

ПРОЕКТИРОВАНИЕ МАРШРУТОВ ГОРОДСКОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ СРЕДСТВАМИ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В. Д. Левчук, П. Л. Чечет (Гомель)

Введение

Для решения типовых задач проектного моделирования сети городского пассажирского транспорта (поиска узких мест в технологии обслуживания пассажиров в транспортной сети; оценки пропускной способности транспортной сети и др.) авторами была разработана имитационная модель (ИМ) городской маршрутной транспортной сети [1]. Она реализована согласно базовой схеме формализации системы моделирования MICIC4 [2]. В данной статье авторами предлагается методика планирования расписания маршрута, обеспечивающего баланс интересов администрации транспортного предприятия и пассажиров. Алгоритм решения задачи предполагает многократные запуски ИМ для оценки необходимых характеристик маршрута.

Описание имитационной модели

Маршрутная транспортная сеть может быть представлена в виде одноуровневого нелинейного динамического технологического процесса производства с вероятностными характеристиками [3], где в роли операндов выступают пассажиры и троллейбусы. Остановочные пункты, места проживания и работы, дороги являются технологическими операциями. Граф-схема взаимодействия компонентов городской маршрутной транспортной сети представлена на рис. 1.

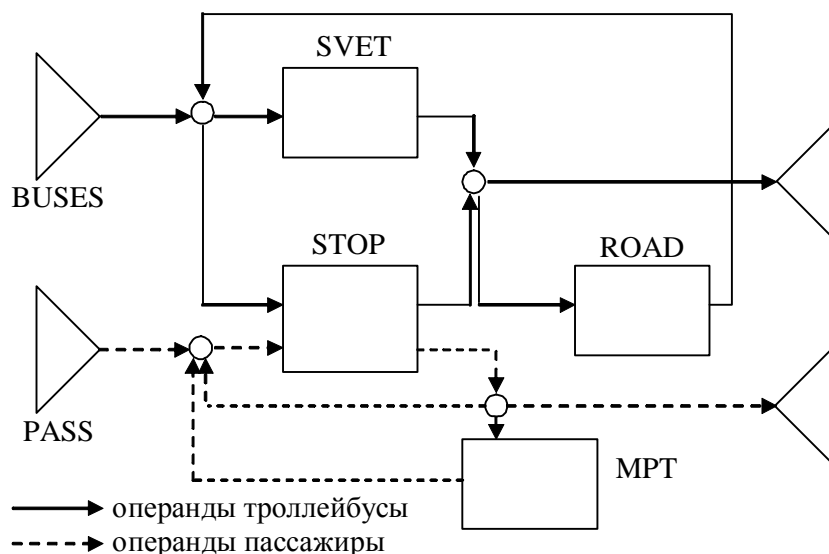


Рис. 1. Граф-схема городской транспортной сети

Помимо технологических операций на схеме представлены генераторы операндов троллейбусов и операндов пассажиров, а также поглотители этих операндов. Технологическими операциями являются светофоры SVET, дорога ROAD, остановочные пункты STOP, места приложения труда MPT. Функционирование городской маршрутной транспортной сети происходит с изменяемыми интервалами движения транспортных средств и интенсивностью прихода пассажиров в течение суток. Пункт назначения движения пассажира, наличие или отсутствие пересадки, подходящие номера маршрутов — всё это задается во входных данных модели. Выделяются следующие группы входных данных:

- количество и названия остановочных пунктов;
- количество, названия и параметры работы светофоров;
- расстояния между объектами маршрутов (остановками и светофорами);
- количество маршрутов и маршруты транспортных средств;
- параметры (режим работы по времени суток) и названия мест работы;
- интенсивность прихода пассажиров на остановки по времени суток;
- интервалы выхода на линию транспортных средств по времени суток;
- маршрутные карты пассажиров, указывающие тип пассажира, подходящие маршруты и, при необходимости, остановку пересадки.

Для обеспечения высокой точности задания входных данных, основные параметры и переменные модели, задающие интенсивность движения транспорта и частоту прихода пассажиров, разбиты на интервалы по времени суток. Необходимость в таком разбиении обусловлена тем, что интенсивность работы городской транспортной сети значительно меняется в течение суток: в ночные часы загрузка маршрутной транспортной сети минимальна, в рабочее время держится на некотором среднем уровне, в период начала и окончания работы предприятий, организаций и учреждений города маршрутная пассажирская транспортная сеть функционирует в режиме максимальной загрузки (часы «пик»).

ИМ вычисляет большое количество откликов, среди которых:

- среднее время движения троллейбуса между остановками и по маршруту;
- среднее наполнение троллейбуса при движении по маршруту;
- среднее время ожидания троллейбуса на остановке.

ИМ была реализована согласно базовой схеме формализации системы моделирования MICIC4 [2] с применением разработанных нами шаблонов программирования ИМ [3]. Для реализации перемещения операндов пассажиров внутри операнда троллейбуса используется шаблон иерархии динамических элементов. В программе ИМ реализованы классы Bus и Map для представления операндов троллейбусов и пассажиров соответственно. Класс Bus агрегирует абстрактный класс TTnsFiling, наследник которого TTnsF реализует хранение вложенных операндов. Маршрут перемещения пассажира к месту приложения труда и обратно реализован с использованием шаблона состояния компонента. Класс операнда пассажира Map содержит две маршрутные карты, задающие его состояние. Метод ShiftMap() заменяет прямую маршрутную карту обратной, изменяя состояние пассажира на перемещение обратно к месту проживания.

Входные данные программы ИМ находятся в текстовых файлах. Для их редактирования в среде табличного процессора Excel реализован редактор входных данных с использованием подпрограмм на языке VBA, которые автоматически считывают и преобразуют входные данные при его запуске. В процессе работы программа ИМ вычисляет отклики и помещает их в отдельные текстовые файлы или файл результатов в формате HTML.

Разделение выходной информации по отдельным текстовым файлам обусловлено большим объемом находящейся в них информации. Это связано с делением откликов по времени суток, номерам маршрутов и названиям остановочных пунктов. Текстовые файлы откликов программы ИМ городской пассажирской транспортной сети имеют структуру, позволяющую их непосредственное открытие в Excel. Это упрощает их дальнейшую обработку, которая может быть выполнена средствами табличного процессора. Открытие файлов откликов в табличном процессоре также в случае необходимости позволяет легко перенести результаты в другие форматы, например в файлы баз

данных *.dbf*. Формат HTML выходных данных при необходимости позволяет легко организовать доступ к получаемым результатам через сеть Интернет с использованием WEB технологий, а также упрощает построение WEB контейнера для этой имитационной модели.

Алгоритм планирования расписания маршрута

При функционировании городской транспортной сети большое влияние на неё оказывает интенсивность выпуска маршрутных транспортных средств на линию с конечных остановочных пунктов. Увеличение интервалов между выпуском двух транспортных средств увеличивает их наполняемость пассажирами. Это приводит к снижению расходов предприятий транспорта. Однако слишком редкое движение транспорта может увеличить время его ожидания пассажирами до недопустимо большой величины. Поэтому задача выбора рациональной интенсивности не имеет тривиального решения. С одной стороны, требуется обеспечить наполняемость транспорта не ниже некоторого заданного уровня $\eta \geq \eta_{\min}$, а с другой стороны – обеспечить такое движение транспорта, чтобы время ожидания пассажирами на остановке не превышало некоторой заранее заданной величины $\tau \leq \tau_{\max}$, т.е.

$$\eta \geq \eta_{\min} \ \& \ \tau \leq \tau_{\max} . \quad (1)$$

Основными наблюдаемыми значениями в этом методе являются среднее время ожидания маршрутного транспортного средства пассажирами на остановочном пункте $\tau \geq 0$ и коэффициент наполняемости транспортного средства пассажирами $\eta \in [0;1]$. Поиск рациональной интенсивности выпуска транспортных средств на линию предлагается выполнять следующим образом. Для рассматриваемого маршрута проводится однофакторный эксперимент, где варьируется интенсивность выпуска на линию маршрутных транспортных средств на некотором временном интервале. Интервал может быть получен как отклонение в обе стороны от текущей величины интенсивности выпуска на некоторую величину δ . При проектировании новой транспортной сети для выбора интервала могут быть использованы экспертные оценки. Далее следует для каждой остановки маршрута рассмотреть изменение коэффициента наполнения и времени ожидания пассажирами. Исследования показали, что при увеличении интенсивности выпуска транспортных средств на линию наполнение и время ожидания нестрого *возрастают*:

$$\eta(\lambda_1) \leq \eta(\lambda_2), \ \tau(\lambda_1) \leq \tau(\lambda_2), \ \lambda_1 < \lambda_2 . \quad (2)$$

Увеличение временного интервала между выпуском двух транспортных средств на линию приводит к тому, что транспортные средства выбранного маршрута реже подъезжают к остановочным пунктам. С одной стороны, это положительно влияет на наполняемость транспорта. Однако, с другой стороны, это увеличение интервала между выпуском двух транспортных средств на линию приводит и к росту времени ожидания пассажирами маршрутного транспорта на остановочном пункте.

Для более точного анализа значений коэффициента наполнения и времени ожидания их следует преобразовать выражениями

$$\eta_j^* = \frac{\eta_j}{\eta_{\min}}, \text{ где } \eta_j - \text{коэффициент наполнения;} \quad (3)$$

$$\tau_j^* = \frac{\tau_j}{\tau_{\max}}, \text{ где } \tau_j - \text{время ожидания.} \quad (4)$$

При этом условие (1) примет вид

$$\eta^* \geq 1 \text{ \& } \tau^* \leq 1. \quad (5)$$

В зависимости от функционирования сети городского пассажирского транспорта возможны *три типовых варианта* зависимости коэффициента наполнения и времени ожидания пассажирами от интенсивности выпуска маршрутного транспорта на линию. Рассмотрим *первый* типовой вариант зависимости. Этот вариант приведен на рис. 2. Из графиков на рисунке видно, что при увеличении интенсивности λ сначала значение наполняемости η^* становится больше единицы, а затем и время ожидания τ^* также превышает это значение. Исходя из условия (5) видно, что оно выполняется при $\lambda \in [\lambda_1; \lambda_2]$. Следовательно, для данного остановочного пункта существует диапазон изменения интервала времени между выпуском двух маршрутных транспортных средств на линию, при котором удовлетворяется условие (1).

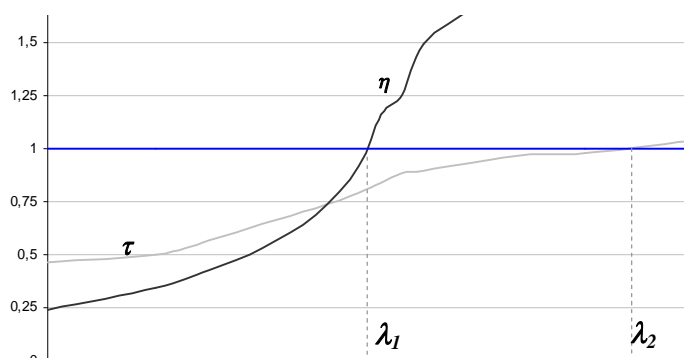


Рис. 2. Первый вариант зависимости

Во *втором* типовом варианте интенсивность и коэффициент наполнения одновременно достигают единичного значения $\tau^* = \eta^* = 1$. В таком случае только при одном значении времени между выпуском двух маршрутных транспортных средств на линию условие (5) будет выполняться. В *третьем* случае при увеличении времени между выпуском двух транспортных средств на линию время ожидания пассажирами на остановочном пункте начинает превышать допустимое значение $\tau^* > 1$, а коэффициент наполнения остается $\eta^* < 1$. Получается, что интенсивность λ должна быть не больше λ_1 и одновременно не меньше λ_2 , но при этом $\lambda_1 < \lambda_2$. Поэтому не существует такой интенсивности выпуска транспорта на линию, при которой выполнялось бы условие (5).

Для рационального функционирования транспортной сети требуется, чтобы условие (1) выполнялось для всех остановочных пунктов рассматриваемого маршрута. Если хотя бы для одного остановочного пункта имеется третий вариант, то нужно либо выбрать новые значения η_{min} и τ_{max} , либо отбросить этот остановочный пункт, допуская невыполнение для него условия (1). В случае, когда для всех остановочных пунктов имеются только варианты 1 и 2, нужно построить интервал $\Omega = \bigcap [\lambda_{1i}; \lambda_{2i}]$, $i = \overline{1, N}$ по всем N остановочным пунктам. При втором варианте принимается $\lambda_{1i} = \lambda_{2i} = \lambda_i$. Если при этом интервал интенсивности $\Omega \neq \emptyset$, то рациональной будет любая интенсивность $\lambda \in \Omega$. В случае, если $\Omega = \emptyset$, то при заданных η_{min} и τ_{max} невозможно выполнение условия (1) для всех остановочных пунктов маршрута. В этом случае следует выбрать новые значения η_{min} и τ_{max} , или допустить невыполнение условия (1) на некоторых остановочных пунктах. Для этого можно воспользоваться предлагаемым методом. Требуется выбрать такое значение λ , чтобы условие (1) выполнялось на максимальном количестве

остановочных пунктов маршрута. Графически пример использования этого метода приведен на рис. 3.

Отрезки интенсивностей $[\lambda_{1i}; \lambda_{2i}]$ размещаются последовательно на координатной плоскости, в качестве концов i -го отрезка берутся точки (i, λ_{1i}) и (i, λ_{2i}) $i = \overline{1, N}$ по всем N остановочным пунктам, как показано на рис. 3. Затем выбирается такое значение λ , чтобы прямая $y = \lambda$, пересекала максимальное количество отрезков. В примере на рис. 3, при $\lambda = 7$, условие (1) будет выполняться для 6 остановочных пунктов из 9.

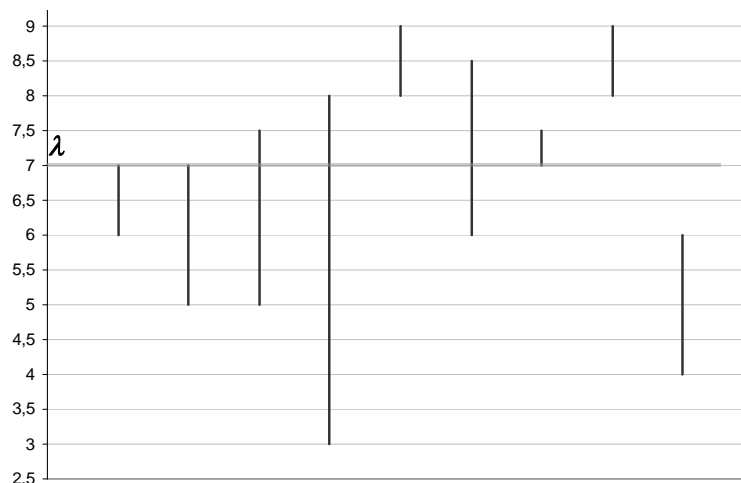


Рис. 3. Поиск рационального значения интенсивности

Было проведено исследование функционирования участка городской транспортной сети, состоящего из трех маршрутов, два из которых являются кольцевыми с однонаправленным движением, а один – с двусторонним движением. С помощью ИМ городской маршрутной транспортной сети был осуществлен поиск рациональной интенсивности выхода транспортных средств на линию с конечных остановок маршрутов. Значения управляемых параметров в алгоритме были заданы $\eta_{min} = 50\%$ и $\tau_{max} = 9$ мин. Результаты апробации приводятся в докладе.

Заключение

Способ поиска рационального значения интенсивности, основанный на прогонах ИМ, позволяет получить гарантированные значения времени ожидания и коэффициента наполнения либо на всех остановочных пунктах маршрута, либо на их максимальном количестве. Этот метод может быть использован как для исследования уже существующей маршрутной городской транспортной сети, так и при проектировании новой. Алгоритм апробирован для пассажирской маршрутной транспортной сети, состоящей из трех маршрутов двух типов: кольцевых и с двусторонним движением.

Литература

1. Чечет П. Л. Реализация имитационной модели сети городского пассажирского транспорта // Известия ГГУ им. Ф. Скорины. Гомель. 2006. № 4(37). С. 102–104.
2. Левчук В. Д. Программно-технологические комплексы имитации сложных дискретных систем / В. Д. Левчук, И. В. Максимей. Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2006. 263 с.
3. Левчук В. Д. Актуальные шаблоны программирования имитационных моделей сложных систем / В.Д. Левчук, П.Л. Чечет // Сборник докладов конф. ИММОД-2007: Т. 1. СПб.: ФГУП ЦНИИ ТС, 2007. С. 167–171.