

УДК 656.072**Ю.Н. Семенов, О.С. Семенова**

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ ГОРОДСКОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА С УЧЕТОМ ПЛОТНОЙ МАРШРУТНОЙ СЕТИ

При анализе работы городского пассажирского транспорта (ГПТ) необходимо учитывать высокую плотность маршрутной сети, различную стоимость проезда на маршрутах, деление населения на категории [1, 2], что при решении оптимизационных задач позволяет автоматизированная система, предназначенная для оптимизации работы ГПТ с учетом наложения маршрутов.

Одной из наиболее актуальных задач, связанных с разработкой научноемкого программного обеспечения, является моделирование сложных систем, ключевыми особенностями которых в данном случае можно считать большое количество составных элементов, дальние связи между элементами и многомасштабную изменчивость. Задачу систематизации и хранения информации о системе ГПТ осуществляется база данных (БД) "Расчетно-справочное хранилище информации на основе данных табличного обследования пассажиропотока" (свидетельство о государственной регистрации №2008620122). Входящая в состав автоматизированной системы программа "Оптимизация интервалов движения городского общественного транспорта на основе данных табличного обследования пассажиропотока" (свидетельство о государственной регистрации №2008611196) позволяет учесть при оптимизации наложение маршрутов, различную стоимость проезда, деление населения на категории.

Первым шагом в процессе проектирования базы данных является определение всех объектов (сущностей) и их свойств (атрибутов), которые должны быть помещены в БД, так как отсутствие представляющей интерес информации сводит на нет ценность всей базы. Кроме того, необходимо выявить связи не только между объектами базы данных, но и между свойствами объектов.

Всю информацию, предназначенную для хранения в базе данных, можно условно разделить на первичную, справочную и расчетную.

К первичной относится вся собранная с помощью табличного обследования информация о совершенных транспортными средствами рейсах и количестве вошедших/вышедших пассажиров на каждом остановочном пункте.

К справочной относится информация о маршрутной сети города; транспортных средствах, осуществляющих перевозку пассажиров; дате обследования; интервалах времени; возможных направлениях движения.

Исходя из этого, можно выделить следующие основные сущности БД: "Рейс", "Маршрут",

"Пассажиры", "Остановки", "Подвижной состав", "Дата", "Часы суток", "Направление".

На рис. 1 представлена ER-диаграмма, отражающая вышеназванные сущности и связи между ними. Объект "Часы суток" необходим только для расчетов, поэтому не связан с другими сущностями, характеризующими первичную информацию, и на ER-диаграмме не отображен.

Следующим этапом после создания ER-диаграммы, включающей в себя все важные сущности и связи, является построение набора предварительных таблиц и указание предполагаемого первичного ключа для каждой таблицы. Предварительные таблицы получаются из ER-диаграммы исходя из класса принадлежности сущностей и степени отношений.

У большинства сущностей в проектируемой базе данных степень бинарной связи составляет 1:n ("один-ко-многим") и класс принадлежности обеих сущностей является обязательным, следовательно, для хранения данных необходимо по одной таблице на каждую сущность.

Степень бинарной связи между сущностями "Маршрут" и "Остановки" равна m:n ("многие-ко-многим"), следовательно, для хранения данных требуются три таблицы – по одной для каждой сущности и одной таблицы для связи [4].

На заключительном этапе проектирования был составлен список всех представляющих интерес атрибутов, которые были распределены между сущностями. На этом этапе также были определены межатрибутные функциональные зависимости, с помощью которых было проверено соответствие полученных из ER-диаграммы таблиц третьей нормальной форме, согласно которой все не ключевые столбцы таблиц должны зависеть от первичного ключа, но не зависеть друг от друга.

Кроме первичной и справочной информации в базе данных должна быть предусмотрена возможность хранения расчетной (вторичной) информации. Для эффективной и рациональной работы с БД необходимо хранение следующих данных:

- технико-эксплуатационных показателей работы транспорта;
- пассажиропотока по часам суток, реальных, субоптимальных и оптимальных интенсивностей движения, коэффициентов наполнения;
- матрицы межостановочных корреспонденций;
- коэффициентов, указывающих на возможность перемещения маршрутом между остановочными пунктами,

- расчетного количества автобусов, необходимого для осуществления перевозок в определенный час суток;
- наполнения автобуса на каждом перегоне маршрута при движении с оптимальной интенсивностью.

Для исключения избыточности данных и сведения к минимуму числа таблиц для хранения вторичной информации были предусмотрены следующие объекты: “Технико-эксплуатационные показатели работы транспорта”, “Оптимизационная таблица”, “Матрица межстаночечных корреспонденций”, “ A_{ijk} ”, “Количество автобусов”, “Наполнение (при m^{**})”.

Основная задача автоматизированной системы – проведение оптимизации работы ГПТ с учетом наложения маршрутов. К второстепенным задачам можно отнести определение технико-эксплуатационных характеристик работы ГПТ, маршрутного коэффициента и т. д. Алгоритм проведения оптимизации (рис. 2) состоит из следующих этапов:

1 этап – сбор справочной и первичной информации о ГПТ и помещение ее в базу данных, автоматическая корректировка ошибочной информации. На этом этапе происходит загрузка следующей информации из таблиц MS Excel: дата, номер маршрута, марка транспортного средства, совершающего рейс, количество вошедших и вышедших пассажиров на каждом остановочном пункте маршрута. Затем подсчитывается суммар-

ное количество вошедших/вышедших пассажиров за рейс, рейсы с ошибочными данными заносятся в “Таблицу ошибочных данных”. После этого ошибочная информация корректируется. Так же на этом этапе расчетными методами определяется время прибытия транспортного средства на каждый остановочный пункт и заполняются справочные таблицы.

2 этап – формирование блока исходных данных на основе информации из таблиц “Рейс”, “Маршрут”, “Пассажиры”, “Остановки”, “Подвижной состав”, “Дата”, “Часы суток”, “Направление”, “Часы суток”.

3 этап – расчет матрицы межстаночечных пассажирских корреспонденций для каждого рейса, формирование расчетной таблицы “Матрица корреспонденций”; определение элементов глобальной матрицы межстаночечных корреспонденций для каждого часа суток.

4 этап – определение коэффициентов, указывающих на возможность перемещения k -м маршрутом между i -м и j -м остановочными пунктами, формирование расчетной таблицы “ A_{ijk} ”.

5 этап – определение коэффициента наложения пассажиропотоков на маршрутную сеть H . На этом этапе осуществляется выбор направления решения оптимизационных задач – с учетом или без учета наложения маршрутов.

6 этап – решение математических задач оптимизации движения ГПТ: определение интенсивности движения транспортных средств по



Рис. 1. ER-диаграмма базы данных

маршрутам (субоптимальной, оптимальной), используя различные постановки задач в зависимости от наличия исходных данных и требуемого уровня детализации. На этом этапе также определяется фактическая интенсивность движения ГПТ для всех временных интервалов и маршрутов.

7 этап – определение коэффициента наполнения подвижного состава для рассчитанных интенсивностей движения. Анализ информации о наполнении транспортных средств на перегонах позволяет сделать вывод о возможности применения для оптимизации движения городского пассажирского транспорта математических задач без ограничения на пассажировместимость транспортного средства.

8 этап – оценка результатов оптимизации: определение суммарных транспортных затрат и суммарных потерь времени пассажиров, расчет стоимости пассажирочаса для фактической интенсивности движения, определение требуемого для осуществления перевозок количества автобусов.

За реализацию вышеперечисленных этапов в программном комплексе отвечают формы (определяют порядок расчетов), модули и запросы.

В составе автоматизированной системы можно выделить ядро, обеспечивающее базовый функционал комплекса, и набор модулей, расширяющих его. Различные модули расширения могут быть нацелены на решение дополнительных задач, к которым можно отнести определение технико-эксплуатационных показателей работы ГПТ, расчет матрицы межстанционных пассажирских корреспонденций, определение требуемого количества транспортных средств для осуществления перевозок и пассажиропотока по часам суток и т. д. Комбинируя и при необходимости разрабатывая новые модули расширений (например, модуль для проектирования новых маршрутов), можно точно и быстро решать большинство задач, возникающих на практике.

Ядро позволяет осуществить оптимизацию работы ГПТ исходя из минимизации суммарных транспортных затрат и потерь времени пассажиров в условиях различной плотности маршрутной сети, стоимости проезда, делении населения на категории. При оптимизации используются данные натурного обследования пассажиропотока на всех маршрутах города; маршрутная сеть города; количество маршрутов; перечень остановочных пунктов на маршрутах; списочное количество подвижного состава, осуществляющего перевозки. Вся перечисленная информация берется из соответствующих таблиц и запросов базы данных.

В основе расчета оптимальной интенсивности движения транспортных средств по маршрутам лежит решение системы нелинейных уравнений большой размерности, что само по себе представляет большую сложность. Решение таких систем уравнений выполняется численными итерацион-

ными методами, при этом возникают проблемы сходимости и однозначности решения. Практически все проблемы сходимости так или иначе связаны с корректностью задания исходных данных. При сборе и оцифровке большого объема данных, необходимых для расчетов, велика вероятность совершения ошибки, что может привести к расходящемуся итерационному процессу. Решить проблему ошибок позволяет автоматическое исправление неверной информации с помощью модуля “*a_3КорректировкаВошедших Вышедших*”. Корректировка производится умножением количества вошедших пассажиров на коэффициент, представляющий собой отношение суммарного количества вышедших пассажиров к вошедшим.

Для эффективной работы автоматизированной системы разработаны 3 модуля класса, непосредственно связанные с формами, и 23 стандартных модуля. Так как каждый этап оптимизации должен производиться только после выполнения предыдущего и проверки правильности его выполнения, то для сохранения правильного порядка оптимизационные расчеты лучше всего проводить, используя формы, в которых указана последовательность расчетов. К исполняемым модулям класса, непосредственно связанных с этими формами, относятся: модуль формы *Form_forma1*, предназначенный для выполнения всех этапов оптимизации работы транспорта; модуль формы *Form_Forma2*, позволяющий рассчитать технико-эксплуатационные показатели работы транспорта; модуль формы *Form_Forma3*, позволяющий получить доступ к справочным таблицам.

В разработанном программном комплексе запросы выполняют вспомогательную функцию, позволяя с минимальными усилиями получить доступ к определенной совокупности данных из нескольких таблиц или сгруппировать несколько записей в одну. Большая часть запросов вызывается из модулей, позволяя тем самым значительно сократить программный код, а так же уменьшить время его выполнения. Остальные запросы предназначены либо для вывода на экран в удобном виде справочной информации (например, названия остановок на конкретном маршруте), либо для построения по сгруппированным данным графиков и диаграмм.

Автоматизированная система может использоваться как для моделирования различных ситуаций (изменения пассажиропотока, стоимости пассажиро-часа, транспортных затрат), так и для оптимизации. Алгоритм оптимизации не учитывает пересадочность, поэтому программный комплекс можно использовать для оптимизации работы ГПТ в малых и средних городах (с низким коэффициентом пересадочности). Дальнейшее совершенствование комплекса программ возможно благодаря разработке алгоритмов и построению модулей по составлению расписания

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Антошвили, М. Е.* Оптимизация городских автобусных перевозок / М. Е. Антошвили, С. Ю. Либерман, И. В. Спирина. – М. : Транспорт, 1985. – 102 с.
2. *Гудков, В. А.* Пассажирские автомобильные перевозки : учеб. для вузов / В. А. Гудков, Л. Б. Миротин, А. В. Вельможин, С. А. Ширяев ; под ред. В. А. Гудкова. – М. : Горячая линия – Телеком, 2004. – 448 с.
3. *Кельтон, В.* Имитационное моделирование. Классика CS : [пер. с англ.] / В. Кельтон, А. Лоу. – 3-е изд. – СПб. : Питер ; Киев: Издательская группа BHV, 2004. – 847 с.
4. *Тихомиров, Ю. В.* MS SQL Server 2000: разработка приложений / Ю. В. Тихомиров. – СПб. : БХВ-Петербург, 2000. – 368 с.

□ Авторы статьи:

Семенов
Юрий Николаевич,
канд. техн. наук, доц. каф. автомо-
бильных перевозок КузГТУ,
Тел. 8-3842-39-69-77

Семенова
Ольга Сергеевна,
канд. техн. наук, доц. каф. автомо-
бильных перевозок КузГТУ,
Тел. 8-3842- 39-69-77