

Ларин О.Н., Кажеев А.А.

ВОПРОСЫ ОБРАЗОВАНИЯ КОНФЛИКТНЫХ СИТУАЦИЙ НА МАРШРУТНЫХ СЕТЯХ МУНИЦИПАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ

Введение. В настоящее время задача оптимизации параметров остановочных пунктов является одним из менее изученных направлений по совершенствованию работы городского пассажирского транспорта [1, 2, 3, 4]. В последние годы отмечается рост количества ситуаций, когда остановочные пункты перегружены подъехавшим транспортом, что доставляет неудобство не только пассажирам и водителям маршрутного транспорта, но и другим участникам дорожного движения. В контексте настоящего исследования используются следующие термины.

Дублирующие маршруты – два и более маршрута, трасса движения транспорта (совокупность используемых для движения уличных дорог) по одному из которых в целом или в части совпадает с трассами движения транспорта по другим маршрутам.

Смежные маршруты – маршруты, имеющие различные трассы движения, но совместно использующие некоторые участки дорожной сети или остановочные пункты на совмещенных трассах маршрутов.

Совмещенный участок маршрутов – участок пути (сеть дорог), который совместно используется транспортными средствами с дублирующих или смежных маршрутов.

Совмещенный интервал – это промежуток времени между началом движения двух следующих друг за другом транспортных средств по дублирующим маршрутам.

Наличие смежных маршрутов может создавать определенную проблему в работе маршрутного транспорта, так как достаточно сложно согласовывать графики движения транспортных средств, работающих на смежных маршрутах, чтобы не было конфликтных ситуаций на смежных участках или промежуточных остановочных пунктах маршрутов.

Термином синхроничность обычно обозначают группирование двух или более событий вокруг одного смыслового центра. Для того чтобы быть синхроничными, два или более события должны произойти одновременно и иметь большое влияние друг на друга, но при этом они не должны иметь причинно-следственную связь друг с другом. Считаем, что данный термин можно использовать для характеристики эффектов (лат. *effectus* – исполнение, действие) одновременного прибытия транспортных средств дублирующих и смежных маршрутов на одни и те же остановочные пункты. Данные эффекты обусловлены рассогласованностью в графиках движения подвижного состава по различным причинам.

Если наличие смежных маршрутов может приводить (но необязательно) к конфликтам на сети, то наличие дублирующих маршрутов, как правило, является основной причиной возникновения конфликтов в работе маршрутных сетей [5].

Поэтому работа дублирующих маршрутов сопровождается образованием очередей транспорта на остановочных пунктах, а также неравномерностью интервалов движения и наполняемости подвижного состава.

Основным параметром остановочных пунктов, определяющим их пропускную способность, является ширина и длина остановочной площадки.

Равномерность прибытия транспортных средств на остановочный пункт, который обслуживается одним маршрутом, обеспечивается соблюдением необходимых интервалов движения. При регулярном движении очередей транспорта в ожидании захода на остановочный пункт не наблюдается. Соблюдение регулярности движе-

ния по маршруту контролируется диспетчерскими службами.

Ситуация существенно меняется, если на отдельном участке автодорожной сети работает несколько маршрутов. Чтобы исключить образование очередей на остановочных пунктах необходимо согласовывать графики движения по смежным маршрутам путем корректировки времени начала движения по каждому из них. Однако если смежными маршрутами совместно используется несколько остановочных пунктов, полностью исключить образование очередей достаточно сложно, так как протяженность участков смежных маршрутов, скорость движения транспорта по ним, а также величина пассажирообмена на остановочных пунктах различаются.

Под *конфликтными* (от лат. *conflictus* – столкновение) ситуациями на смежных или дублирующих маршрутах понимаются взаимные обгоны транспортными средствами, образование очередей к остановочным пунктам из одновременно прибывающего подвижного состава.

Возникновение конфликтов обусловлено образованием эффектов синхронного движения маршрутного транспорта по участкам маршрутной сети или синхронного прибытия на остановочные пункты.

Предлагается рассматривать два типа конфликтных ситуаций на смежных или дублирующих маршрутах.

Первый тип: конфликты при движении. Для конфликтов данного типа характерно совершение одним (быстрым) маршрутным транспортным средством вынужденных обгонов или опережений другого (медленного) маршрутного транспортного средства.

Взаимные обгоны маршрутного транспорта создают проблемы для движения транспортного потока, связанные с выездом маршрутного транспорта для обгона из правой полосы. Такой маневр в условиях интенсивного движения (коэффициент загрузки свыше 0,7) снижает скорость движения попутного транспорта на 20% и более.

Второй тип: конфликты на остановочных пунктах. Для конфликтов на остановочных пунктах характерно образование очередей из ожидающих места на них для посадки–высадки пассажиров маршрутных транспортных средств в количестве, превышающем возможности таких остановочных пунктов для их одновременного размещения.

В данном исследовании не рассматриваются конфликтные ситуации на остановочных пунктах, когда транспортные средства в связи с отсутствием свободного места на остановке не ожидают своей очереди в правом ряду, а осуществляют высадку пассажиров со второго ряда, либо намеренно останавливаются во втором ряду для ожидания свободного места на остановочном пункте, тем самым создавая препятствие для движения попутного транспорта по второму ряду.

Формированию очередей большой протяженности из маршрутного транспорта, ожидающего обслуживания за пределами остановочного пункта на правой полосе дороги, приводит к систематическим задержкам маршрутного транспорта, увеличению времени рейса, снижению регулярности движения, к заторам на пересечениях дорог, к препятствиям движению переходов на разрешающий сигнал светофора и т.п.

На образование очередей на остановочных пунктах, обслуживающих несколько смежных и дублирующих маршрутов, одновременно оказывают влияние различные факторы:

- число смежных и дублирующих маршрутов;
- интервалы движения транспорта по каждому маршруту;

Ларин О.Н., д.т.н, профессор, Южно-Уральский государственный университет (ЮУрГУ), г. Челябинск, Россия.
Кажеев А.А., инженер, Южно-Уральский государственный университет (ЮУрГУ), г. Челябинск, Россия.

- протяженность каждого маршрута;
- протяженность участков маршрутов;
- число остановочных пунктов по каждому маршруту;
- число остановочных пунктов на смежных участках;
- скорость движения по участкам маршрутов и диапазон отклонений;
- параметры остановочных пунктов;
- параметры подвижного состава, работающего на маршрутах;
- пассажирообмен остановочных пунктов на каждом из маршрутов.

Учитывая нормальный закон распределения средних скоростей движения маршрутного транспорта по смежным участкам сети, математическая модель движения транспортных средств по дублирующим и смежным маршрутам может быть представлена в детерминированном виде с усреднением характеристик движения.

Математическая модель движения маршрутного транспорта на дублирующих маршрутах. Для определения момента наступления конфликтной ситуации на дублирующих маршрутах будем использовать следующие параметры.

На каждом из дублирующих маршрутов M_1 и M_2 работает определенное количество транспортных средств A_{1i} ($i = 1, \dots, N$) и A_{2j} ($j = 1, \dots, N$), движущихся со средними скоростями V_1 и V_2 по маршрутам и с заданными интервалами движения I_1 и I_2 . Время начала движения t_{01} и t_{02} отдельных транспортных средств a_1 и a_2 соответственно по маршрутам M_1 и M_2 является фиксированным величинами (устанавливаются расписанием).

Протяженность совмещенного участка l_{ce} , который используется транспортными средствами A_1 и A_2 , определяется согласно схеме маршрутной сети и не может превышать протяженности любого маршрута ($l_{ce} < l_{M1}, l_{ce} < l_{M2}$).

Совмещенный интервал движения по дублирующим маршрутам равен разности между началами движения второго t_{02} и первого t_{01} транспортных средств:

$$l_{ce} = t_{02} - t_{01}. \quad (1)$$

За начало дублирующих маршрутов принимается место на маршрутной сети в точке начала маршрутов $S_{01} = S_{02} = S_0$. На определенном расстоянии S_k от начала маршрута находится место вероятного конфликта, в которое одновременно прибывают транспортные средства A_1 и A_2 через время движения по маршрутам t_{k1} и t_{k2} соответственно. В аналитическом виде это расстояние может быть записано следующим образом:

$$S_k = \begin{cases} V_1 \cdot t_{k1} \\ V_2 \cdot t_{k2} \end{cases}. \quad (2)$$

Возможные варианты совмещенного движения транспортных средств на дублирующих маршрутах показаны на рисунках 1–4.

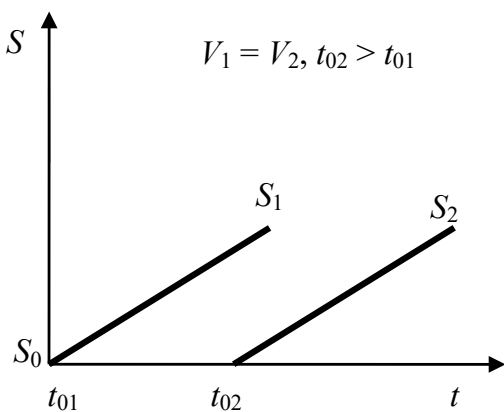


Рис. 1. Конфликтная ситуация не образуется

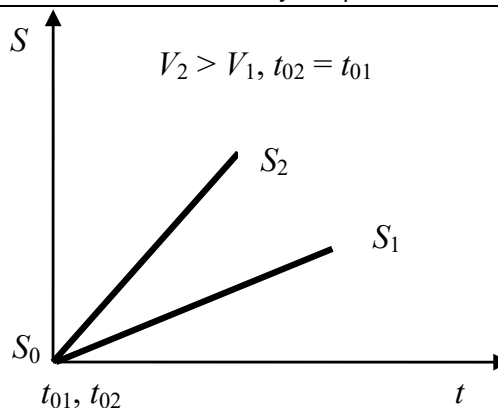


Рис. 2. Конфликтная ситуация не образуется

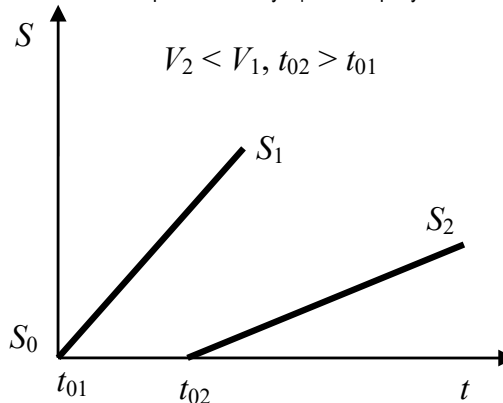


Рис. 3. Конфликтная ситуация не образуется

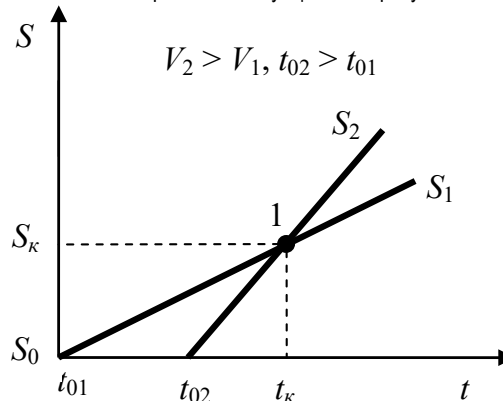


Рис. 4. В точке 1 образуется конфликтная ситуация

Вариант движения маршрутного транспорта по двум дублирующим маршрутам при $V_1 = V_2, t_{02} = t_{01}$ является частным случаем варианта, изображенного на рис. 2, поэтому отдельно не приводится. Кроме такого, дублирующие маршруты с сочетанием таких параметров на практике, как правило, не встречаются.

Исследуем множество $E(S_k)$ значений функции $S_k(V, t)$ для различных значений переменных:

- 1) $E(S_k) < 0$ при $V_2 < V_1, t_{02} > t_{01}$;
- 2) $E(S_k) = \emptyset$ при $V_2 = V_1, t_{02} \neq t_{01}$;
- 3) $E(S_k) = \{S_k \mid S_k \geq 0\}$ при $V_2 = V_1, t_{02} = t_{01}$;
- 4) $E(S_k) > 0$ при $V_2 > V_1, t_{02} > t_{01}$.

Первое и второе условия отражают ситуацию, когда между дублирующими маршрутами отсутствуют конфликты. Третье условие, как отмечалось выше, относится к частному случаю, когда теоретически на всем протяжении дублирующих маршрутов оба транспортных средства должны идти друг за другом без возможности обгона или опережения и изменения интервала движения. Только четвертое

условие отражает ситуацию возможного наступления конфликта между маршрутами.

Пример конфликтной ситуации приведен на рис. 2. Из условия равенства пройденных путей обоими транспортными средствами до места наступления конфликта $S_1 = S_2 = S_K$ может быть найдено время движения, через которое второе («быстрое») транспортное средство догонит первое («медленное») транспортное средство ($V_2 > V_1$).

Время движения второго транспортного средства до наступления конфликта может быть представлено через t_{k1} следующим образом:

$$t_{k2} = t_{k1} - t_{02}. \quad (3)$$

Подставляя выражение (3) в выражение (2) и решая систему относительно t_{k1} , найдем величину времени движения каждого транспортного средства до момента наступления конфликтной ситуации:

$$\begin{aligned} V_1 \cdot t_{k1} &= V_2(t_{k1} - t_{02}); \\ V_2 \cdot t_{k1} - V_1 \cdot t_{k1} &= V_2 \cdot t_{02}; \\ t_{k1}(V_2 - V_1) &= V_2 \cdot t_{02}; \\ t_{k1} &= V_2 \cdot t_{02} / (V_2 - V_1). \end{aligned} \quad (4)$$

Выражение (3) и (4) позволяют определить продолжительность времени движения второго и первого транспортного средства соответственно до момента наступления конфликтной ситуации.

Однако конфликтная ситуация может не наступить, если расстояние пути до конфликта будет превышать протяженность совмещенного участка: $S_{k1} > l_{ce}$. Протяженность S_K определяется из выражения (2). Это утверждение также следует из условия, что если время движения t_{k1} первого транспортного средства до конфликта будет превышать время его движения t_{ce1} по совмещенному участку: $t_{k1} > t_{ce1}$, то конфликтная ситуация на маршрутах не образуется. Время движения t_{ce1} по совмещенному участку определяется через отношение протяженности совмещенного участка l_{ce} к скорости транспортного средства V_1 .

При этом следует учитывать, что в интервале I_1 между двумя следующими друг за другом транспортными средствами a_{1i} первого маршрута может находиться в движении несколько транспортных средств a_{2i} со второго маршрута. Соответствующее количество a_{2i} определяется по формуле:

$$n_I = (I_1 - l_{ce}) / l_2. \quad (5)$$

Полученное значение n_I следует округлять в меньшую сторону. Значение $n_I > 1$ свидетельствует о том, что в интервале I_1 между транспортными средствами первого маршрута a_{1i} будет находиться n_I транспортных средств второго маршрута a_{2i} . Однако это еще не означает, что все a_{2i} в количестве n_I могут конфликтовать с a_{1i} . Конфликтная ситуация между ними возможна при условии:

$$(t_k + n_I \cdot l_2) \leq t_{ce1}. \quad (6)$$

Если выполняется условие (6), то число конфликтных ситуаций

транспортных средств a_{2i} с каждым транспортным средством a_{1i} в интервале I_1 равно n_I . Рассмотренная ситуация проиллюстрирована на рис. 5, где движение транспортных средств a_{1i} первого маршрута показано двойной линией, а движение транспортных средств a_{2i} второго маршрута показано одинарной линией.

Если условие (6) не выполняется, то число n_I конфликтов a_{2i} с a_{1i} в интервале I_1 составит n_I .

$$n_I = (t_{ce1} - t_{k1}) / l_2. \quad (5)$$

В окончательном виде число n_I конфликтов определяется следующим образом:

$$n_I = \begin{cases} (I_1 - l_{ce}) / l_2, & \text{при } (t_k + n_I \cdot l_2) \leq t_{ce1} \\ (t_{ce1} - t_{k1}) / l_2, & \text{при } (t_k + n_I \cdot l_2) > t_{ce1} \end{cases}. \quad (6)$$

Теперь необходимо определить общее количество конфликтных ситуаций N_I за общее время транспортных средств обоих маршрутов. В данном случае возможность наступления конфликта ограничивается продолжительностью движения транспортных средств по первому маршруту. Общее время движения по первому маршруту рассчитывается по следующей формуле:

$$T_{1n} = t_{01n} + t_{ce1} = a_{n-1} l_1 + t_{ce1}, \quad (7)$$

где t_{01n} – время начала движения последнего транспортного средства a_{1n} по смежному участку.

За это время число конфликтных ситуаций не должно превышать количество рейсов n_{p2} , выполненных транспортными средствами a_{2i} по второму маршруту за период T_{1n} движения транспортных средств a_{1n} по смежному участку: $N_I \leq n_{p2}$. За указанный период возможное число конфликтных ситуаций может быть определено из выражения:

$$N_I = (T_{1n} - t_{k1}) / l_2. \quad (8)$$

Полученное значение N_I следует округлять в меньшую сторону. В итоге получим:

$$N_I = \begin{cases} (T_{1n} - t_{k1}) / l_2, & \text{при } N_I \leq n_{p2} \\ n_{p2}, & \text{при } N_I > n_{p2} \end{cases}. \quad (9)$$

Математическая модель движения маршрутного транспорта на смежных маршрутах. Время начала движения t_{01} и t_{02} по смежным маршрутам устанавливается расписанием движения. За начало движения транспортных средств по смежным маршрутам принимаются отдельные места на маршрутной сети S_{01} и S_{02} для «сходящихся» маршрутов, либо общий начальный пункт для обоих маршрутов $S_0 = S_{01} = S_{02}$, для «расходящихся» маршрутов.

В последнем случае транспортные средства через определен-

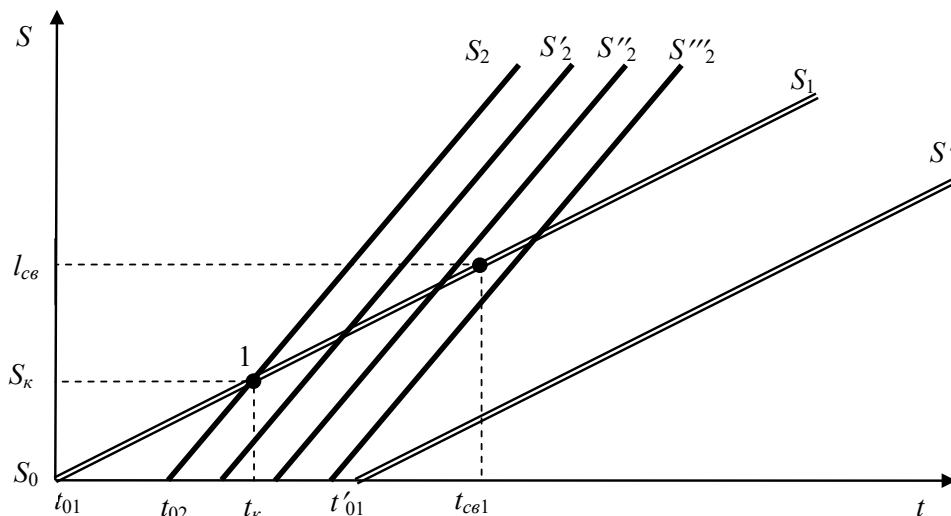


Рис. 5. Варианты конфликтных ситуаций для N_I

ное расстояние после начала движения по маршруту переходят на различные участки маршрутной сети. В этом случае конфликтные ситуации возможны только на участке совмещенного движения. Модель движения транспорта на «расходящихся» маршрутах аналогична модели для дублирующих маршрутов.

Для «сходящихся» смежных маршрутов полученные выражения для дублирующих маршрутов могут быть модифицированы. Для смежных маршрутов за начало их совмещенного движения по сети является место соединения (как правило, пересечение дорог) их маршрутов $S_{(см)0} = S_{(см)01} = S_{(см)02}$. Протяженность участков маршрутов от начала движения S_{01} и S_{02} до места совмещенного движения $S_{(см)0}$ определяется конфигурацией маршрутной сети и может быть рассчитано по формуле:

$$S_{(см)1} = S_{(см)01} - S_{01}, \quad (10)$$

$$S_{(см)2} = S_{(см)01} - S_{02}. \quad (11)$$

Время начала движения транспортных средств по смежному участку определяется выражением:

$$t_{(см)01} = S_{(см)1} / V_1, \quad (12)$$

$$t_{(см)02} = S_{(см)2} / V_2. \quad (13)$$

Совмещенный интервал сдвигения по смежным маршрутам составит:

$$I_{св} = t_{(см)02} - t_{(см)01}. \quad (14)$$

В момент наступления конфликтной ситуации продолжительность времени движения первого транспортного средства по совмещенному участку маршрута составит $t_{(см)к1}$, а общая продолжительность времени движения транспортного средства по маршруту в целом может быть рассчитана:

$$t_{к1} = t_{(см)01} + t_{(см)к1}.$$

Аналогичным образом определяется общая продолжительность времени движения второго транспортного средства по маршруту $t_{к2}$ до наступления конфликтной ситуации. Время движения второго транспортного средства по совмещенному участку маршрута до наступления конфликтной ситуации $t_{(см)к2}$ может быть представлено через $t_{(см)к1}$ следующим образом:

$$t_{(см)к2} = t_{(см)к1} - t_{(см)02}. \quad (15)$$

После прохождения конфликтной точки движение транспорта обоим маршрутам по совмещенному участку моделируется аналогичным образом как для дублирующих маршрутов по выражениям (2–9).

Заключение. С использованием рассмотренных теоретических положений была разработана математическая модель, имитирующая движение пассажирского транспорта по внутримunicipальным маршрутам, для выявления перегруженных остановочных пунктов, представляющих собой «узкие места» в маршрутной сети. Данная модель учитывает следующие параметры движения транспорта по маршруту: время начала движения транспорта по каждому маршруту с начальных пунктов, скорость движения транспорта по каждому участку маршрута (по перегонам), время простоя на остановочных пунктах для посадки-высадки пассажиров, интервалы движения по каждому маршруту. Основу данной модели составляет база данных о параметрах маршрутной сети и движения транспортных средств по маршрутам.

Кроме технологических мер по снижению конфликтных ситуаций также рекомендованы организационные меры в виде мотивации водителей в целях обеспечения регулярности движения, которые изложены в работе [6].

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ларин, О.Н. Особенности управления пассажирскими перевозками в муниципальных образованиях / О.Н. Ларин, В.Н.Смолин // Транспорт Урала – 2009. – №2 (21). – С. 9–10.
2. Ларин, О.Н. Совершенствование принципов формирования тарифов на муниципальные пассажирские перевозки общественным транспортом / О.Н. Ларин, В.Н.Смолин // Транспорт Урала – 2010. – №2 (25). – С. 96–98.
3. Ларин, О.Н. Развитие транзитного потенциала автотранспортных систем регионов: научная монография / О.Н. Ларин, А.П. Приходько, В.Д. Шепелёв, А.А. Кажаяев. – М.: ВИНТИ РАН, 2010. – 344 с.
4. Ларин, О.Н. Методы размещения сетевых узлов в автотранспортных системах регионов / О.Н. Ларин // Транспорт Урала. – 2008. – №3 (18). – С. 5–9.
5. Ларин, О.Н. Использование концепции фазовых переходов для оценки состояний автотранспортного потока / О.Н. Ларин // Вестник Московского автомобильно-дорожного института (государственного технического университета). – 2008. – №2 (13). – С. 96–101.
6. Ларин, О.Н. Разработка комплексной системы заработной платы производственного персонала автотранспортных предприятий / О.Н. Ларин, С.Н.Гаврилов // Транспорт: наука, техника, управление – 2010. – №7. – С. 54–55.

Материал поступил в редакцию 31.10.10

LARIN O.N., KAZHAEV A.A. Questions of formation of disputed situations on routing networks of municipal formations

The article is devoted to conflicts arising due to the formation of simultaneous movement effects of route transport in zones of the route network or simultaneous arrivals at the stopping places.

It is suggested to consider two types of conflict situations on adjacent or duplicating routes. Mathematical models of vehicle movement on duplicating and adjacent routes in the deterministic form with averaged movement characteristics are described.

УДК 656

Кухаренок Г.М., Капский Д.В., Навой Д.В., Рожанский Д.В., Шуть В.Н.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА РАСПАДА КООРДИНИРОВАННОЙ ПАЧКИ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ПРИ ДВИЖЕНИИ НА ПЕРЕГОНЕ МАГИСТРАЛЬНОЙ УЛИЦЫ

Введение. В моделировании дорожного движения исторически сложилось два основных подхода – детерминистический и вероятностный (стохастический). В основе детерминированных моделей лежит функциональная зависимость между отдельными показателями, например, скоростью и дистанцией между автомобилями в

потоке. В стохастических моделях транспортный поток рассматривается как вероятностный процесс.

Все модели транспортных потоков можно разбить на три класса [1, 2]: модели-аналоги, модели следования за лидером и вероятностные модели. В моделях-аналогах движение транспортного средст-

Капский Д.В., кандидат технических наук, доцент Белорусского национального технического университета.

Рожанский Дмитрий Виленович, кандидат технических наук, доцент Белорусского национального технического университета.

Беларусь, БНТУ, 220027, г. Минск, пр. Ф. Скорины, 65.

Шуть В.Н., к.т.н., доцент кафедры интеллектуальных информационных технологий Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

Физика, математика, информатика