

# Управление автомобильными перевозками в логистической системе крупного города



Ю. С. Афанасьев,  
инженер НИУ «Высшая  
школа экономики»

В статье рассмотрены причины возникновения транспортных коллапсов и рисков дополнительных издержек логистических операторов. Приведен метод оценки создаваемой системы и ее сравнения с существующими системами навигации. Показано, что можно оптимизировать управление транспортными потоками городской логистической системы и повысить эффективность планирования грузоперевозок, создав централизованную систему воздействия на транспортные потоки.

На протяжении многих десятилетий ведутся разработки информационных систем с целью эффективного планирования транспортировки грузов в условиях перегруженной улично-дорожной сети (УДС) крупных городов. Транспортный коллапс крайне негативно сказывается на эффективности логистических процессов. Многие организации, заинтересованные в своевременной и точной доставке грузов, несут существенные убытки. На практике планируемые логистические процессы оказываются настолько неэффективными, что приводят к нарушению графиков перевозок, срыву очередей обслуживания автомобильного транспорта и снижению эффективности его использования, к издержкам производителей товаров и посредников. Негативные последствия этого — повышение стоимости перевозки, увеличение страховых расходов, тарифов на перевозку, уменьшение эффективности складирования, управления запасами, общее понижение качества и надежности логистических услуг. Любой перевозимый груз становится менее конкурентоспособным на рынке потребления, так как все издержки включаются в стоимость перевозимого товара.

В число задач, поставленных в Транспортной стратегии РФ до 2030 г., входит снижение уровня транспортных издержек в цене конечной продукции на 30 %. Вследствие транспортных проблем экономика России теряет от 7 до 9 % ВВП в год [1]. Транспортные издержки составляют 15–20 % от стоимости производимой продукции [2], поэтому значительные

средства вкладываются в развитие технологий, методологий и систем [3–5], способствующих решению указанных проблем и снижению их негативных последствий. Многочисленные попытки разработки и внедрения технологий [4, 5] оказываются недостаточно эффективными. Необходимы новые идеи [6], позволяющие оптимизировать управление транспортными потоками, снижая не только издержки логистических операторов, но и риски их возникновения.

В современных городских агломерациях и мегаполисах действуют интеллектуальные транспортные системы (ИТС), в функции которых входит управление общегородским дорожным движением, мониторинг транспортных потоков, информационное обеспечение участников дорожного движения, а также расчет упредительного прогноза состояния транспортных потоков для создания и использования алгоритмов предотвращения коллапсов. Однако в отсутствие единого информационного пространства и взаимодействия между транспортной и логистической системами городов, системами навигации, транспортными компаниями и частными водителями неизбежно децентрализованное, хаотичное использование такого важного ресурса, как пропускная способность УДС. Вследствие разных целей поездок, их динамики и несогласованных действий участников дорожного движения возникают ситуации, когда параметры транспортного потока превышают пропускную способность УДС, что приводит к коллапсам. При этом в мировой практике ИТС профильные информационные системы, как и системы

навигации, системы интеллектуальной поддержки логистической деятельности, обычно не несут ответственности ни за достоверность публикуемых прогнозов состояния дорожного движения, ни за эффективность алгоритмов устранения транспортных коллапсов, ни за качество предоставляемых навигационных и информационных услуг потребителям. Иными словами, в рамках решения задач своевременной доставки грузов риски от простоя в коллапсах и возможных издержек логистические и транспортно-экспедиторские компании берут на себя, что приводит к неизбежным финансовым потерям и влияет на эффективность выполнения транспортно-логистических процессов в крупных городах.

Транспортный поток, обусловленный перевозкой грузов любой внутригородской логистической системы, составляет лишь некоторую часть общегородских потоков. Отличительный признак такого потока — предсказуемость (детерминированный поток), так как до оказания действительной нагрузки на УДС он проходит этап планирования. Однако в отсутствие информационного взаимодействия между логистической системой и ИТС алгоритмами управления общегородским дорожным движением не учитывается информация о планируемых логистической системой транспортных потоках. Кроме того, пока не разработан механизм учета информации о транспортно-логистической деятельности города, что свидетельствует о сомнительном качестве прогнозов состояния транспортных потоков в общегородском дорожном движении, на основе которого логистической системой должно осуществляться планирование транспортировки грузов. Стоит отметить, что упреждающая информация о возможных коллапсах, прогнозируемая городской транспортной системой, носит общий характер, зачастую она избыточна и неактуальна для конкретного водителя. В то же время при грузоперевозках достижение приемлемых результатов невозможно без точной, адресной, достоверной информационной поддержки каждой перевозки. Система, выполняющая такую поддержку, должна нести ответственность за ее достоверность. Стоит отметить еще один недостаток упреждающей информации о коллапсах и алгоритмах их устранения. Она может не только улучшать, но и ухудшать состояние общегородского транспортного потока. Воспользовавшись общей информацией об альтернативных маршрутах, водители могут образовать

дополнительные заторы, так как система не получает информации от водителей об их намерениях и действиях.

На мировом рынке информационного обеспечения представлено множество профильных систем навигации и систем интеллектуальной поддержки логистических процессов. Каждая из них ориентирована на свою категорию потребителей, функционирует независимо от других, по собственным правилам и алгоритмам. Такие системы, осуществляя информационную поддержку клиентов, не учитывают реальные транспортные намерения участников дорожного движения, не входящих в список «своих пользователей». Кроме того, существующие системы не используют пропускную способность УДС в качестве единого централизованного пространства для расчета навигации, так как их функционал не связан с алгоритмами управления дорожным движением ИТС. Это свидетельствует о децентрализованном использовании пропускной способности УДС и приводит к снижению эффективности выполнения логистических задач.

На практике процесс грузоперевозок выглядит следующим образом:

- на стратегическом уровне логистическими операторами планируются маршруты согласно заявленным объемам грузоперевозок;
- на тактическом уровне рассчитываются затраты на осуществление планируемых перевозок;
- на диспетчерском уровне контролируется выполнение запланированных объемов перевозок.

При этом отклонения фактических затрат на перевозки от планируемых обусловлены тем, что на нижнем уровне осуществления перевозок водители не в состоянии выполнять команды диспетчеров, обеспечивая своевременную доставку грузов: конкретный маршрут планируется в отрыве от сложившихся условий дорожного движения, контролируемых ИТС. Это происходит потому, что водители, получая директивы своего оператора, выезжают на УДС, где автоматически попадают под действия алгоритмов управления общегородским дорожным движением, разработчики которых не имеют сведений о планируемых объемах отдельной логистической системы предприятия.

Таким образом, очевидна необходимость разработки научно-методической базы для создания информационного взаимодействия между логистической и транспортной системами города.

В рамках реализации такого взаимодействия предполагается создать централизованную систему навигации, обеспечивающую информационную взаимосвязь между всеми участниками дорожного движения, способную аккумулировать планы транспортировок, выполнять адресную информационную поддержку каждой транспортировки и оптимально использовать городскую инфраструктуру в качестве единого пространства для планирования транспортных логистических процессов. Такие решения позволят одновременно повысить эффективность использования пропускной способности УДС и оптимизировать управление транспортными потоками городской логистической системы.

### Метод оценки эффективности предлагаемой системы и ее сравнения с существующими

Логистические операторы крупных городов сталкиваются с проблемой выбора или разработки системы интеллектуальной поддержки, наиболее подходящей для расчета и осуществления планируемых грузоперевозок. Необходим метод, позволяющий не только оценивать эффективность систем навигации, но и сравнивать их между собой.

Для оценки предлагаемой системы и ее сравнения с существующими нужно определить критерии эффективности их функционирования. Эффективность любой системы навигации или управления общегородскими транспортными потоками зависит от точности и достоверности прогноза состояния общегородского транспортного потока, на основе которого системы рассчитывают алгоритмы управления дорожным движением или осуществляют построение оптимальных маршрутов для пользователей. Поэтому логистическим операторам при расчете и составлении расписаний транспортировки грузов необходимо выполнять оценку систем, прогнозирующих состояние общегородских транспортных потоков на УДС.

В рамках такой системы управляющие воздействия на транспортный поток (объект управления) нужно выбирать с учетом прогнозируемых ею характеристик дорожного трафика.

Прогноз характеристики  $X(t)$  общегородского транспортного потока, используемой системой при расчете оптимального маршрута, помимо среднего значения  $\bar{X}(t_0)$  в любой момент времени  $t_0$  должен включать алгоритмическое или

функциональное средство интервального оценивания ожидаемых значений  $X(t)$ .

Иными словами, нужно обеспечить возможность для любого указываемого пользователем значения доверительной вероятности  $p$  нахождения доверительного интервала  $(\alpha, \beta)$ , накрывающего истинное значение  $X(t_0)$  с заданной вероятностью  $p$ :

$$P(\alpha < X(t_0) < \beta) = p.$$

Как правило, границы доверительного интервала указывают в виде

$$\alpha = \bar{X}(t_0) - k_p \sigma^*_{X(t_0)},$$

$$\beta = \bar{X}(t_0) + k_p \sigma^*_{X(t_0)},$$

где  $\sigma^*_{X(t_0)}$  — оценка среднеквадратического отклонения  $X(t_0)$ ;

$k_p, K_p$  — коэффициенты разброса значений  $X(t_0)$ , вычисляемые согласно закону распределения значений характеристики транспортного потока.

Учитывая, что при любом  $t$  переменная  $X(t)$  имеет непрерывный характер изменения, для задания ее закона распределения вероятностей используется плотность  $f(X)$ .

Тогда в качестве критерия эффективности прогноза можно использовать выражение

$$K_p(X) = \begin{cases} \frac{P(x > X)}{P(x > \bar{X})}, \text{ при } X \geq \bar{X}, \\ \frac{P(x < X)}{P(x < \bar{X})}, \text{ при } X < \bar{X}, \end{cases} \quad (1)$$

где  $X$  — фактическое значение характеристики;  
 $\bar{X}$  — ее прогноз.

Все значения критерия (1) принадлежат отрезку  $[0; 1]$ . Чем выше значение  $K_p(X)$ , тем точнее прогноз.

Оценку эффективности средств прогнозирования целесообразно проводить по агрегированным данным, вычисляя среднее значение критерия по совокупности  $n$  наблюдений характеристики  $X$

$$\bar{K}_p = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n K_p(X_i) \quad (2)$$

Таким образом, оценку качества прогнозирования значений  $X(t)$  в рамках системы можно осуществлять по следующей схеме:

- выделить период оценки качества прогнозирования характеристики  $X(t)$ ;
- периодически осуществлять (и фиксировать) прогноз значений на выделенный период;
- в течение этого периода фиксировать действительные значения  $X(t)$ ;
- используя (1), рассчитать значения

критерия  $K_p$  для каждого наблюдения  $X(t)$ ;

- используя (2), вычислить значение  $\bar{K}_p$ .

При сравнении предлагаемой системы с уже существующей системой перечисленные действия выполняются для одной и другой, преимущество отдается той системе, у которой значение  $\bar{K}_p$  больше.

Строгое сравнение качества прогнозирования предлагаемой системы (I) и существующей (II) осуществляется с проверкой статистической гипотезы  $H_0: M[\bar{K}_p^I] = M[\bar{K}_p^{II}]$  равенства математических ожиданий значений критерия  $K_p$  при условии задания порога значимости результата.

Если предлагаемая система  $I$  сравнивается с несколькими системами  $N$  при равных условиях проведения эксперимента, то они упорядочиваются по убыванию  $\bar{K}_p$  и для соседних систем проверяется гипотеза  $H_0$ . Отклонение гипотезы  $H_0$  соответствует статистически доказанной разнице в прогнозах сравниваемых систем. Принятие гипотезы означает, что ощутимой разницы нет.

Таким способом можно оценивать качество прогнозирования и проводить сравнение предлагаемой системы [6] с любыми существующими системами интеллектуальной поддержки осуществления грузоперевозок (табл. 1).

Необходимо отметить, что, насколько бы совершенными ни были существующие системы навигации, эффективность их применения всегда будет ставиться под сомнение в силу их разнородности, децентрализованного использования ими пропускной способности УДС в отсутствие информационной взаимосвязи с системой управления общегородским дорожным движением, например, с алгоритмами светофорного управления.

### Использование централизованной системы

Сегодня не известен опыт применения централизованной системы управления общегородскими транспортными потоками индивидуальным информированием о реализации автомобильных перевозок. Приведем модель такой системы.

В основе решения указанных проблем лежит рассмотрение транспортного потока как случайного потока транспортных единиц. Каждая из них характеризуется действительными намерениями водителей и логистических организаций, известными системе до начала перевозки. Основное отличие использования цент-

рализованной системы от существующих заключается в том, что прогнозы состояния транспортных потоков на УДС будут рассчитываться на основе вероятности выполнения водителями утвержденных абонентами инструкций системы.

Разработанная автором система [6] — динамическая система регулирования квазиуправляемым процессом со слабой обратной связью, характеризуемая тремя основными свойствами.

**Идентифицируемость.** Система выработывает определенные результаты в пределах:

- неограниченного количества полученных системой сообщений (информации) от водителей о своих транспортных намерениях в виде заявок на поездку;
- неограниченного времени поступления сообщений (информации) от водителей о своих транспортных потребностях в виде заявок на поездку;
- ограниченной по времени обработки поступающей информации о сообщаемых транспортных потребностях;
- ограниченной по времени передачи информации водителям об условиях удовлетворения их транспортных потребностей в виде инструкции выполнения заявки.

Модель процесса заключается в отправке водителями информации о своей транспортной потребности в виде заявки, ее обработке системой, и передаче водителям инструкций.

**Наблюдаемость.** Хранение заявок водителей и инструкций об условиях их удовлетворения. Пошаговая хронология выполнения каждым водителем согласованных инструкций системы. Выявление факторов, при которых выполнение водителями инструкций привело к отклонениям от прогнозируемых системой данных о трафике.

**Управляемость.** Воздействие на поведение водителя в результате согласования с ним инструкций по реализации заявок на поездку. Использование системой информационного ресурса поддержки водителей в режиме реального времени до и во время поездки, при парковке, а также передача водителям стимулирующей информации для мотивации соблюдения ими правил дорожного движения и выполнения индивидуальных предписаний системы. Ресурсом управления будет уникальная база знаний информационной поддержки водителей, разработанная для конкретной УДС, в частности работа Call-центра поддержки водителей.

На основе системы, представленной

в [6], можно разработать централизованную систему, способную обеспечить информационную взаимосвязь между транспортной и логистической системами крупного города. На рисунке приведена укрупненная блок-схема алгоритма взаимодействия транспортной и логистической систем города.

Описание алгоритма:

1. Логистическая система — абонент или оператор, успешно прошедший процедуру регистрации, при которой он указывает:

- наименование компании;
- реквизиты компании;
- тип и марку транспортного средства;
- количество транспортных средств;
- прочие данные.

2. Абонент направляет системе заявки на планируемые грузоперевозки, содержащие следующую информацию:

- данные транспортных средств;
- координаты выезда и назначения;
- время;
- маршрут;
- стоимость;
- приоритеты поездки;
- данные о водителе;
- прочие данные.

3. Система принимает и обрабатывает заявки на планируемые грузоперевозки всех своих абонентов; заявки на поездки принимаются не только от логистических операторов, но и от всех водителей и абонентов, использующих пропускную способность УДС в целях планирования личных поездок;

4. Системой формируется образ транспортного потока, соответствующий осуществлению всех заявок абонентов с учетом суммарных намерений всех абонентов;

5. Системой генерируется набор уникальных инструкций для каждого абонента в индивидуальном порядке по каждой планируемой перевозке с учетом знаний системы о пропускной способности УДС и недопущения возникновения транспортного коллапса, т. е. превышения транспортных намерений всех абонентов над пропускной способностью УДС и загрузки парковочного пространства; при этом системой осуществляется калькуляция прогноза затрат абонента на осуществление каждой поездки:

- расход топлива;
- расход ГСМ;
- время поездки;
- время парковочной сессии;

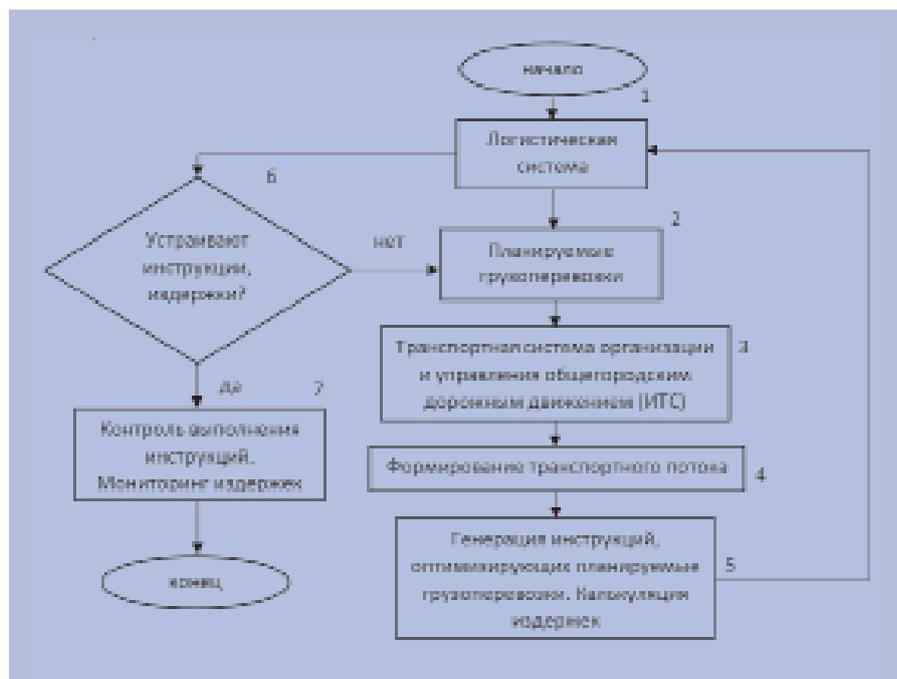


Рис. 1. Алгоритм взаимодействия логистической и транспортной систем организации и управления общегородским дорожным движением

- нормо-часы пробега;
- прочие данные;

6. Условный блок; если абонента устраивает хотя бы одна из множества предложенных системой инструкций, то его заявка считается в системе зарегистрированной как единица транспортной нагрузки на УДС; если абонент отклоняет инструкции, то заявка абонента автоматически отправляется системой в блок корректировки исходных данных (п. 2); взаимодействие с абонентом продолжается до тех пор, пока заявки регистрируются либо пока абонент не отказывается от взаимодействия с системой; одной зарегистрированной заявке может соответствовать только одна инструкция;

7. Система контролирует выполнение водителем инструкций, утвержденных абонентом, при этом фиксируются и рассчитываются отклонения, которые может допускать водитель во время осуществления грузоперевозки.

В результате моделирования алгоритма можно продемонстрировать поведение показателей критериев оптимизации при различных режимах и сценариях управления транспортными потоками (табл. 2).

В рамках фиксации отклонений (п. 7) системой будут анализироваться причины таких отклонений (табл. 3).

Достоверность данных, прогнозируемых централизованной системой [6], нужно периодически проверять методом, приведенным в настоящей статье. Необходимость проверки связана с тем, что транспортные коллапсы могут возникнуть вследствие действия:

- человеческого фактора: водитель не ограничен в своих действиях при функционировании любой системы;
- технического фактора: возможны отказы агрегатов автомобиля.

На УДС любого мегаполиса неизбежны стохастические возмущения, приводящие к транспортным коллапсам. Однако преимущество использования централизованной системы состоит в том, что каждый участник транспортного процесса будет

Таблица 1. Оценка качества и сравнение систем

№ п/п	Параметры УДС	Система интеллектуальной поддержки (навигации)	Значение $\bar{K}_p$
1	Город 1	Предлагаемая система	$x_1 \in [0; 1]$
		Существующая система, $N$	$x_n \in [0; 1]$
2	Город 2	Предлагаемая система	$x_1 \in [0; 1]$
		Существующая система, $N'$	$x'_n \in [0; 1]$

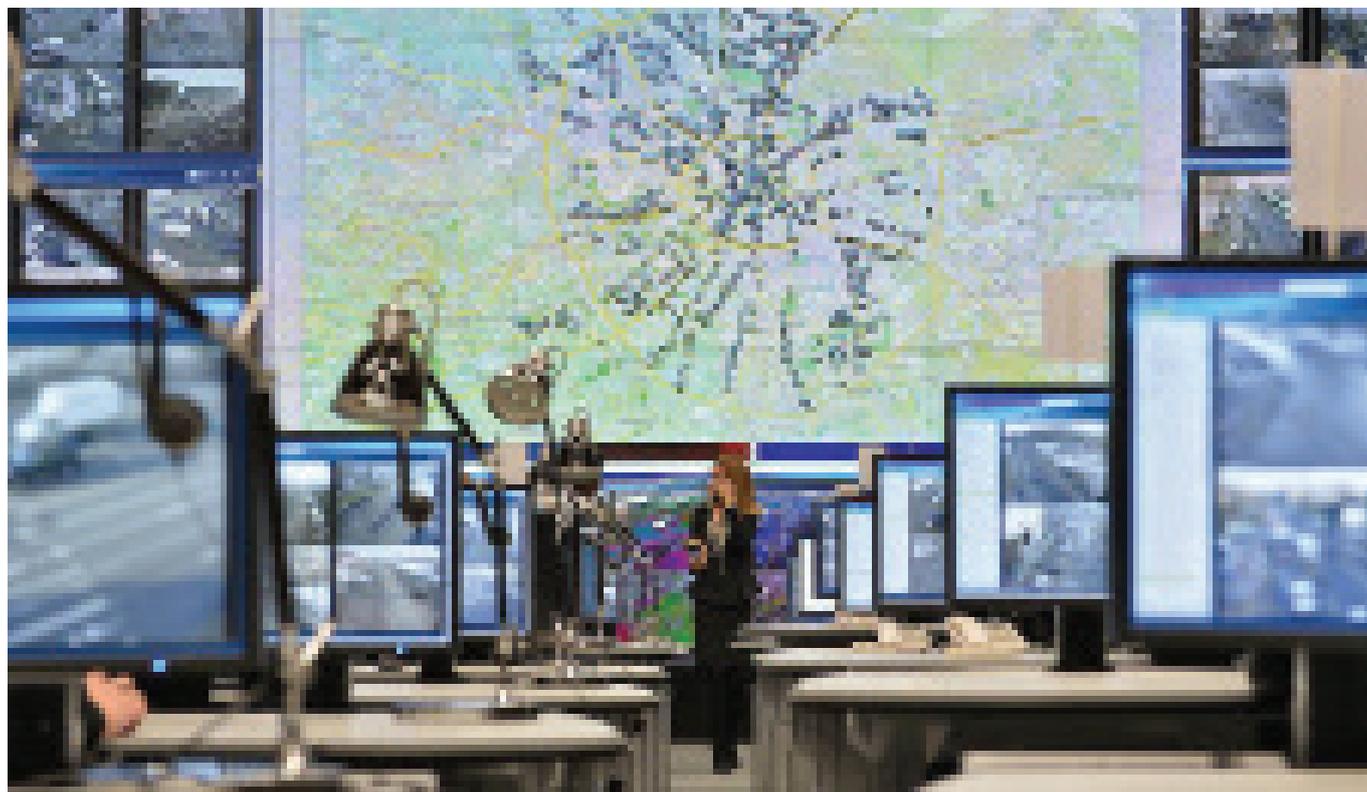


Таблица 2. Оценка отклонений

Затраты на транспортировку		
Планируемые, рассчитанные на основе согласованных инструкций системы	Фактические, рассчитанные по факту выполнения инструкций системы	Отклонения

Таблица 3. Причины отклонений

Причины отклонений				
Виновники ДТП, %	Нарушители ПДД, %	Абоненты и водители, не использующие систему, %	Отклонения от выполнения согласованных инструкций, %	Прочие, %
			Например: несвоевременный выезд, несоблюдение скоростного режима, отклонение от маршрута	

иметь достоверную информацию о причинах и обстоятельствах возникновения заторов и коллапсов в режиме реального времени, что позволит в дальнейшем принять меры для их устранения без ущерба для участников дорожного движения.

Практическая ценность знания о возникающих отклонениях определяется возможностью их анализа и разработки мер по их упреждению.

В рамках создания модели взаимодействия логистической и транспортной систем города можно использовать следующую схему:

- на стратегическом уровне будут определены правила взаимодействия между логистической и транспортной системами города;

- на тактическом уровне планируемые поездки будут согласовываться с учетом разработанных правил;

- на диспетчерском уровне будет осуществляться контроль выполнения согласованных поездок.

Практическое внедрение и применение централизованной системы [6] воздействия на общегородские транспортные потоки индивидуальным информированием об условиях осуществления будущих

поездки позволит решить задачу транспортного равновесия [3], оптимизировать затраты на перевозки и снизить логистические риски потерь, связанных с простоями в транспортных коллапсах. **T**

**Литература**

1. Материалы III Межд. конгр. ROAD TRAFFIC RUSSIA «Противостоять коллапсу». 2012. — URL: <http://transportrussia.ru/item/1505-protivostoyat-kollapsu.html>.
2. Герами В. Д., Колик А. В. Управление транспортными системами. Транспортное обеспечение логистики. — URL: <https://biblio-online.ru/book/1A6368E2-DEA6-41F0-A982-45237F1DA391>.
3. Гасников А. В. Введение в математическое моделирование транспортных потоков. — М.: МЦНМО, 2013. — URL: <http://www.mou.mipt.ru/gasnikov1129.pdf>.
4. Научно-технический совет Министерства транспорта РФ (Протокол № 54 от 09.12.16). Организация динамической маршрутизации транспортных потоков: метод. рук.-во.
5. Постановление Правительства Москвы (30.08.2017) № 597-ПП «Об интеллектуальной транспортной системе города Москвы». — URL: <http://docs.cntd.ru/document/456089322>.
6. Афанасьев Ю. С. Динамическая система формирования транспортных потоков. RU, Pat. № RU2648561 C2. — URL: <https://patentscope.wipo.int/search/ru/detail.jsf?docId=WO2018013006>.