УДК 656.11

© Р. В. Андронов, канд. техн. наук, доцент

© Е. Э. Леверенц, аспирант

© В. В. Морозов, аспирант

(Тюменский индустриальный университет)

E-mail: aroma77777@mail.ru, eduardleverenz@gmail.ru,
morozov1990_72@mail.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2017-14-4-194-200

© R. V. Andronov, PhD in Sci. Tech., Associate Professor

© E. Eh. Leverents, post-graduate student

© V. V. Morozov, post-graduate student

(Tyumen Industrial University)

E-mail: aroma77777@mail.ru, eduardleverenz@gmail.ru,
morozov1990_72@mail.ru

ПРИМЕНЕНИЕ АДАПТИВНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ НА ПЕРЕСЕЧЕНИИ ГОРОДСКИХ УЛИЦ В СРАВНЕНИИ С УСТРОЙСТВОМ РАЗВЯЗКИ В РАЗНЫХ УРОВНЯХ

APPLICATION OF ADAPTIVE TRAFFIC REGULATION SYSTEM AT THE CITY STREET INTERSECTIONS IN COMPARISON WITH THE JUNCTION ARRANGEMENT ON DIFFERENT LEVELS

Рассматриваются результаты внедрения системы адаптивного управления светофорным регулированием «Спектр 2.0» на одном из регулируемых пересечений улиц в Тюмени. Делается вывод о ее эффективности в сравнении как с жестким регулированием, так и с устройством двухуровневой развязки.

Ставится дальнейшая задача по определению эффективной области применения адаптивного регулирования в дополнение или вместо применения мероприятий по переустройству пересечений, в том числе устройства развязок, что повысит конечную эффективность мер по изменению организации движения и переустройству пересечений и даст больший интегральный эффект для общества.

Ключевые слова: регулируемые пересечения, задержки транспортных средств, заторы, транспортные пересечения в разных уровнях, адаптивное управление движением.

The paper considers the results of introduction of the «Spectrum 2.0» adaptive control traffic regulation system at one of the controlled intersections in the city of Tyumen. The conclusion is made about the effectiveness of this system in comparison with both the rigid regulation and the two-level junction arrangement. The authors set a further task aimed at determining the effective area of adaptive regulation application in addition to or instead of applying measures for the reconstruction of intersections, including junction arrangement, which will increase the ultimate effectiveness of measures on changing the traffic organization and reconstruction of intersections and will have a greater integral effect for citizens.

Keywords: controlled intersections, vehicle delays, traffic jams, transport interchanges on different levels, adaptive traffic control system.

Несмотря на экономические санкции по отношению к РФ, в крупных и крупнейших городах продолжают сохраняться высокие темпы роста автомобилизации, что неизбежно влечет за собой увеличение транспортных задержек, снижение уровня безопасности, негативное влияния на экологию в виде загрязнения воздуха, шума и пр. В конечном итоге это приводит к снижению

социального комфорта, статуса города и, как следствие, оттоку капиталов и инвестиций.

Поэтому перед администрацией города и ученым сообществом встает задача о разрешении данной проблемы с наименьшими затратами и наибольшей эффективностью.

В зарубежной и отечественной практике к настоящему времени сложилось три группы мер,

которые так или иначе дают положительный эффект при применении: дорожно-строительные меры, организационно-административные и меры, связанные с внедрением интеллектуально-транспортных и автоматизированных систем.

Необходимо определить наиболее рациональное направление для дальнейших действий.

Организационно-административные меры можно классифицировать на две подгруппы: стимулирование развития альтернативных видов перемещения (общественный транспорт, велосипедный транспорт, создание пешеходных зон и т. д.) и применение «карательных» мер по отношению к владельцам частных транспортных средств (повышение налогов и штрафов, сужение дорог, ликвидация парковочных мест).

Здесь необходимо отметить, что первую подгруппу мер применить в части некоторых территорий РФ порой не представляется возможным ввиду особенности климатических условий. К примеру, на территории города Тюмени уже имеют место велосипедные дорожки и пешеходные тротуары, оборудованные в соответствии с действующими ГОСТами, однако ввиду сурового климата пользоваться ими круглогодично не представляется возможным. Также с 2014 г. транспортная система города включает в себя многокилометровые выделенные полосы для общественного транспорта, что помогло увеличить скорость транспортного сообщения для жителей. Но, к сожалению, данная мера не ответила на ключевой вопрос — что делать с уже имеющимся транспортом? В настоящее время автомобиль для жителей города является не только средством передвижения, но и визитной карточкой, подчеркивающей статус владельца. Поэтому данная мера не принесла значительных результатов.

Касательно второй подгруппы мероприятий можно отметить следующее. Существенное повышение штрафов на территории РФ произошло не так давно, что немного выправило ситуацию с безопасностью дорожного движения, но существенно не снизило общий рост числа транспортных средств на улично-дорожной сети. Кроме того, парковочные места в центре Тюмени стали платными, количество бесплатного парковочного пространства крайне ограничено, во многих местах парковка категорически за-

прещена, данные районы круглосуточно патрулируют сотрудники ДПС совместно со службой эвакуации. При этом желания передвигаться на частном транспорте у жителей города меньше не стало, о чем свидетельствуют километровые заторы и низкая скорость передвижения по городу даже на коротких перегонах. Касаемо ликвидации парковочных мест — не совсем понятно, как будет осуществляться работа грузового транспорта, единственного вида транспорта, работающего по принципу «доставка от двери до двери», и спецтехники, играющей немаловажную роль в экономике города, области, страны.

В связи с этим наиболее целесообразно рассмотреть применение дорожно-строительных мер (расширение уже имеющейся проезжей части, строительство новых дорог, мостов, развязок, парковочных мест и т. д.) и внедрение интеллектуально-транспортных систем (применение автоматизированных систем управления дорожным движением совместно со средствами регулирования, перераспределения и управления транспортными потоками и т. д.).

В городе Тюмени по состоянию на апрель 2017 г. расположено 312 регулируемых пересечений. Поэтому предпринятые мероприятия должны не только разрешать проблему формирования заторов, но и сохранить при этом должный уровень безопасности дорожного движения, а в идеале и повысить его и в конечном итоге привести к реализации концепции так называемого «города, удобного для жизни» [1].

Применение дорожно-строительных мер в виде устройства развязки, безусловно, ликвидирует регулируемое пересечение, что сократит транспортные задержки и посредством снижения числа конфликтных точек обеспечит должный уровень безопасности. Однако данные мероприятия реализуются за очень продолжительное время и являются дорогостоящими, что в условиях экономической ситуации создает вопрос о целесообразности устройства развязки. При этом, как показывает динамика применения данных мер, реконструкция одного пересечения приведет к перемещению заторов на близлежащие объекты. Также положение усугубить может так называемый парадокс Льюиса–Могриджа [2], который гласит: «Чем больше и шире дороги, тем больше машин и пробок».

На сегодняшний момент актуальной является задача по обоснованию инвестиций в реконструкцию объектов УДС, так как каждое пересечение и улица любого города имеют свои особенности, связанные с планировочными решениями, движением и динамикой транспортных потоков, характеристиками светофорного регулирования и др.

Ситуация дополняется также тем, что не всегда обоснованным будет являться решение именно о переустройстве пересечения. Также может сложиться так, что с задачей вполне может справиться оптимизация режимов светофорного регулирования. Данное направление активно развивается в последние годы и в ряде случаев зарекомендовало себя альтернативой применению дорогостоящих мероприятий по переустройству и реконструкции.

В последнее время в Тюмени на основных магистральных улицах вводится автоматизированная система управления дорожным движением (АСУДД) «Спектр» 2.0, которая включает в себя блок адаптивного управления светофорным регулированием. Первичная информация,

полученная с видеодетекторов TrafCam, обрабатывается в управленческом центре. Основной принцип работы системы заключается в поиске так называемого разрыва в потоке, когда улавливается конец разъезжающейся очереди и интервал между проходящими автомобилями резко становится большим (более 5 с). Этот момент считается оптимальным для смены сигналов светофора и для конечного повышения пропускной способности пересечения (рис. 1).

На примере регулируемого пересечения ул. Дружбы – ул. Мельникайте (Т-образное примыкание) в Тюмени можно рассмотреть, как применение адаптивного управления светофорным регулированием позволило значительно снизить остроту транспортных проблем на отдельном пересечении (рис. 2).

До введения адаптивного регулирования светофорное регулирование на пересечении осуществлялось по двум жестким программам, которые действовали в разное время суток.

Была поставлена задача об определении пропускной способности пересечения и в дальнейшем — об определении суммарных задержек

Рис. 1. Мониторинг транспортного потока системой Spectrum 2.0 через видеодетекторы TrafCam

Рис. 2. Общие данные по полосам и направлениям движения на пересечении

и транспортных потерь на нем при двух вариантах регулирования — адаптивном и жестком.

Расчет пропускной способности для жесткого регулирования проводился согласно [3] на основании фиксированных продолжительности фаз.

При расчете пропускной способности направлений движения для адаптивного регулирования велась итоговая статистика по фактической продолжительности фаз по целому времени суток. Далее на основании формулы Тидвелла [4] вычислялось наибольшее количество автомобилей, которое может пропустить направление по каждой фазе. Общий смысл данной методики за-

ключается в том, что после 4 с, прошедших от начала разрешающей фазы, интервал между автомобилями по одной полосе становится равным 2 с. Похожие положения закреплены в [5]. Затем данные объединялись по часам. Данный способ определения пропускной способности был применен из-за практической неприменимости методики, используемой в [3] для расчета пропускной способности регулируемого пересечения при адаптивном управлении. Сведения об общей пропускной способности приведены в таблице.

В дальнейшем по полученным данным согласно [5] были рассчитаны общие задержки транс-

Значения пропускной способности по направлениям движения на пересечении улиц

Номер направления	Максимальная расчетная пропускная способность, авт./ч			
	Утренний час пик		Вечерний час пик	
	при жестком регулировании	при адаптивном регулировании	при жестком регулировании	при адаптивном регулировании
0	1150	1578	1302	1551
1	478	790	478	747
2	478	790	478	747
3	1063	1440	1063	1417
4	1063	1376	1063	1260
5	1107	1295	1258	1412
6	478	704	629	937
7	478	704	629	937

портных средств на пересечении для двух видов регулирования.

Для рассматриваемого пересечения также имеется проектная документация по устройству развязки в разных уровнях с рассчитанной сметной стоимостью строительства, которая составляет 1826,87 тыс. руб.

Запланированное строительство транспортной развязки в двух уровнях позволит избежать существования заторов на данном узле, но будет являться дорогостоящим мероприятием, поэтому первоочередной мерой для улучшения дорожной ситуации можно считать применение адаптивного управления светофорным регулированием. Эти два варианта можно условно называть конкурирующими.

По методике, изложенной в [6, 7], и используя данные по транспортным потокам и конечной стоимости мероприятий по оборудованию узла системой видеодетекторов или устройству и содержанию развязки, можно рассчитать экономическую эффективность от конкурирующих вариантов. Расчет проводился по автотранспортным затратам и потерям пассажиров в пути.

Расчеты на 20 лет позволяют спрогнозировать совокупную выгоду от устройства развязки на 2037 г. в размере 964 млн руб., а ее окупаемость —

на 14-й год. Система АСУДД окупается уже на второй год, но суммарный совокупный эффект от ее применения будет меньшим (рис. 3).

Предлагается рассматривать данную организацию дорожного движения (адаптивное регулирование) как эффективный «промежуточный» этап перед полной реконструкцией регулируемых пересечений по типу развязки в разных уровнях в случае дальнейшего значительного роста интенсивности движения либо применять вместо масштабных мероприятий по реконструкции в случае нахождения объекта в зоне плотной застройки или центральной части города. Также адаптивное регулирование может применяться вместе с мерами по переустройству транспортных узлов, увеличению количества полос движения и др.

Предлагается в дальнейшем технико-экономическое обоснование области применения адаптивного регулирования в дополнение или вместо применения мероприятий по переустройству пересечений, в том числе устройства развязок в разных уровнях при различных соотношениях интенсивностей движения по пересекаемым улицам и различного количества полос движения на подходе к пересечению.

Рис. 3. Данные по совокупной выгоде и сроку окупаемости

На основании анализа полученных данных можно сделать следующие предварительные выводы:

1. Современное состояние транспортной ситуации в крупных и крупнейших городах России характеризуется дальнейшим увеличением автомобилизации и риском роста связанных с этим проблем (заторы, низкая средняя скорость движения, шум и др.).

2. Для решения связанных с перегрузкой УДС проблем, наряду с кардинальными мероприятиями по переустройству городских пересечений, подходит сравнительно малозатратное мероприятие по внедрению адаптивного управления светофорным регулированием, позволяющее на 15–40 % повысить пропускную способность отдельных направлений движения на пересечении и, соответственно, снизить величину задержек и транспортных потерь.

3. Адаптивное регулирование является эффективным «промежуточным» этапом перед полной реконструкцией по типу развязки в разных уровнях в случае дальнейшего значительного роста интенсивности движения на пересечении либо может применяться вместо масштабных мероприятий по реконструкции в случае нахождения объекта в зоне плотной застройки, центральной части города и др.

4. В дальнейшем требуется обосновать рекомендуемую область применения адаптивного управления светофорным регулированием в дополнение или вместо применения мероприятий по переустройству пересечений, в том числе устройства развязок в разных уровнях при различных соотношениях интенсивностей движения по пересекаемым улицам и различного количества полос движения на подходе к пересечению.

Библиографический список

1. Вучик В. Р. Транспорт в городах, удобных для жизни. М.: Территория будущего, 2011. 413 с.
2. Afimeimounga H., Solomon W., Ziedins I. The Downs-Thomson paradox: existence, uniqueness and stability of user equilibria // *Queueing Systems*. 2005. Т. 49. № 3–4. С. 321–334.
3. ОДМ 218.2.020–2012. Методические рекомендации по оценке пропускной способности автомобильных дорог. М.: ФДА «Росавтодор», 2012. 148 с.
4. Tidwell J. E., Hamphreys J. E. Relation of signalized Interactio Level of service to Failure Rate and Average Individual Way. *Highway Res.*, 1970. Pp. 107–113.
5. ОДМ 218.6.003–2011. Методические рекомендации по проектированию светофорных объектов на автомобильных дорогах. М.: ФДА «Росавтодор», 2013. 69 с.
6. Андронов Р. В. Расчет экономических потерь пользователей улично-дорожной сети на регулируемых пересечениях для обоснования мероприятий по реконструкции и улучшению организации движения // *Научно-технический вестник Поволжья*. 2014. № 4. С. 38–40.
7. ОДМ 218.2.028–2012. Методические рекомендации по технико-экономическому сравнению вариантов дорожных одежд. М.: ФДА «Росавтодор», 2013. 57 с.
8. Дидковская Л. С. Обоснование области эффективного функционирования адаптивных методов светофорного регулирования через оценку параметров транспортного потока // *Proceedings of the International Scientific and Practical Internet Conference «Topical Problems of Modern Science and Possible Solutions»* (September 22–24, 2014). Dubai: Rost Publishing, 2014. Pp. 48–52.
9. Astarita V., Giofré V. P., Vitale A. A Cooperative Intelligent Transportation System for Traffic Light Regulation Based on Mobile Devices as Floating Car Data (FCD) // *American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences (ASRJETS)*. 2016. Т. 19. № 1. Pp. 166–177.
10. Lavrenz S. M., et al. Characterizing signalized intersection performance using maximum vehicle delay. Lyles School of Civil Engineering Faculty Publications. Paper 17. 2015. URL: <http://docs.lib.purdue.edu/civeng/17/>
11. Якимов М. Р., Арепьева А. А. Транспортное планирование: Особенности моделирования транспортных потоков в крупных российских городах. М.: Логос, 2016. 280 с.
12. Бекмагамбетов М. М., Кочетков А. В. Анализ современных программных средств транспортного моделирования // *Журнал автомобильных инженеров*. 2012. № 6. С. 25–34.
13. Дрогалева Е. В., Сухина Л. А., Хайрулина Р. Ф., Яшина Е. Ю. Выбор объекта локального исследования в целях повышения эффективности организации дорожного движения в центре крупного города: сб. науч. тр. Междунар. науч.-практ. конф. «Новые технологии — нефтегазовому региону». Тюмень: ТИУ, 2016. С. 172–175.
14. Данилов О. Ф., Осипенко А. М., Шанхоев З. Ш., Галенко С. В. Обзор существующих методик светофорного регулирования: сб. науч. тр. X Междунар. науч.-практ. конф. Тюмень: ТИУ, 2017. С. 361–365.

References

1. Vuchik V. R. *Transport v gorodakh, udobnykh dlya zhizni* [Transportation for livable cities]. Moscow, Territoriya Budushchego Publ., 2011, 413 p.
2. Afimeimounga H., Solomon W., Ziedins I. The Downs-Thomson paradox: existence, uniqueness and stability of user equilibria. *Queueing Systems*, 2005, vol. 49, no. 3–4, pp. 321–334.
3. ODM 218.2.020–2012. *Metodicheskie rekomendatsii po otsenke propusknoy sposobnosti avtomobil'nykh dorog* [ODM 218.2.020–2012. Methodical recommendations on assessment of traffic flow capacity of highways]. Moscow, Rosavtodor Publ., 2012, 148 p.
4. Tidwell J. E., Humphreys J. E. *Relation of Signalized Intersection Level of Service to Failure Rate and Average Individual Way*. Highway Res. Publ., 1970, pp. 107–113.
5. ODM 218.6.003–2011. *Metodicheskie rekomendatsii po proektirovaniyu svetofornykh ob'ektov na avtomobil'nykh dorogakh* [ODM 218.6.003–2011. Methodical recommendations on design of traffic light objects at highways]. Moscow, Rosavtodor Publ., 2013, 69 p.
6. Andronov R. V. *Raschet ehkonomicheskikh poter' pol'zovateley ulichno-dorozhnoy seti na reguliruemyykh peresecheniyakh dlya obosnovaniya meropriyatiy po rekonstruktsii i uluchsheniyu organizatsii dvizheniya* [Calculation of economic losses of street road network users at controlled city intersections for substantiation of taking measures for reconstruction and improvement of the traffic organization]. *Nauchno-tekhnicheskiy vestnik Povolzh'ya – Scientific and Technical Bulletin of the Volga Region*, 2014, no. 4, pp. 38–40.
7. ODM 218.2.028–2012. *Metodicheskie rekomendatsii po tekhniko-ehkonomicheskomu sravneniyu variantov dorozhnykh odezhd* [ODM 218.2.028–2012. Methodical recommendations on technical and economic comparison of road clothes options]. Moscow, Rosavtodor Publ., 2013, 57 p.
8. Didkovskaya L. S. *Obosnovanie oblasti ehffektivnogo funktsionirovaniya adaptivnykh metodov svetofornogo regulirovaniya cherez otsenku parametrov transportnogo potoka* [Substantiation of introducing the areas of effective functioning of adaptive methods of traffic light regulation through assessment of traffic flow parameters]. *Proc. of the Int. Scientific and Practical Internet Conf. "Topical Problems of Modern Science and Possible Solutions"*. Dubai, Rost Publ., 2014, pp. 48–52.
9. Astarita V., Giofré V. P., Vitale A. A Cooperative Intelligent Transportation System for Traffic Light Regulation Based on Mobile Devices as Floating Car Data (FCD). *American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences (ASRJETS)*, 2016, vol. 19, no.1, pp. 166–177.
10. Lavrenz S. M., et al. *Characterizing signalized intersection performance using maximum vehicle delay*. Lyles School of Civil Engineering Faculty Publications, Paper 17, 2015. Available at: <http://docs.lib.purdue.edu/civeng/17/>
11. Yakimov M. R., Arep'eva A. A. *Transportnoe planirovanie. Osobennosti modelirovaniya transportnykh potokov v krupnykh rossiyskikh gorodakh* [Transport planning. Features of modeling traffic flows in the large Russian cities]. Moscow, Logos Publ., 2016, 280 p.
12. Bekmagambetov M. M., Kochetkov A. V. *Analiz sovremennykh programmnykh sredstv transportnogo modelirovaniya* [Analysis of modern software of transport modeling]. *Zhurnal avtomobil'nykh inzhenerov – Bulletin of Automobile Engineers*, 2012, no. 6, pp. 25–34.
13. Drogaleva E. V., Sukhina L. A., Khayrulina R. F., Yashina E. Yu. *Vybor ob'ekta lokal'nogo issledovaniya v tselyakh povysheniya ehffektivnosti organizatsii dorozhnogo dvizheniya v tsentre krupnogo goroda* [Selection of the local research object for the purpose of increasing the efficiency of traffic organization in the center of a large city]. *Trudy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. «Novye tekhnologii — neftegazovomu regionu»* [Proc. of the Int. sci.-pract. conf. "New technologies to the oil and gas region"]. Tyumen', TIU Publ., 2016, pp. 172–175.
14. Danilov O. F., Osipenko A. M., Shankhoyev Z. Sh., Galenko S. V. *Obzor sushchestvuyushchikh metodik svetofornogo regulirovaniya* [Review of the currently used techniques of traffic light regulation]. *Trudy X Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. [Proc. of the X Int. sci.-pract. conf.]*. Tyumen', TIU Publ., 2017, pp. 361–365.