

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ РАЗДЕЛЯЮЩИМСЯ ПАССАЖИРСКИМ ТРАНСПОРТОМ

В. Н. Шуть, Е. Е. Пролиско, Е. В. Швецова
Брестский государственный технический университет, Беларусь

Рассмотрены основные недостатки современного городского пассажирского транспорта и указаны пути их устранения на основе внедрения беспилотных транспортных средств, движущихся в автоматическом режиме и имеющих возможность разделения на два самостоятельных беспилотных, автономных транспортных средства перед остановочным пунктом. Такое решение повысит эффективность и снизит энергозатраты данного вида транспорта.

Введение

Основной задачей организации движения городского транспорта является обеспечение наиболее высокого качества пассажироперевозок при минимальной себестоимости. Качество пассажироперевозок оценивают регулярностью движения автобусов, величиной маршрутного интервала, наполнением автобусов, затратами времени населения в поездках, скоростью сообщения и комфортабельностью транспортного обслуживания [1].

Повышение качественных показателей транспортного обслуживания приводит к росту себестоимости пассажироперевозок. Если к тому же учесть нерегулируемые случайные колебания пассажиропотоков во времени и по длине транспортной сети, неизбежные задержки движения маршрутного пассажирского транспорта при работе в общем потоке уличного движения и т. д., то станет очевидным, что составление оптимального плана движения представляет собой весьма сложную задачу. План движения, с одной стороны, должен быть достаточно напряженным, т. е. рассчитан на максимальный выпуск подвижного состава на линию, максимальное полезное использование продолжительности рабочей смены автобусных бригад, реализацию максимальной скорости движения и т. д. Все это будет способствовать снижению себестоимости и повышению качества пассажироперевозок. С другой стороны, в плане движения должны быть заложены достаточные резервы и по выпуску подвижного состава с учетом возможных замен автобусов на линии, и по скорости движения с учетом необходимости запасов времени на нагон при различных сбоях движения и т. д. [2]. Таким образом, в настоящее время основными рычагами повышения эффективности пассажирских перевозок является оптимизация городской маршрутной сети и интервалов движения транспортных средств в различные периоды суток в зависимости от пассажиропотока. Однако этого явно недостаточно, необходимо еще иметь транспортные средства с совершенно новыми характеристиками и возможностями [3–5].

1. Соотношения полезного и полного веса транспортного средства и их влияние на эффективность пассажироперевозок

Большие экономические потери транспорт несет на остановки и разгон от остановочных пунктов. Рассмотрим автобусный (троллейбусный, трамвайный) маршрут, состоящий в прямом направлении из 12 остановочных пунктов. Если пассажиру необходимо проехать из начального пункта в конечный, то транспортное средство сделает 10 промежуточных остановок, не нужных пассажиру, прежде чем доставит его в пункт

назначения. Примем, что на каждом промежуточном остановочном пункте с транспортного средства сходит 1/10 часть пассажиров и загружаются новые. Таким образом, при каждой остановке бесполезно гасится кинетическая энергия, пропорциональная 9/10 массы пассажиров, которым не надо выходить на этой остановке. Также теряется энергия, относящаяся к массе транспортного средства.

Выполним некоторые расчеты при следующих допущениях. Так, среднюю массу пассажира примем 71 кг. Плотность пассажиров в салоне транспортного средства примем 5 чел/м². Тогда для большого класса автобусов (МАЗ-103), у которых габаритные размеры 11 985 x 2500 x 2838 мм, масса 18 000 кг, номинальная вместимость (5 чел/м²) : 90, будут следующие показатели: 90·71 = 6390 (кг) – полезная масса, 90·71+18 000 = 24 390 (кг) – полная масса, 6390 / 24 390 = 26,2 % – отношение полезной массы к полной. Последний показатель можно считать и КПД пассажирского транспортного средства. Следовательно, 73,8 % (100 – 26,2) накопленной кинетической энергии уходит впустую при торможении на остановочных пунктах. Аналогично для среднего класса МАЗ-206, у которого габариты 8650 x 2550 x 2930, масса 13 200, номинальная вместимость (5 чел./м²) : 72, получим: 72·71+13 200 = 18 312 (кг) – полная масса, 72·71=5112 (кг) – полезная масса, 5112 / 18 312 = 27,9 % – отношение полезной массы к полной.

Таким образом, КПД или коэффициент эффективности процесса остановки для всех типов автобусов примерно одинаков и колеблется в районе 25 %. Однако этот коэффициент будет значительно ниже, если из полезной массы вычесть 9/10 массы пассажиров, которым не надо выходить на данной остановке. Сделаем перерасчет отношений полезной массы (1/10 полной массы пассажиров в салоне транспортного средства) к полной массе транспортного средства с полностью заполненным салоном для всех типов автобусов: большой класс 639 / 24390 = 2,62 %, средний класс 511,2 / 18312 = =2,79 %, малый класс 255,6 / 11331 = 2,25 %. Таким образом, на остановочных пунктах теряется значительная часть кинетической энергии. Выходом из этого положения может послужить создание беспилотного, разделяющегося на две части транспортного средства. В одной части (задней) собираются пассажиры, которым надо выходить на данной, очередной остановке. При прохождении этой остановки задняя часть транспортного средства отделяется от передней и тормозится на остановочном пункте. Пассажиры, пункт назначения которых дальше текущей остановки, минуют этот остановочный пункт в передней части транспортного средства без остановки. Таким образом, 9/10 массы пассажиров проезжают транзитом.

Для расчета потерь топлива при одной остановке транспортного средства обозначим через M_A массу автомобиля, а через M_{Π} – массу пассажиров полностью заполненного салона. Скорость автомобиля при подъезде к остановочному пункту примем $V=30$ км/ч (8 м/с).

Полная кинетическая энергия транспортного средства при подъезде к остановке, которая будет погашена торможением, определяется выражением

$$W_1 = \frac{M_A \cdot V^2}{2} + \frac{M_{\Pi} \cdot V^2}{2}. \quad (1)$$

В случае отделения задней части транспортного средства от передней с 1/10 частью пассажиров ее кинетическая энергия

$$W_2 = \frac{0,5 \cdot M_A \cdot V^2}{2} + \frac{0,1 \cdot M_{\Pi} \cdot V^2}{2}. \quad (2)$$

Это вынужденные потери даже при разделении частей. Вычтем из (1) выражение (2) и получим величину (3) сэкономленной энергии в случае системы с разделением частей:

$$W_1 - W_2 = \frac{0,5 \cdot M_A \cdot V^2}{2} + \frac{0,9 \cdot M_{\Pi} \cdot V^2}{2}. \quad (3)$$

Рассчитаем количество потерянного топлива, эквивалентного погашенной энергии (3) при остановке со скорости $V=30$ км/ч и до $V=0$ для большого класса автомобилей (МАЗ-103) с массой $M_A=18\,000$ кг и полным салоном пассажиров $M_{\Pi}=6390$ кг:

$$W_1 - W_2 = \frac{0,5 \cdot M_A \cdot V^2}{2} + \frac{0,9 \cdot M_{\Pi} \cdot V^2}{2} = \frac{0,5 \cdot 18\,000 \cdot 8 \cdot 8}{2} + \frac{0,9 \cdot 6390 \cdot 8 \cdot 8}{2} = 0,472 \text{ МДж.}$$

Количество топлива, затраченного на создание такого количества кинетической энергии, можно определить, разделив количество найденной энергии на удельную теплоту сгорания топлива (бензина). Удельная теплота сгорания бензина равна 47 МДж/кг.

Итак, количество потерянного топлива составляет $0,472 / 47 = 0,01$ (кг). Так как КПД двигателя внутреннего сгорания равен 25 %, то топлива потребуется в четыре раза больше, а именно 0,04 кг или 0,06 л. На замкнутом городском маршруте из 11 остановок (начальная и конечная совпадают) будет 10 таких разделений и, следовательно, экономия топлива составит 0,6 л, а за сутки будет сэкономлено 21,6 л топлива.

2. Функционирование пассажирского рельсового транспортного средства

Рельсовая транспортная система для перевозки пассажиров включает остановочные пункты и рельсовый путь, на котором расположены вагоны. Каждый из вагонов снабжен компьютерным модулем организации движения. Модуль состоит из компьютера, к системной шине которого подключены радиомодуль, блок фиксации входящих и выходящих пассажиров, блок фиксации переходящих пассажиров, блок управления приводом движения, выход с которого подключен к входу привода движения. Основной активной действующей единицей транспортной системы является вагон (беспилотный), установленный на рельсы, полностью автономный в плане самостоятельных активных действий. Его компьютерный модуль обеспечивает управление всеми функциями вагона и «общение» с другими вагонами, входящими в систему.

На рисунке изображена схема состояний транспортной системы, отражающая рабочие режимы в разные моменты времени. Подвижной состав из двух вагонов $B1$ и $B2$ (состояние $S0$) начинает движение с остановочного пункта 1 ($Oct.1$). Двигаясь равномерно со скоростью V , в момент времени t_2 выполняется расстыковка вагонов ($S1(t)$). Вагон $B1$ продолжает дальнейшее движение с постоянной скоростью V . В нем находятся пассажиры, которым не надо сходить на остановке 2 ($Oct.2$). Пассажиры, которым необходима остановка 2, находятся во втором вагоне, который в момент времени t_3 делает остановку на $Oct.2$. Этому событию соответствует состояние $S2(t)$. Для удобства рассмотрения на рисунке вагоны, находящиеся в состоянии покоя, изображены без стрелок, в состоянии движения – со стрелками. В момент остановки второго вагона на $Oct.2$ с остановки 1 выезжает следующий состав $B1B21$, который также в момент времени t_2 расстыковывается ($S3(t)$). Первый вагон $B11$ продолжает равномерное движение с прежней скоростью V . Вагон $B21$, двигаясь равнозамедленно, останавливается на $Oct.2$. Предварительно находящийся на остановке вагон $B2$ покидает эту остановку. Отъезд вагона $B2$ от остановки начинается в момент расстыковки тандема $B1B21$. Вагон $B2$ равноускоренно набирает скорость до V и в точке $C_{tk.2}$ происходит его стыковка с вагоном $B11$ ($S4(t)$), который также имеет скорость V и догоняет вагон $B2$. После это-

го они следуют совместно. Открываются торцевые двери этих вагонов, и пассажиры, которым надо сойти на следующей остановке, переходят из вагона $B2$ в вагон $B11$, а те пассажиры, которые следуют дальше, переходят в обратном порядке (из последнего вагона в первый).

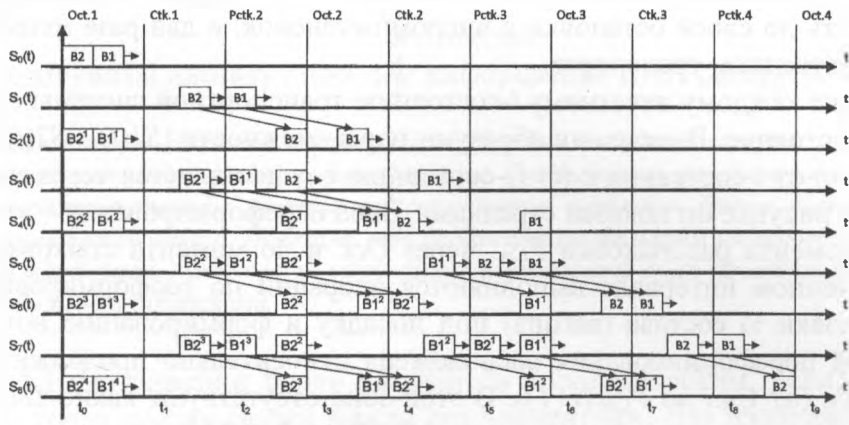


Схема состояний транспортной системы

Процесс перехода пассажиров отслеживает видеокамера блока фиксации переходящих пассажиров 5. Переход должен быть выполнен за промежуток времени от момента t_4 стыковки вагонов и до момента расстыковки t_5 , т. е. за время $t_{nep} = t_5 - t_4$. Блок фиксации переходящих пассажиров 5 через промежуток времени $\frac{3}{4} \cdot t_{nep}$ от начала пере-

хода проверяет наличие пассажиров в зоне перехода. Если такие обнаруживаются, то компьютер 2 принимает решение о снижении скорости состава. По системной шине компьютера 2 в блок управления приводом движения 6 поступает команда, которая исполняется приводом движения 7. Скорость состава снижается, что увеличивает время перехода. Впередистоящему под посадкой на остановке $Oct.3$ вагону $B1$ через радиомодуль 3 блоком фиксации переходящих пассажиров 5 сообщается о задержке прибытия состава в точку расстыковки $P_{ctk.3}$. Отсюда впередистоящий на $Oct.3$ вагон будет отходить от остановки с задержкой. В точку расстыковки $P_{ctk.3}$ состав $B11B2$ придет с опозданием. Тем не менее после расстыковки передний вагон $B2$ набирает скорость V к точке стыковки $C_{tk.3}$ и догоняет вагон $B1$, что соответствует состоянию транспортной системы $S6(t)$. Отстыкованный вагон $B11$ остается на $Oct.3$ для высадки и посадки пассажиров. Следует отметить, что задержка, которая имела место при переходе, нивелировалась уже в точке $P_{ctk.3}$. Второй тип возможной задержки – это задержка при высадке и посадке пассажиров. Положим, что видеокамеры блока 4 фиксации входящих и выходящих пассажиров вагона, например, $B2$, находящегося на остановке $Oct.2$ (состояние $S2(t)$), через время $\frac{3}{4} \cdot t_{noc}$ (t_{noc} – время посадки) установили, что не все пассажиры

вошли в вагон. В этом случае компьютер принимает решение увеличить время посадки. Через радиомодуль 3 приближающемуся к точке расстыковки $P_{ctk.2}$ составу $B11B21$ сообщается об увеличении времени посадки впередистоящим на остановке вагоном $B2$. Тогда состав $B11B21$ снижает скорость и приходит в точку расстыковки с задержкой, равной времени посадки. Состояния транспортной системы $S7(t)$ и $S8(t)$ аналогичны описанным выше состояниям. В каждом нечетном состоянии на вход системы ($Oct.1$) подается состав из двух вагонов. В установившемся режиме в транспортной системе, состоящей из n остановок, постоянно находится в состоянии покоя n вагонов (загрузка

пассажирам) и в движении $2 \cdot n$. При этом следует отметить, что на нечетных остановках останавливается первый вагон состава, а на четных – второй (см., например, *Oct.2* и *Oct.3*). Пассажир может без задержек доехать от любой остановки транспортной системы до любой другой, но для этого ему придется делать переходы из второго вагона в первый по ходу движения состава. Если он не хочет этого делать, то может оставаться в вагоне и доехать до своей остановки с числом остановок, в два раза меньшим, чем на обычном общественном транспорте.

На рисунке каждому нечетному i -состоянию транспортной системы соответствует четное $(i+1)$ -состояние. Вместе они образуют пары смежности ($S1(t) - S2(t)$, $S3(t) - S4(t)$ и т. д.). Переход от i -состояния к $(i+1)$ -состоянию осуществляется через зону переформирования. На рисунке он показан стрелками. Зона переформирования – это временной интервал от момента расстыковки $P_{Стк.}$ через *Oct.* и до момента стыковки *Стк.* В небольшом временном интервале выполняются операции по расформированию одного состава, установки $1/2$ состава (вагона) под посадку и формированию нового состава. Между зонами переформирования расположена относительно продолжительная зона стационарности (от $Стк.i$ до $P_{Стк.(i+1)}$). В этой зоне отсутствуют какие-либо события и состав движется равномерно, например, от *Стк.2* до $P_{Стк.3}$. Единственным возмущающим систему событием может быть снижение скорости, рассмотренное выше.

Заключение

Народное хозяйство и население Беларуси получают от реализации проекта следующие выгоды: создание новой конкурентоспособной продукции, ранее не производимой не только в республике, но и в мире; освоение нового типа энергоэкономичного транспорта; сохранение сотен млн долл. на экономии топлива. Данная транспортная система, кроме высокой энергоэкономичности, предоставляет пассажирам безостановочный проезд от пункта отправления до пункта назначения.

Список литературы

1. Загорский, И. О. Эффективность организации регулярных перевозок пассажирским автомобильным транспортом / И. О. Загорский, П. П. Володькин. – Хабаровск : Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2012. – 154 с.
2. Гудков, В. А. Технология, организация и управление пассажирскими автомобильными перевозками / В. А. Гудков, Л. Б. Миротин. – Волгоград : РПК «Политехник», 2000. – 301 с.
3. Shuts, V. Mobile Autonomous robots – a new type of city public transport / V. Shuts, V. Kasyanik // Transport and Telecommunication. – 2011. – Vol. 12, № 4. – P. 52–60.
4. Пролиско, Е. Е. Высокопроизводительный вид городского пассажирского транспорта на базе современных информационных технологий / Е. Е. Пролиско, В. Н. Шуть // Актуальные направления научных исследований XXI века – теория и практика : сб. науч. тр. Междунар. заочной науч.-практ. конф., Воронеж, 14–15 ноября 2016 г. – Воронеж : ВГЛУ, 2016. – Т. 4, № 5, ч. 3. – С. 336–341.
5. Пролиско, Е. Е. динамическая модель работы транспортной системы «инфобус» / Е. Е. Пролиско, В. Н. Шуть // Искусственный интеллект. Интеллектуальные транспортные системы : материалы науч.-техн. конф., Брест, 25–28 мая 2016 г. – Брест : БрГТУ, 2016. – С. 49–54.