



Уровень обслуживания как показатель надёжности улично-дорожной сети



Александр МИХАЙЛОВ
Alexander Yu. MIKHAILOV

Роман ГОРБУНОВ
Roman N. GORBUNOV



Зинаида ГОРБУНОВА
Zinaida V. GORBUNOVA

Михайлов Александр Юрьевич – доктор технических наук, профессор Иркутского национального исследовательского технического университета (ИрНИТУ), Иркутск, Россия.

Горбунов Роман Николаевич – аспирант кафедры автомобильного транспорта ИрНИТУ, Иркутск, Россия.

Горбунова Зинаида Васильевна – кандидат экономических наук, доцент ИрНИТУ, Иркутск, Россия.

Service Rate as an Indicator of Street and Road Network Reliability

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 200)

В статье оцениваются понимание и трактовка научных категорий «надёжность», «отказ», «конгестия».

Обосновывается возможность использования показателя уровня обслуживания как критерия надёжности функционирования улично-дорожной сети, имея в виду, что он отражает в комплексе данные об экономичности, удобстве и безопасности движения, а посредством этого и состояние транспортного потока. Приводятся разные подходы к определению уровня обслуживания, к классификации особенностей и признаков выполняемой работы. Формулируются дальнейшие направления совершенствования надёжности автомобильных дорог, поиска наиболее вариативного показателя безотказности городской транспортной сети.

Ключевые слова: улично-дорожная сеть, надёжность, конгестия, поток, отказ, уровень обслуживания, временной буфер, буферный индекс.

В условиях высокой загрузки движением дорог общего пользования и улично-дорожных сетей особо актуальной становится задача обеспечения надёжности их функционирования, что требует, в свою очередь, разработки соответствующих количественных критериев оценки надёжности.

В Российской Федерации трактовку термина «надёжность» в технике определяет ГОСТ 27.002-2015, устанавливающий основные понятия в этой области. Объектом применения ГОСТа может быть сборочная единица, деталь, компонент, элемент, устройство, функциональная единица, оборудование, изделие, система, сооружение [2].

Под надёжностью, согласно ГОСТу, понимается «свойство объекта сохранять во времени способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования». Также дано примечание, что надёжность является комплексным свойством, которое в зависимости от назначения объекта может включать в себя безотказность, ремонтпригодность, вос-

станавливаемость, долговечность, сохраняемость, готовность или определённые сочетания этих свойств [7].

Рассмотрим надёжность автомобильной дороги с этих позиций. По ГОСТу системой выступает объект, представляющий собой множество взаимосвязанных элементов, рассматриваемых в определённом контексте как единое целое и отделённых от окружающей среды, поэтому в рамках исследования будем исходить из таких системных признаков.

Автомобильная дорога, согласно [1], — это объект транспортной инфраструктуры, предназначенный для движения транспортных средств и включающий в себя земельные участки в границах полосы отвода и расположенные на них или под ними конструктивные элементы (дорожное полотно, дорожное покрытие и подобные элементы) и дорожные сооружения, являющиеся её технологической частью — защитные сооружения, искусственные дорожные сооружения, производственные объекты, элементы обустройства автомобильных дорог.

Существует ряд нормативных документов, которые определяют требования к автомобильным дорогам [3, 4, 6]. Предусмотренные в них стандарты и правила касаются не только конструктивных особенностей дорожного покрытия, материалов, но и предъявляют требования непосредственно к функционированию дорог.

Исходя из приведённой ранее формулировки, основной функцией автомобильной дороги как системы является обеспечение возможности движения по ней транспортных средств. Логичным было бы предположить, что движение должно осуществляться с определёнными параметрами, возникновение отказов (например, затор) означает невыполнение заданной функции, то есть нарушается свойство безотказности. А ГОСТ под безотказностью понимает свойство объекта непрерывно сохранять способность выполнять требуемые функции в течение некоторого времени или наработки в предусмотренных режимах и условиях применения [2].

Под отказом же в данном случае следует понимать событие, заключающееся в нарушении работоспособности состояния объекта. В зарубежной литературе для таких ситуаций используется термин «конгестия», под которым понимается то состояние за-

грузки улично-дорожной сети (УДС), когда объёмы дорожного движения приближаются к пропускной способности или превышают её. Конгестия может быть рекуррентной или нерекуррентной [9].

Добавим, что отказ может считаться ресурсным, если объект достигает предельного состояния, то есть затор, как уже говорилось, возникает именно вследствие недостаточной пропускной способности дороги, ниже расчётного потока. Внезапный отказ характеризуется скачкообразным переходом объекта в неработоспособное состояние, резким повышением риска дорожно-транспортного происшествия [2].

С точки зрения пользователей автомобильные дороги общего пользования, городские улицы и трассы должны обеспечивать комфортность, скорость и безопасность дорожного движения. Эти три показателя обязаны быть по возможности максимизированы. Например, движение может становиться разным: возможность движения автомобилей со средней скоростью не более 5 км/ч тоже движение, однако оно уже не будет удовлетворять обычным критериям со стороны пользователя и может считаться отказом.

По мере ухудшения условий для перемещения дорога переходит в предотказное состояние, характеризующееся повышенным риском. Такое состояние может возникнуть как в результате внутренних процессов, так и внешних воздействий на объект в процессе его функционирования. Изменение каких-либо параметров дорожной сети, снижение скорости, нарастающая интенсивность движения наверняка будут способствовать ухудшению ситуации. Дорожно-транспортное происшествие, которое существенно ограничивает пропускную способность дороги, также приводит её в предотказное состояние. Отказ произойдёт в случае, если последствия ДТП не устранят в кратчайшие сроки или, например, в случае ухудшения погодных условий (снегопад, подтопление в результате ливневых дождей, гололёд). Но более всего опасно возникновение чрезвычайных ситуаций [2].

Предотказное состояние способно сохраняться неопределённо долгое время, либо же перейти как в состояние отказа, так и в рабочее состояние. В случае, если обнаружен-



ный отказ со временем самоустранился, то он называется сбоем.

Для определения предотказного состояния ГОСТ предполагает использование критерия, отражающего некие реальные признак или совокупность признаков предотказного состояния объекта [2].

В дальнейшем, если характер движения продолжает не соответствовать требованиям, автомобильная дорога переходит в неработоспособное состояние, в котором она не может выполнять хотя бы одну положенную функцию.

Впрочем, такой критерий в отношении автомобильных дорог с точки зрения их функционала, надо признать, нормативно не установлен. То есть не определено, какого размера заторы допустимы, какая средняя скорость должна быть.

Следующее понятие, которое должно касаться автомобильной дороги, является наработка. Под наработкой понимается продолжительность или объём работы объекта.

Автомобильная дорога в рассматриваемом нами контексте может иметь неограниченный ресурс по времени, причём в некоторых случаях значение показателя наработки стремится к бесконечности, и это при том, что отказ дорожного полотна как физического объекта может произойти многократно за любой обозримый период. Такая ситуация возможна, если своевременный ремонт автодороги не будет приводить к заторам, в противном случае возникает зависимый отказ, когда невозможность перемещения по ней связана с износом дорожного полотна.

Тем не менее, если заторы возникают периодически, например, ежедневно в час пик, то возникает обратная картина, когда дорожное полотно находится в хорошем техническом состоянии, но при этом дорога не выполняет своих функций. В случае, если такая ситуация регулярна, можно говорить о цикличности отказов и равных промежутках наработки на отказ.

В любом варианте оценки и прогнозирования отказов следует определять их критерий и причину. Поскольку в технической документации не отражаются критерии отказа по потенциальной пропускной способности и, по существу, не оценивается данный параметр, то это значительно влияет на организацию транспортного сообщения.

При появлении перемежающихся и про-

чих видов отказа, возникновение которых можно спрогнозировать, пользуясь зарубежной терминологией, мы можем говорить о рекуррентной конгестии, а при внезапных отказах — о нерекуррентной.

Фактические значения параметров в определённый момент времени характеризуют степень готовности объекта к выполнению заданных функций в рассматриваемых условиях.

ГОСТом устанавливается классификация отказов по критичности:

1. Критический — это затор, когда скорость движения значительно ниже прогнозируемой (требуемой) пользователями.

2. Некритический — когда затруднено движение, но поток автомобилей сохраняет скорость, близкую к максимально разрешённой (оптимальной, комфортной).

Движущиеся по автодороге экипажи в то же время являются частью логистической системы (цепи). Отказ дороги выполнять свои функции по перемещению автомобилей приводит к отказу в логистической цепи, что в свою очередь влияет на следующие звенья системы. В данном случае, если такой отказ возникает циклически, то он рассматривается уже как систематический, однозначно вызванный определённой причиной, которая может быть устранена только модификацией проекта или производственного процесса, правил эксплуатации и содержания документации.

С точки зрения устранения отказов автомобильная дорога может быть отнесена к объектам со способностью к самовосстановлению, то есть по мере снижения транспортного спроса затор постепенно исчезает и восстанавливается нормальное функционирование объекта. Рассмотрев автомобильную дорогу как такую систему, мы приходим к выводу, что она выступает техническим объектом, на который распространяются терминология по надёжности в технике и все доступные и применимые в системе смыслы.

Критерии отказа (надёжности) могут быть определены на основе комплексного показателя, представляющего качественную меру, описывающую эксплуатационные условия транспортных средств в потоке. Этот показатель присутствует в виде шкалы, имеющей градацию для состояния отказа, предотказного и рабочего состояний.

Требования к надёжности формируются

преимущественно на основе спроса пользователей. Ожидаемые показатели закладываются в нормы проектирования и должны быть отражены в технической документации.

Снижение скорости обслуживания или отказ вызывают ухудшение целого ряда эксплуатационных показателей: снижают производительность подвижного состава, усиливают экологическое воздействие, поскольку увеличивается продолжительность работы двигателей, влияют на психофизическое состояние людей, у которых возрастают затраты времени на передвижения, вызванные пробками.

Долгое время в нашей стране не возникало необходимости в оценке подобных показателей из-за низкого уровня автомобилизации. За рубежом, а особенно в США, этим вопросом были вынуждены заниматься ещё с середины XX века, когда было подготовлено руководство Highway Capacity Manual.

В последние годы для оценки надёжности функционирования автомобильных дорог предлагается использовать уровень обслуживания (Level of service), рассчитываемый на основе показателя временного индекса (TTi) [9].

Наряду с показателем временного индекса есть ещё ряд показателей, которые могут применяться для такой оценки: временной буфер (T_b), буферный индекс (I_b), двухжидкостная модель Хермана–Пригожина (T_p, T_r) [8, 10–13], ТОМТОМ traffic index (I_n) [15], INRIX Travel Time Index (I_{inrix}) [14].

TTi определяется как отношение:

$$TTi = \frac{T_p}{T_{15\%}}, \quad (1)$$

где T_p – затраты времени на передвижение в пиковый период; $T_{15\%}$ – затраты времени на передвижение 15% обеспеченности, наблюдаемые во внепиковые периоды суток.

$$T_b = T_n - \bar{T}, \quad (2)$$

где T_n – продолжительность передвижения $n\%$ обеспеченности; \bar{T} – средняя продолжительность передвижения.

$$I_b = \frac{T_b}{\bar{T}} \cdot 100 \%, \quad (3)$$

$$T_r = T_m^{1+n} \cdot T^{n+1}, \quad (4)$$

$$T_s = T - T_m^{1+n} \cdot T^{n+1}, \quad (5)$$

где T_m – минимальные удельные затраты времени на движение в свободных условиях, мин/км; n – показатель, характеризующий качество функционирования рассматриваемого участка УДС; T_s – удельное время простоя, мин/км; T_r – удельное время движения, мин/км; T – удельные затраты времени, мин/км.

$$I_n = \frac{\bar{T}}{T_{ff}} - 1, \quad (6)$$

где \bar{T} – среднее время движения; c , T_{ff} – время движения в свободных условиях, с.

$$I_{inrix} = \frac{T_p - T_{ff}}{T_{ff}}. \quad (7)$$

В России для оценки функционирования дорог были подготовлены ОДМ 218.2.020–2012 «Методические рекомендации по оценке пропускной способности автомобильных дорог» [5]. В документе содержатся указания по расчётам, в том числе уровня обслуживания. Термин «уровень обслуживания» в данных рекомендациях означает комплексный показатель экономичности, удобства и безопасности движения, характеризующий состояние транспортного потока.

Для оценки уровня обслуживания предложено сравнивать фактические показатели транспортного потока с расчётными или максимально возможными.

$$z = \frac{N}{P}, \quad (8)$$

где z – коэффициент загрузки; N – интенсивность движения, авт./ч; P – практическая пропускная способность участка дороги, авт./ч.

$$c = \frac{v_z}{v_o}, \quad (9)$$

где c – коэффициент скорости движения; v_z – средняя скорость движения при рассматриваемом уровне удобства, км/ч; v_o – скорость движения в свободных условиях при уровне удобства A , км/ч.

$$\rho = \frac{q_z}{q_{\max}}, \quad (10)$$

где ρ – коэффициент насыщения движения; q_z – средняя плотность движения, авт./км;



Уровень обслуживания по ОДМ 218.2.020–2012

Уровень обслуживания движения	z	c		Характеристика потока автомобилей	Состояние потока	Эмоциональная нагрузка водителя	Удобство работы водителя	Экономическая эффективность работы дороги
A	<0,2	>0,9	<0,1	Автомобили движутся в свободных условиях, взаимодействие между автомобилями отсутствует	Свободное движение одиночных автомобилей с большой скоростью	Низкая	Удобно	Неэффективная
B	0,2–0,45	0,7–0,9	0,1–0,3	Автомобили движутся группами, совершается много обгонов	Движение автомобилей малыми группами (2–5 шт.). Обгоны возможны	Нормальная	Малодобно	Малоэффективная
C	0,45–0,7	0,55–0,7	0,3–0,7	В потоке ещё существуют большие интервалы между автомобилями, обгоны запрещены	Движение автомобилей большими группами (5–14 шт.). Обгоны затруднены	Высокая	Неудобно	Эффективная
D	0,7–0,9	0,4–0,55	0,7–1,0	Сплошной поток автомобилей, движущихся с малыми скоростями	Колонное движение автомобилей с малой скоростью. Обгоны невозможны	Очень высокая	Очень неудобно	Неэффективная
E	0,9–1,0	<0,4	1,0	Поток движется с остановками, возникают заторы, режим пропускной способности	Плотное	Очень высокая	Очень неудобно	Неэффективная
F	>1,0	0,3	1,0	Полная остановка движения, заторы	Сверхплотное	Крайне высокая	Крайне неудобно	Неэффективная

Источник [5].

q_{max} – максимальная плотность движения, авт./км.

В таблице 1 согласно ОДМ приведены показатели соответствия тому или иному уровню обслуживания.

Рассмотрев методику оценки уровня обслуживания, можно отметить, что, во-первых, используемые параметры (интенсивность движения, скорость движения и плотность потока) взаимосвязаны, согласно (11), то есть измерение трёх параметров для оценки уровня обслуживания является избыточным.

$$q = \frac{N}{v}, \quad (11)$$

где q – плотность движения, авт./км; N – интенсивность движения, авт./ч; v – скорость, км/ч.

Во-вторых, проведение измерения плотности и (или) интенсивности – более дорогостоящая и трудозатратная процедура, чем измерение скорости (времени), поскольку для её измерения достаточно наличие простых часов или получения информации с на-

вигационного оборудования в автомобиле (навигатор, смартфон и т.п.), движущемся по дороге, параметры которой мы хотим измерить.

В-третьих, имеется противоречие, когда плотность потока используется при расчётах и одновременно является характеристикой уровня обслуживания, что было приведено в графе 6 таблицы 1.

В-четвёртых, параметр c является обратным временному индексу: поскольку замеры производятся на одном и том же участке дороги, то длина этого участка остаётся неизменной (12).

$$c = \frac{v_z}{v_o} = \frac{\frac{S_z}{t_z}}{\frac{S_o}{t_o}} = \frac{S_z \cdot t_o}{S_o \cdot t_z}, \quad (12)$$

$$S_z = S_o \cdot c = \frac{t_o}{t_z} = \frac{1}{TTi},$$

где S_z – протяжённость участка, на котором производятся замеры, км; t_z – про-

должительность движения при рассматриваемом уровне удобства, ч; S_o – протяжённость участка, на котором производятся замеры в свободных условиях, км; t_o – продолжительность движения в свободных условиях, ч.

Предлагаемые ОДМ значения параметров z , c , p не дают возможности вариации в зависимости от различных параметров движения и УДС, хотя в [9] приводится информация о том, что значение показателя уровня обслуживания может варьироваться в зависимости от разных факторов, например, от протяжённости маршрута.

Исходя из этого, исключим показатели, рекомендуемые ОДМ, из числа рассматриваемых в нашем исследовании.

ВЫВОДЫ

Анализ показал, что существует множество показателей, которые могут быть взяты как критерий оценки надёжности функционирования автомобильных дорог (уровень обслуживания). Следующей задачей проводимого исследования является выявление показателя, который лучше всего подходит для определения надёжности функционирования УДС, то есть оценки уровня обслуживания в городских условиях. Для этого необходимо:

1. Осуществить запись ГЛОНАСС/GPS треков на обследуемых участках.
2. Выполнить обработку треков.
3. Выгрузить характеристики треков.
4. Провести расчёты всех показателей на основе собранной информации.
5. Провести статистическую обработку данных (с применением пакетов статистических программ) для выявления наиболее вариативного показателя.

Выполнение поставленной задачи позволит определить наиболее вариативный показатель, который может быть использован для оценки надёжности функционирования УДС. Также в ходе проведения исследования можно будет определить минимальный объём выборки (минимальное количество треков), достаточный для достоверной оценки уровня обслуживания

в городских условиях. Собранный массив данных может быть использован для определения зависимости уровня обслуживания от различных параметров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федеральный закон «Об автомобильных дорогах и о дорожной деятельности в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 08.11.2007 № 257-ФЗ.
2. ГОСТ 27.002-2015. Надёжность в технике. Термины и определения.
3. ГОСТ 33220-2015. Дороги автомобильные общего пользования. Требования к эксплуатационному состоянию и другие.
4. ГОСТ Р 50597-93. Автомобильные дороги и улицы. Требования к эксплуатационному состоянию, допустимому по условиям обеспечения безопасности дорожного движения.
5. ОДМ 218.2.020-2012. Методические рекомендации по оценке пропускной способности автомобильных дорог.
6. СП 34.13330.2012. Автомобильные дороги.
7. Беридзе В. А., Колчин В. С., Колчина З. В., Маломыжев О. Л. Основы теории надёжности: Учеб. пособие. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2014. – 124 с.
8. Блинкин М. Я., Ткаченко Б. А. Системная оценка условий движения на базе модели Хермана-Пригожина // Социально-экономические проблемы развития транспортных систем городов и зон их влияния. – 2009. [Электронный ресурс]: <http://www.waksman.ru/Russian/Org&B/2008/blinkin1.htm>. Доступ 18.06.2018.
9. Горбунов Р. Н., Михайлов А. Ю., Пиров Ж. Т. Оценка уровня обслуживания на основе критериев надёжности // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2017. – № 10. – С. 188–194.
10. Румянцев Е. А. Оценка условий дорожного движения на основе критерия Германа // Наука. Технологии. Инновации: Сб. науч. трудов Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2012. – С. 321–325.
11. A toolbox for alleviating traffic congestion and enhancing mobility // Institute of Transportation Engineers, Publication IR-054B, 1997. – 119 p.
12. Herman R., Ardekani S. A. Characterizing traffic conditions in urban areas // Transportation Science, 1984, Vol. 18 (2), pp. 101–140.
13. Herman R., Prigogine I. A two-fluid approach to town traffic // Science, 1979, Vol. 204, pp. 148–151.
14. INRIX Traffic Scorecard 2015. [Электронный ресурс]: http://www.inrix.com/wp-content/uploads/2016/11/INRIX_2015_Traffic_Scorecard.pdf. Доступ 18.06.2018.
15. TomTom Traffic Index. [Электронный ресурс]: https://www.tomtom.com/en_gb/trafficindex/about. Доступ 18.06.2018.

Координаты авторов: Михайлов А. Ю. – rumikhaylovay@gmail.com, Горбунов Р. Н. – gorbunow@list.ru, Горбунова З. В. – flocean@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 21.05.2018, принята к публикации 18.06.2018.





SERVICE RATE AS AN INDICATOR OF STREET AND ROAD NETWORK RELIABILITY

Mikhailov, Alexander Yu., Irkutsk National Research Technical University (IrNITU), Irkutsk, Russia.
Gorbunov, Roman N., Irkutsk National Research Technical University (IrNITU), Irkutsk, Russia.
Gorbunova, Zinaida V., Irkutsk National Research Technical University (IrNITU), Irkutsk, Russia.

ABSTRACT

The article assesses understanding and interpretation of scientific categories «reliability», «refusal», «congestion». The possibility of using the service level indicator as a criterion of reliability of functioning of street- road network is substantiated, bearing in mind that it reflects in a complex the data

on economy, convenience and traffic safety, and through this, the state of a transport flow. Different approaches are given to determine the level of service, to classify features and signs of the work performed. Further directions for improving reliability of highways, searching for the most variable indicator of reliability of the urban transport network are formulated.

Keywords: street-road network, reliability, congestion, flow, failure, service level, time buffer, buffer index.

Background. In conditions of high loading of public roads and street-road networks by traffic, the task of ensuring reliability of their functioning becomes particularly urgent, which in turn requires development of appropriate quantitative criteria for assessing reliability.

In the Russian Federation, interpretation of the term «reliability» in technology is defined in GOST [state standard] 27.002–2015, which establishes the basic concepts in this field. The scope of GOST can be applied to an assembly unit, a part, a component, an element, a device, a functional unit, equipment, an article, a system, a structure [2].

Reliability, according to GOST, is a «property of an object to preserve in time the ability to perform the required functions in given modes and conditions of application, maintenance, storage and transportation». Also, a note is made that reliability is a complex property that, depending on the purpose of the object, can include reliability, maintainability, recoverability, durability, maintainability, availability or certain combinations of these properties [7].

Objective. The objective of the authors is to consider service level as an indicator of street-road network reliability.

Methods. The authors use general scientific methods, comparative analysis, evaluation approach, mathematical methods.

Results. Let's consider reliability of a road from these positions. According to GOST a system is an object that is a set of interrelated elements considered in a certain context as a single whole and separated from the environment, therefore within the framework of the study we will proceed from such systemic properties.

A road, according to [1], is an object of transport infrastructure intended for movement of vehicles, and includes land plots within the boundaries of a right-of-way and structural elements (roadbed, road surface and similar elements) located on them or under them, and road structures that are its technological part – protective structures, artificial road structures, production facilities, road construction elements.

There are a number of normative documents that define the requirements for motor roads [3, 4, 6]. The standards and rules envisaged in them concern not only the structural features of the road surface, materials, but also set requirements for operation of roads.

Based on the above formulation, the main function of the road as a system is to provide an

opportunity for vehicles to move along it. It would be logical to assume that movement should be carried out with certain parameters, the occurrence of failures (for example, congestion) means a failure to perform a given function, that is, a property of non-failure is violated. And according to GOST failure-free operation is a property of an object to continuously maintain an ability to perform the required functions for some time or operating time in the prescribed modes and conditions of application [2].

A failure, in this case, is an event consisting in violation of working capacity of an object. In foreign literature, for such situations, a term «congestion» is used, which refers to the state of loading of a street-road network (SRN) when traffic volumes approach or exceed the capacity. Congestion can be recurrent or non-recurrent [9].

Let's add that a failure can be considered as a resource failure if an object reaches the limiting state, that is, congestion, as already mentioned, arises precisely because of insufficient road capacity, below the calculated flow. Sudden failure is characterized by an abrupt transition of the object into an inoperative state, a sharp increase in the risk of a road traffic accident [2].

From the point of view of users, public roads, urban streets and highways provide comfort, speed and road safety. These three indicators should be maximized as much as possible. For example, traffic may become different: movement of cars with an average speed of not more than 5 km/h is also movement, but it will no longer meet the usual criteria from the user's position and can be considered as a failure.

As the conditions for displacement deteriorate, the road passes into a pre-failure state characterized by an increased risk. Such a state can arise both as a result of internal processes and external influences on the object in the process of its functioning. Changing any parameters of the road network, reducing speed, increasing traffic intensity will certainly contribute to deterioration of the situation. A road-traffic accident, which severely limits the capacity of the road, also leads it to a pre-failure state. A failure will occur in case if the consequences of an accident are not eliminated as soon as possible or, for example, in case of deterioration in weather conditions (snowfall, flooding as a result of torrential rains, ice); the danger of emergencies is great [2].

The pre-failure state can persist indefinitely for a long time, or it can either go into a failure state or

into a working state. In case the detected failure is eliminated with time, it is called a malfunction.

To determine a pre-failure state, GOST assumes the use of a criterion reflecting certain real features or a set of features of the object's pre-failure state [2].

In future, if the nature of traffic continues not to meet the requirements, the motor road passes into an inoperative state in which it cannot perform at least one prescribed function.

However, such a criterion for roads, in terms of their functionality, it must be acknowledged, is not normatively established. That is, it is not determined what size congestion is permissible, what average speed should be.

The next concept, which should concern a highway, is the operating time. The operating time is duration or volume of work of the object.

The road in the considered context can have an unlimited resource in time, and in some cases the value of the operating time indicator tends to infinity, and this despite the fact that the failure of the roadbed as a physical object can occur repeatedly for any foreseeable period. This situation is possible if timely repair of the road will not lead to congestion, otherwise, there is a dependent failure, when the impossibility of moving along it is associated with deterioration of the roadbed.

Nevertheless, if congestion occurs periodically, for example, daily in the peak hour, then a reverse picture occurs, when the roadbed is in good technical condition, but the road does not fulfill its functions. In case when this situation is regular, we can talk about the cycle of failures and equal intervals of the time between failures.

In any version of assessment and prediction of failures, their criteria and the causes should be determined. Since the technical documentation does not reflect the failure criteria for the potential throughput and, in essence, does not evaluate this parameter, this significantly affects organization of traffic.

When there are intermittent and other types of failures, the occurrence of which can be predicted using foreign terminology, we can talk about recurrent congestion, and with sudden refusals – about non-recurrent.

The actual values of parameters at a certain moment of time characterize the degree of readiness of an object to perform the given functions under the conditions considered.

GOST defines the classification of failures according to criticality:

1. Critical – a congestion when speed of movement is much lower than the forecasted (required) by users.

2. Noncritical – when traffic is difficult, but the flow of cars maintains speed close to the maximum allowed (optimal, comfortable).

Vehicles moving on the road are at the same time a part of the logistics system (chain). Failure of the road to perform its functions to let the cars move, leads to a failure in the logistics chain, which in turn affects the following links of the system. In this case, if such a failure occurs cyclically, then it is considered already as a systematic, unambiguously caused by a certain cause, which can be eliminated only by modification of the project or production process, the operation rules and the contents of the documentation.

From the point of view of elimination of failures the motor road can be referred to objects with the ability to self-repair, that is, as transport demand decreases, the congestion gradually disappears and normal functioning of the object is restored. Considering the motor road as such a system, we come to the conclusion that it acts as a technical object, to which the terminology on reliability in technology and all available and applicable relevant terms refer.

The criteria of failure (reliability) can be determined on the basis of a complex indicator representing a qualitative measure describing the operating conditions of vehicles in the flow. This indicator is present in the form of a scale having a gradation for the state of failure, pre-failure and operating states.

Requirements for reliability are formed mainly on the basis of user demand. Expected indicators are laid in the design standards and should be reflected in the technical documentation.

Decrease in speed of service or failure cause deterioration of a number of operational indicators: reduce the productivity of vehicles fleet, enhance the environmental impact, as the duration of the engine work increases, affect the psychophysical state of people for whom the time spent on movement caused by traffic jams increases.

For a long time in our country there was no need to evaluate such indicators because of the low level of motorization. Abroad, and especially in the US, this issue was forced to be dealt with since the middle of 20th century, when Highway Capacity Manual was prepared.

In recent years, to assess reliability of functioning of highways, it is proposed to use the level of service, calculated on the basis of the indicator of time index (TTi) [9].

Along with the indicator of time index, there are a number of other indicators that can be used for such an assessment: time buffer (T_b), buffer index (I_b), two-fluid Herman–Prigogine model (T_s , T_r) [8, 10–13], TOMTOM traffic index (I_{tt}) [15], INRIX Travel Time Index (I_{trav}) [14].

TTi is defined as a ratio

$$TTi = \frac{T_p}{T_{15\%}}, \quad (1)$$

where T_p – time spent on movement during the peak period; $T_{15\%}$ – time spent on moving with regard to 15% capacity provision, observed during off-peak periods of the day.

$$T_b = T_n - \bar{T}, \quad (2)$$

where T_n – duration of movement of n % of capacity provision, \bar{T} – average duration of movement.

$$I_b = \frac{T_b}{\bar{T}} \cdot 100 \%, \quad (3)$$

$$T_r = T_m^{1+n} \cdot T^{n+1}, \quad (4)$$

$$T_s = T - T_m^{1+n} \cdot T^{n+1}, \quad (5)$$

where T_m – minimum specific time expenditure on movement in free conditions, min/km; n – an indicator characterizing the quality of functioning of SRN section in question; T_s – specific idle time, min/km; T_r – specific time of movement, min/km; T – specific time expenditure, min/km.



Level of service under ODM 218.2.020–2012

Level of traffic service	z	c		Characteristics of the car flow	Flow state	Driver's emotional load	Driver's comfort	Economic efficiency of road operation
A	< 0,2	> 0,9	< 0,1	Cars move in free conditions, there is no interaction between cars	Free movement of single cars with high speed	Low	Convenient	Inefficient
B	0,2–0,45	0,7–0,9	0,1–0,3	Cars move in groups, many overtaking is made	Movement of cars in small groups (2–5 pcs). Overtaking is possible	Normal	Low convenience	Low efficiency
C	0,45–0,7	0,55–0,7	0,3–0,7	In the flow there are still large intervals between cars, overtaking is prohibited	Movement of cars in large groups (5–14 pcs). Overtaking is difficult	High	Inconvenient	Efficient
D	0,7–0,9	0,4–0,55	0,7–1,0	Continuous flow of cars moving at low speeds	Column traffic of cars with low speed. Overtaking is impossible	Very high	Very inconvenient	Inefficient
E	0,9–1,0	< 0,4	1,0	The flow moves with stops, jams occur, the regime of throughput	Dense	Very high	Very inconvenient	Inefficient
F	> 1,0	0,3	1,0	Full stop of traffic, congestion	Super dense	Extremely high	Extremely inconvenient	Inefficient

Source [5].

$$I_{\pi} = \frac{\bar{T}}{T_{ff}} - 1, \quad (6)$$

where \bar{T} – average time of motion, s, T_{ff} – time of motion in free conditions, s.

$$I_{mix} = \frac{T_p - T_{ff}}{T_{ff}}. \quad (7)$$

In Russia, for assessment of functioning of roads, ODM 218.2.020–2012 «Methodical recommendations for assessing the carrying capacity of highways» were prepared [5]. The document contains instructions on calculations, including the level of service. The term «service level» in these recommendations means a comprehensive indicator of economy, convenience and traffic safety, characterizing the state of a transport flow.

To assess the level of service, it is offered to compare the actual traffic flow parameters with the calculated ones or the maximum possible ones.

$$z = \frac{N}{P}, \quad (8)$$

where z – loading coefficient; N – traffic intensity, cars/h; P – practical throughput of the road section, cars/h.

$$c = \frac{v_z}{v_o}, \quad (9)$$

where c – coefficient of speed of motion; v_z – average speed of motion at the level of convenience considered, km/h; v_o – speed of motion in free conditions at the level of convenience A, km/h.

$$\rho = \frac{q_z}{q_{max}}, \quad (10)$$

where ρ – coefficient of saturation of motion; q_z – average traffic density, cars/km; q_{max} – maximum traffic density, cars/km.

In Table 1, according to ODM, the indicators of compliance with a particular level of service are given.

Having considered the technique for assessing the level of service, it can be noted that, firstly, the parameters used (traffic intensity, speed and flow density) are interrelated, according to (11), that is, measuring three parameters for assessing the level of service is redundant.

$$q = \frac{N}{v}, \quad (11)$$

where q – traffic density, cars/km; N – traffic intensity, cars/h; v – speed, km/h.

Secondly, carrying out measurement of density and (or) intensity is more expensive and laborious procedure than measurement of speed (time), since for its measurement the availability of ordinary watch or receipt of information from navigation equipment in a car (navigator, smartphone etc.), moving along a road, the parameters of which we want to measure, is sufficient.

Thirdly, there is a contradiction when the flow density is used in calculations and at the same time is a characteristic of the service level, which was given in column 6 of Table 1.

Fourthly, the parameter c is inverse of the time index: since measurements are made on the same section of the road, the length of this section remains unchanged (12).

$$c = \frac{v_z}{v_o} = \frac{t_z}{S_o} = \frac{S_z \cdot t_o}{S_o \cdot t_z}, \quad S_z = S_o \Rightarrow c = \frac{t_o}{t_z} = \frac{1}{TTi}, \quad (12)$$

where S_z – length of the area at which measurements are made, km; t_z – duration of movement at the level of convenience considered, h; S_o – length of the area at which measurements are made in free conditions, km; t_o – duration of movement in free conditions, h.

The values of parameters z , c , p offered by ODM do not allow variations depending on various traffic parameters and SRN, although information is provided in [9] that the value of the service level indicator can vary depending on various factors, for example, the length of the route.

Proceeding from this, we exclude the indicators recommended by ODM from the number considered in our study.

Conclusions. The analysis showed that there are many indicators that can be taken as a criterion for assessing reliability of functioning of highways (service level). The next task of the study is to identify the indicator that is best suited for determining reliability of SRN operation, that is, assessing the level of service in urban settings. To do this it is necessary to:

1. Record GLONASS/GPS tracks on the surveyed areas.

2. Perform processing of tracks.

3. Download the characteristics of tracks.

4. Carry out calculations of all indicators based on the information collected.

5. Carry out statistical data processing (using statistical software packages) to identify the most variable indicator.

The fulfillment of this task will allow to determine the most variable indicator that can be used to assess reliability of SRN operation. Also, during the study, it will be possible to determine the minimum sample size (minimum number of tracks) sufficient for reliable assessment of the level of service in urban conditions. The collected data array can be used to determine the dependence of the service level on various parameters.

REFERENCES

1. Federal Law «On Roads and Road Activities in the Russian Federation and on Amending Certain Legislative Acts of the Russian Federation» dated 08.11.2007 No. 257-FZ [Federal'nyy zakon «Ob avtomobil'nyh dorogah i o dorozhnoi deyatelnosti v Rossiiskoi Federatsii i o vnesenii izmenenii v otdel'nye zakonodatel'nye akty Rossiiskoi FEDeratsii» ot 08.11.2007 No. 257-FZ].
2. GOST 27.002-2015 Reliability in engineering. Terms and Definitions [GOST 27.002-2015 Nadezhnost' v tekhnike. Terminy i opredeleniya].

3. GOST 33220-2015 Motor roads of general use. Requirements for operational status and other [GOST 33220-2015 Dorogi avtomobil'nye obshchego pol'zovaniya. Trebovaniya k ekspluatatsionnomu sostoyaniyu i drugie].

4. GOST R 50597-93. Roads and streets. Requirements for the operational status, permissible under conditions of ensuring road safety [GOST R 50597-93. Avtomobil'nye dorogi i ulitsy. Trebovaniya k ekspluatatsionnomu sostoyaniyu, dopustimomu po usloviyam obespecheniya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya].

5. ODM 218.2.020-2012 Methodological recommendations for assessing the carrying capacity of highways [ODM 218.2.020-2012 Metodicheskie rekomendatsii po otsenke propusknoi sposobnosti avtomobil'nyh dorog].

6. SP 34.13330.2012 Highways [SP 34.13330.2012 Avtomobil'nye dorogi].

7. Beridze, V. A., Kolchin, V. S., Kolchina, Z. V., Malomyzhev, O. L. Foundations of the theory of reliability: Study guide [Osnovy teorii nadezhnosti: Uchebnoe posobie]. Irkutsk, Publishing House of IrSTU, 2014, 124 p.

8. Blinkin, M. Ya., Tkachenko, B. A. System assessment of traffic conditions on the basis of the Herman–Prigogine [Sistemnaya otsenka uslovii dvizheniya na baze modeli Hermana-Prigozhina]. Sotsial'no-ekonomicheskie problem razvitiya transportnyh sistem gorodov i zon ih vliyaniya, 2009 [Electronic resource]: <http://www.waksman.ru/Russian/Org&B/2008/blinkin1.htm>. Last accessed: 18.06.2018.

9. Gorbunov, R. N., Mikhailov, A. Yu., Pirov, Zh. T. Assessment of the level of service on the basis of reliability criteria [Otsenka urovniya obsluzhivaniya na osnove kriteriev nadezhnosti]. Vestnik of Irkutsk State Technical University, 2017, Iss. 10, pp. 188–194.

10. Rumyantsev, E. A. Assessment of traffic conditions on the basis of the Herman criterion [Otsenka uslovii dorozhnogo dvizheniya na osnove kriteriya Hermana]. Nauka. Technologies. Innovations: Collection of scientific works of All-Russian Scientific Conference of Students, Ph.D. students and young scientists. Novosibirsk, NSTU publ., 2012, pp. 321–325.

11. A toolbox for alleviating traffic congestion and enhancing mobility. Institute of Transportation Engineers, Publication IR-054B, 1997, 119 p.

12. Herman, R., Ardekani, S. A. Characterizing traffic conditions in urban areas. *Transportation Science*, 1984, Vol 18, Iss. 2, pp. 101–140.

13. Herman, R., Prigogine, I. A two-fluid approach to town traffic. *Science*, 1979, Vol. 204, pp. 148–151.

14. INRIX Traffic Scorecard 2015 [Electronic resource]: http://www.inrix.com/wpcontent/uploads/2016/11/INRIX_2015_Traffic_Scorecard.pdf. Last accessed: 18.06.2018.

15. TomTomTraffic Index [Electronic resource]: https://www.tomtom.com/en_gb/trafficindex/about. Last accessed: 18.06.2018. ●

Information about the authors:

Mikhailov, Alexander Yu. – D.Sc. (Eng), professor of Irkutsk National Research Technical University (IrNITU), Irkutsk, Russia, mikhaylovay@gmail.com.

Gorbunov, Roman N. – Ph.D. student at the department of Road transport of Irkutsk National Research Technical University (IrNITU), Irkutsk, Russia, gorbunow@list.ru.

Gorbunova, Zinaida V. – Ph.D. (Economics), associate professor of Irkutsk National Research Technical University (IrNITU), Irkutsk, Russia, flocean@mail.ru.

Article received 21.05.2018, accepted 18.06.2018.

