

- метров восстановления сетей водоотведения / О.В. Старкова, Е.А. Шаповалова, Л.А. Гнучих // Коммунальное хозяйство городов, 2009. – Вып. 87. – С. 17-23.
3. Тимофеев В.А. Оптимальное планирование ресурсов производственной программы ремонтно-строительного предприятия / В.А. Тимофеев, О.И. Чуб, М.В. Новожилова // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова, 2013. – № 5. – С. 102-105.
 4. Чуб И.А. Постановка и решение оптимизационной динамической задачи управления ограниченными ресурсами проекта / И.А.Чуб, А.С. Иванюков, М.В. Новожилова // Проблемы машиностроения, 2010. – Т. 4. – № 2. – С. 79.
 5. Попов В.М. Моделирование характеристик потока отказов основных производственных фондов объектов повышенной опасности / В.М. Попов, И.А.Чуб, М.В. Новожилова // Проблемы надзвичайних ситуацій, 2015. – № 21
 6. Ouyang Min A three-stage resilience analysis framework for urban infrastructure systems / Min Ouyang, Leonardo Duecas-Orsorio, Xing Min // Structural Safety, 2012. – Vol. 36-37. – С. 23–31.
 7. Программа развития КП «Харьковводоканал» до 2026 года. – Харьков, 2013. – 115с.
 8. EViews Enterprise Edition 8.0.0.0 [Электронный ресурс] – Режим доступа: www.eviews.com.

УДК 625.7

Смирнова Н.В.

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ НА УЧАСТКАХ С ТРЕМЯ ПОЛОСАМИ ДВИЖЕНИЯ

Введение. В настоящее время решению проблемы оптимизации проектов капитальных ремонтов или реконструкции автомобильных дорог способствует развитие методологии моделирования движения транспортных потоков на двухполосных дорогах общего пользования, на сложных участках которых предусмотрено устройство трех полос движения. Актуальность проблемы обусловлена протяженностью таких дорог, которая в нашей стране составляет примерно 90 %.

Цель и постановка задачи. Целью настоящей статьи является анализ закономерностей движения транспортных потоков по двухполосным дорогам с участками, на которых предусмотрены три полосы. Для таких участков необходимо моделировать движение автомобилей с целью повышения точности расчетов скорости, как основного показателя проектного решения. Моделирование транспортных потоков на двухполосных дорогах и на участках с тремя полосами движения выполняется в соответствии с методами

теории исследования операций, в частности, марковскими процессами с дискретными состояниями системы (автомобилями) и непрерывным пространством (дорога).

Основная часть. Согласно основному нормативному документу [5] п.5.1.22 дополнительные полосы проезжей части на подъем следует предусматривать на участках дорог II, III категорий при среднем продольном уклоне от 30 % до 40 % и длине участка свыше 1 км и при средних уклонах более 40 % - при длине участка свыше 0,5 км.

Таким образом, на затяжных подъемах с достаточно большими продольными уклонами обычно устраивают дополнительные полосы движения для обеспечения, прежде всего, возможности не снижать скорости движения вследствие возникновения заторов при движении на подъем.

Согласно методологии теории исследования операций [3, 4] исследуемый автомобиль типа v , в любой точке дороги с

основной (1) и дополнительной (2) полосой движения в одном направлении – это некая система S , и типичные дискретные состояния S_1, S_2, S_3 и S_4 в которых может находиться система S , определены следующим образом:

S_1 – движение с желаемой скоростью (скоростью свободного движения) по полосе 1, когда до впереди идущего автомобиля дистанция достаточная, чтобы не снижать скорость ниже желаемого значения v ;

S_2 – движение по полосе 1 со скоростью $u < v$, то есть меньше желаемой, когда автомобиль типа v догнал впереди идущий автомобиль и водитель вынужден снизить скорость из-за невозможности встроиться в соседний левый ряд на полосе 2 для обгона;

S_3 – движение автомобиля типа v по полосе 2 с желаемой скоростью (скоростью свободного движения) как при обгоне так и после него, когда до впереди идущего автомобиля на полосе 2 дистанция достаточная, чтобы не снижать скорость ниже желаемого значения v ,

S_4 – движение по полосе 2 со скоростью $u < v$, то есть меньше желаемой, когда автомобиль типа v догнал впереди идущий автомобиль и водитель вынужден снизить скорость из-за невозможности встроиться в соседний правый ряд на полосе 1 для обгона.

Вероятности того, что на дороге в точке x система S находится в состоянии S_1, S_2, S_3, S_4 обозначены как p_1, p_2, p_3, p_4 ; очевидно, что $p_1 + p_2 + p_3 + p_4 = 1$. Из состояния в состояние исследуемый автомобиль переходит в соответствии с типичными ситуациями взаимодействия водителей в транспортном потоке [2, 6]. Эти ситуации формируются самими водителями в соответствии с разнообразными целями поездки, существенно зависят от характеристик автомобиля и дорожных условий и в любой точке дороги в любой момент времени возникают случайным образом, то есть происходят в заранее не спланированные моменты времени и в заранее не назначенных точках дороги.

Вероятности p_1 и p_3 – это вероятности свободного движения соответственно по полосам 1 и 2. Так как эти вероятности есть функции от скорости, то эти функции обозначим для дальнейшего как $P_1(v)$ и $P_2(v)$. В соответствии с [8, 9] распределения вероятностей скорости в потоке по полосам находим в виде

$$\Phi_1(v) = 1 - (1 - F(v))P_1(v) \text{ и} \\ \Phi_2(v) = 1 - (1 - F(v))P_2(v). \quad (1)$$

При известных функциях $\Phi_1(v)$ и $\Phi_2(v)$ рассчитывают среднюю скорость свободного движения всех автомобилей в составе потока

$$v_{cp,св} = \int_{v_{min}}^{v_{max}} v f(v) dv \text{ или} \\ v_{cp,св} = \int_{v_{min}}^{v_{max}} (1 - F(v)) dv; \quad (2)$$

и среднюю скорость потока расчетной интенсивности

$$v_Q = \int_{v_{min}}^{v_{max}} v \varphi(v) dv \text{ или} \\ v_Q = \int_{v_{min}}^{v_{max}} (1 - \Phi(v)) dv, \quad (3)$$

В модели важно определить вероятности переходов из состояния в состояние.

Из состояния S_1 в состояние S_2 исследуемый автомобиль переходит с вероятностью P_{12} в случае, когда при движении по полосе 1 автомобиль типа v догнал впереди идущий автомобиль, и водитель вынужден снизить скорость из-за отсутствия в потоке на полосе 2 интервала, достаточного для встраивания в поток на полосе 2.

На схеме: v – исследуемый автомобиль, скорость свободного движения которого v , u – автомобиль типа u , скорость которого u меньше v ; один штрих – положение в момент, когда автомобиль типа v догнал типа u и снизил скорость до значения u , два штриха – дальнейшее положение этих автомобилей, движущихся со скоростью u .

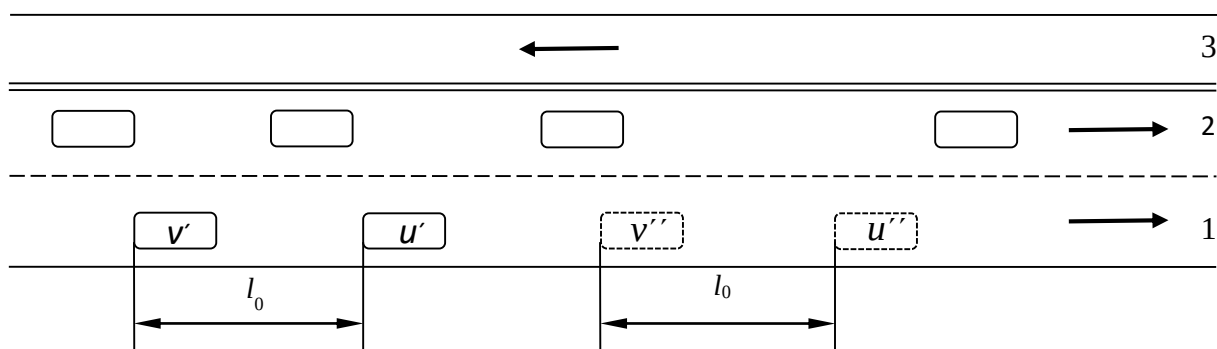


Рис. 1. Переход из состояния S_1 в состояние S_2

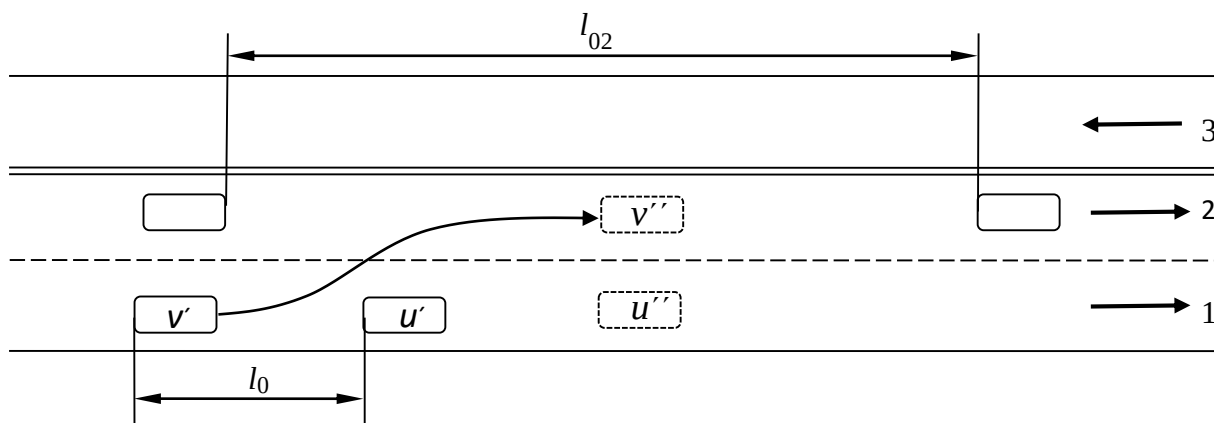


Рис. 2. Переход из состояния S_2 в состояние S_3

Из состояния S_2 в состояние S_3 исследуемый автомобиль переходит с вероятностью P_{23} в случае, когда при движении по полосе 1 со скоростью $u < v$ на полосе 2 появился интервал, достаточный для встраивания в поток на полосе 2.

Из состояния S_1 в состояние S_3 исследуемый автомобиль переходит с вероятностью P_{13} в случае, когда, двигаясь по полосе 1 со скоростью свободного движения, он догнал впереди идущий автомобиль, но не снижает скорость и переходит в левый ряд на полосу 2, так как на этой полосе есть интервал, достаточный для встраивания в поток полосы 2. Схема перехода $S_1 \rightarrow S_3$ такая же как на рис. 2, только в момент перехода и при дальнейшем движении автомобиль типа v , не снижает скорости и все время движется со скоростью v .

Из состояния S_3 (движение по полосе 2) в состояние S_4 (на полосе 2) исследуемый автомобиль переходит с вероятностью P_{34} в случае, когда автомобиль типа v догнал впереди идущий автомобиль на по-

лосе 2, и водитель вынужден снизить скорость из-за отсутствия в потоке на полосе 1 интервала, достаточного для встраивания в поток для объезда. Пояснения к рис. 3 такие же как к переходу $S_1 \rightarrow S_2$ к рис. 1.

Из состояния S_4 (движение по полосе 2) в состояние S_1 (на полосе 1) исследуемый автомобиль переходит с вероятностью P_{41} , когда для автомобиля типа v , движущегося со скоростью u впереди идущего автомобиля на полосе 2, когда на полосе 1 появился интервал, достаточный для встраивания в поток на полосе 1, и автомобиль типа v выполнил этот маневр. Пояснения к рис. 4 такие же как к переходу $S_2 \rightarrow S_3$ к рис. 2.

Все переходы в реальном потоке происходят с понижением или повышением скорости с ускорениями (замедлениями) примерно до $2-3 \text{ м/с}^2$ (служебные ускорения и замедления), но не более $\varphi \cdot g \text{ м/с}^2$ (экстренные ускорения и замедления $\varphi \cdot g$ применяются в опасной дорожно-транспортной ситуации, φ – коэффициент сцепления шины с дорожным покрытием, $g = 9.8 \text{ м/с}^2$) [7].

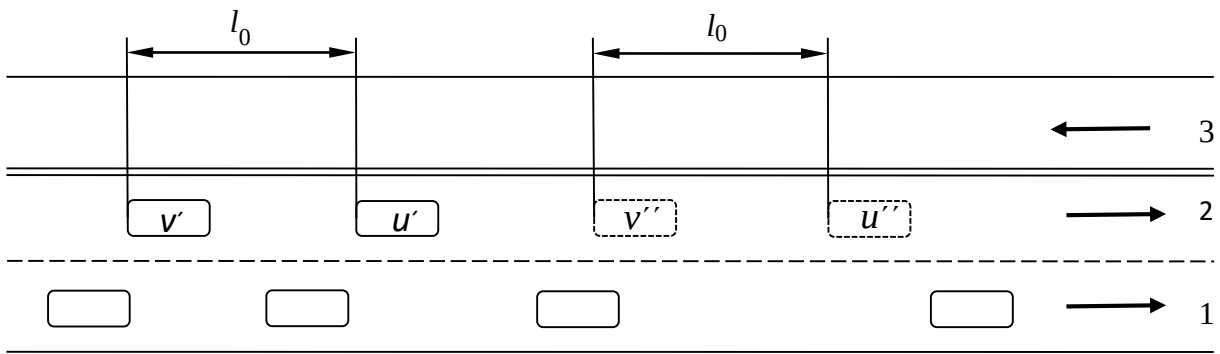


Рис. 3. Переход $S_3 \rightarrow S_4$

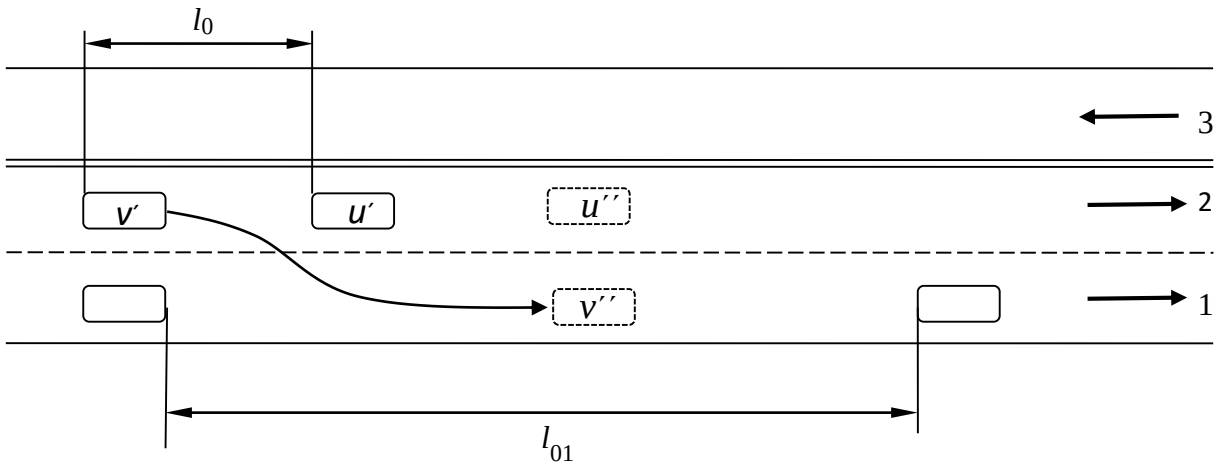


Рис. 4. Переход $S_4 \rightarrow S_1$

С повышением скорости выполняются и обгоны «с ожиданием»; обгоны «с ходу» - практически без снижения скорости. В нашей модели принято, что исследуемый автомобиль выполняет любой обгон в среднем со скоростью свободного движения.

С учетом изложенных особенностей движения транспортного потока и принятых допущений для его математической модели можно применить схему марковского случайного процесса с дискретными состояниями и непрерывным временем – непрерывной цепью Маркова [3, 4]. В процессе с непрерывным временем вероятности перехода P_{12} , P_{23} и т.д. из состояния в состояние точно в точке x равны нулю. Поэтому согласно методологии марковских цепей вместо этих вероятностей введены плотности вероятностей переходов λ_{12} , λ_{23} и т.д. Плотность вероятности перехода определяется как предел отношения вероятности перехода системы на участке дороги Δx , например, из состояния S_1 в состояние S_2 , к длине промежутка Δx [3, 4]

$$\lambda_{12} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{P_{12}(\Delta x)}{\Delta x}, \quad (4)$$

где $P_{12}(\Delta x)$ – вероятность того, что система, находившаяся в точке x в состоянии S_1 , на участке Δx перешла в состояние S_2 .

Таким образом $P_{12}(\Delta x) \approx \lambda_{12}\Delta x$. Аналогично $P_{13}(\Delta x) \approx \lambda_{13}\Delta x$, $P_{23}(\Delta x) \approx \lambda_{23}\Delta x$, $P_{34}(\Delta x) \approx \lambda_{34}\Delta x$, $P_{41}(\Delta x) \approx \lambda_{41}\Delta x$.

Принятые допущения и обозначения позволили составить систему дифференциальных уравнений Колмогорова для вероятностей p_1, p_2, p_3, p_4 состояний S_1, S_2, S_3, S_4 любого автомобиля в потоке

$$\begin{cases} p_1' = -\lambda_{12}p_1 - \lambda_{13}p_1 + \lambda_{31}p_3 + \lambda_{41}p_4 \\ p_2' = -\lambda_{23}p_2 + \lambda_{12}p_1 \\ p_3' = -\lambda_{31}p_3 + \lambda_{13}p_1 + \lambda_{23}p_2 - \lambda_{34}p_4 \\ p_4' = -\lambda_{41}p_4 + \lambda_{34}p_3 \end{cases} \quad (5)$$

На участках 2-х полосных дорог с тремя полосами формируются следующие режимы движения потока:

- стационарный на большей части трехполосного участка, когда все вероятности p_1, p_2, p_3, p_4 постоянные,

- переходний 2-3 от участка с двумя полосами к трем – в начале большей трехполосного участка,
- переходный 3-2 от участка с тремя полосами к двум – в конце трехполосного участка.

Для стационарного режима вероятности p_1, p_2, p_3, p_4 находят, решая систему алгебраических уравнений, в которой левые части системы нулевые. Для переходных режимов находят вероятности p_1, p_2, p_3, p_4 .

Таким образом, составлена система дифференциальных уравнений Колмогорова, позволяющая математически описать любой режим движения транспортного потока на сложных участках двухполосных дорог с устройством третьей полосы движения.

Выводы. Для повышения эффективности капитальных вложений в строительство и реконструкцию автомобильных дорог и повышения эффективности вариантного проектирования необходимы детальные расчеты скоростей движения автомобилей, составляющих транспортные потоки. Такие расчеты следует выполнять на основе моделирования движения автомобилей и транспортных потоков с учетом изменения количества полос движения на сложных участках двухполосных дорог общего пользования.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Автоматизоване проектування автомобільних доріг: навчальний посібник для

студентів вузів // В.В.Філіппов, Г.В. Велічко, Н.В.Смірнова; ХНАДУ.- 2011. – 286 с

2. Введение в математическое моделирование транспортных потоков: Учебное пособие/ Издание 2-е, испр. и доп./ Под ред. А.В.Гасникова. – М.: МЦНМО, 2013. – 427 с.
3. Вентцель Е.С. Исследование операций. М.: «Советское радио», 1972, 532 с.
4. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. 4-е изд., стереотип. - М.: Наука, Физматгиз, 1969 - 576 с
5. ДБН В.2.3-4-2007 (Споруди транспорту, Автомобільні дороги)
6. Еремін В.М. Имитационное моделирование движения, транспортного потока по дороге с двумя полосами движения. В кн: Организация; движения в сложных дорожных условиях. Труды МАДИ,. 1976, . вып.128,.с.114-122.
7. Калужский Я.А., В.В. Филиппов. Применение методов теории массового обслуживания для исследования движения автомобильных потоков //Автомобильные дороги. - 1964. - № 12. - С. 4-5.
8. Филиппов В.В.. Расчеты скорости свободного движения для моделирования транспортных потоков / Филиппов В.В., Смирнова Н.В. // Сучасні технології будівництва та експлуатації автомобільних доріг: матеріали міжнародної науково-технічної конференції. – Х:ХНАДУ, 2013. – С. 57– 61.
9. Филиппов В.В., Смирнова Н.В. Моделирование транспортных потоков на дорогах II – IV категорий: монография – М.: ХНАДУ, 2014. – 200 с.

УДК 331.461:65.011.3

Клевцова Л.Г., Нестеренко О.В., Косенко Н.О.

Харківський національний університет будівництва та архітектури

СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ОЦІНКИ ПРОФЕСІЙНИХ РИЗИКІВ У БУДІВНИЦТВІ

Політика підприємства в галузі охорони праці повинна спрямовуватися на послідовне зниження рівня шкідливих та небезпечних виробничих факторів з урахуванням масштабу ризиків виникнення нещасних випадків і професійних захворювань. Основним завданням впровадження

системи управління охорони праці (СУОП) є проведення коригуючих заходів для зменшення рівня професійного ризику на виробництві [1–4].

Оцінка професійного ризику проводиться з урахуванням величини експозиції останніх показників стану здоров'я і