УДК 656.02

© Р. Н. Горбунов, аспирант
(Иркутский национальный исследовательский
технический университет, г. Иркутск, Россия)
E-mail: gorbunow@list.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2020-17-2-173-180

© R. N. Gorbunov, post-graduate student
(Irkutsk National Research Technical University,
Irkutsk, Russia)
E-mail: gorbunow@list.ru

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОНИТОРИНГА ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ВРЕМЕННОГО И БУФЕРНОГО ИНДЕКСОВ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ДАННЫХ

IMPROVING THE EFFICIENCY OF ROAD TRAFFIC MONITORING BASED ON TIME AND BUFFER INDEXES USING GEO-INFORMATION DATA

Описываются подходы к оценке эффективности мониторинга дорожного движения. Приводятся результаты сравнительного анализа эффективности и затрат на проведение мониторинга дорожного движения с применением автомобилей-лабораторий и геоинформационных данных, получаемых от геоинформационных сервисов. Предложены подходы к оптимизации процессов организации мониторинга дорожного движения на улично-дорожной сети города.

Ключевые слова: улично-дорожная сеть, временной индекс, буферный индекс, мониторинг дорожного движения, эффективность.

The article presents a description of approaches to evaluating the road traffic monitoring efficiency. The results of a comparative analysis of the efficiency and costs of road traffic monitoring are submitted using laboratory vehicles and geo-information data obtained from geo-information systems. Approaches to optimizing the processes of organizing traffic monitoring on the city road traffic network are proposed.

Keywords: road traffic network, time index, buffer index, traffic monitoring, efficiency.

В последние годы вопрос о повышении эффективности организации дорожного движения (далее ОДД) становится все более актуальным [1, 6–15]. Эффективность организации дорожного движения согласно Федеральному закону от 29 декабря 2017 года № 443-ФЗ¹ представляет собой соотношение потерь времени (задержек) при движении транспортных средств и (или) пешеходов до и после реализации мероприятий по организации дорожного движения при условии обеспечения безопасности дорожного движения.

Классификация работ по ОДД в соответствии с Приказом Минтранса России от 13.11.2018 г. № 406² включает работы по мониторингу дорожного движения, которые выполняются для сбора

информации о состоянии дорожного движения, разработки мероприятий по ОДД и обработке информации о транспортных потоках.

Результаты, полученные в ходе мониторинга дорожного движения, позволяют оценить эффективность ОДД, при этом мониторинг выступает в роли обратной связи, а оперативный сбор данных позволяет быстрее принимать решения по ОДД.

В соответствии с Приказом Минтранса России № 114 от 18.04.2019 г.³ при осуществлении мониторинга дорожного движения сбор данных следует осуществлять с применением геоинформационных данных — о координатах и времени движения транспортных средств (далее ГИС-данные).

Для оценки ОДД, согласно постановлению Правительства Российской Федерации

¹ Федеральный закон от 29 декабря 2017 года № 443-ФЗ «Об организации дорожного движения в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

² Приказ Минтранса РФ № 406 от 13.11.18 «Об утверждении Классификации работ по организации дорожного движения и о внесении изменений в Классификацию работ по капитальному ремонту, ремонту и содержанию автомобильных дорог»

³ Приказ Минтранса РФ № 114 от 18.04.19 «Об утверждении Порядка мониторинга дорожного движения».

от 16.11.2018 № 1379⁴, предложено использовать различные показатели, в том числе временной и буферный индексы, которые уже на протяжении многих лет применяются в зарубежной практике.

Существуют два принципиально разных способа сбора ГИС-данных:

- единичные источники ГИС-данных или автомобили-лаборатории, проезжающие по заданным исследуемым путям;
- массовые источники ГИС-данных, подразумевающие получение данных от организаций, занимающихся их сбором и обработкой, например, Яндекс⁵, TomTom⁶, Inrix⁷ и т. п.

В соответствии с методикой, предложенной Бюро транспортной статистики США⁸, временной индекс определяется по формуле

$$T_i = \frac{T_p}{T_{ff}}, \quad (1)$$

где T_p — затраты времени на передвижение в пиковый период; T_{ff} — затраты времени на передвижение в свободных условиях.

Буферный индекс по этой методике определяется по формуле

$$I_b = \frac{T_p - \bar{T}}{\bar{T}}, \quad (2)$$

где T_p — затраты времени на передвижение в пиковый период; $\bar{T}$ — средняя продолжительность передвижения.

Оценка эффективности использования единичных и массовых источников ГИС-данных позволит сделать выбор в пользу одного из источников, а повышение эффективности мониторинга дорожного движения будет способствовать повышению эффективности ОДД в целом.

Под эффективностью Θ согласно ГОСТ Р ИСО 9000:2015⁹ понимается соотношение между достигнутым результатом P и использованными ресурсами Z :

$$\Theta = \frac{P}{Z}. \quad (3)$$

Таким образом, повышение эффективности может быть достигнуто за счет повышения результативности и/или за счет снижения затрачиваемых ресурсов, т. е. даже при равной результативности снижение затрат позволит повысить эффективность.

Результатом проведенного мониторинга дорожного движения является информация о состоянии дорожного движения. При использовании автомобилей-лабораторий, участвующих в дорожном движении, снижается достоверность получаемых данных в связи с тем, что автомобиль-лаборатория, участвуя в сборе данных, оказывает влияние на дорожное движение и тем самым вносит изменения в получаемые результаты.

Использование массового источника ГИС-данных дает более достоверный результат при мониторинге дорожного движения. Кроме того, согласно [2] повышение точности и объективности оценки надежности функционирования улично-дорожной сети (УДС) достигается за счет применения дифференцированных по времени шкал оценки временного индекса.

Сравнить результаты мониторинга дорожного движения при использовании единичных и массовых источников ГИС-данных в сопоставимых величинах сложно, однако указанные выше факты говорят о более объективной оценке состояния дорожного движения при использовании массовых источников ГИС-данных:

$$P_M = \gamma \cdot P_E, \quad (4)$$

где P_M — результативность мониторинга дорожного движения при использовании массового источника ГИС-данных; P_E — результативность мониторинга дорожного движения при использовании единичного источника ГИС-данных; γ — коэффициент повышения результативности ($\gamma > 1$).

Периодичность сбора ГИС-данных для расчета временного и буферного индексов была определена в [5], а сбор данных из массовых источников ГИС-данных возможен с применением «Методики сбора и обработки данных с применением сервиса «Яндекс.Пробки» [4].

Годовые затраты на сбор данных о состоянии дорожного движения с применением

⁴ Постановление Правительства РФ № 1379 от 16 ноября 2018 г. «Об утверждении Правил определения основных параметров дорожного движения и ведения их учета».

⁵ Как работают Яндекс.Пробки. URL: <https://yandex.ru/company/technologies/yaprobki> (дата обращения: 06.06.2019).

⁶ TomTom Traffic Index. URL: https://www.tomtom.com/en_gb/traffic-index (дата обращения: 06.06.2019).

⁷ INRIX 2018 Global Traffic Scorecard. URL: <http://inrix.com/scorecard> (дата обращения: 06.06.2019).

⁸ Bureau of Transportation Statistics / United States Department of Transportation. URL: <https://www.bts.gov/content/travel-time-index> (дата обращения: 06.06.2019).

⁹ ГОСТ Р ИСО 9000–2015. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь.

автомобилей-лабораторий Z_E можно оценить по формуле

$$Z_E = Z_{уд} \cdot L \cdot N_{зам} \cdot N_{дн} \cdot k_{приб} + Z_{ЕЗП}, \quad (5)$$

где $Z_{уд}$ — удельные затраты на эксплуатацию автомобиля, руб./км; L — общая протяженность обследуемой сети дорог во всех направлениях движения, км; $N_{зам}$ — количество замеров, проводимых в течение дня; $N_{дн}$ — количество дней в году, когда проводится сбор данных; $k_{приб}$ — коэффициент, учитывающий время на прибытие к месту начала проведения замеров ($k_{приб} = 1,1$); $Z_{ЕЗП}$ — затраты на заработную плату водителей автомобилей-лабораторий, руб., которые определяются исходя из затрат времени на сбор данных:

$$Z_{ЕЗП} = \frac{L \cdot N_{зам} \cdot N_{дн} \cdot k_{приб} \cdot k_{отп} \cdot ЗП \cdot 12 \cdot k_{вз}}{V_{ср} \cdot T_{см} \cdot N_{дн.г}}, \quad (6)$$

где L , $N_{зам}$, $N_{дн}$, $k_{приб}$ ($k_{приб} = 1,1$) — см. в расшифровке к формуле (5); $k_{отп}$ — коэффициент, учитывающий замещение на время отпуска ($k_{отп} = 1,1$); $ЗП$ — средняя заработная плата, руб./мес.; 12 — число месяцев в году; $k_{вз}$ — коэффициент, учитывающий оплату обязательных отчислений в фонды ($k_{вз} = 1,302$); $V_{ср}$ — средняя скорость на обследуемой сети дорог, км/ч; $T_{см}$ — продолжительность рабочей смены, час; $N_{дн.г}$ — число рабочих дней в году.

Оценка годовых затрат на сбор данных о состоянии дорожного движения с использованием массового источника данных (сервиса «Яндекс. Пробки») Z_M рассчитывается по уравнению

$$Z_M = N(A + Z_{эз} + Z_n + Z_{МЗП}), \quad (7)$$

где N — количество используемых компьютеров для сбора данных; A — годовой размер амортизационных отчислений с компьютеров, применяемый для сбора данных, руб.; $Z_{эз}$ — затраты на электроэнергию, руб.; Z_n — накладные (прочие) затраты, руб.; $Z_{МЗП}$ — затраты на оплату труда операторов ЭВМ, осуществляющих сбор данных, руб.

Накладные затраты включают те, которые связаны с эксплуатацией компьютера (сопровождение, техническое обслуживание и т. п.), а количество используемых компьютеров для сбора данных определяется исходя из условий полного отсутствия автоматизации сбора данных, т. е. сбор осуществляется операторами вручную.

Расчет затрат на электроэнергию рассчитывается по формуле

$$Z_{эз} = P \cdot Ц \cdot T_w \cdot N_{дн}, \quad (8)$$

где P — электрическая мощность компьютера, кВт; $Ц$ — стоимость электроэнергии, руб./кВт·ч; T_w — продолжительность сбора информации в течение дня, ч; $N_{дн}$ — количество дней в году, когда проводится сбор данных.

Годовой размер амортизационных отчислений A определяется по формуле (9), а затраты на оплату труда по формуле (10):

$$A = \frac{C}{T_{ам}} 12, \quad (9)$$

где C — первоначальная стоимость компьютера, руб.; $T_{ам}$ — нормативный срок амортизации, мес.,

$$Z_{МЗП} = \frac{N_{дн} \cdot T_w \cdot k_{отп} \cdot ЗП \cdot 12 \cdot k_{вз}}{T_{см} \cdot N_{дн.г}}, \quad (10)$$

где $N_{дн}$ — количество дней в году, когда проводится сбор данных; T_w — продолжительность сбора информации в течение дня, ч; $k_{отп}$ — коэффициент, учитывающий замещение персонала на время отпуска ($k_{отп} = 1,1$); $ЗП$ — средняя заработная плата, руб./мес.; 12 — число месяцев в году; $k_{вз}$ — коэффициент, учитывающий оплату обязательных отчислений в фонды ($k_{вз} = 1,302$); $T_{см}$ — продолжительность рабочей смены, час; $N_{дн.г}$ — число рабочих дней в году.

Сравнение затрат может проводиться в абсолютных $Z_{абс}$ и относительных $Z_{отн}$ значениях по формулам

$$Z_{абс} = Z_M - Z_E; \quad (11)$$

$$Z_{отн} = \frac{Z_M}{Z_E}. \quad (12)$$

Значение $Z_{отн}$ меньше 1 будет означать снижение затрат на проведение исследований, а $Z_{абс}$ покажет, на сколько затраты будут снижены.

В связи со сложностью подсчета и существенными допущениями, необходимыми при расчете затрат на проведение сбора и обработки ГИС-данных из единичных и массовых источников, не учитывались не прямые затраты, связанные с арендой или амортизацией и содержанием помещений, зарплатой вспомогательного персонала и т. п.

Для расчета затрат на проведение исследований была собрана информация о среднем удельном размере затрат на эксплуатацию автомобиля¹⁰, стоимости электроэнергии для юри-

¹⁰ Стоимость владения легковым автомобилем в России / PricewaterhouseCoopers. URL: pwc.ru/en/auto-motive/publications/assets/costofcar_2016.pdf (дата обращения: 09.01.20).

дических лиц¹¹, стоимости компьютеров среднего ценового сегмента¹², нормативном сроке его амортизации¹³ и стоимости его технического обслуживания и сопровождения¹⁴, средней зарплате в Иркутской области¹⁵, размере взносов с фонда оплаты труда^{16,17}.

При сравнении затрат предполагалось проведение обследований на УДС, общая протяженность автомобильных дорог на которой в обоих направлениях составила 1500 км, что соответствует обследованию автомобильных дорог общего пользования в г. Иркутске, утвержденных Постановлением администрации города Иркутска № 031-06-133/13 от 23.01.2013 г.¹⁸ при движении в обоих направлениях.

Количество замеров согласно [5] составит для расчета временного индекса TTi 160 замеров в сутки, для буферного индекса Ib — 720 замеров в сутки.

Количество компьютеров, необходимых для сбора данных, было определено на основе опыта, полученного в ходе апробации «Методики сбора и обработки данных сервиса «Яндекс.Пробки» [4]. В 15-минутный интервал возможен сбор данных о состоянии УДС протяженностью до 50 км, т. е. на УДС протяженностью 1500 км, с учетом 9-минутного интервала замеров для временного индекса и 2-минутного интервала для буферного индекса, согласно [5], для подсчета временного индекса потребуется не менее 50 компьютеров, для буферного индекса 225.

Для расчета затрат предположен еженедельный сбор данных в течение года. Свод данных по затратам приведен в табл. 1.

Затраты на оплату труда в соответствии с (6) и (10) для расчета временного и буферного индексов составят

для единичного источника данных:

$$\begin{aligned} Z_{EЗПТТi} &= \\ &= \frac{1500 \cdot 160 \cdot 52 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \cdot 45\,000 \cdot 12 \cdot 1,302}{40 \cdot 8 \cdot 247} = \\ &= 134\,325\,284 \text{ руб.}; \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} Z_{EЗПib} &= \\ &= \frac{1500 \cdot 720 \cdot 52 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \cdot 45\,000 \cdot 12 \cdot 1,302}{40 \cdot 8 \cdot 247} = \\ &= 604\,463\,779 \text{ руб.}; \end{aligned} \quad (14)$$

для массового источника данных:

$$\begin{aligned} Z_{МЗПТТi} = Z_{МЗПib} &= \\ &= \frac{52 \cdot 24 \cdot 1,1 \cdot 45\,000 \cdot 12 \cdot 1,302}{40 \cdot 8 \cdot 247} = \\ &= 488\,456 \text{ руб.} \end{aligned} \quad (15)$$

Таким образом, с учетом (5) и данных, приведенных в табл. 1, затраты на сбор данных о состоянии дорожного движения с применением автомобилей-лабораторий Z_E составят

для расчета временного индекса:

$$\begin{aligned} Z_{EТТi} &= 10,5 \cdot 1500 \cdot 160 \cdot 52 + \\ &+ 134\,325\,284 = 265\,365\,284 \text{ руб.}; \end{aligned} \quad (16)$$

для расчета буферного индекса:

$$\begin{aligned} Z_{Eib} &= 10,5 \cdot 1500 \cdot 720 \cdot 52 + \\ &+ 604\,463\,779 = 1\,194\,143\,779 \text{ руб.} \end{aligned} \quad (17)$$

Затраты на сбор данных о состоянии дорожного движения с применением «Методики сбора и обработки данных сервиса «Яндекс.Пробки» Z_M , с учетом (7) и данных, приведенных в табл. 1, составят

для расчета временного индекса:

$$\begin{aligned} Z_{МТТi} &= \\ &= 50(24\,000 + 1597,44 + 9000 + 488\,456) = \\ &= 26\,152\,651 \text{ руб.}; \end{aligned} \quad (18)$$

для расчета буферного индекса:

$$\begin{aligned} Z_{Мib} &= \\ &= 225(24\,000 + 1597,44 + 9000 + 488\,456) = \\ &= 117\,686\,929 \text{ руб.} \end{aligned} \quad (19)$$

Сравнение затрат в абсолютных и относительных значениях представлено в табл. 2.

Таким образом, использование массового источника ГИС-данных позволяет снизить затраты

¹¹ База тарифов на электроэнергию. URL: <https://time2save.ru/calculators/ne-reguliruemie-ceni-na-elektroenergiu> (дата обращения: 09.01.2020).

¹² DNS цифровая и бытовая техника. URL: <https://www.dns-shop.ru/> (дата обращения: 09.01.2020).

¹³ Постановление Правительства РФ № 1 от 01.01.2002 (ред. от 27.12.2019) «О Классификации основных средств, включаемых в амортизационные группы».

¹⁴ Профессиональный IT аутсорсинг в Иркутске. URL: <https://techcor.ru/it-outsourcing> (дата обращения: 09.01.2020).

¹⁵ Средняя зарплата в Иркутской области увеличилась до 45 тыс. рублей. URL: <http://www.ogirk.ru/2019/05/17/srednjaja-zarabotnaja-plata-v-irkutskoj-oblasti-uvelichilas-do-45-tys-rublej> (дата обращения: 09.01.2020).

¹⁶ Обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профзаболеваний. URL: http://fss.ru/ru/fund/activity/accident_insurance/index.shtml (дата обращения: 09.01.2020).

¹⁷ Страховые взносы. URL: <https://www.nalog.ru/rn77/taxation/insprem> (дата обращения: 09.01.2020).

¹⁸ Постановление администрации города Иркутска № 031-06-133/13 от 23 января 2013 года «Об утверждении перечня автомобильных дорог общего пользования местного значения города Иркутска (с изменениями на 8 октября 2019 года)».

Таблица 1

Свод данных по затратам на проведение мониторинга дорожного движения

Показатель	Обозначение	Значение показателя	
		для временного индекса	для буферного индекса
Единичный источник ГИС-данных			
Удельные затраты на эксплуатацию автомобиля, руб./км	$Z_{уд}$	10,5	10,5
Протяженность обследуемой сети дорог во всех направлениях движения, км	L	1500	1500
Количество замеров, проводимых в течение дня	$N_{зам}$	160	720
Количество дней в году, в которые проводится сбор данных	$N_{дн}$	52	52
Коэффициент, корректировки на время прибытия к месту замеров	$k_{приб}$	1,1	1,1
Затраты на оплату труда, руб.	$Z_{ЕЗП}$	Расчет по формулам (13), (14)	
Количество замеров, проводимых в течение дня	$N_{зам}$	160	720
Коэффициент, учитывающий замещение на время отпуска	$k_{отп}$	1,1	1,1
Средняя заработная плата, руб./мес.	ЗП	45 000	45 000
Число месяцев в году	12	12	12
Коэффициент, учитывающий оплату обязательных отчислений в фонды	$k_{вз}$	1,302	1,302
Средняя скорость на обследуемой сети дорог, км/ч	$V_{ср}$	40	40
Продолжительность рабочей смены, час	$T_{см}$	8	8
Число рабочих дней в году	$N_{дн.г}$	247	247
Массовый источник ГИС-данных			
Количество используемых компьютеров для сбора данных	N	50	225
Годовой размер амортизационных отчислений с 1 компьютера, руб.	A	24 000	24 000
Стоимость одного компьютера, руб.	C	50 000	50 000
Нормативный срок амортизации, мес.	$T_{ам}$	25	25
Затраты на электроэнергию, руб.	$Z_{э}$	1 597,44	1 597,44
Электрическая мощность компьютера, кВт	P	0,4	0,4
Стоимость электроэнергии, руб./кВт·ча	Π	3,2	3,2
Продолжительность сбора информации в течение дня, час	T_w	24	24
Количество дней в году, в которые проводится сбор данных	$N_{дн}$	52	52
Накладные (прочие) затраты за год, руб.	Z_n	9000	9000
Затраты на оплату труда, руб.	$Z_{МЗП}$	Расчет по формуле (15)	
Количество дней в году, когда проводится сбор данных	$N_{дн}$	52	52
Продолжительность сбора информации в течение дня, ч.	T_w	24	24
Коэффициент, учитывающий замещение на время отпуска	$k_{отп}$	1,1	1,1
Средняя заработная плата, руб./мес.	ЗП	45 000	45 000
Число месяцев в году	12	12	12
Коэффициент, учитывающий оплату обязательных отчислений в фонды	$k_{вз}$	1,302	1,302
Продолжительность рабочей смены, час	$T_{см}$	8	8
Число рабочих дней в году	$N_{дн.г}$	247	247

Таблица 2

Сравнение затрат на проведение исследований

Индекс	Абсолютное отклонение, руб.	Относительное отклонение
Временной	-239 212 633	$9,86 \cdot 10^{-2}$
Буферный	-1 076 456 850	$9,86 \cdot 10^{-2}$

для оценки временного и буферного индексов для УДС протяженностью 1500 км более чем в 10 раз.

Тем не менее стоимость проведения исследований все еще исчисляется сотнями миллионов рублей. Выделение такого объема средств в городском бюджете на мониторинг дорожного движения весьма проблематичен. Дополнительное снижение затрат на проведение возможно за счет снижения продолжительности сбора данных в течение суток. В соответствии с рекомендациями, предложенными в [5], можно исключить сбор данных, когда продолжительность передвижения не принимается в расчет, например в межпиковые периоды для расчета временного индекса. Также можно исключить сбор данных в периоды, когда возможна экстраполяция собранных данных с высокой степенью точности на некоторый период, например, в ночное время, когда продолжительность передвижения практически не изменяется. Таким образом, снижение продолжительности проведения замеров для временного индекса возможно в 9,6 раза с 24 до 2,5 часов в сутки, для буферного индекса — в 1,33 раза с 24 до 18 часов.

Данных, собранных для расчета буферного индекса, достаточно для расчета временного индекса, таким образом затраты на мониторинг дорожного движения на основе указанных индексов равняются затратам на сбор данных для расчета буферного индекса.

Используя предложенные в [3] взаимосвязи временного и буферного индексов, позволяющие проводить расчет буферного индекса на основе временного индекса, т. е. затраты на оценку буферного индекса и затраты на мониторинг на основе указанных индексов в целом, Z_M могут быть снижены также в 9,6 раза и составят порядка 2,7 млн руб.:

$$Z_M = \frac{26\,152\,651}{9,6} = 2\,724\,234 \text{ руб.} \quad (20)$$

Дополнительное снижение затрат может быть получено в случае автоматизации сбора данных, что вполне решаемо на современном уровне технического развития. Снижение затрат достигается за счет снижения числа компьютеров и количества персонала, необходимого для сбора данных. Сбор данных с учетом всех описанных выше способов оптимизации предполагает 17 запросов о состоянии дорожного движения с периодичностью 9 минут в течение 2,5 часов в сутки.

Допуская среднюю протяженность сегментов УДС в 100 метров, УДС протяженностью 1500 км состоит из 15 000 сегментов. Объем информации о состоянии дорожного движения для описания одного сегмента, получаемой при одном замере, не превышает 1 Кб, т. е. требуется сбор и обработка порядка 15 Мб информации в 9-минутный временной интервал, что вполне осуществимо одним компьютером. Таким образом, в случае автоматизации процесса сбора информации возможно дополнительное снижение затрат на мониторинг дорожного движения в 50 раз и составит порядка 54,5 тыс. руб. Такие затраты вполне могут быть заложены в бюджеты городов:

$$Z_M = \frac{2\,724\,234}{50} = 54\,485 \text{ руб.} \quad (21)$$

В итоге использование массового источника ГИС-данных с учетом результатов исследований позволяют снизить затраты Z_M и повысить эффективность мониторинга дорожного движения более чем в 20 000 раз по сравнению с использованием автомобилей-лабораторий Z_E :

$$Z_M = \frac{54\,485}{1194\,143\,779} = 4,56 \cdot 10^{-5} \cdot Z_E; \quad (22)$$

$$\begin{aligned} \Theta_M &= \frac{P_M}{Z_M} = \frac{\gamma \cdot P_E}{4,56 \cdot 10^{-5} \cdot Z_E} = \\ &= \frac{\gamma}{4,56 \cdot 10^{-5}} \Theta_E = 2,19 \cdot 10^4 \cdot \gamma \cdot \Theta_E, \end{aligned} \quad (23)$$

где Θ_M — эффективность мониторинга дорожного движения с применением массового источника ГИС-данных и оптимизации затрат на его проведение; Θ_E — эффективность мониторинга дорожного движения с применением единичного источника ГИС-данных до оптимизации затрат на его проведение; γ — коэффициент повышения результативности ($\gamma > 1$).

Предложенные способы оптимизации дают многократное снижение затрат и повышение эффективности мониторинга дорожного движения. Внедрение системы мониторинга дорожного движения на городских УДС позволит проводить оценку надежности функционирования УДС в целях принятия оперативных обоснованных мер для повышения эффективности ОДД.

Кроме того, оперативный сбор данных о состоянии дорожного движения в будущем может быть использован для повышения эффективности ОДД при определении и корректировке маршрутов движения беспилотных транспортных средств.

Библиографический список

1. Богумил В. Н., Кудрявцев А. А., Дуке Саранго М. Анализ организации и управления городским пассажирским транспортом в городе Кито, столице республики Эквадор, и оценка возможности повышения эффективности его работы на основе внедрения новейших телематических систем // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2018. № 3 (54). С. 99–106.
2. Горбунов Р. Н. Оценка уровня обслуживания на основе временного индекса // Вестник гражданских инженеров. 2019. № 5(76). С. 189–196.
3. Горбунов Р. Н. Расчет буферного индекса на основе данных сервиса «Яндекс. Пробки» // Вестник гражданских инженеров. 2019. № 6(77). С. 284–289.
4. Горбунов Р. Н., Горбунова З. В., Колчин В. С. Методика оценки качества обслуживания в рамках улично-дорожной сети на базе временного ТТi и буферного Ib индексов // Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2019. № 8. С. 80–86.
5. Горбунов Р. Н., Горбунова З. В., Михайлов А. Ю. Анализ влияния периодичности проведения измерений на точность определения временного и буферного индексов // Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2019. № 7. С. 103–111.
6. Зырянов В. В., Загидуллин Р. Р. Методика оценки и выбора варианта организации движения транспорта при проведении масштабных массовых мероприятий // Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2017. № 2. С. 43–47.
7. Зырянов В. В., Феофилова А. А., Чуклинов Н. Н. Динамическая маршрутизация транспортных потоков как метод снижения транспортной нагрузки на элементы УДС // Мир транспорта и технологических машин. 2018. № 1 (60). С. 74–80.

8. Лебедева О. А., Полтавская Ю. О., Гозбенко В. Е. Оптимизация маршрутной транспортной сети с применением эвристического алгоритма // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. 2019. Т. 1. С. 71–76.

9. Левашев А. Г., Михайлов А. Ю., Шаров М. И. К вопросу об оценке качества транспортного обслуживания в городах // СПТКР. 2013. № 3. С. 16–23.

10. Полтавская Ю. О. Применение геоинформационных систем для обеспечения устойчивого развития транспортной системы города // Информационные технологии в науке, управлении, социальной сфере и медицине. Томск, 2019. С. 164–167.

11. Полтавская Ю. О. Развитие интеллектуальных транспортных систем с целью повышения функционирования транспортной сети // Современные технологии и научно-технический прогресс. 2019. Т. 1. С. 202–203.

12. Полтавская Ю. О., Гозбенко В. Е., Димов А. В., Лыткина Е. М. Концепция определения средних скоростей и продолжительности движения на участках улично-дорожной сети // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2019. № 2 (62). С. 220–226.

13. Полтавская Ю. О., Димов А. В., Поляков М. М. Моделирование надежности функционирования транспортной системы с учетом вариаций продолжительности движения // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2019. № 4 (64). С. 16–167.

14. Novikov A., Zyryanov V., Feofilova A. Dynamic traffic re-routing as a method of reducing the congestion level of road network elements // J. of Applied Engineering Science. 2018. Т. 16, № 1. С. 70–74.

15. Susiawati S., Taylor M., Somenahalli Travel Time Reliability Measurement for Selected Corridors in the Adelaide Metropolitan Area // J. of the Eastern Asia Society for Transportation Studies. 2010. P. 17.

References

1. Bogumil V. N., Kudryavcev A. A., Duke Sarango M. *Analiz organizacii i upravleniya gorodskim passazhirskim transportom v gorode Kito, sto-lice respubliki Ekvador, i ocenka vozmozhnosti povysheniya effektivnosti ego raboty na osnove vnedreniya novejsih telematicheskikh system* [Analysis of the organization and management of urban passenger transport in Quito, the capital of the Republic of Ecuador, and assessment of the possibility of improving the efficiency of its work based on the introduction of the latest telematic systems]. *Vestnik Moskovskogo avtomobil'no-dorozhnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (MADI) – Bulletin of the Moscow automobile and road state technical University (MADI)*, 2018, no. 3 (54), pp. 99–106.

2. Gorbunov R. N. *Otsenka urovnya obsluzhivaniya na osnove vremennogo indeksa* [Assessment of the level of service based on the time index]. *Vestnik grazhdanskih inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2019, no. 5(76), pp. 189–196.
3. Gorbunov R. N. *Raschet bufernogo indeksa na osnove dannyh servisa «Yandex. Probki»* [Calculation of the buffer index based on data from the Yandex service “Traffic jams”]. *Vestnik grazhdanskih inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2019, no. 6(77), pp. 284–289.
4. Gorbunov R. N., Gorbunova Z. V., Kolchin V. S. *Metodika ocenki kachestva obsluzhivaniya v ramkah ulichno-dorozhnoy seti na baze vremennogo TTi i bufernogo Ib indeksov* [Methodology for assessing the quality of service within the street and road network based on the time TTi and buffer Ib indices]. *Intellekt. Innovatsii. Investitsii – Intellect. Innovations. Investment*, 2019, no. 8, pp. 80–86.
5. Gorbunov R. N., Gorbunova Z. V., Mihajlov A. Yu. *Analiz vliyaniya periodichnosti provedeniya izmerenij na tochnost' opredeleniya vremen-nogo i bufernogo indeksov* [Analysis of the influence of measurement periodicity on the accuracy of determining the time and buffer indices]. *Intellekt. Innovatsii. Investitsii – Intellect. Innovations. Investment*, 2019, no. 7, pp. 103–111.
6. Zyryanov V. V., Zagidullin R. R. *Metodika ocenki i vybora varianta organizatsii dvizheniya transporta pri provedenii masshtabnykh massovykh meropriyatiy* [Methods of evaluating and selecting the option of organizing transport traffic during large-scale mass events]. *Intellekt. Innovatsii. Investitsii – Intellect. Innovations. Investment*, 2017, no. 2, pp. 43–47.
7. Zyryanov V. V., Feofilova A. A., Chuklinov N. N. *Dinamicheskaya marshrutizatsiya transportnyh potokov kak metod snizheniya transportnoj nagruzki na elementy UDS* [Dynamic routing of transport flows as a method of reducing the transport load on the elements of UDS]. *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin – World of transport and technological machines*, 2018, no. 1 (60), pp. 74–80.
8. Lebedeva O. A., Poltavskaya Yu. O., Gozbenko V. E. *Optimizatsiya marshrut-noy transportnoj seti s primeneniem evristicheskogo algoritma* [Optimization of the route transport network using a heuristic algorithm]. *Transportnaya infrastruktura Sibirskogo regiona – Transport infrastructure of the Siberian region*, 2019, vol. 1, pp. 71–76.
9. Levashev A. G., Mihajlov A. Yu., Sharov M. I. *K voprosu ob ocenke kache-stva transportnogo obsluzhivaniya v gorodakh* [On the issue of assessing the quality of transport services in the city]. *SPTKR*, 2013, no. 3, pp. 16–23.
10. Poltavskaya Yu. O. *Primenenie geoinformacionnyh sistem dlya obespeche-niya ustoychivogo razvitiya transportnoy sistemy goroda* [Application of geo-information systems for ensuring sustainable development of the transport system of the city]. *Informacionnye tekhnologii v nauke, upravlenii, social'noy sfere i medicine – Information technologies in science, management, social sphere and medicine*, 2019, pp. 164–167.
11. Poltavskaya Yu. O. *Razvitie intellektual'nyh transportnyh sistem s tsel'yu povysheniya funktsionirovaniya transportnoj seti* [Development of intelligent transport systems to improve the functioning of the transport network]. *Sovremennye tekhnologii i nauchno-tekhnicheskij progress – Modern technologies and scientific and technical progress*, 2019, vol. 1, pp. 202–203.
12. Poltavskaya Yu. O., Gozbenko V. E., Dimov A. V., Lytkina E. M. *Koncepciya opredeleniya srednih skorostej i prodolzhitel'nosti dvizheniya na uchastkah ulichno-dorozhnoy seti* [Concept of determining average speeds and duration of traffic on sections of the road network]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyj analiz. Modelirovanie – Modern technology. System analysis. Modeling*, 2019, no. 2 (62), pp. 220–226.
13. Poltavskaya Yu. O., Dimov A. V., Polyakov M. M. *Modelirovanie na-dyozhnosti funkcionirovaniya transportnoj sistemy s uchyotom variacij prodolzhitel'nosti dvizheniya* [Modeling of the reliability of the transport system functioning taking into account variations in traffic duration]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyj analiz. Modelirovanie – Modern technology. System analysis. Modeling*, 2019, no. 4 (64), pp. 162–167.
14. Novikov A., Zyryanov V., Feofilova A. *Dynamic traffic re-routing as a method of reducing the congestion level of road network elements*. *Journal of Applied Engineering Science*, 2018, vol. 16, no. 1, pp. 70 – 74.
15. Susiawati S., Taylor M., Somenahalli S. *Travel Time Reliability Measurement for Selected Corridors in the Adelaide Metropolitan Area*. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*. 2010, p.17.