

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АДАПТИВНЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ НА ПЕШЕХОДНЫХ ПЕРЕХОДАХ

Введение. Пешеходы – самая многочисленная, неподготовленная, трудноуправляемая и в то же время самая незащищенная категория участников движения. Для пешеходов характерно сильное рассеивание психофизиологических свойств. Особенно важно их учитывать тогда, когда пешеход вступает в контакт с транспортным потоком – на проезжей части. Именно переход проезжей части является самым трудным и самым нерешенным вопросом в управлении дорожным движением.

Пешеходные переходы можно разделить на наземные и внеуличные. Наземные пешеходные переходы в свою очередь делятся на регулируемые и не регулируемые; внеуличные – на подземные и надземные. Существует так же более глубокая система деления пешеходных переходов по наличию и отсутствию определенных признаков, к примеру: по наличию островка безопасности, по виду островка безопасности [1].

Применение светофорной сигнализации дает возможность обеспечить поочередный пропуск транспортных средств и пешеходов. Как правило, режим светофорного регулирования рассчитывается исходя из объемов конфликтующих транспортных потоков, а затем проверяется на удовлетворение потребностей пешеходного движения. Время, необходимое для пропуска пешеходов по какому-то определенному направлению, рассчитывается по эмпирической формуле, получившей широкое распространение в мировой практике [2] и учитывающей суммарные затраты времени на пропуск пешеходов

$$t_{пш} = 5 + \frac{B}{V_{пш}}, \quad (1)$$

где $t_{пш}$ – длительность такта регулирования, обеспечивающего пропуск пешеходов, B – длина перехода до противоположного тротуара или островка безопасности, $V_{пш}$ – скорость движения пешеходов (обычно принимается равной 1,3 м/с).

В последнее время, в связи с ростом заторовых ситуаций, вызванных интенсивностью движения в УДС, интересы пешеходов стали ущемляться, и часто, время «терпеливого ожидания» увеличивают в 1,5–2 раза. Для смягчения прецедента устанавливают цифровое табло с обратным временем отсчета. Тем не менее психологически выверенное время «терпеливого ожидания» никто отменить не может. В результате некоторые пешеходы нарушают «Правила дорожного движения» и подвергают себя и водителей автотранспортных средств (АТС) неоправданному риску.

Так, в городе Минске на Проспекте Победителей около Дворца Спорта регулируемый пешеходный переход пересекает шесть полос движения АТС и содержит в светофорном цикле 55 секунд запрещающего сигнала для пешеходов и 25 секунд разрешающего, то есть время «терпеливого ожидания» увеличено на $55 - 30 = 25$ секунд. При интенсивном движении АТС по этой магистрали сохранение параметров «терпеливого ожидания» означало бы более частое (почти в 2 раза) прерывание движения АТС, что ведет к росту потерь в дорожном движении. В результате недостаточной длительности зеленой фазы светофора и большого числа транспорта из этих АТС создаются заторы.

Так как регулируемые пешеходные переходы являются неотъемлемой частью магистрали, одним из важных моментов в оптимизации движения по магистрали является улучшение движения на пешеходных переходах. Такая вынужденная остановка интенсивного потока,

движущегося по магистрали, помимо временных потерь несет повышенный износ резины, моторесурса, потерю горючего, ухудшает экологию города [3]. На настоящий момент известно два варианта устранения пешеходов как помехи для АТС. Оба варианта предполагают вынесение пешеходных переходов над или под магистраль. Первый вариант портит архитектурный вид города и мешает троллейбусным линиям. Второй вариант очень дорогостоящий. Подземные пешеходные переходы очень дорогие – стоимость 1 м^2 доходит до 400 и более долларов США [4]. Поэтому размещение, планировка, благоустройство, информация и т.д. должны быть выполнены безупречно. К сожалению, зачастую, далеко не всегда это получается.

Помимо использования архитектурных мероприятий возможно использование технических и программных средств в комплексе с алгоритмами управления на магистрали.

Существующие методы управления. Пешеходный переход типа «Выбор» применяется в случаях относительно невысокой и нестабильной транспортной и пешеходной нагрузки [4]. Данный объект должен быть оборудован транспортными и пешеходными светофорами с дополнительными секциями желтого сигнала. В исходном положении на объекте горит желтый мигающий сигнал, и он работает как нерегулируемый пешеходный переход с переменным приоритетом. В случае затруднения с переходом пешеход нажатием кнопки на табло вызова пешеходов вызывает себе зеленый, а транспорту – красный сигнал. Через некоторое время объект снова переходит в режим желтого мигания и т.д. Для предупреждения водителей о предстоящем включении красного сигнала предусмотрен переходной интервал, который реализуется посредством желтого двойного мигания с последующим подключением красного сигнала. Возможны варианты, когда для пропуска накопившихся автомобилей после выключения зеленого сигнала для пешеходов им включается красный сигнал, а транспорту – зеленый.

Также используют регулируемые пешеходные переходы с пешеходно-вызывным устройством в тех случаях, когда транспортная нагрузка стабильно высокая, а пешеходная нагрузка – нестабильная и относительно невысокая. На объекте постоянно включен зеленый сигнал для транспорта и красный сигнал для пешехода. Подошедший пешеход через табло вызова пешеходов нажатием кнопки вызывает себе зеленый сигнал, а транспорту – красный. При этом время ожидания зеленого сигнала пешеходом может быть очень значительным, особенно при координированном регулировании. Кроме того, возможны ситуации, когда в момент нажатия кнопки транспорта нет, а к моменту включения зеленого сигнала (а транспорту – красного сигнала) приходит большая и весьма скоростная пачка автомобилей, которая перед самым переходом начинает интенсивное торможение.

Ещё одним недостатком, исключающим его использование, являются случаи, когда большое число постоянно подходящих к перекрестку пешеходов вызывают пешеходную фазу. В этой ситуации кнопка вызова будет всегда нажата, а движение по магистрали заблокировано.

Для снижения задержки транспорта часто применяется самый простой метод: поэтапный пропуск пешеходов через проезжую часть при наличии островка безопасности. Данный метод реализуем без затрат на техническое оснащение пешеходного перехода. Он применяется только при наличии островка безопасности, и этапы для перехода выполняются как различные фазы на дорожном контроллере. Использование такого метода помогает сократить время ожидания пешеходов и количество останавливаемого транспорта.

Анфилец Сергей Викторович, аспирант кафедры интеллектуальных информационных технологий, Брестского государственного технического университета.

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

Наибольшую эффективность внедрение поэтапного перехода пока- зывает на узких проезжих частях.

Адаптивный метод управления на переходах. Для устране- ния недостатков существующих методов и для того, чтобы пропу- стить пешеходов через проезжую часть с минимальными потерями для транспортного потока, применяется адаптивный подход к управ- лению пешеходных переходов. Техническое оснащение для адап- тивного управления на пешеходном переходе предусматривает установку детекторов транспорта и датчиков пешеходов. Детекторы транспорта фиксируют момент, когда пешеходы могут пересечь проезжую часть без помех для транспорта, в этом случае нет необ- ходимости кнопки вызова, пешеходная фаза сама включается при наступлении описанной ситуации. Датчик пешеходов отслеживает зависимость числа пешеходов и продолжительность времени их ожидания: мало пешеходов – больше время ожидания сигнала пе- шехода, много пешеходов – малое время ожидания. Реализация таким методом адаптивного управления позволяет сократить коли- чество останавливающихся транспортных средств перед пешеход- ными переходами. Данный метод реализует виртуальный канал перехода через проезжую часть.

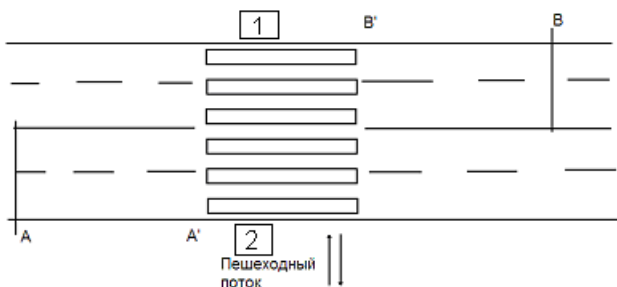


Рис. 1. Реализация виртуального канала на пешеходном переходе

Алгоритм реализации виртуального канала основывается на методе поиска разрывов в транспортном потоке. Когда найден разрыв в потоке длительностью t_r , тогда на участке дороги AA' и BB' отсут- ствуют транспортные средства. В этом случае выделяется время, определенное по формуле (1), для пешеходов для пересечения проезжей части из точки 1 в 2, и наоборот.

При достаточно большой интенсивности транспортного потока и большого разброса в параметрах групп транспорта понятие «разрыва» можно заменить на «интервал малой интенсивности». В таком случае будет выполняться фильтрация незначительных колебаний в числе транспортных средств, подходящих к переходу. Для этого предлагается использовать параметр пороговой интенсивности I_p^* и сравнение ее с текущей интенсивностью I_p .

$$I_p = n / dt, \quad (2)$$

где n – количество транспортных средств, проехавших через сече- ние за интервал dt , авт.;

dt – дискретный интервал времени, с.

В предлагаемом случае разрыв в транспортном потоке определя- ется в том случае, если интенсивность за интервал времени dt стала меньше значения I_p . Этот параметр должен быть не слишком низким (рис. 2а) и не слишком завышенным (рис. 2б), а на достаточно прием- лемом уровне, чтобы «отсекать» незначачие колебания (рис. 2в).

Для выбора значения I_p можно применять формулу:

$$I_p^* = \frac{1}{dt} + k \cdot I_u, \quad (3)$$

где I_u – прогнозируема интенсивность потока в текущем интервале времени, авт./с.

k – коэффициент, характеризующий необходимый уровень па- дения интенсивности, чтобы определить разрыв в потоке. Этот ко- эффициент лежит в диапазоне от 0 до 0,5.

Прогнозируемая интенсивность может либо выбираться из ста- тистических данных, либо вычисляться любым из методов статисти- ческого прогнозирования.

Если нет необходимости или возможности использовать значения интенсивности для выбора значения I_p^* , можно применять формулу:

$$I_p^* = n_0 / dt, \quad (4)$$

где n_0 – количество транспортных средств, соответствующее не- значительному колебанию, авт. ($n_0 = 1 \div 3$).

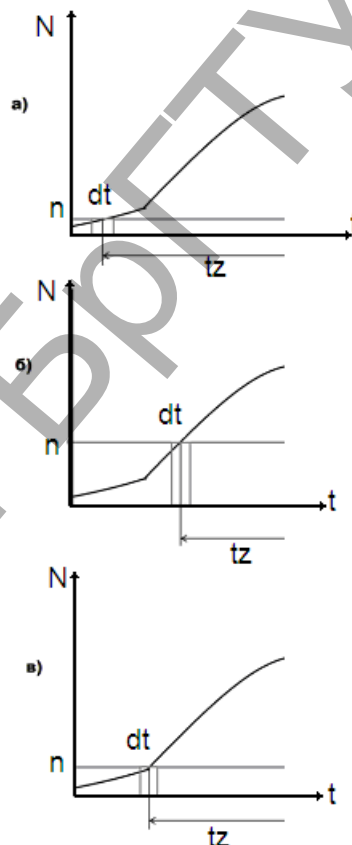


Рис. 2. Выбор порога для детектирования «разрыва»

Таким образом, данный метод аналогичен пороговому фильтру, который убирает незначительные колебания. Так, единичные подхо- дящие транспортные средства будут игнорироваться, если на пере- ходе скопилось достаточное количество пешеходов.

В теории транспортных потоков вероятность появления n транс- портных средств в потоке интенсивностью q за временной интервал t_r определяется:

$$P(n / qt_r) = \frac{(q \cdot t_r)^n}{n!} e^{-q \cdot t_r}. \quad (5)$$

Вероятность найти разрыв (т.е. $n=0$) в транспортном потоке ин- тенсивностью $q=0,5$ авт./с длительностью $t_r=6$ с $P(0/q t_r) = 4,55\%$. В то же время, если не учитывать случайное появление транспортного средства, вероятность $P(1/q t_r) = 14\%$, а также $P(2/q t_r) = 20\%$, что значительно повышает вероятность появления разрешающего сигнала для пешеходов. Также пешеходные переходы имеют смежные перекрестки, на которых формируются группы транспортных средств, между которыми есть интервалы, их можно использовать для пропуска пешеходов. Предлагаемый метод позволяет пропускать пешеходные потоки при минимальных потерях для транспортного потока.

Если пешеходный переход имеет островок безопасности, тогда метод поэтапного перехода можно использовать совместно с адап- тивными технологиями. Для этого для организации обратной связи устанавливаются детекторы транспорта на подъездах к пешеходно- му переходу (рисунок 1). Так как управления на два этапа, тогда

поиск виртуального канала для перехода ведется только для одного этапа, соответственно пешеходы быстро проходят проезжую часть до островка безопасности. В связи с этим задержки транспортного потока будут минимальными, а вероятность нахождения «разрыва» в потоке достаточно высока. Использование совместно поэтапного перехода и адаптивного управления (для реализации виртуального канала перехода) показывает большую эффективность на пешеходных переходах с узкой проезжей частью.

Если пешеходные потоки ненасыщенные (нестабильные и относительно невысокие), тогда возможно использовать адаптивное управление совместно с пешеходно-вызывным устройством. В этом случае запуск адаптивного алгоритма для поиска виртуального канала перехода пешеходами выполняется по запросу пешехода (нажатие кнопки вызова). Преимущества данного метода в том, что переключение сигнала будет происходить в момент, когда в потоке имеется «разрыв», а не останавливать группу подходящих транспортных средств к пешеходному переходу. Также можно использовать совместно поэтапный переход, вызывное устройство и адаптивное управление, в этом случае нужно предусмотреть, чтобы вызывное устройство инициировало поиск «разрывов» в транспортных потоках для обоих этапов перехода.

Если пешеходный переход через широкую проезжую часть не имеет островка безопасности, тогда задержки на нем весьма значительны для транспорта, так как останавливается поток обоих направлений движения, а пешеходам необходимо много времени, чтобы пересечь дорогу. Данный вид пешеходных переходов требует большого внимания, так как располагаются они на крупных магистралях города. На данных переходах остро встает проблема скорости пешеходов, так как каждый пешеход обладает своими скоростными характеристиками. А фактическая задержка транспорта будет зависеть от скорости самых медленных пешеходов, так как водитель обязан пропустить пешехода начавшего движение через переход. В теории информации для передачи большого объема данных их уплотняют, затем капсулируют и передают. Аналогичный механизм приложим и к пешеходам, которых необходимо компактно сгруппировать (капсулировать) и быстро переместить из точки 1 в точку 2. Для этих целей предлагается мобильный пешеходный робот [5], включенный в контур системы управления транспортными потоками УДС города.

Мобильный пешеходный робот является низкоплатформенным электромобилем без водителя, достаточной вместимости, для стоящих и держащихся за поручни пассажиров. Управление роботом выполняется внутренним, встроенным компьютером.

Загрузка салона электромобиля производится на позициях 1 и 2 (рис. 1). В это время двери открыты и пешеходы заходят в салон. Для определения количества людей в электромобиле на входе (на дверях) располагаются две пары инфракрасных (ИК) датчиков с номерами 1 и 2. Если пары ИК датчиков будут пересечены в порядке 1–2, то человек вошел в электромобиль, если в порядке 2–1, то человек вышел. Таким образом можно судить о количестве пассажиров в салоне электромобиля. Если пассажиров нет, то нет необходимости начала движения. Даже если от системы контроля транспортных потоков пришел сигнал, разрешающий начало движения.

Заполнение салона электромобиля выполняется в течение действия зеленой фазы светофора по магистрали. Закрытие дверей электромобиля осуществляется при одновременном истечении времени t_{\min} движения по магистрали (минимальная длительность основного такта) и отсутствия входящих пешеходов в электромобиль от датчиков дверей. Теперь электромобиль готов к движению. Сигнал на начало движения должен поступить с детекторов транспорта, расположенных в сечении А и В магистрали (рис. 1). Эти сечения А и В отнесены от границ пешеходного перехода А' и В' на расстояние

100 м, которое транспортное средство, движущееся со скоростью $v=60$ км/час, преодолевает за 6 секунд. Это так называемое экипажное время $t_{эк}$ (t_p). Если над линией А(В) не появляется очередной автомобиль через время, равное $t_{эк}$, то следовательно, в транспортном потоке произошел разрыв, не меньший по длительности, чем $t_{эк}$. Таким образом, в промежутках магистрали АА' и ВВ' автомобилей нет, и электромобиль может начать движение, не оказывая помех для транспорта на магистрали.

При этом в магистральном направлении загорается красный сигнал светофора, а для электромобиля – зеленый. Как только он окажется в положении 2, сразу поменяются сигналы светофора. Аналогичным образом выполняется перемещение пешеходов из положения 2 в положение 1 (рис. 1).

Электромобиль курсирует по пешеходному переходу не постоянно. Детекторы транспорта в сечениях А и В измеряют интенсивность транспортного потока и при падении ее ниже заданной величины M_1 электромобиль переходит в режим подзарядки. В этом случае пешеходный переход управляется одним из вышеперечисленных способов. При увеличении интенсивности до величины M_2 ($M_2 > M_1$) и сохранении этой величины в течение некоторого заданного времени t_3 электромобиль выезжает на позицию 2 для очередной загрузки пешеходов [6]. В режиме подзарядки электромобиль находится в ночное время, в это время он подключается к станции зарядки аккумуляторов.

Заключение. Большинство современных методов управления на пешеходных переходах имеет ряд недостатков, которые приводят к потерям в дорожном движении на данных участках. В статье предложен способ оптимизации управления пешеходными переходами на основе адаптивных технологий. Предлагается метод реализации виртуального канала перехода для пешеходов, минимизирующий потери транспортного потока. Рассматриваются методы синтеза адаптивных методов управления и существующих способов на различных видах пешеходных переходов. Предлагаемые подходы позволяют почти беспрепятственно проезжать транспортным средствам через регулируемые пешеходные переходы.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- Капский, Д.В. Анализ аварийности и условий движения на пешеходных переходах вне перекрестка / Д.В. Капский, Е.Н. Кот // Сборник статей целевой конференции «Новое в профессиональном образовании специалистов для сферы обеспечения безопасности дорожного движения». – СПб., 2009. – с. 104
- Кременец, Ю.А. Технические средства регулирования дорожного движения / Ю.А. Кременец, М.П. Печерский. – Москва: Транспорт, 1981. – 256 с.
- Луканин, В.Н. Автотранспортные потоки и окружающая среда / В.Н. Луканин, А.П. Буслаев, М.В. Яншина. – Москва: Инфра-М, 2001. – 644 с.
- Врубель, Ю.А. Управление дорожным движением. – Минск, 2006. – Ч. 4. – С. 115–128.
- Дубина, С.С. Роботы в решении проблемы пешеходных переходов / С.С. Дубина, А.М. Чернецкий, С.В. Анфилец // Сборник конкурсных научных работ студентов и магистрантов. – БрГТУ. – Ч. 1. – Брест, 2011 – 64 с.
- Анфилец, С.В. Новое решение проблемы пешеходных переходов / С.В. Анфилец, С.С. Дубина, А.М. Чернецкий // Материалы XIV Республиканской научной конференции «Новые математические методы и компьютерные технологии в проектировании, производстве и научных исследованиях». – ГГУ. – Гомель, 2011 – Ч. 1. – С. 120–121.

Материал поступил в редакцию 23.11.11

ANFILETS S.V. Use of adaptive methods for efficient control on pedestrian crossings

This article analyzes the main disadvantage of pedestrian crossings, namely, interrupt the flow of vehicles moving along the highway. Consider the existing methods of control for pedestrians. The paper proposes to use an adaptive approach to the management on the pedestrian crossing, using the integration with existing methods.