

УДК 656.022

РАСЧЕТ ТАКТОВОГО РАСПИСАНИЯ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК ОБЩЕСТВЕННЫМ ТРАНСПОРТОМ МЕЖДУ АЭРОПОРТОМ И ГОРОДОМ

Ю.А. КАПИТОНОВ

В статье представлено описание нового для России типа организации пассажирских перевозок общественным транспортом между аэропортом и центральной частью города, основанное на тактовом расписании. Предложен алгоритм расчета тактового расписания для одной линии. Приводятся примеры решения.

Ключевые слова: тактовое расписание, управление транспортными системами, пассажирский транспорт на линии аэропорт-город.

Современные города и городские конгломерации представляют собой значительные территориальные образования. Аэропорты как объекты транспортной инфраструктуры в идеальном случае выносятся на относительно большие расстояния от городов, чтобы уменьшить влияние таких факторов, как шум от взлетающих самолетов, и обеспечить дополнительную безопасность на случай возможных авиакатастроф при взлетах и посадках. Обратной стороной этого идеального решения является необходимость организации пассажирского сообщения до аэропорта от объектов городской транспортной инфраструктуры. Для крупных аэропортов Европы это расстояние составляет в среднем 18 км. До большинства аэропортов, в которых значительную долю составляют регулярные коммерческие авиарейсы, используется региональный транспорт – электрички, автобусы, трамваи, метро. Развитие регионального транспорта в значительной степени связано с развитием экономики регионов [1].

Для крупных аэропортов в экономически развитых регионах и Европы, и России (Москва) характерно применение прямого скоростного железнодорожного сообщения между терминалами аэропортов и железнодорожными вокзалами. Для менее крупных аэропортов применяется только автобусное пассажирское сообщение, в котором может быть задействовано несколько автобусных линий в зависимости от специфики региональной транспортной сети.

Разумеется, что в любом аэропорту можно воспользоваться услугами такси, используются заказные автобусы для организованных туристов, обеспечивая перевозку из/к гостиницам. В каждом аэропорту предусмотрен подъезд и выезд личным автотранспортом парковки для автомобилей.

Общепринятым в России методом расчета расписаний движения общественного транспорта (автобусов) является интервальный метод [2]. Согласно этому методу определяется мощность пассажиропотока по часам. Выявляются часы пиковых нагрузок. Рассчитывается требуемое количество транспортных средств на маршруте в различные периоды суток. Общий результат выглядит следующим образом на примере движения автобуса № 39 по маршруту аэропорт Пулково 1 - АС "ул. Костюшко" (табл. 1) [3] (данные на март 2014 г.).

Таблица 1

Номер маршрута	Время (будние дни)	Интервал движения (мин)
39	6.00 - 10.00	12
	10.00 - 16.00	12
	16.00 - 20.00	11
	20.00 - 00.00	13

Понятие тактовое расписание означает, что все транспортные средства на своих линиях движутся с детерминированными, точно заданными интервалами движения. Указывается точное время прибытия, отправления, которое, как правило, соблюдается. Этот интервал постоянен в течение дня. Он привязан к часу времени. В период пониженной нагрузки (раннее утро и поздний вечер) этот такт увеличивают. В крупных европейских аэропортах, в региональных транспортных сетях, часто в межрегиональном сообщении используется именно тактовое расписание. В табл. 2 сведено расписание времени выездов из некоторых аэропортов до центра города.

Таблица 2

Город аэропорт	Линия S-Bahn до вокзала (или иное)	Время отправления каждый час (днем)
Duesseldorf Int	S11	: 04 : 24 : 44
Hamburg	S1	: 04 : 14 : 24 : 34 : 44 : 54
Basel	Buss 50	: 00 : 07 : 15 : 22 : 30 : 37 : 45 : 52
London	Heathrow Express	: 03 : 18 : 33 : 48

В табл. 2 обозначено: S с номером – скоростная электричка, используемая как в городе, так и в пригороде, с номером в конкретной региональной сети, Heathrow Express – прямой скоростной поезд на линии аэропорт-вокзал в аэропорту Heathrow. Из таблицы видно, что для аэропорта Дюссельдорфа такт составляет 20 мин – 1/3 ч, для Гамбурга – 10 мин – 1/6 ч, для Базеля – 7,5 мин – 1/8 ч.

При визуализации тактовых расписаний нет необходимости указывать полное время прибытия и отправления в каждой точке. Указываются только минуты, поскольку движение транспортных средств уже привязано к часу.

Такие расписания относятся к жестким, точно исполняемым. Допустимыми опозданиями считаются 5 мин – для автобусов и 3 мин – для поездов в региональном пассажирском сообщении. Нормой пунктуальности считается не более 10% опозданий сверх допустимых. Такая система удобна для пассажиров своей простотой и предсказуемостью.

Автору не известна литература по методикам расчета таких расписаний.

Пусть маршрут пассажирского транспортного средства проходит из пункта А в пункт В с промежуточными остановками. Обозначим: T_{ab} – время, затрачиваемое на движение из пункта А в В, T_{ba} – время, затрачиваемое на движение из пункта В в А, T_a – время на стоянку в пункте А, T_b – время на стоянку в пункте В. Тогда время обращения, полный цикл работы, можно определить как сумму этих составляющих

$$T_u = T_{ab} + T_{ba} + T_a + T_b. \quad (1)$$

Зададим такт (интервал) движения пассажирских транспортных средств кратно одному часу $\Delta T = 60/k$ (мин), $k = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8$. Введем допущения:

1. Время движения в прямом и обратном направлении равны.
2. Движение в прямом и обратном направлении симметричны относительно осей времени, проходящих на диаграмме время-путь через временные точки, кратные половине цикла поездок.

Из первого допущения следует, что $T_{ab} = T_{ba}$, и обозначим в дальнейшем как $T_{марш}$, как рабочее время прохождения маршрута. Далее можно показать, что

$$T_{марш} + \frac{T_a}{2} + \frac{T_b}{2} = \frac{\Delta T}{2} N. \quad (2)$$

Здесь N – число автобусов; T_a, T_b рассматриваем как параметры.

Зададимся начальным временем T_0 , и пусть оно будет кратно одному часу. Зададимся отработанным на практике маршрутом, представленным как диаграмма путь-время или табличными значениями прибытия-отправления из каждого промежуточного пункта. В общем случае – это сложная функция второго порядка, так при движении следуют поочередно: разгон, поддержание постоянной скорости, торможение, остановка на время высадки-посадки пассажиров. Эту функцию $y(t)$ зададим на отрезке времени $0 < t < T_{\text{марш}}$. Симметричность этой функции относительно оси времени $T_{\text{марш}}$ имеет вид $y(t) = y(T_{\text{марш}} - t)$.

На основании формулы (2), заданной функции $y(t)$ и свойства симметрии был создан вычислительный алгоритм, реализованный в Microsoft Excel, позволяющий рассчитывать тактовые расписания на одной линии.

Тактовые расписания могут быть записаны в трех различных формах.

1. Обычная временная форма, в которой расписание является непериодической функцией времени как для одного транспортного средства, работающего на одной линии, так и для всех транспортных средств на этой линии. Такая форма необходима для организатора перевозок с целью распределения имеющихся транспортных средств по сменности, определения потребности в водителях или машинистах и организации их труда, составления рабочих расписаний и др.

2. Форма записи, привязанная к часу. Такая форма служит для информирования пассажиров. Такие записи устанавливаются на остановках маршрута. Пример такой формы приведен в табл. 2.

3. Форма записи, привязанная к такту. Эта форма может быть использована в задаче расчета синхронизации расписаний транспортных средств, работающих на нескольких линиях.

Разработанный алгоритм расчета содержит следующие этапы.

Исходные данные.

Эталонный маршрут в виде таблицы время-положение транспортного средства (или название остановки) с временем отправления из каждой остановки, в которой время отправления из начального пункта равно нулю.

Принятое значение такта ΔT , $\Delta T = 60/k$ (мин).

Шаг 1. Определение общего времени маршрута в прямом и обратном направлении.

Шаг 2. Определение общего времени маршрута в прямом и обратном направлении, выраженное в целом количестве полных тактов, и уточнение параметров – времени стоянок в исходном и конечном пункте T_a, T_b .

Шаг 3. Определение количества потребных транспортных средств.

Шаг 4. Построение графика движений первого транспортного средства в прямом направлении с помощью сдвига эталонного маршрута на величину T_0 и $T_a/2$ в прямом направлении.

Шаг 5. Определение точного времени отправления в обратном направлении и построение графика движения в обратном направлении, используя свойство симметрии прямого и обратного графика движения.

Шаг 6. Построение графика движения для всех используемых на линии транспортных средств.

Шаг 7. Преобразование обычной временной формы записи в форму, привязанную к часу.

Пример 1. В табл. 3 приводятся результаты расчета тактового расписания автобусной линии № 39 (табл. 1) по каждой остановке маршрута в обоих направлениях, полученные по разработанному алгоритму. Принято, что такт движения автобусов $\Delta T = 12$ мин, $k = 5$. Время $T_{\text{марш}} = 37$ мин. Расчетное число автобусов $N = 7$. Время $T_a = 6$ мин, $T_b = 4$ мин.

Таблица 3

Остановка	Время				
АС "Ул. Костюшко"	:03	:15	:27	:39	:51
Московская пл. (обр. нет)	:11	:23	:35	:47	:59
Ст. метро "Московская"	:01	:13	:25	:37	:49
Пл. Победы	:04	:16	:28	:40	:52
Дунайский пр.	:07	:19	:31	:43	:55
Супермаркет "О КЕЙ"	:08	:20	:32	:44	:56
Торговый центр "МЕТРО"	:09	:21	:33	:45	:57
Ж.-д. платформа "Аэропорт"	:11	:23	:35	:47	:59
ТРЦ "Лента" (обр. нет)	:01	:13	:25	:37	:49
Аэропорт "Пулково 2" (обр. нет)	:03	:15	:27	:39	:51
ТРЦ "Пулково-III"	:06	:18	:30	:42	:54
Дорога в "Пулково 1" (обр. нет)	:08	:20	:32	:44	:56
Контр. пункт №2 (обр. нет)	:01	:13	:25	:37	:49
Аэропорт "Пулково 1" Прибытие	:04	:16	:28	:40	:52
Аэропорт "Пулково 1" Отправление	:08	:20	:32	:44	:56
ТРЦ "Пулково-III"	:07	:19	:31	:43	:55
Ж.-д. платформа "Аэропорт "	:10	:22	:34	:46	:58
Торговый центр "МЕТРО"	:02	:14	:26	:38	:50
Супермаркет "О КЕЙ"	:03	:15	:27	:39	:51
Дунайский пр.	:04	:16	:28	:40	:52
Пл. Победы	:07	:19	:31	:43	:55
Ст. метро "Московская "	:10	:22	:34	:46	:58
Авиационная ул.	:11	:23	:35	:47	:59
АС "Ул. Костюшко"	:09	:21	:33	:45	:57

В табл. 3 жирным шрифтом показан график движения первого автобуса в 5:27.

Каждая строка в этой таблице представляет расписание автобуса, которое должно быть написано на соответствующей остановке.

Пример 2. Москва, Аэропорт Шереметьево-Белорусский вокзал, вид транспорта – электропоезд Аэроэкспресс. Фрагмент действующего расписания на конец мая 2014 г. приведен в табл. 4.

Таблица 4

из Москвы (с Белорусского вокзала) в Аэропорт Шереметьево		из Аэропорта Шереметьево в Москву (на Белорусский вокзал)	
↑ Отправление	↓ Прибытие	↑ Отправление	↓ Прибытие
13:30	14:05	13:30	14:05
14:00	14:35	14:00	14:35
14:30	15:05	14:30	15:05
15:00	15:35	15:00	15:35

Как следует из таблицы, электрички Аэроэкспресс двигаются по тактовому расписанию. Такт составляет $\Delta T = 30$ мин, $k = 2$, $\Delta T = 1/2$ ч. Спецификой расписания по табл. 4 является то, что отправления электричек происходят каждый час в :00 и :30 мин, что очень облегчает

пассажирам запоминание времени отправления. Время прохождения маршрута в прямом и обратном направлении составляет $T_{\text{марш}} = 35$ мин.

Если воспользоваться формулой (2) и положить число электричек равным $N = 3$, сумма времени стоянок в пунктах А и В составит $T_a + T_b = 20$ мин.

Если допустить, что расписание является симметричным, начальное время T_0 кратно одному часу и распределить время стоянок равномерно $T_a = 10$ мин, $T_b = 10$ мин, то при трех электричках на маршруте получим вариант тактового расписания, показанный в табл. 5.

Таблица 5

Остановка	Время	
Белорусский вокзал (отправление)	:05	:35
Аэропорт Шереметьево (прибытие)	:10	:40
Аэропорт Шереметьево (отправление)	:20	:50
Белорусский вокзал (прибытие)	:25	:55

Жирным шрифтом показан график движения одной электрички.

Для этого варианта время полного цикла поездки на маршруте $T_{\text{ц}}$ составляет 90 мин, из них 70 мин – движение на маршруте и 20 мин – стоянка в пунктах назначения.

Действующее расписание по табл. 4 потребует полного цикла поездки на маршруте $T_{\text{ц}}$, равного 120 мин. При такте $\Delta T = 30$ мин потребуются число электричек $N = 4$, то есть на одну электричку больше. При этом время движения на маршруте остается равным 70 мин, а время стоянки составит 50 мин. Это время стоянки распределяется равномерно $T_a = 25$ мин, $T_b = 25$ мин. Расписание по табл. 4 также можно считать симметричным, но оно получается, если начальное время сдвинуть назад на время s , равное половине времени стоянки либо $T_a/2$, либо $T_b/2$.

Вариант расписания по табл. 4 более удобен для пассажиров по простоте информации для пассажиров. Вариант расписания по табл. 5 немного сложнее для восприятия пассажиров, но он более экономичен, так как потребует на одну электричку меньше.

Пример 3. Дюссельдорф. Аэропорт Dusseldorf International. Одним из вариантов выезда из аэропорта Дюссельдорфа является скоростная электричка линии S11. Эта электричка является частью региональной транспортной системы Северный Рейн-Вестфалия. Общее время поездки составляет немного больше, чем 1 ч 40 мин [6]. Такт движения $\Delta T = 20$ мин. При этом время поездки от терминала аэропорта до главного вокзала города Дюссельдорфа составляет лишь 14 мин, то есть около 15% маршрута. Далее маршрут следует до города Кёльна (1 ч 10 мин, 70% маршрута) и далее до города Бергиш-Гладбах (20 мин).

Общее время в пути составляет от аэропорта до Бергиш-Гладбах 1 ч 43 мин, в обратном направлении – 1 ч 42 мин. Время стоянки в аэропорту Дюссельдорфа составляет 9 мин, в Бергиш-Гладбах – 6 мин.

Общее время цикла электрички – 3 ч 40 мин. На обеспечение такта $\Delta T = 20$ требуется 11 электричек.

С погрешностью одной минуты расписание электрички S11 является симметричным. Если положить в формуле (2) $T_{\text{марш}} = 143$ мин, то $T_a = 8$, $T_a/2 = 4$, $T_b = 6$, $T_b/2 = 3$ мин. Задавая начальное время T_0 , кратное часу, мы получим, что выезд из аэропорта Дюссельдорфа должен осуществляться в :04, :24, :44 мин каждого часа, а выезд из Бергиш-Гладбах должен происходить в :13, :33, 53 мин каждого часа, что согласуется с действующим расписанием. Разность между временем поездки в прямом и обратном направлении на одну минуту компенсируется увеличением времени стоянки в аэропорту с 8 до 9 мин.

Выводы

В статье предложен алгоритм расчета тактового расписания для одной линии общественного транспорта, соединяющей аэропорт с городом. Рассмотрены примеры для

аэропортов Пулково (Санкт-Петербург), Шереметьево (Москва), Дюссельдорф (Германия).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Белый О.В.** *Проблемы построения и формирования транспортных систем*. СПб.: Элмор, 2012.
2. *Общественный транспорт Санкт-Петербурга*. [Электронный ресурс]. URL: <http://orgp.ru/rasp/1150750349.html>.
3. *Расписание аэроэкспресса в аэропорт Шереметьево*. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.aeroexpress.ru/ru/sheremetyevo/schedule.html>.

CALCULATE OF CLOCK SCHEDULING OF PUBLIC PASSENGER TRANSPORTATION BETWEEN THE AIRPORT AND THE CITY

Капитонов Ю.А.

The article describes a new type of organization for the Russian public passenger transportation between the airport and the central part of the city, used in major European cities, based on the clock schedule. A calculation algorithm for clock schedules for one line is suggested examples of solutions are given.

Keywords: clock schedule, management of transport systems, passenger transport on airport-city lines.

REFERENCES

1. **Beluia O.V.** *Problemi postroenia i formirovania transportnux system*. SPb.: Elmor. 2012. (In Russian).
2. *Obshhestvennyj transport Sankt-Peterburga*. URL: <http://orgp.ru/rasp/1150750349.html>. (In Russian).
3. *Raspisanie ajerojekspressa v ajeroport Sheremet'evo*. URL: <http://www.aeroexpress.ru/ru/sheremetyevo/schedule.html>. (In Russian).

Сведения об авторе

Капитонов Юрий Алексеевич, 1954 г.р., окончил ЛМИ (1977), кандидат технических наук, доцент кафедры интермодальных перевозок и логистики СПбГУ ГА, автор 15 научных работ, область научных интересов – логистика, управление пассажирскими перевозками.