УДК 656.1/.5

А. В. Баните

Д. С. Деряга

Высшая школа транспорта

Института машиностроения, материалов и транспорта,

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

О. В. Леоненко, канд. техн. наук

Кафедра «Транспортные и технологические машины»,

Белорусско-Российский университет

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ГОРОДСКОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ ПУТЕМ ВНЕДРЕНИЯ АДАПТИВНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ДОРОЖНЫМ ДВИЖЕНИЕМ

Статья посвящена перспективам повышения качества движения в узле городской улично-дорожной сети посредством внедрения интеллектуальных транспортных систем, в особенности автоматических систем управления дорожным движением (АСУДД). Проанализированы проблемы внедрения интеллектуальных транспортных систем в городских условиях с учетом действующей нормативной базы. Приведена классификация локальных АСУДД по возможностям адаптации светофорного регулирования к изменяющимся параметрам транспортных потоков. Для решения задачи целесообразности внедрения АСУДД предлагается методика, включающая в себя построение имитационных моделей для более точного прогнозирования эффекта от внедрения локальной АСУДД на рассматриваемом участке городской улично-дорожной сети. Применение методики продемонстрировано на примере пересечения проспекта Энгельса и Суздальского проспекта в Санкт-Петербурге. Проанализированы два варианта организации управления фазами светофорных объектов – статичного и адаптированного по времени суток. Оценено влияние внедрения АСУДД на среднюю скорость транспортных средств и характеристики заторов в рассматриваемом узле на основе имитационного моделирования в PTV Vissim. В соответствии с произведенным анализом описаны перспективы внедрения адаптивных локальных АСУДД в рассматриваемом транспортном узле.

Интеллектуальные транспортные системы, адаптивные системы управления дорожным движением, светофорное регулирование, улично-дорожная сеть

DOI: 10.20295/2412-9186-2021-7-4-565-583

Введение

Городские транспортные системы, включающие объекты транспортной инфраструктуры, транспортные средства, а также интеллектуальные транспортные системы, — важные элементы обеспечения устойчивого развития городов. Эффективность функционирования транспортной системы города напрямую

зависит от качества организации дорожного движения в улично-дорожной сети (УДС) – совокупности транспортных связей, по которым осуществляются грузовые и пассажирские перевозки [1]. Для решения задач оптимизации УДС представляется в виде ориентированного графа, узлами которого (узлами УДС) являются пересечения дорог, а ребрами – дороги. При этом организация движения в узлах УДС оказывает существенное влияние на качество движения по всей УДС города.

В настоящее время наблюдается значительный рост нагрузки на городские транспортные системы, вызванный влиянием совокупности следующих факторов:

1) увеличение плотности населения, связанное с трендом многоэтажного строительства, а также с возведением новых городов на месте бывших деревень и поселков;

2) ярко выраженная маятниковая миграция населения, приводящая к усугублению проблемы заторов в часы пик;

3) непрерывный рост автомобилизации. Согласно статистическим данным, в 2019 году в Санкт-Петербурге на 1000 человек приходилось 315 собственных легковых автомобилей [2].

Качество организации дорожного движения – фактор, определяющий надежность и безопасность индивидуальных поездок, пассажирских и грузовых перевозок [3].

В соответствии с транспортной стратегией Российской Федерации на период до 2030 года [4] необходимо повышать качество транспортных систем с помощью рационального распределения транспортных потоков, постепенно отходя от классического подхода – строительства новых дорог и развязок. Таким образом, приоритетным направлением развития УДС городов становится внедрение автоматизированных систем управления дорожным движением как части городских интеллектуальных транспортных систем (ИТС) [5].

В перспективе для эффективного управления транспортными системами необходим мониторинг и прогнозирование состояния их параметров [6–8]. Однако в случаях, когда транспортная система является масштабной (район, город), внедрение подобных систем может приводить к излишним затратам бюджета на внедрение ИТС.

В целях реализации национального проекта «Внедрение интеллектуальных транспортных систем, предусматривающих автоматизацию процессов управления дорожным движением в городских агломерациях, включающих города с населением свыше 300 тысяч человек (ИТС-300)» разработана программа внедрения ИТС [9] сроком до 2024 года. Оценка проектов по локальному внедрению АСУДД производится на основании комплекса критериев, но ведущая роль в оценивании отведена экономическим показателям и показателям технической оснащенности города, демонстрирующей его готовность к внедрению проектов ИТС. Оценивается, например, наличие таких подсистем, как метео-

мониторинг, мониторинг транспортных потоков, весогабаритного контроля транспортных средств.

Несмотря на качественную оценку локальных проектов, крайне малое внимание уделяется техническому эффекту от внедрения ИТС. Итогом может стать ситуация, когда проект формально отвечает всем требованиям, а после внедрения ИТС качественные показатели работы городской транспортной системы остаются неизменными или даже ухудшаются.

Один из важнейших этапов создания и внедрения ИТС — применение АСУДД, цель которых состоит в эффективном управлении светофорными объектами [10]. Можно выделить следующие варианты реализации АСУДД:

- статические светофорные объекты, для которых фазы рассчитываются на основании прогнозируемой нагрузки;
- адаптируемые по времени светофорные объекты, для которых характерно изменение фаз в определенное время суток с наибольшей транспортной активностью, однако эти фазы также статичны, т. к. отсутствует обратная связь по действительным показателям интенсивности потоков;
- адаптируемые светофорные объекты с обратной связью по интенсивности транспортного потока;
- локальные АСУДД, объединенные в системы [13].

В качестве обратной связи для управления фазами светофоров используются данные об интенсивности транспортных потоков. Эти данные могут быть получены с помощью различных интеллектуальных датчиков: индукционных петель, камер с возможностью распознавания транспортных средств, и т. д. [12].

Несмотря на всю перспективность автоматизированных систем управления, не для всех пересечений транспортных потоков будет эффективно их внедрение, поскольку значительные временные задержки при движении транспортных средств на этих пересечениях могут быть обусловлены специфической конфигурацией дорог, плохим состоянием дорожного покрытия, исчерпанием пропускной способности дорог [13]. Соответственно, применение АСУДД на таких участках неоправданно.

Цель работы — определить целесообразность внедрения локальной АСУДД на конкретном участке УДС Санкт-Петербург — пересечении проспекта Энгельса и Суздальского проспекта. Для достижения цели поставлены задачи:

- 1) создать методику исследования пересечений;
- 2) провести анализ параметров транспортных потоков на пересечении проспекта Энгельса и Суздальского проспекта;
- 3) выбрать эффективный вариант реализации АСУДД;
- 4) оценить целесообразность внедрения локальной АСУДД.

Выбор пересечения обусловлен высокой интенсивностью транспортных потоков, а также значимой ролью во внутригородских корреспонденциях. Исследование проводилось с помощью программы имитационного моделирования PTV Vissim.

1. Методика исследования

Методика исследования участка УДС города с целью оценки целесообразности внедрения АСУДД состоит из нескольких этапов.

1. Выбор участка УДС

Анализируются открытые статистические источники о состоянии транспортной системы города для выявления участков УДС с неудовлетворительными показателями транспортного движения. В результате для рассмотрения выбирается конкретный участок среди множества выявленных.

2. Сбор исходных данных и построение имитационной модели

Производится сбор исходных данных на основе визуального метода с последующим построением графических схем рассматриваемого участка УДС. На основании собранных данных создается имитационная модель пересечения с ее последующей калибровкой.

3. Выявление «узких мест» на основе данных моделирования

Под «узкими местами» понимаются элементы пересечения с недостаточной пропускной способностью, приводящие к возникновению транспортных заторов.

На этом этапе происходит сбор статистики имитационного моделирования по всему рассматриваемому участку УДС. На основе полученной статистики определяются «узкие места», после чего идет сбор конкретизирующей статистики по каждому такому месту рассматриваемого участка УДС.

4. Анализ возможных вариантов для расшивки «узких мест»

Выявляются возможные варианты для оптимизации «узких мест» с последующим проведением модельных экспериментов путем реализации каждого из вариантов и сбором соответствующей статистики. На ее основании делается сравнительный анализ рассмотренных вариантов и выбор наиболее эффективного варианта реализации АСУДД.

5. Анализ целесообразности внедрения АСУДД

Анализируется вся полученная статистика предыдущих этапов и определяется целесообразность внедрения АСУДД на рассматриваемом участке УДС.

К исходным данным рассматриваемого пересечения отнесены интенсивности транспортного потока, продолжительность светофорных фаз, конфигурация пересечения, правила дорожного движения, действующие на участке. Средне-часовая интенсивность определяется согласно ГОСТ 32965–2014 «Дороги автомобильные общего пользования» визуальным методом. Метод заключается в визуальном определении интенсивности движения и фиксации вручную или на электронном носителе количества транспортных средств за единицу времени (в настоящем исследовании используется мера измерения 1 час). Преимущества метода — экономичность, мобильность, возможность получения данных без специального оборудования и навыков [14, 15]. Из недостатков можно выделить низкую точность и большую зависимость от субъективных обстоятельств. Также

для определения исходных данных применяется метод натурного обследования транспортных потоков [16].

2. Результаты исследования

На основании обследования выбранного объекта УДС была построена принципиальная схема потоков (рис. 1), установлена схема организации дорожного движения (в упрощенном виде представлена на рис. 2) и определены места постоянной дислокации технических средств организации дорожного движения. Построенная принципиальная схема транспортных потоков позволяет выделить все имеющиеся направления движения транспортных средств, определить конфликтные точки и собрать статистические данные о характеристиках транспортных потоков путем натурного обследования.

Упрощенная схема организации движения отражает взаимное расположение технических средств организации дорожного движения, на основании которого в дальнейшем была построена имитационная модель пересечения в текущей конфигурации.

По визуальному методу была определена среднечасовая интенсивность транспортных потоков по всем направлениям, представленная в таблице 1.

Определение продолжительности светофорных фаз выполнялось также путем натурного обследования, результаты измерений представлены на рисунке 3.

После сбора всех необходимых данных была построена имитационная модель исследуемого пересечения (рис. 4) и произведена калибровка модели путем

Рис. 1. Принципиальная схема потоков на пересечении проспекта Энгельса и Суздальского проспекта

Рис. 2. Упрощенная схема организации дорожного движения на пересечении проспекта Энгельса и Суздальского проспекта в текущей конфигурации

Таблица 1. Среднечасовая интенсивность транспортных потоков

Вид транспорта	Направление	Среднечасовая интенсивность, 1/ч
Общественный (трамвай)	1	60
Индивидуальный	2	3000
Индивидуальный	3	2800
Индивидуальный	4	2000
Индивидуальный	5	1500

последовательных итерационных вычислений и уточнения исходных данных для соответствия параметров модели реальному пересечению [17].

По результатам моделирования произведена оценка пропускной способности узла транспортной системы и проанализирована возможность осуществления перераспределения транспортных потоков. На рисунке 5 представлены эпюры средних скоростей на исследуемом пересечении.

Рис. 3. Диаграмма светофорного регулирования с указанием времени начала и окончания фаз, с

Рис. 4. Имитационная модель пересечения проспекта Энгельса и Суздальского проспекта в существующей конфигурации

Согласно результатам моделирования (см. рис. 5) и наблюдениям за реальным объектом, наиболее «узким» местом является левый поворот с Суздальского проспекта на проспект Энгельса, вследствие чего замедляется движение на всем участке дороги. Дальнейшие исследования производились для этого участка.

Для сбора статистических данных в процессе моделирования использовались следующие измерительные элементы PTV Vissim: счетчик длины затора,

Рис. 5. Эпюры средних скоростей на пересечении проспекта Энгельса и Суздальского проспекта в текущей конфигурации

Рис. 6. Месторасположение измерительных элементов (счетчиков) на модели пересечения проспекта Энгельса и Суздальского проспекта в текущей конфигурации

Таблица 2. Результаты моделирования пересечения проспекта Энгельса и Суздальского проспекта в текущей конфигурации

№	Измеряемый параметр	Полученное значение
1	Среднее время в пути транспортного средства, с	91,51
2	Средняя скорость транспортного средства, км/ч	24,86
3	Среднее время простоя транспортного средства, с	37,43
4	Средняя длина затора, м	207,02
5	Среднее время нахождения транспортного средства в заторе, с	159,42

счетчики времени в пути транспортных средств и измерительные пункты. Расположение счетчиков в модели представлено на рисунке 6.

Средние параметры движения транспортных средств, полученные в результате моделирования 60 минут функционирования рассматриваемой транспортной системы в текущей конфигурации, представлены в таблице 2.

С целью снижения транспортной нагрузки на «узкое» место рассматриваемого пересечения были рассмотрены варианты совершенствования организации движения:

- синхронизация фаз светофорных объектов Г и А в зоне левого поворота с Суздальского проспекта на проспект Энгельса;
- организация дополнительной зоны разворота, которая теоретически должна снизить нагрузку на перекресток на 5 %;
- синхронизация фаз светофорных объектов и организация дополнительной зоны разворота из предыдущих вариантов одновременно.

Для синхронизации циклов светофорных объектов в зоне левого поворота и смежных участков определялись значения времени зеленой фазы согласно ОДМ 218.6.003—2011 «Методические рекомендации по проектированию светофорных объектов на автомобильных дорогах».

Длительность промежуточного такта для левой стрелки светофорного объекта Г рассчитывалась по формуле:

$$t_{\Pi} = \frac{V_a}{7,2 \cdot a_t} + \frac{3,6(l_i + l_a)}{V_a} = \frac{40}{7,2 \cdot 4} + \frac{3,6(50 + 4)}{40} \approx 6 \text{ с},$$

где V_a — средняя скорость транспортных средств при подходе к перекрестку и в зоне перекрестка, км/ч; a_t — среднее замедление транспортных средств при включении запрещающего сигнала, м/с²; l_i — расстояние до дальней конфликтной точки, м; l_a — средняя длина транспортного средства, м.

Для светофорного объекта А длительность промежуточного такта равна:

$$t_{\text{п}} = \frac{60}{7,2 \cdot 4} + \frac{3,6(27+4)}{60} \approx 4 \text{ с.}$$

Для светофорного объекта В длительность промежуточного такта равна:

$$t_{\text{п}} = \frac{20}{7,2 \cdot 4} + \frac{3,6(20+4)}{20} \approx 5 \text{ с.}$$

По причине низкой пешеходной проходимости в зоне перекрестка промежуточный такт не определялся.

Фазовые коэффициенты для зеленой фазы рассматриваемых светофорных объектов рассчитывались по формуле [18]:

$$y_n = \frac{N_n}{M_n},$$

где N_n — интенсивность движения на рассматриваемом направлении по данным натурных замеров, $N_n = 450$ авт./час;

M_n — поток насыщения этого направления, приняли $M_n = 1900$ авт./час для одной полосы шириной 3,5–3,6 м, согласно методическим рекомендациям по разработке и реализации мероприятий по организации дорожного движения.

В результате расчета фазовый коэффициент для светофорного объекта Г равен 0,24, для объектов А и В — 0,31 и 0,19 соответственно.

Длительность цикла светофорного регулирования определялась по формуле:

$$T_{\text{ц}} = \frac{(1,5 \cdot t_{\text{п1...п2}} + 5)}{(1 - y_{\text{п1...п2}})} = \frac{(1,5 \cdot (6 + 4 + 5) + 5)}{(1 - (0,24 + 0,31 + 0,19))} \approx 115 \text{ с.}$$

Согласно ГОСТ 23457–86, длительность цикла светофорного регулирования должна лежать в пределах $25 \text{ с} \leq T_{\text{ц}} \leq 120 \text{ с}$.

Суммарная длительность основных тактов равна [19]:

$$T_{\text{о}} = \frac{t_{\text{п1...п2}} \cdot (0,5 + y_{\text{п1...п2}}) + 5}{1 - (y_{\text{п1...п2}})} = \frac{15 \cdot 1,24 + 5}{1 - 0,74} = 90 \text{ с.}$$

Длительность зеленой фазы определяли с учетом особенностей конкретного перекрестка по формуле:

$$t_o = T_{\text{о}} \cdot \frac{y_{ni}}{y_{\text{общ}}},$$

где $y_{\text{общ}}$ — сумма фазовых коэффициентов.

Для светосигнальных устройств Г, А, В значения зеленой фазы равны 30, 40, 25 секунд соответственно.

По правилам дорожного движения водители, поворачивающие по зеленой стрелке, должны уступить дорогу пешеходам и транспорту, движущемуся по основному сигналу светофора. Ввиду того, что не более 7 % транспортного потока по направлению 5 (см. рис. 2) двигаются одновременно с транспортными средствами, поворачивающими по левой стрелке на проспект Энгельса, была увеличена продолжительность зеленого сигнала до 50 с. Одновременно была увеличена продолжительность зеленого сигнала светофора В на 10 с. Итоговые фазы светофорного регулирования представлены на рисунке 7.

На рисунке 8 представлена организация дополнительной зоны разворота, расположенной в 280 м от рассматриваемого перекрестка.

Рис. 7. Рассчитанные фазы светофорного регулирования на пересечении проспекта Энгельса и Суздальского проспекта

Рис. 8. Организация дополнительной зоны разворота на Суздальском проспекте

В результате моделирования всех трех вариантов совершенствования организации движения на «узком» месте рассматриваемого пересечения были получены средние параметры движения транспортных средств, представленные в таблице 3. Графическая интерпретация полученных результатов приведена на рисунке 9.

В результате анализа полученных результатов было выявлено, что синхронизация фаз по сравнению с существующим вариантом сокращает среднее время в пути на 45 %, а показатели средней скорости и времени простоя улучшаются на 10 % и 18 % соответственно. Строительство дополнительной зоны разворота показывает улучшения в сравнении с существующим вариантом до следующих значений: время в пути — 18 %, средняя скорость — 9 %, время простоя — 14 %, однако практически не улучшает ситуацию с показателем времени простоя.

Совместный вариант использования синхронизации фаз и строительства дополнительной полосы разворота показывает наилучшие показатели, но в сравнении с применением только синхронизации фаз — это преимущество лежит в пределах 10 %, и показатель времени в пути практически одинаков.

С учетом необходимости финансовых вложений в строительство дополнительной полосы разворота, вероятного увеличения транспортных задержек

Таблица 3. Результаты моделирования пересечения проспекта Энгельса и Суздальского проспекта в текущей конфигурации с вариантами совершенствования организации движения

	Текущая конфигурация	1-й вариант: синхронизация фаз	2-й вариант: зона разворота	3-й вариант: разворот совместно с синхронизацией
Среднее время в пути транспортного средства, с	91,51	50,68	75,55	47,63
Средняя скорость транспортного средства, км/ч	24,86	27,68	26,75	29,51
Среднее время простоя транспортного средства, с	37,43	30,72	32,35	26,29
Средняя длина затора, м	207,02	170,01	152,50	91,62
Среднее время нахождения транспортного средства в заторе, с	159,42	86,40	133,68	50,71

Рис. 9. Диаграмма результатов моделирования пересечения проспекта Энгельса и Суздальского проспекта в текущей конфигурации с вариантами совершенствования организации движения

Рис. 10. Эпюры средних скоростей транспортных средств при синхронизации светофорных объектов на пересечении проспекта Энгельса и Суздальского проспекта

на рассматриваемом пересечении в процессе строительных работ, а также сравнительно небольшого улучшения показателей движения относительно варианта синхронизации фаз, требующего на данный момент только одноразовой коррекции фаз светофорных объектов, было принято решение отказаться от использования вариантов улучшения, связанных с организацией дополнительной зоны разворота.

Синхронизация фаз светофора проводилась для интенсивностей транспортных потоков, характеризующимися пиковыми нагрузками на рассматриваемом пересечении, а именно в часы пик. Предлагаемое решение для улучшения качества движения на рассматриваемом пересечении — синхронизация фаз светофорных объектов для обеспечения слаженности и уменьшения конфликтности транспортных потоков.

На рисунке 10 представлены эпюры средних скоростей для выбранного варианта организации движения — синхронизации светофорных объектов.

Представленные эпюры средних скоростей также подтверждают выводы о значительном улучшении движения на пересечении, несмотря на пиковые интенсивности. Зоны с низкими скоростями движения (до 10 км/ч) сформированы транспортными средствами, скапливающимися перед светофорными объектами. Из-за продолжительного цикла светофорного регулирования сокращение протяженности таких зон не представляется возможным.

С учетом полученного эффекта относительно движения на данном участке УДС наилучшим способом первоначального внедрения конфигурации АСУДД является светофорное регулирование, адаптированное по времени, т. е. совмещение двух режимов работы фаз светофорного регулирования. Во время пиковых нагрузок, совпадающих с утренними и вечерними часами пик, необходимо использовать синхронизированные фазы светофора, а в остальное время суток применять существующие фазы светофоров, рассчитанные на основании пропускной способности. Дальнейшее внедрение автоматизированной системы управления дорожным движением на исследованном участке улично-дорожной сети может быть целесообразно, т. к. даже незначительное управление фазами светофорных объектов привело к существенному улучшению качества дорожного движения.

Заключение

На основании предложенной методики оценки целесообразности внедрения АСУДД был проведен анализ проблемного пересечения проспекта Энгельса и Суздальского проспекта в Санкт-Петербурге, рассмотрены варианты улучшения качества движения, предложена эффективная относительно выявленных интенсивностей движения конфигурация АСУДД для последующего внедрения.

Эффективной конфигурацией оказалось применение адаптированного по времени светофорного регулирования, позволяющего корректировать движение на пересечении в зависимости от транспортных нагрузок, но не имеющего обратной связи, соответственно и без возможности влиять на процесс управления дорожным движением. Внедрение адаптивного светофорного регулирования с обратной связью позволит контролировать и распределять потоки транспортных средств с большей точностью благодаря информирова-

нию о состоянии пересечения. В то же время вложения в организацию такого регулирования будут существенно выше предлагаемого регулирования без обратной связи. При использовании более экономичного варианта улучшения качества движения небольшими вложениями производится пробный прогон применения простейших интеллектуальных транспортных систем. Это может сыграть огромную роль в дальнейшем анализе пересечения для последующего внедрения локальных проектов АСУДД.

Вследствие предположительного установления средней скорости на большей части рассматриваемого пересечения не ниже 10–20 км/ч произойдет улучшение важных показателей городского комфорта и экологичности (снижение уровня шума и расхода топлива), что в свою очередь может привести к увеличению привлекательности окрестных земель и последующего появления деловых зон.

Не существует универсального решения для городских УДС, однако представленное исследование позволило сделать определенный вывод о необходимости внедрения интеллектуальных транспортных систем. Решения такого рода необходимо принимать комплексно, ожидаемый эффект и затраты должны находиться как минимум в точке безубыточности, несмотря на то что итоговое результирующее воздействие транспортных проектов на совокупность социальных и экономических факторов довольно сложно оценить.

Библиографический список

1. Горев А. Э. Основы транспортного моделирования / А. Э. Горев, К. Бёттгер, А. В. Прохоров, Р. Р. Гизатуллин. – СПб.: Издательско-полиграфическая компания «КОСТА», 2015. – 118 с.
2. Федеральная служба государственной статистики. – URL: <https://rosstat.gov.ru/> (дата обращения: 29.07.2021). – Текст: электронный.
3. Стахин Д. Р. Метод по определению рисков при перевозке опасных грузов / Д. Р. Стахин, Д. Г. Плотников // Современное машиностроение. Наука и образование. – 2020. – № 9. – С. 517–528. DOI: 10.1872/MMF-2020-36.
4. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года [Распоряжение Правительства РФ от 22 ноября 2008 года № 1734-р], 2008.
5. Плотников Д. Г. Подход к оптимизации структуры системы управления транспортными потоками / Д. Г. Плотников, А. В. Баните, Д. Р. Стахин // Транспорт России: проблемы и перспективы–2020: материалы Международной научно-практической конференции. – СПб.: ИПТ РАН, 2020. – С. 45–48.
6. Ефанов Д. В. Универсальные системы мониторинга как жизненно важные составляющие высокоиммунных транспортных систем / Д. В. Ефанов, Г. В. Осадчий, Д. Г. Плотников, А. В. Шинкаренко // Транспорт Российской Федерации. – 2020. – № 5 (90). – С. 20–26.
7. Осадчий Г. В. Принципы построения универсальной платформы непрерывного мониторинга технического состояния инфраструктурных объектов / Г. В. Осадчий, А. В. Шинкаренко, Д. Г. Плотников, А. В. Баните // Автоматика на транспорте. – 2020. – Т. 6. – № 4. – С. 484–498. DOI: 10.20295/2412-9186-2020-6-4-484-498.

8. *Куфтинова Н. Г.* Прогнозирование транспортных потоков агломераций на основе нейронной сети / Н. Г. Куфтинова, А. В. Остроух, Н. Е. Суркова, К. А. Баринев // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2020. – № 11. – С. 40–45. DOI: 10.25791/asu.11.2020.1235.
9. Методики оценки и ранжирования локальных проектов в целях реализации мероприятия «Внедрение интеллектуальных транспортных систем, предусматривающих автоматизацию процессов управления дорожным движением в городских агломерациях, включающих города с населением свыше 300 тысяч человек» в рамках федерального проекта «Общесистемные меры развития дорожного хозяйства» национального проекта «Безопасные и качественные автомобильные дороги», 2020. – 67 с.
10. *Akabane A.* Towards a distributed and infrastructure-less vehicular traffic management system / A. Akabane // Computer Communications. – 2020. – Т. 151. – С. 306–319.
11. *Chavhan S.* Prediction based traffic management in a metropolitan area / S. Chavhan, P. Venkataram // Journal of traffic and transportation engineering. – 2020. – Т. 7, № 4. – С. 447–466.
12. *Ефанов Д. В.* Система прогнозирования состояния переезда для мобильных навигационных устройств / Д. В. Ефанов, Д. Г. Плутников, Г. В. Осадчий // Автоматика, связь, информатика. – 2018. – № 9. – С. 15–19.
13. *Sathiyaraj R.* An efficient intelligent traffic light control and deviation system for traffic congestion avoidance using multi-agent system / R. Sathiyaraj, A. Bharathi // Transport. – 2020. – Т. 35, № 3. – С. 327–335.
14. *Якимов М. Р.* Инновационные технологии сбора данных интенсивности движения транспортных и пассажирских потоков / М. Р. Якимов // Инновационный транспорт. – 2016. – № 2 (20). – С. 38–41. DOI: 10.20291/2311-164X-2016-2-38-41.
15. *Бровин Н. Н.* Определение коэффициента погрешности при исследовании интенсивности транспортного потока натурным методом / Н. Н. Бровин // Управление качеством в транспортной и социальной сферах: Сборник научных трудов транспортного факультета по материалам ХLI студенческой научной конференции ОГУ, Оренбург, 2–9 апреля 2019 года / Под редакцией В. И. Рассохи. – Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2019. – С. 139–141.
16. *Андронов Р. В.* Определение интенсивности транспортных потоков при помощи системы баллов карт пробок / Р. В. Андронов, Д. А. Гензе, Е. Н. Легостаева, Е. В. Белоусова // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2019. – № 4. – С. 5–12. DOI: 10.15593/24111678/2019.04.01.
17. *Касаткина Е. В.* Компьютерное моделирование потоков в городской транспортной сети / Е. В. Касаткина, К. В. Кетова // Интеллектуальные системы в производстве. – 2021. – Т. 19, № 1. – С. 89–99. DOI: 10.22213/2410-9304-2021-1-89-99.
18. *Попова И. М.* Совершенствование и расчет светофорного цикла для сокращения автомобильных пробок с использованием фазового коэффициента / И. М. Попова, И. К. Данилов // Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом комплексе: проблемы и перспективы рационального использования. – 2016. – Т. 3, № 1 (4). – С. 298–301. DOI: 10.12737/17768.

A.V. Banite
D.S. Deriaga

*Higher School of Transport
Institute of Mechanical Engineering, Materials and Transport
Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University*

O.V. Leonenko

*Department «Transport and Technological Machines»
Interstate Educational Institution of Higher Education «Belarusian-Russian University»*

IMPROVEMENT OF THE URBAN TRANSPORTATION SYSTEM BY THE INTRODUCTION OF ADAPTIVE TRAFFIC CONTROL SYSTEMS

The article is devoted to the prospects of improving the quality of traffic in the junction of the urban street and road network through the introduction of intelligent transport systems, especially automatic traffic control systems (ATCS). The paper analyzes the problems of implementing intelligent transport systems in urban conditions, taking into account the current regulatory framework. The classification of local automated traffic control systems according to the adaptability of traffic light regulation to the changing parameters of traffic flows is given. For the decision of a problem of practicability of introduction of ACSDS, the technique including construction of imitation models for more exact forecasting of effect of introduction of local ACSDS on the considered site of an urban street-road network is offered. The application of the methodology is demonstrated on the example of the intersection of Engels Avenue and Suzdal Avenue in St. Petersburg. Two variants of the organization of control of phases of traffic light objects are analyzed: static and adapted according to the time of day. The influence of ADCS implementation on average speed of vehicles and characteristics of traffic jams in the junction in question was estimated based on simulation modeling in PTV Vissim. In accordance with the analysis, the prospects of introducing adaptive local ACSDS in the considered transport junction are described.

Intelligent transport systems, adaptive traffic control systems, traffic light control, road network

DOI: 10.20295/2412-9186-2021-7-4-565-583

References

1. Gorev A. E., Böttger K., Prokhorov A. V., Gizatullin R. R. (2015) *Osnovy transportnogo modelirovaniya: Prakticheskoye posobiye* (seriya «Biblioteka transportnogo inzhenera») [*Basics of transport modeling: A practical guide* (series “Library of transport engineers”)]. Saint Petersburg, Izdatel'sko-poligraficheskaya kompaniya “KOSTA” [Publishing and Printing Company “KOSTA ”], 168 p. (In Russian)
2. *Federal'naya sluzhba statistiki* [*Federal State Statistics Service*]. Available at: <https://rosstat.gov.ru> (accessed: July 29, 2021) (In Russian)
3. Stakhin D. R., Plotnikov D. G. (2020) Metod po opredeleniyu riskov pri perevozke opasnykh грузов [Method for determining risks when transporting dangerous goods]. *Sovremennoye mashinostroyeniye. Nauka i obrazovaniye* [*Modern mechanical engineering. Science and education*], no. 9, pp. 517–528. (In Russian) DOI: 10.1872/MMF-2020-36.
4. *Transportnaya strategiya Rossiyskoy Federatsii na period do 2030 goda: utverzhennaya rasporyazheniyem Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 22 noyabrya 2008 g. № 1734-r: v red. rasporyazheniy Pravitel'stva RF ot 12.05.2018 № 893-r* [*Transport strategy of the Russian Federation for the period up to 2030: approved. by order of the Government of the Russian Federation of November 22, 2008*]. (In Russian)

5. Banite A. V., Stakhin D. R., Plotnikov D. G. (2020) Podkhod k optimizatsii struktury sistemy upravleniya transportnymi potokami [Method for optimizing the structure of a traffic management system]. *Transport Rossii: problemy i perspektivy* [Transport of Russia: problems and prospects]. *Materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference]. Saint Petersburg, IPT RAS (Institute of Transport Problems of the Russian Academy of Sciences) Publ., pp. 45–48 (In Russian)
6. Efanov D. V., Osadchiy G. V., Plotnikov D. G., Shinkarenko A. V. (2020) Universal'nyye sistemy monitoringa kak zhizненно vazhnyye sostavlyayushchiye vysokoimunnykh transportnykh sistem [Universal monitoring systems as vital components of high-immune transport systems. *Transport Rossiyskoy Federatsii* [Transport of the Russian Federation], no. 5, pp. 20–26. (In Russian)
7. Osadchiy G. V., Shinkarenko A. V., Plotnikov D. G., Banite A. V. (2020) Printsipy postroyeniya universal'noy platformy nepreryvnogo monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya infrastruktury ob'yektov [Principles of building a universal platform for continuous monitoring of the technical condition of infrastructure facilities]. *Avtomatika na transporte* [Transport Automation], vol. 6, no. 4, pp. 484–498. (In Russian)
8. Kuftinova N. G., Ostroukh A. V., Surkova N. E., Barinov K. A. (2020) Prognozirovaniye transportnykh potokov aglomeratsiy na osnove neyronnoy seti [Prediction of Suburban Transport Flows Based on a Neural Network]. *Promyshlennyye avtomaticheskyye sistemy upravleniya i kontroly* [Industrial Automatic Control Systems and Controllers], no. 11, pp. 40–45. (In Russian) DOI: 10.25791/asu.11.2020.1235.
9. Metodiki otsenki i ranzhirovaniya lokal'nykh proyektov v tselyakh realizatsii meropriyatiya «Vnedreniye intellektual'nykh transportnykh sistem, predusmatrivayushchikh avtomatizatsiyu protsessov upravleniya dorozhnym dvizheniyem v gorodskikh aglomeratsiyakh, vklyuchayushchikh goroda s naseleniyem svyshe 300 tysyach chelovek» v ramkakh federal'nogo proyekta «Obshchesistemnyye mery razvitiya dorozhnogo khozyaystva» natsional'nogo proyekta «Bezopasnyye i kachestvennyye avtomobil'nyye dorogi» [Methods for assessing and ranking local projects in order to apply for the project «The Implementation of intelligent transport systems to provide automation in traffic management processes within urban agglomerations including cities with a population of over 300 thousand people» under the scope of the federal project «System-wide measures for the development of road facilities» which is a national project «Safe and high-quality highways»], 67 p.
10. Akabane A. (2020) Towards a distributed and infrastructure-less vehicular traffic management system. *Computer Communications*, vol. 151, pp. 306–319.
11. Chavhan S., Venkataram P. (2020) Prediction based traffic management in a metropolitan area. *Journal of traffic and transportation engineering*, vol. 7, no. 4, pp. 447–466.
12. Efanov D. V., Plotnikov D. G., Osadchiy G. V. (2018) Servis prognozirovaniya vremennykh parametrov raboty zheleznodorozhnogo pereyezda [Service for forecasting the time parameters of the railway crossing]. *Transport Rossiyskoy Federatsii* [Transport of the Russian Federation], no. 4 (77), pp. 31–36. (In Russian)
13. Sathiyaraj R., Bharathi A. (2020) An efficient intelligent traffic light control and deviation system for traffic congestion avoidance using multi-agent system. *Transport*, vol. 35, no. 3, pp. 327–335.
14. Yakimov M. R. (2016) Innovatsionnyye tekhnologii sbora dannykh intensivnosti dvizheniya transportnykh i passazhirskikh potokov [Innovative technologies of data collection on traffic intensity and passenger flows]. *Innovatsionnyy transport* [Innotrans], no. 2 (20), pp. 38–41. (In Russian) DOI: 10.20291/2311-164X-2016-2-38-41.
15. Brovin N. N. (2019) Opredeleniye koeffitsiyenta pogreshnosti pri issledovanii intensivnosti transportnogo potoka naturnym metodom [Determination of the error coefficient in the study

- of the traffic flow intensity by the full-scale method]. *Upravleniye kachestvom v transportnoy i sotsial'noy sferakh*: Sbornik nauchnykh trudov transportnogo fakul'teta po materialam XLI studencheskoy nauchnoy konferentsii. OGU, Orenburg, 2–9 aprelya 2019 goda. Pod redaktsiyey V.I. Rassokhi [*Quality management in the transport and social spheres*: Collection of scientific papers of the transport faculty based on the materials of the XLI student scientific conference of OSU, Orenburg, April 2–9, 2019. Ed. by V.I. Rassokhi]. Orenburg, Orenburg state university Publ., pp. 139–141. (In Russian)
16. Andronov R. V., Genze D. A., Legostaeva E. N., Belousova E. V. (2019) Opredeleeniye intensivnosti transportnykh potokov pri pomoshchi sistemy ballov kart probok [Determination of traffic flow intensity using the system of points of traffic jam maps]. *Transport. Transportnyye sooruzheniya. Ekologiya* [*Transport. Transport facilities. Ecology*], no. 4, pp. 5–12. (In Russian) DOI: 10.15593/24111678/2019.04.01.
 17. Kasatkina E. V., Ketova K. V. (2021) Komp'yuternoye modelirovaniye potokov v gorodskoy transportnoy seti [Computer simulation of flows in the urban transport network]. *Intellektual'nyye sistemy v proizvodstve* [*Intelligent systems in production*], vol. 19, no. 1, pp. 89–99. (In Russian) DOI: 10.22213/2410-9304-2021-1-89-99.
 18. Popova I. M., Danilov I. K. (2016) Sovershenstvovaniye i raschet svetofornogo tsikla dlya sokrashcheniya avtomobil'nykh probok s ispol'zovaniyem fazovogo koeffitsiyenta [Improvement and calculation of traffic signal cycle to reduce congestion by using a phase coefficient]. *Al'ternativnyye istochniki energii v transportno-tekhnologicheskoy komplekse: problemy i perspektivy ratsional'nogo ispol'zovaniya* [*Alternative energy sources in the transport-technological complex problems and prospects of rational use*], vol. 3, no. 1 (4), pp. 298–301. (In Russian) DOI: 10.12737/17768.

*Статья представлена к публикации членом редколлегии
профессором И. М. Кокуриным*

Поступила в редакцию 21.08.2021, принята к публикации 19.09.2021

БАНИТЕ Аушра Владовна — ассистент Высшей школы транспорта Института машиностроения, материалов и транспорта Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого
banite_av@spbstu.ru

ДЕРЯГА Денис Сергеевич — магистрант Высшей школы транспорта Института машиностроения, материалов и транспорта Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого
deryagadenis@mail.ru

ЛЕОНЕНКО Олег Викторович — кандидат технических наук, доцент кафедры «Транспортные и технологические машины» Межгосударственного образовательного учреждения высшего образования «Белорусско-Российский университет»
olegleonenko@gmail.com

© Баните А. В., Деряга Д. С., Леоненко О. В., 2021