

Шиков Н. Н.
к.т.н., доц.,
Филинков И. А.
магистрант,
Ващенко А. А.
магистрант

Донбасский государственный технический университет, г. Алчевск, ЛНР, Россия

АДАПТАЦИЯ МАРШРУТНОГО ТРАНСПОРТА К ИЗМЕНЕНИЮ ИНТЕНСИВНОСТИ ПАССАЖИРСКОГО ПОТОКА

Постановка проблемы. Одним из основных показателей городской агломерации является пропускная способность транспортных маршрутов, которые в условиях компактной территориальной группировки населённых пунктов, объединённых в сложную многокомпонентную динамическую систему с энергетическими производственными и транспортными связями, обуславливаются интенсивностью обслуживания пассажирских пунктов остановки.

Концептуальную модель таких процессов можно описать системой массового обслуживания (СМО). На пункты остановок (канал услуг) с интенсивностью λ поступает поток пассажиров (заявок), которые должны быть обслужены транспортными средствами с производительностью μ_i (интенсивность обслуживания) i -го пункта остановки. Очевидно, с одной стороны, в рассматриваемой системе СМО существуют ограничения на длину очереди и на время ожидания пассажиров в очереди, а, с другой стороны, избыточный транспортный поток приводит к неоправданным амортизационным отчислениям и затратами на обслуживание парка транспортных средств. Отсюда найти компромисс между затратами на увеличение интенсивности движения пассажирского транспорта и затратами на ожидание пассажиров в очереди на пунктах остановки является противоречивой задачей, актуализирующей изыскания по ее разрешению.

Анализ последних исследований и публикаций. Производительность (интенсивность обслуживания) канала обслуживания имеет случайный характер, который описывается одним из статистических законов, например, гамма-распределением, логарифмически — нормальным распределением, показательным распределением [1–4], распределением Эрланга [3–5] и т. д.

Во многих работах исследовались операции посадки (высадки) пассажиров на остановочных пунктах [5]. Время нахождения транспортного средства на остановочном пункте авторы разделяли на несколько элементов, например, торможения, разгона транспортного средства, посадки (высадки) пассажиров, открытия–закрытия дверей и т. д.

Вместе с тем, в анализируемых работах не отражены изменения интенсивности обслуживания каналов с учетом эксплуатационных транспортных затрат и затрат в результате потерь времени пассажиров на каждом остановочном пункте.

Описание основного материала. Производительность (интенсивность) обслуживания m -м количеством транспортных средств пассажирского потока в пунктах остановки можно описать выражением:

$$\mu = \sum_{i=1}^m \mu_i ,$$

где m — количество занятых каналов обслуживания; μ_i — производительность (интенсивность обслуживания) i -го средства.

На предварительном этапе разрешения проблемы пропускной способности, например, на одном из маршрутов выполняется с помощью автоматического видеосчитывателя или вручную регистрация количества пассажиров, прибывающих на пункт остановки за опреде-

ленный интервал времени. Если обозначить x_i и x_j соответственно остановочный пункт и время суток, то уравнение регрессии интенсивности пассажирского потока можно представить так: $\lambda_{ij} = a_0 + a_1x_i + a_2x_j$.

Для формирования графика движения маршрутных транспортных средств расчетные интенсивности систематизируются и помещаются в таблицу 1.

При практическом использовании интенсивностей обслуживания транспортных средств во внимание берется максимальная часовая интенсивность пассажирского потока на одном из пунктов остановки, которая в дальнейшем и применяется при составлении графиков движения маршрутных транспортных средств.

Нахождение в очереди пассажиров, ожидающих обслуживания, приводит к потерям, которые назовем *временными потерями*. Временные потери определяются числом пассажиров n находящихся в очереди. Примем, что если в очереди в течение единицы времени находится n пассажиров, то потери времени в единицу времени равны $F = c_1n$. Исходя из того, что закон распределения количества ожидающих пассажиров в течение часа относится к пуассоновому, найдем математическое ожидание ($MF(s)$) временных потерь по формуле [1]:

$$MF(s) = c_1(\lambda s + 1),$$

где c_1 — потери единичного пассажира.

Потери на амортизацию и обслуживание транспортных средств зависят от интенсивности эксплуатации транспортных средств $f(\mu) = c_2\mu$, где c_2 — потери на одно транспортное средство. Сопоставляя математическое выражение транспортных потерь с двухуровневым изменением интенсивности обслуживания $\mu_1 \leq \mu \leq \mu_2$ и допустимым временем простоя s_0 , в [2] получено условие адаптации транспортных средств (изменение пассажирских мест или увеличение транспортных средств обслуживания) к изменяющемуся пассажирскому потоку на пункте остановки:

$$\mu(s) = \begin{cases} \mu_1 & \text{при } s \leq s_0, \\ \mu_2 & \text{при } s > s_0. \end{cases}$$

Если обозначить через $\rho_1(s)$ плотность вероятностей в интервале $s \leq s_0$, а в интервале $s \geq s_0$ через $\rho_2(s)$, то выражения для их вычисления имеют вид [1]:

$$\rho_1(s) = \frac{[\lambda^2(\lambda - \mu_1)(\lambda - \mu_2) \exp((\lambda - \mu_1)s)]}{\lambda^2(\mu_1 - \mu_2) \exp((\lambda - \mu_1)s_0) - \mu_1^2(\lambda - \mu_2)},$$

$$\rho_2(s) = \frac{\lambda^2(\lambda - \mu_1)(\lambda - \mu_2) \exp(\lambda s - \mu_1 s_0 - \mu_2(s - s_0))}{\lambda^2(\mu_1 - \mu_2) \exp((\lambda - \mu_1)s_0) - \mu_1^2(\lambda - \mu_2)}.$$

Условия для изменения интенсивности обслуживания (μ) всецело зависят от значения плотности вероятности ρ_1 и соотношения затрат c_1 и c_2 .

Тогда выбор и расчет управляющего параметра μ можно представить табличной структурой (табл.2).

Таблица 1 — Матрица почасовой интенсивности пассажирского потока

Пункты остановки/ Время суток	1	2	...	j
1	λ_{11}	λ_{12}	...	λ_{1j}
2	λ_{21}	λ_{22}	...	λ_{2j}

24	λ_{241}	λ_{242}	...	λ_{24j}

Таблица 2 — Управление интенсивностью обслуживания пассажиров

Плотность вероятности	Условие	Интенсивность обслуживания транспортом
$\rho_1 < 1$	$\frac{c_2}{c_1} \leq \frac{(1 + \rho_1)(\rho_1 - \rho_2)}{\rho_2(1 - \rho_2)}$	μ_2
$\rho_1 < 1$	$\frac{c_2}{c_1} > \frac{(1 + \rho_1)(\rho_1 - \rho_2)}{\rho_2(1 - \rho_2)}$	$\frac{c_1(\rho_1 - \rho_2)}{(\rho_2 - 1)(\rho_1 - 1)} \{ \rho^2(\rho_2 - 1) + (\rho_1 - 1) \times$ $\times [(\rho_2 - 1)(x_0 + 1) - \rho_2] + \rho_1^2(\rho_1 - \rho_2) \exp\left(\frac{(\rho_1 - 1)x_0}{\rho_1}\right) \} +$ $+ c_2 \rho_2(\rho_1 - 1) = 0$ <p>Требуется численное решение трансцендентного уравнения</p>
$\rho_1 = 1$	$\frac{c_2}{c_1} \leq \frac{2}{\rho_2}$	μ_2
$\rho_1 = 1$	$\frac{c_2}{c_1} > \frac{2}{\rho_2}$	$x_0 = \mu = \frac{2 - \rho_2 - \sqrt{(2 - \rho_2)^2 + 2(1 - \rho_2)(\rho_2 c_2 / c_1 - 2)}}{\rho_2 - 1}$

Выводы. Представленные исследования могут быть полезны при оптимизации и управления транспортных перевозок в условиях городской агломерации, где важна не длина очереди пассажиров на пунктах остановки, а время их простоя в очереди на обслуживание городским транспортом.

На основе оптимальной двухуровневой системы транспортного обслуживания, получены уравнения для нахождения оптимального момента включения большей интенсивности обслуживания (адаптация). Для частного случая, когда временные потери пропорциональны числу пассажиров, находящихся в очереди, получен оптимальный момент включения большей интенсивности обслуживания при $\rho_1 = 1$. Для случая $\rho_1 \neq 1$ представлено условие, когда на маршруте постоянно должен работать транспорт с большей интенсивностью обслуживания.

Список источников

1. Самочернова Л. И. Оптимизация системы массового обслуживания с переменной интенсивностью, зависящей от времени ожидания // Известия Томского политехнического университета. 2009. Т. 315. № 5 С.170–182.
2. Математическая теория оптимальных процессов / Л. С. Понтрягин, В. Г. Болтянский, Р. В. Гамкрелидзе, Е. Ф. Мищенко. М. : Наука, 1976. 392 с.
3. Коваленко И. Н. О СМО со скоростью обслуживания, зависящей от числа требований в системе и периодическим отключением каналов // Проблемы передачи информации. 1971. Т. 7. № 2. С. 106–111.
4. Горцев А. М., Назаров А. А., Терпугов А. Ф. Управление и адаптация в системах массового обслуживания. Томск : Изд-во ТГУ, 1978. 208 с.
5. Либура М. Об одноканальной системе обслуживания с простейшим входящим потоком и зависимостью времени обслуживания от времени ожидания в очереди // Проблемы передачи информации. 1972. Т. 8. № 4. С. 104–107.