УДК 656.1.5

DOI 10.23968/1999-5571-2019-16-3-193-200

© П. А. Пегин, д-р техн. наук, профессор

© P. A. Pegin, Dr. Sci. Tech., Professor

© Л. В. Дементьев, магистр

© L. V. Dementiev, MSci

(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)(Saint Petersburg State University of Architecture
and Civil Engineering)

E-mail: ppavel.khv@gmail.com, leoniddementiev@mail.ru

E-mail: ppavel.khv@gmail.com, leoniddementiev@mail.ru

МЕТОД ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ТОРМОЗНЫХ СИСТЕМ

DESIGN METHOD OF AUTOMATED BRAKING SYSTEMS

Проведен анализ существующих типов тормозных систем. Рассмотрены системы программного обеспечения современных автомобилей, технические возможности которых позволяют повысить уровень курсовой устойчивости и управляемости транспортного средства. Приведены статистические данные о количестве дорожно-транспортных происшествий, связанных со снижением реакции водителя. Описан метод расчета тормозного пути. Предложен новый метод проектирования автоматизированных тормозных систем в зависимости от внешних факторов.

Ключевые слова: автомобиль, транспортное средство, водитель, время реакции, тормозной путь, тормозная система, авария, автопилот.

There has been carried out an analysis of existing types of braking systems. The software systems of modern cars, the technical capabilities of which allow increasing the level of stability and controllability of the vehicle, are considered. Some statistical data on the number of road traffic accidents associated with a decrease in the driver's reaction are presented. A method of calculation of the braking distance is described. A new method of designing automated braking systems in dependence of external factors is proposed.

Keywords: car, vehicle, driver, reaction time, braking distance, braking system, road traffic accident, automatic pilot system.

В настоящее время прирост легковых автомобилей в России по итогам октября 2018 г. увеличился на 8,2 % и составил 160 425 автомобилей [1]. За 2018 год, по данным Ассоциации европейского бизнеса, российский авторынок вырос на 14,1 %, до 1 млн 457 тыс. 857 автомобилей [1]. Наиболее важная и актуальная проблема развития автомобильного транспорта в России — необходимость решения многих проблем, связанных с обеспечением безопасности движения на дорогах.

По мировой статистике в дорожно-транспортных происшествиях ежегодно гибнет более 3000 человек каждый день, среди которых примерно 1000 человек в возрасте до 25 лет. Помимо этого, еще около 50 млн человек в год получают травмы различной степени тяжести [3].

Так, в течение десяти лет в России произошло более 2 млн дорожно-транспортных происшествий (рис. 1), в которых погибло более 315 ты-

сяч человек (рис. 2) и получили травмы различной степени тяжести около 3 млн человек [3, 4].

Современные автомобили с каждым годом становятся более безопасными благодаря активному внедрению и усовершенствованию автомобильного программного обеспечения в совокупности с многочисленными датчиками, системами и механизмами. Безопасность любого ТС можно охарактеризовать его динамическими и эксплуатационными качествами, уменьшающими вероятность возникновения дорожно-транспортного происшествия. В случае же, когда ДТП неизбежно, безопасность автомобиля будет оцениваться его способностью исключения или снижения тяжести полученных травм всех участников дорожного движения. Конструктивная безопасность транспортного средства включает в себя пассивную и активную безопасность автомобиля. Активную систему безопасности

Рис. 1. Количество ДТП и пострадавших в РФ по годам

можно выделить как наиболее значимую среди всего многообразия автосистем остальных [16].

Под активной безопасностью автомобиля подразумевается комплекс конструктивных и эксплуатационных свойств, которые ориентированы на устранение дорожно-транспортных происшествий и исключение предпосылок их возникновения, сопряженных с особенностями конструктивного исполнения автомобиля. Таким образом, каждое потенциально возможное

дорожно-транспортное происшествие предотвращается системой активной безопасности автомобиля, без участия водителя. Система сама анализирует ситуацию, делая необходимые вычисления по заложенному алгоритму, и корректирует процесс управления автомобилем [17, 18]. Использование систем активной безопасности предоставляет возможность контролировать автомобиль в любых критических ситуациях путем сохранения управляемости и курсовой устойчи-

Рис. 2. Количество погибших в ДТП в РФ по годам

вости автомобиля. Под курсовой устойчивостью подразумевается, что автомобиль способен сохранять заданную траекторию движения, борясь с силами, вызывающими занос и опрокидывание [15]. Управляемость автомобиля заключается в его способности сохранять или изменять заданное водителем направление движения при минимальных физических затратах [14]. Наиболее востребованными и известными системами активной безопасности являются [5]:

- антиблокировочная система тормозов;
- антипробуксовочная система;
- система курсовой устойчивости;
- система распределения тормозных усилий;
- система экстренного торможения;
- система обнаружения пешеходов;
- электронная блокировка дифференциала;
- система обнаружения крупных животных.

Все приведенные выше системы активной безопасности конструктивно связаны и напрямую взаимодействуют с тормозной системой автомобиля, значительно повышая ее эффективность. Также существуют вспомогательные системы активной безопасности, так называемые

ассистенты, задача которых — создание более комфортного управления. Кроме своевременного предупреждения водителя о потенциальной опасности, вспомогательные системы могут совершать активное вмешательство в управление посредством тормозной системы автомобиля. К таким системам относятся [5]:

- парковочная система;
- система автоматической парковки;
- адаптивный круиз-контроль;
- система помощи при перестроении;
- —"– помощи при спуске;
- —"– помощи при подъеме;
- —"– управления динамикой автомобиля;
- система предотвращения непреднамеренного ускорения;
- —"– интеллектуального регулирования скорости;
- —"– торможения после столкновения;
- и др.

Важный фактор, объединяющий все перечисленные системы активной безопасности, — их автономность. Именно исключение человеческого фактора из процесса управления может

Рис. 3. Тормозная диаграмма: V_0 — начальная скорость торможения; t_1 — время реакции водителя; t_2 — время запаздывания действия тормозной системы; t_3 — время нарастания замедления; t_4 — время полного торможения; t_5 — время оттормаживания; T_0 — остановочное время; T_T — время торможения; j_3 — замедление при торможении автомобиля

кардинально снизить риск возникновения ДТП. По статистике в мире увеличивается количество дорожно-транспортных происшествий с тяжелым групповым и смертельным исходом, главной причиной которых становится усталость водителей, из-за которой у них снижалась скорость реакция или они даже засыпали во время управления автомобилем. По статистике более 20 % всех ДТП связано с нарушением внимания водителя [9].

Влияние реакции водителя на расстояние, пройденное АТС до полной остановки, представлено на тормозной диаграмме автомобиля [6].

Время реакции водителя t_1 не постоянно и зависит от множества внешних факторов: влияния окружающей среды, темперамента человека и т. д. К примеру, если водитель внимателен и готов к маневру, то время реакции принимают 0,75 с, а при неожиданном появлении препятствия — 1,5 с [11]. Расстояние, пройденное ТС за время реакции водителя, рассчитывается по формуле [7]

$$S_1 = \frac{V_0}{3,6} t_1, \quad (1)$$

где V_0 — начальная скорость в км/ч.

Таким образом, при среднестатистическом времени реакции $t_1 = 1,1$ с и начальной скорости $V_0 = 70$ км/ч ТС пройдет чуть больше 21 м, прежде чем начнется процесс торможения.

Снизить риск возникновения ДТП можно при использовании автономного устройства. К примеру, в качестве такого устройства может использоваться лидар, который, в отличие от человека, в любой момент времени будет рассчитывать расстояние до препятствия. При этом лидар способен определить возникающее препятствие на расстоянии 100 м за 0,67 мкс, что фактически позволяет приравнять расстояние, пройденное ТС за время реакции, нулю [12]. В этом случае ТС автоматически становится более безопасным, и его остановочное время T_0 приравнивается ко времени торможения $T_{\text{т}}$, которое находится по формуле [13]

$$T_T = t_2 + 0,5 \cdot t_3 + \frac{V_0}{3,6 \cdot j_3}. \quad (2)$$

Величина времени запаздывания t_2 зависит от типа привода тормозной системы (табл. 1). В экспертной практике значение рекомендуется принимать согласно данным [13].

Время нарастания замедления ТС t_3 принимается в качестве табличного значения или рассчитывается по формуле [13]

$$t_3 = 1,4 \cdot t'_3 \cdot \varphi \left(1 + \frac{G_r}{G_m} \right), \quad (3)$$

где t'_3 — исходное время нарастания замедления (табл. 2), с; φ — коэффициент сцепления; G_r — масса груза, кг; G_m — масса ТС без нагрузки, кг.

Замедление ТС j_3 является одним из основных критериев оценки эффективности рабочей тормозной системы. В связи с тем что силы сопротивления качению и воздуха обычно малы по сравнению с тормозной силой, ими без заметной ошибки можно пренебречь. Тогда замедление ТС при полном использовании сцепления шин с дорогой находится по формуле [13]

$$j_3 = \left(\frac{\varphi}{K_3} \cos \alpha \pm \sin \alpha \right) g, \quad (4)$$

где K_3 — коэффициент эффективности торможения ТС; g — ускорение свободного падения, м/с²; α — продольный угол уклона дорожного полотна.

Знак «+» в формуле (3) берется в случае движения ТС на подъеме, а знак «-» — при движении на спуске.

Данная формула справедлива только в том случае, когда все колеса ТС в момент торможения имеют одинаковый коэффициент трения с дорожным полотном, а колеса одной оси имеют равную вертикальную нагрузку. Такой случай возможен только при условии отсутствия нарушений сплошности, геометрических параметров (формы) и состояния поверхности покрытия (шероховатость, истирание, шелушение). В реальной жизни все дороги имеют те или иные отклонения, к тому же есть большая вероятность совершения торможения в повороте, что непо-

Таблица 1

**Время запаздывания t_2 действия
тормозного привода для некоторых видов
ТС, с**

Транспортные средства	t_2
Автомобили с гидравлическим и механическим приводами тормозов, мотоциклы и мотороллеры	0,10
Автомобили с пневматическим приводом, мопеды, велосипеды, троллейбусы	0,30

Таблица 2

Время нарастания замедления t_2 при экстренном торможении ТС для различных типов и состояний дорожного покрытия, с

Транспортные средства	Дорожное покрытие	t_3	
		без нагрузки	с полной нагрузкой
Легковые автомобили и др., сконструированные на их базе	Асфальтобетонное, щебеночное, цементобетонное, грунтовое:		
	сухое	0,15	<u>0,20</u> 0,15 ⁽¹⁾
	мокрое	0,1	0,1
	Обледенелая покрытая укатанным снегом дорога	0,05	0,05
Грузовые автомобили, автомобильные поезда и др. сконструированные на их базе (с гидроприводом)	Асфальтобетонное, щебеночное, цементобетонное, грунтовое:		
	сухое	<u>0,20</u> 0,15	<u>0,40</u> 0,15
	мокрое	0,1	<u>0,2</u> 0,5
	Обледенелая покрытая укатанным снегом дорога	0,05	0,1
⁽¹⁾ В знаменателе значения t_3 для экстренного торможения без блокировки колес.			

Случай	Распределение тормозных усилий между колесами			
1	а	–	–	–
2	–	б	–	–
3	–	–	в	–
4	–	–	–	г
5	аб	аб	–	–
6	авв	авв	авв	–
7	–	бвг	бвг	бвг
8	авг	–	авг	авг
9	–	бг	–	бг
10	ав	–	ав	–
11	аг	–	–	аг
12	абг	абг	–	абг
13	–	бв	бв	–
14	–	–	вг	вг
15	аввг	аввг	аввг	аввг

Рис. 4. Вариативность срабатывания тормозных устройств колес при торможении: **а** — работа тормозного механизма левого колеса переднего моста; **б** — работа тормозного механизма правого колеса переднего моста; **в** — работа тормозного механизма правого колеса заднего моста; **г** — работа тормозного механизма левого колеса заднего моста; «–» — тормозное усилие снижено или отсутствует

средственно повлияет на загруженность колес. В этом случае, во избежание потери курсовой устойчивости автомобиля, в процесс торможения вмешается система распределения тормозных усилий. Для таких случаев мы предлагаем рассмотреть варианты комбинаций работы тормозных устройств колес автомобиля (рис. 4).

Существует семь сил, действующих на заторможенное колесо (рис. 5) [7].

Из проекции сил на вертикальную ось получаем [7]

$$X_k = G'_k + G''_k. \quad (5)$$

Нагрузка на заторможенное колесо G'_k является величиной переменной, зависящей от режима торможения и внешних сил, действующих на автомобиль.

Предельное значение тормозной силы колеса P_{τ_k} определяется величиной вертикальной реакции дороги и коэффициентом сцепления колеса с дорогой [7]:

$$P_{\tau_k} = X_k \varphi, \quad (6)$$

где φ — коэффициент сцепления шины с дорогой в продольном направлении.

Суммарная тормозная сила ТС находится по формуле

$$P_{\tau} = P_{\tau 1} + P_{\tau 2},$$

где $P_{\tau 1}$ — тормозная сила на переднем мосту; $P_{\tau 2}$ — тормозная сила на заднем мосту.

Учитывая, что суммарная тормозная сила автомобиля P_{τ} приравнивается силе инерции автомобиля P_j , в этом случае ускорение замедления автомобиля находится по формуле [10]

$$j_3 = \frac{P_{\tau}}{M_a}, \quad (7)$$

где M_a — масса автомобиля.

Поскольку тормозная сила на мосту ТС складывается из тормозной силы колес, находящихся на этом мосту, суммарная тормозная сила всех колес будет приравниваться к тормозной силе автомобиля:

$$\sum P_{\tau_k} = P_{\tau_{ка}} + P_{\tau_{кб}} + P_{\tau_{кв}} + P_{\tau_{кг}} = P_{\tau 1} + P_{\tau 2} = P_{\tau}, \quad (8)$$

где $P_{\tau_{ка}}$ — предельное значение тормозной силы левого колеса переднего моста; $P_{\tau_{кб}}$ — предельное значение тормозной силы правого колеса переднего моста; $P_{\tau_{кв}}$ — предельное значение тормозной силы правого колеса заднего моста;

Рис. 5. Силы, действующие на заторможенное колесо: V — скорость движения колеса; G'_k — нагрузка на колесо от оси автомобиля; G''_k — вес колеса и связанных с ним неподдрессоренных масс; ΣM_{τ} — суммарный тормозной момент, действующий против направления вращения колеса; P_b — горизонтальная реакция оси; P_{ω}'' — сила сопротивления воздуха при поступательном движении колеса; P_{τ} — тормозная сила колеса (горизонтальная реакция дороги); X_z — вертикальная реакция дороги; P'_{τ} — тормозная сила, образующаяся за счет трения тормозных колодок, отнесенная к радиусу качения колеса; P'_j — сила сопротивления качению колеса; P'_{ω} — сила сопротивления воздуха при вращении колеса; P'_r — сила трения в трансмиссии; P'_j — касательная сила инерции колеса и связанных с ним вращающихся частей на окружности качения колеса

$P_{\tau_{кг}}$ — предельное значение тормозной силы левого колеса заднего моста.

Таким образом, формула (7) будет иметь вид:

$$j_3 = \frac{\sum P_{\tau_k}}{M_a}. \quad (9)$$

Формулу (9) предлагаю использовать при проектировании тормозных систем с целью повышения точности определения времени необходимого для остановки ТС в зависимости от внешних факторов.

Библиографический список

1. Продажи сертифицированных автомобилей РФ URL: <https://www.autostat.ru/news/36542/> [дата обращения: 19.02.2019].
2. Численность населения Российской Федерации по муниципальным образованиям. Проверено 25 июля 2018. Архивировано 26 июля 2018 года. URL: https://web.archive.org/web/20180726010024/http://www.gks.ru/free_doc/doc_2018/bul_dr/mun_obr2018.rar [дата обращения: 24.02.2019].
3. Статистика ДТП в России. URL: <http://www.lgai.ru/news/504902-statistika-dtp-za-yanvar-aprel-2015-goda.html> [дата обращения: 10.02.2019].
4. Сведения о показателях состояния безопасности дорожного движения: Госавтоинспекция МВД России. URL: <http://www.gibdd.ru/> [дата обращения: 05.02.2019].
5. Суслинников А. С. Системы современного автомобиля, 2009–2017. URL: <http://systemsauto.ru/index.html> (дата обращения: 3.02.2019).
6. Литвинов А. С., Фаробин Я. Е. Автомобиль. Теория эксплуатационных свойств. М.: Машиностроение, 1989. 243 с.
7. Бухарин Н. А., Фетисов Ф. И. Тормозные системы автомобилей. Теория, конструкция и испытание. М.: Гос. науч.-техн. изд-во машиностроительной литературы, 1950. 38 с.
8. Дементев Л. В., Соседов А. А. Особенности формирования исходных данных для технологического расчета ремонтно-эксплуатационной базы при смешанном составе парка машин // Материалы II Всероссийской межвузовской конференции «Магистерские слушания» 2017. 127 с.
9. Утин И. Ю., Коробейников В. И., Глушков В. А., Никулин В. А., Рылова Н. В., Медведев М. С., Назаров В. В. Тяжелая сочетанная автодорожная травма в клинической практике // Трудные и нестандартные ситуации в хирургии и клинической практике: сб. науч. тр. Вып. 8 / под ред. С. Н. Стяжкиной, В. А. Ситникова, В. В. Проницева. Ижевск, 2015. С. 146.

10. Бурмистрова О. Н., Тимохова О. М. Методика оценки показателей скоростей движения автомобилей на участках с ограниченной видимостью в плане // *Фундаментальные исследования*. 2015. № 2-10. С. 2079–2082.
11. Мишуринов В. М., Романов А. Н. Психофизиологические основы труда водителей автомобилей. М.: МАДИ, 1982. 254 с.
12. Williams J., Dickey J. Lunar Geophysics, Geodesy, and Dynamics by in 13th International Workshop on Laser Ranging, October 7-11, 2002, Washington, D. C.
13. Емельянов Ю. В. Экспертное исследование процесса торможения транспортных средств. М.: Министерство юстиции СССР ВНИИ судебных экспертиз, 1980. 33 с.
14. Пегин П. А. Изменение условий эксплуатации автомобильного транспорта на опасных участках автомобильной дороги // *Совершенствование организации дорожного движения и перевозок пассажиров и грузов: сб. науч. тр.* Минск: Изд-во БНТУ, 2012. С. 87–95.
15. Щербакова О. В., Евтюков С. А., Доценко С. Н. Экспериментальное исследование диагностических параметров тормозных свойств автопоезда и оценка эффективности работы рабочей тормозной системы ТС // *Вестник гражданских инженеров*. 2017. № 2 (61). С. 224–231. DOI: 10.23968/1999-5571-2017-14-2-224-231.
16. Пегин П. А., Корчагин В. А. Влияние кратковременных природных факторов на безопасность движения на дорогах федерального значения // *Автотранспортное предприятие*. № 6. 2011. С. 32–39.
17. Скирковский С. В., Пегин П. А. Разработка алгоритма и компьютерной программы оптимизации параметров функционирования городского маршрутизированного транспорта // *Вестник гражданских инженеров*. 2017. № 1 (60). С. 277–287.
18. Капский Д. В., Шуть В. Н., Пегин П. А. Разработка модели транспортных потоков на улично-дорожной сети города // *Наука и техника*. 2019. Т. 18. № 1. С. 47–54.
3. *Statistika DTP v Rossii* [Road traffic accident statistics in Russia]. Available at: <http://www.lgai.ru/news/504902-statistika-dtp-za-yanvar-aprel-2015-goda.html> (accessed: 10.02.2019).
4. *Svedeniya o pokazatelyakh sostoyaniya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya: Gosavtoinspeksiya MVD Rossii* [Information on road safety indicators. State Traffic Inspectorate of the Ministry of Internal Affairs of Russia]. Available at: <http://www.gibdd.ru/> (accessed: 05.02.2019).
5. Suslinnikov A. S. *Sistemy sovremennogo avtomobilya, 2009–2017* [Systems of the modern car, 2009–2017]. Available at: <http://systemsauto.ru/index.html> (accessed: 3.02.2019).
6. Litvinov A. S., Farobin Ya. E. *Avtomobil'. Teoriya ehkspluatatsionnykh svoystv* [The automobile. The theory of operational properties]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1989, 243 p.
7. Bukharin N. A., Fetisov F. I. *Tormoznye sistemy avtomobiley. Teoriya, konstruktsiya i ispytanie* [Brake systems of cars. Theory, design and testing]. Moscow, Gosudarstvennoe nauchno-tekhnicheskoe izdatel'stvo mashinostroitel'noy literatury Publ., 1950, 38 p.
8. Dementev L. V., Sosodov A. A. *Osobennosti formirovaniya iskhodnykh dannykh dlya tekhnologicheskogo rascheta remontno-ehkspluatatsionnoy bazy pri smeshannom sostave parka mashin* [Features of formation of initial data for technological calculation of repair and operational base at the mixed structure of the car park]. *Trudy II Vserossiyskoy mezhvuzovskoy konferentsii «Magisterskie slushaniya» 2017* [Proc. of the II All-Russian inter-university conference “Master’s Hearings” 2017]. 2017, 127 p.
9. Utin I. Yu., et al. *Tyazhelaya sochetannaya avtodorozhnaya travma v klinicheskoy praktike* [Severe combined road trauma in clinical practice]. *Sb. st. «Trudnye i nestandartnye situatsii v khirurgii i klinicheskoy praktike* [Coll. sci. works “Difficult and unusual situations in surgery and clinical practice”]. Eds. Styazhkina S. N., Sitnikov V. A., Pronichev V. V. Izhevsk, 2015, 146 p.
10. Burmistrova O. N., Timokhova O. M. *Metodika otsenki pokazateley skorostey dvizheniya avtomobiley na uchastkakh s ogranichennoy vidimost'yu v plane* [The method of estimating the speed of movement of vehicles in areas with limited visibility in the plan]. *Fundamental'nye issledovaniya – Fundamental research*, 2015, no. 2(10), pp. 2079–2082.
11. Mishurin V. M., Romanov A. N. *Psikhofiziologicheskie osnovy truda voditeley avtomobiley* [Psychophysiological bases of automobile drivers' work]. Moscow, MADI Publ., 1982, 254 p.
12. Williams J., Dickey J. *Lunar Geophysics, Geodesy, and Dynamics*. Proc. of the 13th International Workshop on Laser Ranging, October 7-11, 2002, Washington, D. C.

References

13. Emel'yanov Yu. V. *Ehkspertnoe issledovanie protsessa tormozheniya transportnykh sredstv* [The expertise of the braking process of vehicles]. Moscow, Ministerstvo yustitsii SSSR VNII sudebnykh ehkspertiz Publ., 1980, 33 p.

14. Pegin P. A. *Izmenenie usloviy ehkspluatatsii avtomobil'nogo transporta na opasnykh uchastkakh avtomobil'noy dorogi* [Changes in the operating conditions of road transport on dangerous sections of the road]. *Sb. nauch. tr. «Sovershenstvovanie organizatsii dorozhnogo dvizheniya i perevozok passazhirov i грузов»* [Coll. sci. works "Improving the organization of traffic and transportation of passengers and goods"]. Minsk, BNTU Publ., 2012, pp. 87–95.

15. Shcherbakova O. V., Evtyukov S. A., Dotsenko S. N. *Ehksperimental'noe issledovanie diagnosticheskikh parametrov tormoznykh svoystv avtopoezda i otsenka ehffektivnosti raboty rabochey tormoznoy sistemy TS* [Experimental study of diagnostic parameters of braking properties of the road train and evaluation of the effectiveness of the working brake system of the vehicle]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin*

of Civil Engineers, 2017, no. 2 (61), pp. 224–231. DOI: 10.23968/1999-5571-2017-14-2-224-231.

16. Pegin P. A., Korchagin V. A. *Vliyanie kratkovremennykh prirodnykh faktorov na bezopasnost' dvizheniya na dorogakh federal'nogo znacheniya* [Influence of short-time natural factors on traffic safety on roads of federal importance]. *Avtotransportnoe predpriyatie – Motor transport enterprise*, 2011, no. 6, pp. 32–39.

17. Skirkovskiy S. V., Pegin P. A. *Razrabotka algoritma i komp'yuternoy programmy optimizatsii parametrov funktsionirovaniya gorodskogo marshrutizirovannogo transporta* [Development of the algorithm and computer program of optimizing the parameters of the city routed transport performance]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2017, no. 1 (60), pp. 277–287.

18. Kapskiy D. V., Shut' V. N., Pegin P. A. *Razrabotka modeli transportnykh potokov na ulichno-dorozhnoy seti goroda* [Development of a model of traffic flows on the road network of the city]. *Nauka i tekhnika – Science and Engineering*, 2019, vol. 18, no. 1, pp. 47–54.