основе анализа телематических данных транспортных средств городского пассажирского транспорта 4
8 Расчет параметров транспортных потоков на основе анализа телематических данных транспортных средств городского пассажирского транспорта на участках дорог, не имеющих препятствий для свободного движения потока 5

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Интеллектуальные транспортные системы

ПОДСИСТЕМА МОНИТОРИНГА ПАРАМЕТРОВ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ТЕЛЕМАТИЧЕСКИХ ДАННЫХ ГОРОДСКОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА

Intellectual transportation system. Traffic parameters monitoring using telematics data of urban passengers transport vehicles

Дата введения — 2016—05—01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает требования к организации и выполнению мероприятий по мониторингу параметров транспортных потоков на участках улично-дорожной сети крупного города или мегаполиса с ограничением скорости движения до 60 км/ч, на основе анализа телематических данных транспортных средств городского пассажирского транспорта.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использована нормативная ссылка на следующий стандарт:

ГОСТ Р 52051 Механические транспортные средства и прицепы. Классификация и определения

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ГОСТ Р 52051, а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 **интенсивность транспортного потока:** Количество автотранспортных средств, проходящих через контрольное сечение дороги за единицу времени.

3.2 **плотность транспортного потока:** Количество автотранспортных средств, приходящихся на единицу длины дороги.

3.3 **средняя скорость транспортного потока на участке дороги:** Среднеарифметическое средних скоростей автотранспортных средств, прошедших по участку дороги за единицу времени.

Издание официальное

4 Сокращения

В настоящем стандарте применены следующие сокращения:

АНСДУ — автоматизированная навигационная система диспетчерского управления городским пассажирским транспортом;

АСУ-ДД — автоматизированная система управления дорожным движением;

ГИС — географическая информационная система;

ГЛОНАСС — Глобальная навигационная спутниковая система России;

ГПТ — городской пассажирский транспорт;

ИТС — интеллектуальная транспортная система;

НСИ — нормативная справочная информация;

УДС — улично-дорожная сеть;

GPS — Global Positioning System (глобальная навигационная спутниковая система США).

5 Общие положения

Настоящий стандарт регламентирует состав и взаимодействие основных элементов подсистемы мониторинга параметров транспортных потоков на основе анализа телематических данных транспортных средств городского пассажирского транспорта, алгоритмы оценки параметров транспортных потоков на различных участках улично-дорожной сети города на основе анализа телематических данных транспортных средств городского пассажирского транспорта, выполняющих перевозки пассажиров по маршрутной сети города. Исходные телематические данные для расчета параметров транспортных потоков включают в себя данные спутниковой навигации ГЛОНАСС (ГЛОНАСС/GPS).

Обработка исходных данных и расчет параметров транспортных потоков осуществляются с привлечением выполненных по технологии географических информационных систем пространственных моделей участков маршрутов городского пассажирского транспорта.

Настоящий стандарт устанавливает требования к технологиям и алгоритмам мониторинга параметров транспортных потоков на улично-дорожной сети города на основе анализа телематических данных транспортных средств городского пассажирского транспорта. Сформирован типовой перечень задач, решение которых необходимо для эффективного мониторинга параметров транспортных потоков в рамках соответствующей подсистемы.

Объектами мониторинга являются следующие параметры транспортных потоков на участках улично-дорожной сети города: средняя скорость транспортного потока, средняя интенсивность транспортного потока, средняя плотность транспортного потока.

Мониторинг параметров транспортных потоков на основе анализа телематических данных транспортных средств городского пассажирского транспорта основан на принципах, получивших название «floating car data» (данные от автомобилей, «плавающих» в транспортном потоке). При этом под данными от автомобилей понимают навигационные данные, включающие данные о местоположении (с точностью до нескольких метров), времени и направлении движения. В данном случае роль автомобилей, «плавающих» в транспортном потоке, играют пассажирские транспортные средства городского пассажирского транспорта, работающие под контролем АНСДУ.

Технологические преимущества использования транспортных средств городского пассажирского транспорта крупного города или мегаполиса в качестве источников навигационных данных следующие:

1) регулярность, непрерывность движения по дням маршрутного транспорта общего пользования;

2) значительная продолжительность движения маршрутного транспорта общего пользования, перекрывающая основные периоды суток;

3) высокая интенсивность движения маршрутного транспорта общего пользования на основных магистралях и дорогах города в пиковые периоды суток;

4) почти полное покрытие маршрутной сетью не только основных, но и второстепенных улиц и дорог крупных городов и мегаполисов.

6 Архитектура подсистемы мониторинга параметров транспортных потоков на основе анализа телематических данных транспортных средств городского пассажирского транспорта

6.1 Подсистема мониторинга параметров транспортных потоков на основе анализа телематических данных транспортных средств городского пассажирского транспорта должна создаваться в каждом городе как составная часть интеллектуальной транспортной системы города.

6.2 Подсистема должна иметь двухуровневую иерархическую архитектуру. Объекты нижнего уровня включают в себя транспортные средства городского пассажирского транспорта, осуществляющие маршрутные перевозки пассажиров при движении в общем потоке транспорта.

Объект верхнего уровня — комплекс аппаратно-программных средств, выполняющих обработку телематических данных, поступающих в диспетчерскую систему от контролируемых транспортных средств с целью расчета параметров транспортных потоков на улично-дорожной сети города. Эта обработка должна осуществляться комплексом аппаратно-программных средств в составе АНСДУ.

6.3 Подсистема осуществляет информационное взаимодействие с диспетчерской системой управления городским пассажирским транспортом и подсистемой управления транспортными потоками в составе интеллектуальной транспортной системы города (см. рисунок 1).

6.4 Подсистема мониторинга параметров транспортных потоков на основе анализа телематических данных транспортных средств городского пассажирского транспорта является функциональным дополнением традиционной подсистемы мониторинга параметров транспортных потоков на основе инструментальных средств (детекторов транспорта и других).

6.5 Мониторинг параметров транспортных потоков на основе анализа телематических данных транспортных средств городского пассажирского транспорта должен обеспечивать информацию о параметрах транспортных потоков на всех участках улично-дорожной сети, где проходят маршруты городского пассажирского транспорта и не установлены детекторы транспорта.

6.6 Расчет параметров транспортных потоков основан на использовании регрессионных моделей, описывающих связь между средней скоростью транспортных средств маршрутного транспорта общего пользования, движущихся в общем транспортном потоке, и средней скоростью других участников движения на участке УДС.

6.7 Для участков улиц с выделенной полосой для общественного транспорта излагаемый подход не применим.



Рисунок 1 — Архитектура подсистемы мониторинга параметров транспортных потоков и ее взаимодействие с другими подсистемами ИТС города

7 Организация работ по мониторингу параметров транспортных потоков на основе анализа телематических данных транспортных средств городского пассажирского транспорта

7.1 Мониторинг параметров транспортных потоков на основе анализа телематических данных транспортных средств городского пассажирского транспорта заключается в косвенной оценке средних значений параметров состояния транспортного потока на участках улично-дорожной сети (средняя скорость, средняя плотность, средняя интенсивность). Мониторинг должен осуществляться на основе функционирования комплекса аппаратно-программных средств в составе АНСДУ, использующих:

1) пространственную модель улично-дорожной сети города, включающую пространственную модель маршрутной сети ГПТ;

2) комплекс программ «привязки» навигационных данных от транспортных средств ГПТ к участкам УДС;

3) комплекс программ расчета параметров транспортных потоков по участкам УДС на основе анализа телематических данных транспортных средств городского пассажирского транспорта.

7.2 Пространственная модель улично-дорожной сети города, включающая в себя пространственную модель маршрутной сети ГПТ, должна формироваться на основе использования ГИС моделей маршрутов в составе базы данных электронных паспортов маршрутов ГПТ.

7.3 Расчет параметров транспортных потоков по участкам УДС на основе анализа телематических данных транспортных средств городского пассажирского транспорта должен проводиться для участков, не испытывающих непосредственного влияния «узких мест», регулируемых перекрестков, слияний и разветвлений автомобильных дорог.

7.4 Для обеспечения выполнения условия, изложенного в 7.3, должны быть созданы пространственные модели участков, не испытывающих непосредственного влияния «узких мест» и не включающих остановки городского пассажирского транспорта. Рекомендуемая длина участка не менее 150 м. Пространственные модели указанных участков могут строиться отдельно для каждого направления движения на участке дороги. Расчет параметров транспортных потоков по участкам УДС должен проводиться на основе анализа телематических данных транспортных средств городского пассажирского транспорта, полученных на указанных, специально выделенных участках УДС.

7.5 Данные должны обрабатываться по периодам времени суток, соответствующим времени работы ГПТ. Рекомендуется собирать и обрабатывать данные на участках УДС, по которым проходят маршруты ГПТ с 6-00 до 22-00. При этом должны собираться и группироваться по периодам суток данные от транспортных средств всех маршрутов, прошедших по участку.

7.6 Для расчета параметров транспортных потоков на участках магистральных и главных дорог города рекомендуется группировать телематические данные за каждые полчаса указанного в 7.5 периода суток при условии, если количество пассажирских транспортных средств ГПТ, прошедших по участку за этот период времени (полчаса), не менее пяти в каждом направлении движения.

Если количество пассажирских транспортных средств ГПТ, прошедших по участку за этот период времени (полчаса), менее пяти в каждом направлении, необходимо группировать данные, полученные за 1 ч при условии, что количество пассажирских транспортных средств ГПТ, прошедших по участку за этот период времени, полученных за 1 ч, не менее 10 в каждом направлении.

Если количество пассажирских транспортных средств ГПТ, прошедших по участку за этот период времени (1 ч), менее 10, необходимо группировать данные, полученные за 2 ч, при условии, что количество данных, полученных за это время, не менее 15 в каждом направлении.

7.7 Для расчета параметров транспортных потоков на участках второстепенных дорог города рекомендуется группировать телематические данные за каждый час указанного периода суток при условии, если количество пассажирских транспортных средств ГПТ, прошедших по участку за этот период времени (1 ч), не менее пяти в каждом направлении движения.

Если количество пассажирских транспортных средств ГПТ, прошедших по участку за этот период времени (1 ч), менее пяти в каждом направлении, необходимо группировать данные, полученные за 2 ч, при условии, что количество транспортных средств, прошедших по участку за этот период, не менее 10 в каждом направлении.

7.8 При выполнении указанных в 7.6, 7.7 условий оценка точности расчетов средней скорости движения транспортного потока составит ±10 % при доверительной вероятности 0,95.

7.9 Не рекомендуется осуществлять мониторинг параметров транспортных потоков на основе анализа телематических данных транспортных средств городского пассажирского транспорта, если количество прохождений по участку УДС пассажирских транспортных средств ГПТ меньше указанных в 7.6, 7.7.

8 Расчет параметров транспортных потоков на основе анализа телематических данных транспортных средств городского пассажирского транспорта на участках дорог, не имеющих препятствий для свободного движения потока

8.1 Расчет средней скорости движения пассажирских транспортных средств ГПТ на участке, не испытывающем влияние узких мест и искусственных препятствий, без учета потерь времени на остановках

Расчет средней скорости должен осуществляться поэтапно в режиме off-line в следующей последовательности:

1) сбор исходных навигационных данных от пассажирских транспортных средств, работавших на маршрутной сети за отчетные сутки;

2) привязка навигационных данных к пространственным моделям участков УДС для дальнейших расчетов;

3) группировка данных, привязанных к участкам УДС, по периодам суток в соответствии с рекомендациями, изложенными в 7.5, 7.7, 7.8;

4) расчет средней скорости каждого транспортного средства, прошедшего по участку, как среднеарифметического значений скорости, полученных в навигационных данных в период прохождения по участку;

5) расчет средней скорости пассажирских транспортных средств на участке за указанный период времени как среднеарифметическое значение средних скоростей транспортных средств, прошедших по участку в рассматриваемый период времени.

8.2 Необходимые условия для выполнения расчетов средней скорости движения пассажирских транспортных средств на участках УДС

8.2.1 Исходные навигационные данные от пассажирских транспортных средств, работавших на маршрутной сети за отчетные сутки, собираются и обрабатываются АНСДУ в целях управления городским пассажирским транспортом. Таким образом, этап сбора навигационных данных выполняется автоматически.

8.2.2 Привязка навигационных данных к пространственным моделям участков УДС для дальнейших расчетов должна выполняться в несколько шагов:

на первом шаге необходимо выполнить разделение исходных данных на группы в соответствии с маршрутом движения транспортных средств. При этом все навигационные данные должны сохранить дату и время формирования, признак маршрута и номер блока, который формировал эти данные;

на втором шаге данные каждого маршрута привязываются к пространственным моделям участков УДС, на которые они попали. Привязка осуществляется путем выделения участков УДС, по которым проходит рассматриваемый маршрут. Для каждого навигационного данного направление движения на участке должно быть зафиксировано на основе анализа модели маршрута, в которой должен быть описан прямой и обратный рейс с указанием направления движения на каждом участке.

Рекомендуется выделенный участок «накрыть» прямоугольной областью, стороны которого ориентированы по сторонам света, как показано на рисунке 2. При этом точки верхней и нижней границ прямоугольника будут иметь постоянное значение широты (const_1, const_2). Соответственно правая и левая границы прямоугольника будут иметь постоянное значение долготы (const_3, const_4). Указанная модель участка УДС, имеющего двустороннее движение, позволяет соотносить навигационные данные с выделенным участком с использованием следующих соотношений:

$$\text{const_1} < \text{Lat}_i < \text{const_2}, \quad (1)$$

где const_1, const_2 — широта точек южной и северной границ прямоугольной области соответственно,

Lat_i — широта i-го привязываемого навигационного данного;

$$\text{const_3} < \text{Lon}_i < \text{const_4}, \quad (2)$$

где const_3, const_4 — долгота точек западной и восточной границ прямоугольной области соответственно,

Lon_i — долгота i-го привязываемого навигационного данного.

Выполнение неравенств (1), (2) позволяет говорить о принадлежности навигационного данного выделенной области.

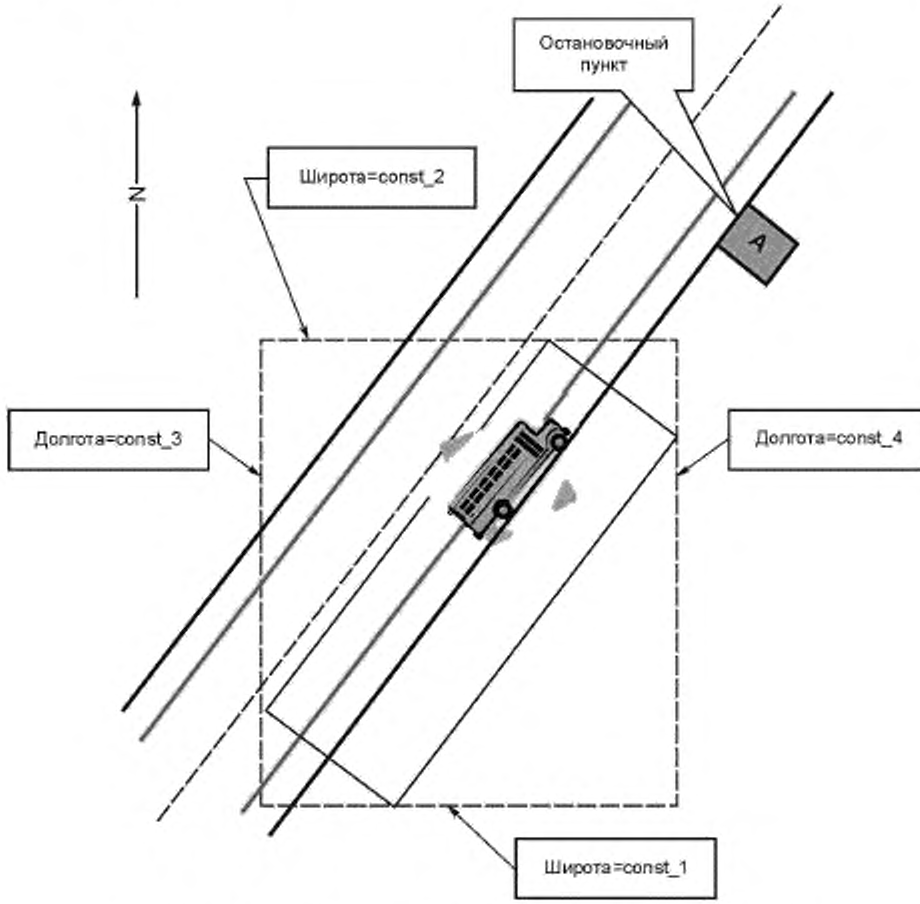

Рисунок 2 — Схема организации пространственной модели участка

Результатом выполнения второго шага будет совокупность подмножеств навигационных данных, привязанных к отдельным участкам УДС с учетом направления движения на этих участках. При этом каждое подмножество будет содержать навигационные данные от транспортных средств, работавших на всех маршрутах, проходящих по участку.

После анализа навигационных данных по всем маршрутам признак принадлежности навигационного данного к маршруту далее не используется;

на третьем шаге все навигационные данные, попавшие на участки, не испытывающие непосредственного влияния «узких мест» и не включающих остановки городского пассажирского транспорта, должны быть отсортированы в хронологическом порядке и привязаны к номерам блоков. Ориентируясь на номера блоков и время получения данных, необходимо просчитать количество рейсов, выполненных на каждом участке.

8.2.3 Все навигационные данные, сгруппированные на каждом участке, не испытывающем непосредственного влияния «узких мест» и не включающих остановки городского пассажирского транспорта, разбить по периодам времени суток в соответствии с 7.5, 7.6, 7.7. Периоды времени суток должны иметь продолжительность полчаса или 1 ч.

8.2.4 Среднюю скорость i-го транспортного средства (номера навигационного блока) в j-м рейсе на k-м участке v_{ijk}, км/ч, вычисляют по формуле

$$\overline{v}_{ijk} = \frac{1}{n_{ijk}} \sum_l v_{ijkl}, \quad (3)$$

где n_{ijk} — количество навигационных отметок, полученных от i-го транспортного средства (номера навигационного блока) в j-м рейсе на k-м участке;

v_{ijkl} — скорость i-го транспортного средства в j-м рейсе на k-м участке, зафиксированная в l-й навигационной отметке.

8.2.5 Среднюю скорость пассажирских транспортных средств на k-м участке в m-й период времени суток $\overline{v}_{km}$, км/ч, вычисляют по формуле

$$\overline{v}_{km} = \frac{1}{n_{km}} \sum_l \overline{v}_{ijkm}, \quad (4)$$

где n_{km} — количество пассажирских транспортных средств на k-м участке в m-м периоде времени суток, ед;

$\overline{v}_{ijkm}$ — средняя скорость i-го транспортного средства в j-м рейсе на k-м участке, в m-м периоде времени суток, км/ч.

8.3 Расчет средней скорости движения транспортных средств на полосе движения участка, не испытывающего влияние узких мест и искусственных препятствий

Среднюю скорость движения транспортных средств на полосе движения участка, не испытывающего влияние узких мест и искусственных препятствий, вычисляют с использованием регрессионных моделей, описывающих взаимосвязь между средней скоростью пассажирских транспортных средств и средней скоростью других участников транспортного потока, движущихся по полосам рассматриваемого участка.

Регрессионные модели указаны в таблице 1. Регрессионные модели построены для четырех полосных и шести полосных автомобильных дорог, отдельно для каждой полосы. Соотношения между средней скоростью участников потока даны отдельно для групп участников движения «быстрые автомобили», «медленные автомобили».

Таблица 1 — Уравнения регрессии для различных участников движения на полосах участков УДС города, не испытывающего влияние узких мест и искусственных препятствий

Группа транспортных средств	Уравнение регрессии
Четырехполосная дорога (две полосы в одну сторону)	
Медленные автомобили на правой полосе	$y = 1{,}059x^{0{,}959}$
Быстрые автомобили на правой полосе	$y = 0{,}755x^{1{,}131}$
Быстрые автомобили на левой полосе	$y = 0{,}745x^{1{,}14}$
Шестиполосная дорога (три полосы в одну сторону)	
Медленные автомобили на правой полосе	$y = 1{,}088x^{0{,}957}$
Быстрые автомобили на правой полосе	$y = 0{,}521x^{1{,}292}$
Быстрые автомобили на средней полосе	$y = 0{,}513x^{1{,}309}$
Быстрые автомобили на левой полосе	$y = 0{,}496x^{1{,}324}$
Примечание — x (фактор) — средняя скорость пассажирских транспортных средств на участке, вычисленная по формуле (3); y (отклик) — средняя скорость соответствующей группы автомобилей.	

Две группы транспортных средств в соответствии с ГОСТ Р 52051 определены следующим образом:

1) «быстрые автомобили» — легковые автомобили, маршрутные такси, пассажирские транспортные средства категории М1, М2, а также грузовые фургоны и легкие грузовики (категория N1 — транспортные средства, предназначенные для перевозки грузов, имеющих максимальную массу не более 3,5 т);

2) «медленные автомобили» — грузовые автомобили максимальной массой свыше 3,5 т (категории N2, N3), а также автобусы категории М3, троллейбусы.

Уравнения регрессии таблицы 1 могут быть корректно использованы для городских условий, т. е. при выполнении ограничений на скорость движения:

$$0 \le y \le 60 \text{ км/ч}. \quad (5)$$

8.4 Средняя скорость на полосе автомобильной дороги при смешанном потоке

Для оценки средней скорости на полосе при смешанном потоке необходимо знать долю «медленных» автомобилей в потоке.

Пример 1. Пусть R — доля «медленных» автомобилей в потоке на правой полосе четырехполосной дороги. Тогда средняя скорость смешанного потока на правой полосе участка четырехполосной дороги будет равна

$$v_{\text{см. прав}} = R1{,}059x^{0{,}959} + (1 - R)0{,}755x^{1{,}131}, \quad (6)$$

где R — доля «медленных» автомобилей в смешанном потоке на правой полосе участка четырехполосной дороги;

x — средняя скорость транспортных средств ГПТ, вычисленная по формуле (3).

Пусть доля медленных автомобилей на правой полосе дороги R равна 0,2, если вычисленная по навигационным данным [см. формула (3)] средняя скорость пассажирских транспортных средств равна 29 км/ч, то по формуле (6), подставляя значения R, равное 0,2, фактора x, равное 29, средняя скорость смешанного потока на правой полосе будет равна:

$$v_{\text{см. прав}} = 02 \cdot 1{,}059 \cdot 29^{0{,}959} + (1 - 0{,}2)0{,}755 \cdot 29^{1{,}131} = 32{,}6 \text{ км/ч}. \quad (7)$$

8.5 Расчет средней плотности и интенсивности потока на полосе участка автомобильной дороги, не испытывающего влияния искусственных препятствий потоку автомобилей

Для расчета средней плотности и интенсивности потока используются известные аналитические зависимости «скорость плотность», «интенсивность — плотность». Схематично последовательность расчетов приведена на рисунке 3.

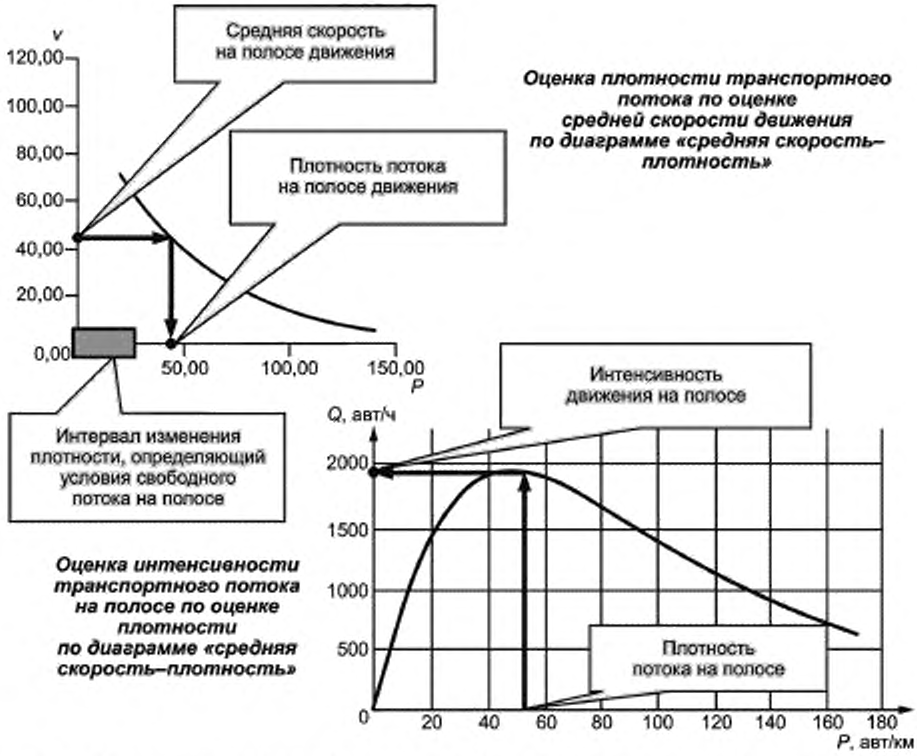

Рисунок 3 — Схема последовательной оценки средней плотности и интенсивности транспортного потока

В расчетах используется понятие «плотность потока, приведенная к плотности однородного потока легковых автомобилей».

Исходной информацией для расчетов должны являться значения средней скорости пассажирских транспортных средств на участке за рассматриваемый период времени, вычисленные по формуле (3). На основании полученного значения средней скорости пассажирских транспортных средств необходимо вычислить средние плотности транспортного потока на полосах дороги. Если поток на полосе однородный, необходимо использовать регрессионные зависимости, приведенные в таблице 1.

Если поток смешанный, то среднюю скорость вычисляют по формуле (6).

В таблице 2 для участков дорог с ограничением скорости 60 км/ч приведены наименования возможных фазовых состояний транспортного потока (см. графу 1). В последующих графах для каждого фазового состояния потока приведены диапазон изменения средней скорости потока (см. графу 2), аналитические выражения для соотношений средних значений «скорость — плотность» (графа 3), диапазон изменения средней плотности потока (графа 4), аналитические выражения для расчета оценки плотности приведенного потока (графа 5).

Таблица 2 — Аналитические выражения для соотношений средних значений «скорость — плотность» для участков УДС города с ограничением скорости 60 км/ч

Фазовое состояние потока	Границы изменения средней скорости потока, км/ч	Зависимость средних значений «скорость — плотность» $v = \varphi(\rho)$	Границы изменения средней плотности потока, авт/км	Зависимость средних значений «плотность — скорость» $\rho = \psi(v)$
1	2	3	4	5
Свободный поток	$v \geq 60$	$v = \text{const}$	$0 < \rho \leq 24{,}5$	—
Синхронизированный поток	$32{,}3 \leq v < 60$	$v(\rho) = 5 + \dfrac{799}{0{,}7\rho - 5}$	$24{,}5 < \rho \leq 60$	$\rho = 1{,}429\left[\dfrac{799}{v-5} + 5\right]$
Плотный поток	$3{,}0 \leq v < 32{,}3$	$v(\rho) = 86e^{-0{,}02\rho}$	$60 < \rho \leq \sim 140$	$\rho(v) = \dfrac{\ln 86 - \ln v}{0{,}02}$

Для использования данных таблицы необходимо предварительно по формуле (3) вычислить значение средней скорости потока на каждой полосе участка дороги. Затем последовательно для каждой полосы определить фазовое состояние потока и информацию графы 2, используя рассчитанное значение средней скорости потока на полосе. Затем рассчитать значение средней плотности потока на каждой полосе.

Пример 2. Пусть рассчитанное по навигационным данным (3) значение средней скорости пассажирских транспортных средств равняется 29 км/ч. Пусть участок представляет собой четырехполосную дорогу. Тогда средняя скорость быстрых автомобилей на левой полосе (в соответствии с таблицей 1) определится из уравнения регрессии:

$$y = 0{,}745x^{1{,}14}.$$

Подставляя найденное значение средней скорости пассажирских транспортных средств в уравнение регрессии вместо фактора x, имеем:

$$y = 0{,}745 \cdot 29^{1{,}14} = 0{,}745 \cdot 46{,}47 = 34{,}6 \text{ км/ч}. \quad (8)$$

Анализируя границы изменения средней скорости потока, в таблице 2 (графа 2) видим, что вычисленная скорость относится к синхронизированному потоку. Следовательно, среднюю плотность потока следует вычислять по формуле

$$\rho = 1{,}429\left[\frac{799}{34{,}6 - 5} + 5\right].$$

Подставляя в данную формулу найденное значение скорости (34,6 км/ч), вычислим среднюю плотность потока на левой полосе четырехполосной дороги:

$$\rho = 1{,}429\left[\frac{799}{34{,}6 - 5} + 5\right] \approx 46 \text{ авт/км}. \quad (9)$$

Среднюю интенсивность потока на полосе вычисляют по формуле

$$q = v\rho, \tag{10}$$

где v — средняя скорость потока на полосе;

ρ — средняя плотность потока на полосе.

Пример 3. Используя данные примера 2, найдем среднюю интенсивность потока на левой полосе четырехполосной дороги.

$$\textit{Имеем: } v = 34{,}6 \textit{ км/ч; } \rho = 46 \textit{ авт/км, тогда}$$
$$q = 34{,}6 \cdot 48 \approx 1592 \textit{ авт/ч.} \tag{11}$$

Среднюю суммарную интенсивность потока на дороге вычисляют как сумму интенсивностей потока на каждой полосе:

$$Q = \Sigma_i q_i. \tag{12}$$

Среднюю скорость потока на участке вычисляют по формуле

$$V = \frac{\Sigma_i v_i q_i}{\Sigma_i q_i}. \tag{13}$$

8.6 Оценка среднего времени задержки транспортных средств на участках, оканчивающихся регулируемым перекрестком, и средней скорости движения транспортных средств на участке в целом в условиях отсутствия затора на перекрестке

Если участок оканчивается регулируемым перекрестком, то возникает дополнительная задержка транспортных средств, которая влияет на среднюю скорость потока на участке. Пусть параметры светофорного регулирования на перекрестке обозначены: c — цикл светофорного регулирования, с; r — длительность запрещающего сигнала, с; g — длительность эффективной зеленой фазы, с.

Введем величину:

$$x_i = \frac{cq_i}{gs_i}, \tag{14}$$

где q_i — среднее количество автомобилей, прибывающих к перекрестку на i-й полосе;

s_i — поток насыщения.

Величина x_i численно равна отношению среднего числа прибывших автомобилей за цикл работы светофорной сигнализации к среднему числу убывших автомобилей на i-й полосе за время зеленой фазы светофора.

Если отношение интенсивности входящего потока к пропускной способности перекрестка меньше 0,5 (условие отсутствия затора), средняя задержка транспортных средств d_i на i-й полосе может быть вычислена по формуле

$$d_i = \frac{s_i\left(1 - \frac{g}{c}\right)}{2(s_i - q_i)} \text{ при } x_i < 0{,}5. \tag{15}$$

Пример 4.

Пусть параметры светофорного регулирования равны: c — 90 с;r — 30 с; g — 59 с.

Пусть интенсивность входящего потока на правой полосе равна 360 авт/ч (0,1 авт/с). Поток насыщения равен 1800 авт/ч (0,5 авт/с).

x_i = (0,1 · 90)/(59 · 0,5) 0,3. Формулу (15) применять можно. Подставляя значения параметров получим:

$$d_{пр} = \frac{0{,}5\left(1 - \frac{59}{90}\right)}{2(0{,}5 - 0{,}1)}(90 - 59) = 6{,}7 \textit{ с}. \tag{16}$$

Пусть на участке до перекрестка средняя скорость потока на i-й полосе определена, как описано в 8.3, 8.4, и равна v_i. Пусть длина участка равна L. Средняя задержка, которая возникает при прохождении регулируемого перекрестка, равна d_i и определяется по формуле (15). В этих условиях среднюю скорость на i-й полосе с задержкой v вычисляют по формуле

$$v_i^3 = \frac{L}{\left(\frac{L}{v_i} + d_i\right)}. \tag{17}$$

Среднюю скорость потока на участке с задержкой вычисляют по формуле

$$V = \frac{\Sigma_i v_i^3 q_i}{\Sigma_i q_i}. \quad (18)$$

8.7 Оценка интенсивности свободного потока автомобилей для участков, оканчивающихся регулируемым перекрестком

8.7.1 Как видно из таблицы 2, если по результатам расчетов расчетная скорость потока окажется не менее 60 км/ч, что соответствует фазе «свободный поток», то точечная оценка средней плотности и интенсивности потока методом, изложенным в 8.6, не может быть получена, поскольку средняя скорость потока не изменяется в некотором диапазоне изменения средней плотности потока. Если участок оканчивается регулируемым перекрестком, то оценка интенсивности свободного потока может быть получена обработкой навигационных данных бортовым телематическим устройством с использованием метода, изложенного в 8.7.3. Ограничением данного метода является то, что движение потока на участке не должно иметь прерывистый характер отдельных групп транспортных средств (например, из-за работы светофора на предыдущем участке).

8.7.2 Для регулируемого перекрестка должна быть создана пространственная модель, схема которой показана на рисунке 4. Пространственная модель создается аналогично тому, как это описано в 8.2.2.

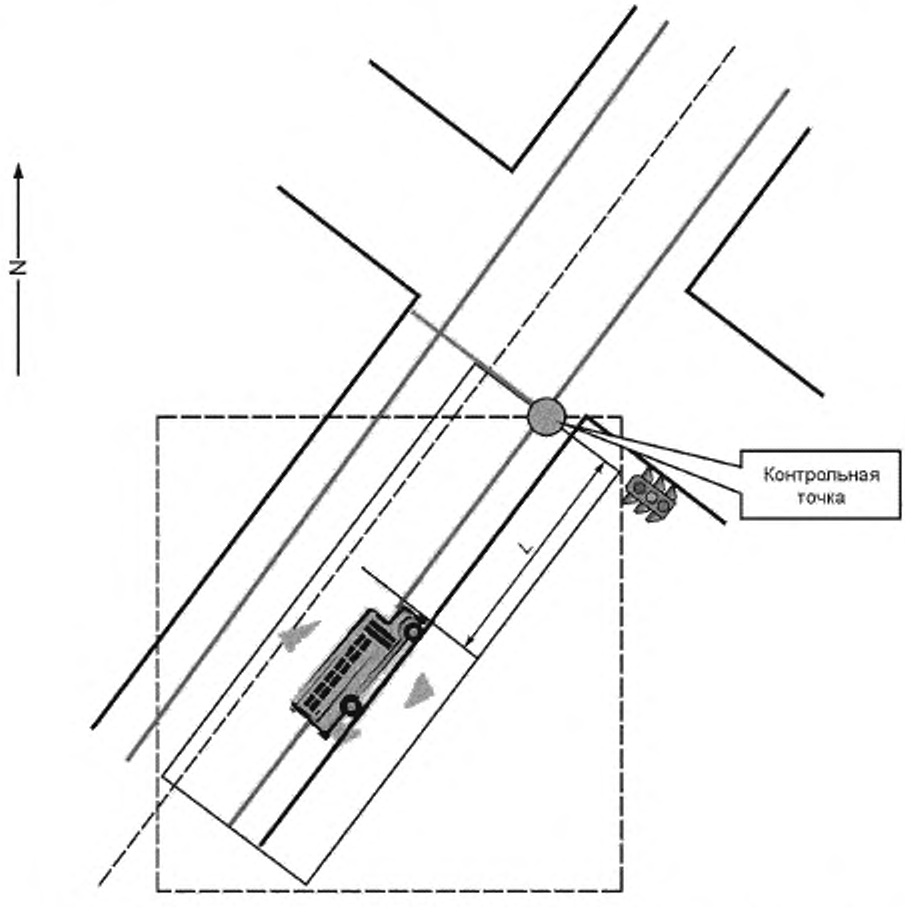

Рисунок 4 — Схема организации пространственной модели регулируемого перекрестка

8.7.3 Исходные данные для расчетов интенсивности свободного потока формируются бортовым блоком пассажирского транспортного средства с использованием пространственной модели перекрестка. Исходные данные о длине очереди автомобилей, стоящих перед светофором, и времени, в течение которого собралась очередь перед светофором, формируются бортовым блоком в случае, если пассажирское транспортное средство останавливается в зоне перекрестка на запрещающий сигнал светофора. Программа бортового блока должна зафиксировать момент остановки по резкому снижению скорости (не более 3 км/ч). Одновременно должно быть вычислено расстояние до контрольной точки перекрестка, координаты которой включены в модель перекрестка, записанную в бортовую память устройства.

После включения разрешающего сигнала светофора и продвижения очереди транспортных средств пассажирское транспортное средство должно зафиксировать момент пересечения линии «Стоп». Моменты времени должны фиксироваться с точностью до секунды. После этого необходимо передать в диспетчерский центр следующие данные.

1) идентификатор участка (идентификатор контрольной точки),

2) момент времени остановки транспортного средства перед перекрестком $t_{остi}$ в секундах с начала времени суток;

3) момент времени пересечения линии «Стоп» $t_{стопi}$ в секундах с начала времени суток.

Для повышения точности указанных расчетов бортовым устройством и устранения случайных ошибок навигационных измерений рекомендуется при попадании в зону перекрестка проводить навигационные измерения с частотой 10 Гц. С этой целью рекомендуется использовать двухсистемные (ГЛОНАСС/GPS) навигационные приемники. Примером отечественного аналога (по техническим характеристикам) является навигационный приемник МНП-М7.

Другим условием проведения расчетов является получение актуальных данных от АСУ-ДД о параметрах светофорного регулирования на каждом перекрестке в направлении движения пассажирских транспортных средств.

8.7.4 Обработка на сервере полученных исходных данных из зон регулируемых перекрестков должна проводиться, если на участке будет зафиксирована скорость транспортных средств, соответствующая скорости свободного потока (см. 8.6) или близкая к ней.

По полученным данным от *i*-го транспортного средства должны быть вычислены:

1) количество транспортных средств перед пассажирским транспортным средством, которые остановились перед светофором в ожидании включения разрешающего сигнала ($N_{очi}$);

2) интервал времени с момента включения запрещающего сигнала до момента остановки пассажирского транспортного средства в очереди перед светофором t_i, в котором проходило накопление очереди перед светофором.

Схематично моменты времени возникновения основных событий, рассматриваемых в расчетах, показаны на рисунке 5

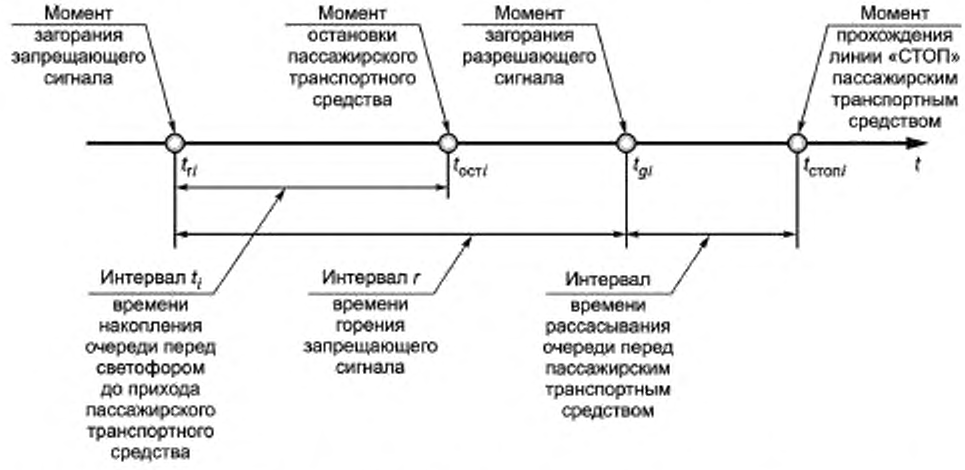

Рисунок 5 — Последовательность основных событий, рассматриваемых при расчетах интенсивности движения транспортных средств на полосе движения пассажирского транспортного средства

Интенсивность рассчитывается для потока, приведенного к однородному потоку легковых автомобилей, поэтому в расчетах принимается, что один автомобиль в очереди, стоящей перед светофором, занимает 7,0 м (значение минимального динамического интервала для легкового автомобиля, принимаемое в расчетах). Количество легковых автомобилей в очереди на перекрестке перед i-м пассажирским транспортным средством вычисляется по формуле

$$N_{очi} = \left[\frac{L_i}{7{,}0}\right] \text{ — округленное значение,} \quad (19)$$

где L_i — расстояние от контрольной точки перекрестка до i-го пассажирского транспортного средства, вычисленное по навигационным данным и модели перекрестка, м;

7,0 — значение минимального динамического интервала.

Интервал времени с момента включения запрещающего сигнала до момента остановки i-го пассажирского транспортного средства в очереди перед светофором t_i вычисляют в три этапа.

Этап 1. Момент времени загорания разрешающего сигнала от начала суток (t_{gi}, с), вычисляют по формуле

$$t_{gi} = t_{стопi} - 1{,}8N_{очi} - 1{,}0, \quad (20)$$

где $t_{стопi}$ — момент времени прохождения транспортным средством стоп линии от начала суток, с;

$1{,}8N_{оч}$ — среднее время, затраченное на прохождение линии «Stop» очереди автомобилей, стоящих перед пассажирским транспортным средством, с.

Константа 1,8 учитывает принятое в расчетах среднее время, затрачиваемое одним легковым автомобилем в очереди на прохождение линии «Стоп».

Константа 1,0 учитывает потери времени между моментом загорания разрешающего сигнала и началом движения первого автомобиля в очереди.

Этап 2. Момент загорания запрещающего сигнала от начала суток, на который остановилось транспортное средство (t_{ri}, с), вычисляют по формуле

$$t_{ri} = t_{gi} - r, \quad (21)$$

где r — известная длительность горения запрещающего сигнала, с.

Этап 3. Интервал времени от момента включения запрещающего сигнала до момента остановки пассажирского транспортного средства в очереди перед светофором t_i вычисляют по формуле

$$t_i = t_{остi} - t_{ri}. \quad (22)$$

Таким образом, за время t_i в очереди перед светофором собралось $N^{+1}_{оч\,i}$ транспортное средство, включая пассажирское транспортное средство, от которого получены исходные данные для расчетов.

Введем обозначение: $N^{+1}_{оч\,i}$ — количество транспортных средств перед светофором, собравшихся в момент времени t_i, включая пассажирское транспортное средство.

После проведения расчетов по каждому перекрестку должны быть сгруппированы данные для каждого периода суток, когда фиксировались скорости транспортных средств, соответствующие скорости свободного транспортного потока. Обозначим $\left\{N^{+1}_{оч\,i}\right\}_i$ множество сгруппированных данных о задержках пассажирских транспортных средств на перекрестке за отдельный период суток, когда расчетные скорости транспортных средств на участке соответствовали условиям «свободного потока».

Принимаем, что количество транспортных средств на полосе движения пассажирского транспорта, проходящих за единицу времени, является случайной величиной, распределенной по закону Пуассона. Тогда интенсивность свободного потока на полосе движения пассажирского транспорта в период, соответствующий периоду «свободного потока»,вычисляется по формуле

$$q_{св} = \frac{\Sigma_i N^{+1}_{оч\,i}}{\Sigma_i t_i}. \quad (23)$$

Принимая во внимание действие «эффекта выравнивания длины очереди перед регулируемым перекрестком, суммарную интенсивность потока на участке $Q_{св}$ за период, соответствующий условиям «свободного потока», вычисляют по формуле

$$Q_{св} = N_п q_{св}, \quad (24)$$

где $N_п$ — количество полос на участке в направлении движения пассажирских транспортных средств, от которых поступают навигационные данные.

УДК 656.13:004:006.354 ОКС 35.240.60

Ключевые слова: транспортные потоки, улично-дорожная сеть, глобальная навигационная спутниковая система, городской пассажирский транспорт, телематические данные, мониторинг параметров транспортных потоков

Редактор *Л.В. Коретникова*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *М.И. Першина*
Компьютерная верстка *Л.А. Круговой*

Сдано в набор 01.11.2018. Подписано в печать 19.11.2018. Формат 60×84 1/8. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 2,32. Уч.-изд. л. 1,90.
Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ» для комплектования Федерального информационного фонда стандартов, 117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru