Министерство образования РФ

Архангельский государственный технический университет

Кафедра эксплуатации автомобилей и машин лесного комплекса

Реферат

Выполнил: студент МФ-4-2

Перепёлкин Д.Ю. Проверил: Витязев М.В.

Архангельск

2004

Оглавление

ЗАДАЧА ВЫБОРА СХЕМЫАВТОБУСНЫХ МАРШРУТОВ В ГОРОДАХ. СУЩНОСТЬ ЗАДАЧИ

МЕТОД РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ СТЕПЕНИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВМЕСТИМОСТИ АВТОБУСОВ НА ЗАДАННОЙ СХЕМЕ МАРШРУТОВ

Литература

### ЗАДАЧА ВЫБОРА СХЕМЫ АВТОБУСНЫХ МАРШРУТОВ В ГОРОДАХ

### СУЩНОСТЬ ЗАДАЧИ

Экономико-математические методы применяются и в планировании автобусных перевозок.

В 1963 г. в НИИАTе впервые задача выбора схемы городских автобусных маршрутов была решена как экономико-математическая. В дальнейшем постановка и методы решения этой задачи были в деталях усовершенствованы и создана соответствующая программа ее решения на ЭВМ. В 1984 г. Министерство автомобильного транспорта РСФСР утвердило разработанное НИИАТом. Руководство по составлению рациональных схем автобусных маршрутов в городах. В нем рекомендуется составлять с использованием ЭВМ рациональные схемы автобусных маршрутов для городов с населением 80—750 тыс. жителей и количеством маршрутов от 10 до 105, описан порядок организации работ по составлению таких схем, уточнению, сбору, и подготовке исходной информации, ее корректировке, анализу получаемых результатов и выбору окончательного варианта решения.

В основе решения задачи по выбору схемы автобусных маршрутов в городах лежат математические методы комбинаторного анализа. В данном случае используется предложенный В. А. Паршиковым метод с направленным отбором вариантов, который позволяет находить оптимальное решение в 95-98 случаях из 100. В остальных случаях, когда оптимального решения получить не удается, оно отклоняется от оптимального не более чем на 3%. Таким образом, это гарантирует получение приближенно оптимального решения.

В общем виде задача выбора схемы автобусных маршрутов в городах формулируется следующим образом.

Имеется транспортная сеть - улицы города, по которым возможно движение автобусов. Заданы крупные пункты зарождения и погашения пассажиропотоков — вершины и соединяющие их участки улиц — дуги транспортной сети. Установлены размеры пассажиропотоков между вершинами заданной транспортной сети, типы автобусов, обслуживающих намечаемые линии, и их характеристики.

Требуется определить такую схему автобусных маршрутов, чтобы суммарные затраты времени пассажирами на ожидание, проезд и пересадки были минимальными. При этом на решение могут быть наложены следующие ограничения: использование вместимости автобусов должно быть не ниже заданного коэффициента; интервал между отправлениями автобусов не может превышать заданной величины, различной для разных линий; протяженность маршрута должна быть не меньше минимальной и не больше максимальной длины, которая заранее задается; маршруты не должны начинаться и заканчиваться в тех вершинах, которые не могут быть использованы для организации конечных пунктов маршрутов; другие ограничения, вытекающие из местных условий каждого конкретного города.

Исходя из указанной формулировки задачи выбора схемы автобусных маршрутов в городах, для ее решения необходимы следующие основные исходные данные.

1. Карта города с транспортной сетью, состоящей из пунктов зарождения и погашения пассажиропотоков и улиц, соединяющих эти пункты, по которым возможно движение автобусов.

Под пунктами зарождения и погашения пассажиропотоков обычно понимаются транспортные микрорайоны города. При разбивке города на микрорайоны в первую очередь используются естественные и искусственные рубежи (реки, железнодорожные линии и т. п.). Транспортные магистрали при этом по возможности должны быть осями симметрии микрорайона, площадь которого составляет 250—350 га, что обеспечивает подход пассажиров к остановочным пунктам не более чем 700 м. Поэтому при решении данной задачи принимается, что пешие переходы до и от остановки зависят не от схемы маршрутов, а от разветвленности транспортной сети. В связи с этим общие затраты времени пассажирами на пешие передвижения принимаются постоянными, не зависимыми от схемы маршрутов, и поэтому в расчетах не учитываются. На транспортной сети указываются длина каждого ее участка и время следования автобуса по этим участкам.

2. Размеры пассажиропотоков между всеми пунктами (микрорайонами) города, которые определяются на основе анкетного обследования пассажиропотоков. При этом в каждой анкете указывается, откуда и куда (адрес или место начала и окончания передвижения) следует пассажир, что позволяет при обработке анкет определить соответствующие микрорайоны начала и окончания поездок пассажиров. Наиболее целесообразно маршрутную схему разрабатывать на основе трудовых и других поездок в утренние часы пик в зимнее время. Можно проводить выборочное анкетное обследование пассажиропотоков, что может значительно сократить его трудоемкость. Для обработки материалов анкетного обследования можно использовать электронно-вычислительную технику.

3. Используемая вместимость единицы подвижного состава с учетом заданного коэффициента наполнения, обеспечивающего предоставление пассажирам необходимых удобств поездки.

4. Время, затрачиваемое одним пассажиром на пересадки в каждом пункте.

5. Максимальные (и в некоторых случаях минимальные) интервалы движения автобусов.

6. Минимальный коэффициент использования вместимости автобусов по всей сети маршрутов в целом, обеспечивающий определенное эффективное использование имеющегося или планируемого парка автобусов.

Если необходимо учитывать дополнительные ограничения при расчете схемы автобусных маршрутов, о которых говорилось ранее, то необходимы исходные данные о возможной минимальной и максимальной протяженности маршрута и др.

Число возможных вариантов построения схемы маршрутов выражается очень большой величиной. Наилучшее решение находится где-то между двумя крайними вариантами.

Если микрорайоны связать непосредственно между собой прямыми маршрутами, тогда при поездках все пересадки будут полностью исключены. При этом количество маршрутов будет наибольшее: т = [(n -1)n]/2, где n - число микрорайонов.

Так, если имеется 30 районов, то максимальное количество маршрутов может составить 435. Однако при большом числе автобусных маршрутов пассажиропотоки, приходящиеся на каждый из них, будут мелкими и при условии заданного использования вместимости автобусов, последние будут двигаться на линии с большими интервалами, что вызовет потери времени пассажиров на ожидание автобусов на остановках.

Другим крайним вариантом при простейшем линейном расположении микрорайонов является вариант, когда маршруты назначаются только между соседними микрорайонами и их число будет m= n-1, т. е. при 30 микрорайонах таких маршрутов будет 29. Однако при этом будут иметь место максимально возможное число пересадок пассажиров и соответствующие этому затраты времени на пересадки.

Таким образом, необходимо выбрать определенную комбинацию прямых и участковых маршрутов, которая обеспечивала бы минимальные суммарные затраты времени пассажиров на поездки. Общее количество таких комбинаций в этой задаче равно 2(n-1)n-1, т. е. является очень большим. При больших значениях n расчет всех вариантов невозможен. Метод комбинаторного анализа с направленным отбором вариантов позволяет путем расчета части вариантов найти наилучший из них.

### МЕТОД РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

Методику расчета схемы автобусных маршрутов в городах рассмотрим на условном, несколько упрощенном примере. Упрощение состоит в том, что в примере не учитываются все возможные ограничения, которые могут быть в реальных условиях того или иного города, однако основные из них в данном примере заданы.

Транспортная сеть рассматриваемого примера представлена на рис.1. Цифры в кружках обозначают номера пунктов (центров микрорайонов). Цифры в середине участков сети указывают время движения автобусов по данному участку а минутах, а цифры в скобках- длину участка в километрах.

Корреспонденция пассажиропотоков в расчетный период пик, принятый в данном примере равным 1 ч, представлена в табл.1. Эта таблица составляется на основе обработки результатов обследования пассажиропотоков.

Таблица 1

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Пункты отправ-  ления | Пассажиропоток, чел. | | | | | | | |
| Пункты прибытия | | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 1 | - | 200 | 60 | 70 | 56 | 120 | 70 | 210 |
| 2 | 220 | - | 300 | 350 | 20 | 130 | 250 | 190 |
| 3 | 60 | 56 | - | 240 | 540 | 105 | 30 | 110 |
| 4 | 20 | 350 | 80 | - | 60 | 10 | 360 | 30 |
| 5 | 70 | 40 | 600 | 46 | - | 150 | 80 | 20 |
| 6 | 45 | 85 | 90 | 50 | 60 | - | 100 | 40 |
| 7 | 180 | 235 | 100 | 520 | 90 | 250 | - | 85 |
| 8 | 335 | 185 | 25 | 64 | 40 | 100 | 70 | - |

Все маршруты обслуживаются одним типом автобусов, вместимость каждого из которых с учетом коэффициента наполнения составляет 40 чел. Максимальный интервал между отправлениями автобусов задан равным Imax=12 мин. Время движения между пунктами в обе стороны принято равным, хотя в общем случае оно может быть различным. Время, затрачиваемое одним пассажиром на пересадку в каждом пункте, следующее:

Номер пункта……………………………….1 2 3 4 5 6 7 8

t,пер,мин…………………………………… 2 3 3 5 4 4 5 3

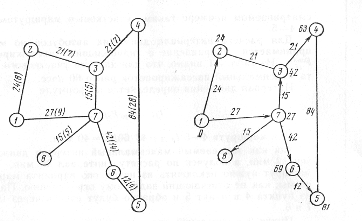


Рисунок 1. Транспортная сеть Рисунок 2. Определение кратчайших путей

Разработка схемы автобусных маршрутов состоит из нескольких этапов.

Этап I. Определение кратчайших (по времени) путей между пунктами (микрорайонами). Этот этап выполняется с помощью метода расчета кратчайших расстояний. Результаты расчетов записывают в таблицу 2, где в соответствующих клетках в верхнем левом углу указаны пункты, через которые проходит кратчайший путь, а внизу - время следования между начальным и конечным пунктами. Из таблицы 2 видно, что кратчайший путь из пункта 1 в пункт 4 проходит через пункты 7 и 3, и время следования (без учета времени на пересадки) составляет 63 мин.

На рисунке 2 дуги со стрелками показывают кратчайший путь от пункта 1 ко всем остальным пунктам.

Расчеты кратчайших путей выполняют по всем пунктам, каждый из которых последовательно принимается за начальный, а результаты вносят в таблицу 2, где выявлены все кратчайшие по времени следования маршруты между всеми пунктами транспортной сети.

Этап II. Установление исходной маршрутной схемы. В качестве исходной маршрутной схемы принимается схема, в которую входят маршруты, удовлетворяющие достаточному условию назначения беспересадочных сквозных маршрутов, а также участковые маршруты, не совпадающие ни с одним сквозным маршрутом. В качестве сквозного рассматривается маршрут, соединяющий центры трех и более микрорайонов по кратчайшему пути, исходя из затрат времени на следование пути.

Достаточным условием для назначения сквозного маршрута является удовлетворение естественного требования, чтобы время ожидания пассажиром автобуса на начальном пункте маршрута было бы меньше или равно времени, которое он должен затратить в пункте пересадки, если такого маршрута не будет, т. е. будет выдержано следующее соотношение:



где κ-коэффициент неравномерности подхода пассажиров к остановке (принимается равным 0,5); q-используемая вместимость автобуса (в нашем примере принята 40 чел.);

Тр - продолжительность расчетного периода суток, мин (в нашем примере она равна 60 мин);

ρ- коэффициент внутричасовой неравномерности пассажирского потока (принимается равным 1,1); Рi j - число пассажиров, проезжающих между конечными пунктами назначаемого маршрута в направлении максимального пассажиропотока; tпl - затраты времени одного пассажира на пересадку в пункте l, имеющем минимальную продолжительность пересадки по сравнению с другими промежуточными пунктами на пути между начальным i и конечным j пунктами назначаемого сквозного маршрута в направлении максимального пассажиропотока.

Таблица 2

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Пункты отправления | Пассажиропоток, чел. | | | | | | | |
| Пункты прибытия | | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 1 | \_ | 24 | 7  42 | 7;3  63 | 7;6  81 | 7  69 | 27 | 7  42 |
| 2 | 24 | - | 21 | 3  42 | 3;7;6  89 | 3;7  77 | 3  35 | 3;7  50 |
| 3 | 7  42 | 21 | - | 21 | 7; 6  69 | 7  57 | 15 | 7  30 |
| 4 | 3:7 63 | 3  42 | 21 | - | 84 | 3;7  78 | 3  36 | 3; 7  51 |
| 5 | 6;7  81 | 6;7;3  89 | 6; 7  69 | 84 | - | 12 | 6;  54 | 6; 7  69 |
| 6 | 7  69 | 7; 3  77 | 7  57 | 7;3  78 | 12 | - | 42 | 7  57 |
| 7 | 27 | 3  35 | 15 | 3  36 | 6  54 | 42 | - | 15 |
| 8 | 7  42 | 7; 3  50 | 7  30 | 7; 3  51 | 7; 6  69 | 7  57 | 15 | - |

Маршруты, отвечающие этому условию, включаются в исходный вариант схемы автобусных маршрутов.

Проводим анализ соответствия достаточному условию возможных в рассматриваемом примере сквозных маршрутов. По маршруту 1-3 вышеуказанное соотношение будет следующим:



Так как левая сторона неравенства больше правой, т.е. время ожидания будет больше времени пересадки, маршрут 1-3 не назначается.

Такое же положение будет и на маршруте 1-4: где время пересадки, равное 3 мин, принято по пункту 3, так как оно минимальное по сравнению с временем пересадки в пункте 7, через который также проходит маршрут 1-4.



Проверка на достаточное условие маршрута 1-8 показывает, что здесь время пересадки будет больше времени ожидания:Поэтому нужно назначить данный сквозной маршрут, так как при этом общее время поездки пассажиров снизится.

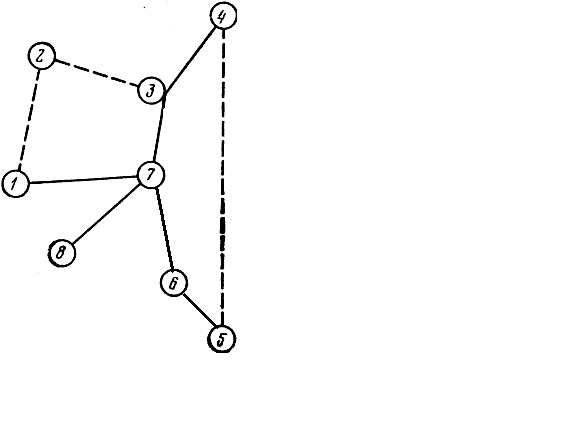


Рисунок 3. Исходная схема маршрутов

Также проверяются все остальные возможные сквозные маршруты. При этом в рассматриваемом примере будут назначены сквозные маршруты 1-8, 3-5 и 4-7. Сними не совпадают участковые маршруты 1-2; 2-3 и 4-5, которые тоже должны быть включены в исходный вариант схемы автобусных маршрутов.

Таким образом, в исходный вариант маршрутной схемы в данном примере входит шесть маршрутов, показанных на рис. 3: 1-8, 3-5, 4-7, 1-2, 2-3 и 4-5.

Этап III. Проверка участковых маршрутов на соответствие заданному интервалу движения. Проверке подлежат только те участковые маршруты, которые не совпадают со сквозными и проходят через пункты, между которыми есть возможность проезда на автобусах по другим маршрутам

(т. е. через какие-либо промежуточные пункты). В рассматриваемом примере таким участковым маршрутом является 4-5.

Для расчета интервала движения автобусов по

маршруту принимается направление с наибольшим пассажиропотоком. Из таблицы1 видно, что для данного участкового маршрута максимальный паспассажиропоток равен 60 пасс.



Интервал движения определяется по формуле

--- участковые маршруты;



\_\_ сквозные маршруты

Для маршрута 4-5 I4 -5 = мин.



Так как задаваемый максимальный интервал движения равен 12 мин, а получен по расчету интервал 40 мин, то этот маршрут нужно исключить из исходного варианта маршрутной схемы, как не отвечающий заданному ограничению. Пассажиры из пункта 4 в пункт 5 и обратно будут ездить через пункты 3, 7 и 6.

Пункт 2 с остальной транспортной сетью связывают только участковые маршруты 1-2 и 2-3. Проверим их соответствие заданному максимальному интервалу движения.

Маршрут 1-2: = 11 мин.



Маршрут 2-3: =8 мин.



Оба маршрута должны быть оставлены в исходном варианте маршрутов, так как интервал движения по ним ниже заданного максимального. Однако заметим, что если оба этих маршрута не удовлетворяли бы этому ограничению, то в исходном варианте все равно должен был бы быть оставлен один из них (тот, у которого был бы минимальный интервал движения), так как связь пункта 2 с остальными пунктами должна быть обеспечена.

Таким образом, исходным вариантом маршрутной схемы в данном примере является вариант с пятью маршрутами: 1-8, 3-5, 4-7, 1-2 и 2-3.

Этап IV. Расчет целесообразности назначения дополнительных сквозных маршрутов. Кроме маршрутов, которые оказались в исходном варианте, можно назначить и другие сквозные маршруты. Их легко определить из таблицы 2, где каждому такому маршруту соответствует клетка, в верхнем левом углу которой имеется хотя бы один номер промежуточного пункта. Естественно, что такие клетки следует выбирать только выше, либо ниже диагонали с пустыми клетками, так как таблица 2 является симметричной. В рассматриваемом примере дополнительными маршрутами могут быть 1-3, 1-4, 1-5, 1-6, 2-4, 2-5, 2-6, 2-7. 2-8, 3-6, 3-8, 4-6, 4-8, 5-7, 5-8 и 6-8, т. е. еще 16 маршрутов.

Прежде всего, проверим, имеется ли на этих маршрутах пассажиропоток, который обеспечит движение автобусов с интервалом не больше заданного максимального 12 мин.

Выявление пассажиропотоков для этих маршрутов производится с учетом не только собственного пассажиропотока, следующего от начального до конечного пункта данного маршрута, но и с учетом тех пассажиров, которые могут обслуживаться этим маршрутом при отсутствии других дополнительных маршрутов. Для расчета интервала принимается направление с наибольшим суммарным пассажиропотоком.

Например, проверяем маршрут 1-3. В этом случае помимо пассажиропотока из пункта 1 в пункт 3, равного 60 пассажирам, учитываются еще 70 пассажиров, следующих из пункта 1 в пункт 4, так как они могут воспользоваться маршрутом 1-3. В обратном направлении маршрут 3-1 может обслуживать помимо корреспонденции 3-1, равной 60 пассажирам, еще корреспонденцию 4-1, равную 20 пассажирам. Таким образом, по этому маршруту в одну сторону пассажиропоток равен 130 пассажирам, а в другую 80. Интервал движения определяется по максимальному пассажиропотоку.

Для маршрута 1-3 интервал движения автобусов I1-3 = =18,5 мин.



Так как заданный максимальный интервал равен 12 мин, а получен интервал 18,5 мин, то этот маршрут не отвечает заданному ограничению и не может быть включен в схему маршрутов. Аналогичные расчеты проводятся для всех возможных дополнительных маршрутов. Для нашего примера результаты таких расчетов представлены в таблице 3. Из нее видно, что интервал, меньший или равный максимально заданному (12 мин), имеют только маршруты 2-4, 2-7, 3-6 и 5-7. Поэтому только эти маршруты и будут рассматриваться в дальнейших расчетах.

Далее требуется из всех возможных комбинаций ввода в действие указанных маршрутов выбрать наилучшую. Число таких комбинаций равно 2m-1, где т — число маршрутов. Даже в данном маленьком примере это составляет 24-1 = 15 комбинаций. В реальных расчетах схем автобусных маршрутов это число очень велико. При этом еще требуется в каждой комбинации выбрать наилучший вариант распределения пассажиров по назначенным маршрутам.

Поскольку при большом количестве маршрутов (m) расчет всех комбинаций невозможен, то используется метод направленного отбора. В этом случае считается, что первоначально действуют все маршруты, выбранные в исходном варианте.

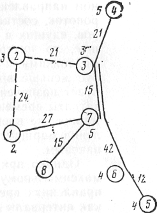
Для исходного варианта схемы автобусных маршрутов рассчитывается время, затрачиваемое всеми пассажирами на следование и пересадки. Для каждого пассажиропотока выбирается для поездки путь с учетом назначенных маршрутов и кратчайший по времени на следование и пересадки. Для этого используется все тот же метод расчета кратчайшего (по времени) пути, но с учетом того, что не только каждой дуге, но и каждой вершине транспортной сети соответствует определенное время (рисунок 4).

Таблица 3

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Дополнительный маршрут | Расчетный интервал | Дополни-тельный  маршрут | Расчет-ный ин- тервал | Дополни-тельный маршрут | Расчетный ин-  тервал | Допол-нитель-ный  марш-рут | Расчетный интервал |
| 1-3 | 18,5 | 2-8 | 12,6 | 2-4 | 6,8 | 4 - 8 | 37 5 |
| 1-4 | 34,4 | 3-6 | 2,7 | 2-5 | 60,0 | 5 - 7 | 2,8 |
| 1-5 | 34,4 | 3-8 | 13,3 | 2-6 | 16,0 | 5-8 | 60,0 |
| 1-6 | 13,6 | 4-6 | 48,0 | 2-7 | 4,9 | 6-8 | 17,3 |

Например, рассчитаем кратчайшее время для пассажиропотока на маршруте 1-3. Если он будет следовать через пункт 2, то время составит 48 мин (24+3+21), а если через пункт 7, то 47 мин (27+5+15). Так как вторая сумма меньше, второй путь следования этого пассажиропотока должен быть 1-7-3.

Аналогичные расчеты проводятся для всех пассажиропотоков, а результаты их заносятся в таблицу 4.



Цифры в верхних левых углах клеток таблицы 4 соответствуют пункту пересадки этого пассажиропотока, а цифры внизу - времени на следование и пересадки каждого пассажира, когда он использует наивыгоднейшие маршруты из числа назначенных. Сумма времени, затраченного всеми, пассажирами на следование и пересадки, получается умножением величин пассажиропотоков (см. таблицу 1) на соответствующее время, указанное в таблице 4, и суммированием всех полученных при этом произведений. Для рассматриваемого примера указанная сумма времени всех пассажиров на следование и пересадки составляет 6219,3 чел-ч.

Затраты времени пассажиров на ожидание начала поездки обычно определяются отдельно для каждого маршрута. Однако с целью упрощения изложения в данном случае определим это время приближенно. Рисунок 4.Маршрутная сеть с временами следования ипересадок

Таблица 4

| Пункты отправления | Пассажиропоток, чел. | | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Пункты прибытия | | | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | |
| 1 | - | 24 | 7  47 | 7  68 | 7  86 | 7  74 | 27 | | 42 |
| 2 | 24 | - | 3  21 | 3  45 | 3  93 | 3  81 | 3  39 | | 3,7  59 |
| 3 | 7  47 | 21 | - | 21 | 69 | 57 | 15 | | 7  35 |
| 4 | 7  68 | 3  45 | 21 | - | 3  93 | 3  81 | 36 | | 7  56 |
| 5 | 7  86 | 3  93 | 69 | 3  93 | - | 12 | 54 | | 7  74 |
| 6 | 7  74 | 3  81 | 57 | 3  81 | 12 | - | 42 | | 7  62 |
| 7 | 27 | 3  39 | 15 | 36 | 54 | 42 | - | | 15 |
| 8 | 42 | 7,3  59 | 7  35 | 7  56 | 7  74 | 7  62 | 15 | | - |

Время ожидания всех пассажиров на одном маршруте в одном направлении, по которому следует максимальный пассажиропоток, составляет и не зависит от числа пассажиров, едущих в этом направлении. Если число пассажиров большое, то интервалы отправления автобусов будут назначены маленькими, и каждый пассажир в среднем будет ожидать автобус меньше времени. Если же пассажиропоток небольшой, то будет назначен относительно больший интервал отправления, и затраты времени каждого пассажира при этом увеличатся. Суммарное же время ожидания всех пассажиров на одном направлении маршрута с максимальным пассажиропотоком будет одинаковым.



Однако при поездках на одном маршруте в основном (по максимальному направлению пассажиропотока) и обратном направлениях время ожидания пассажиров будет различным, так как интервалы отправления автобусов будут назначены с учетом максимального пассажиропотока, т. е. пассажиропотока в основном направлении. Пассажиры, следующие в обратном направлении, будут перевозиться при неполном использовании вместимости автобуса и с относительно меньшим интервалом отправления. Поэтому сумму затрат времени на ожидание отправления необходимо определять с учетом соотношения по каждому назначенному маршруту. С целью упрощения примера примем это отношение как средневзвешенную величину для всех назначенных маршрутов.



Для этого рассмотрим таблицу корреспонденции пассажиропотоков (см. таблицу 1) и по каждой корреспонденции установим максимальный и минимальный пассажиропотоки. Затем найдем сумму всех максимальных и сумму всех минимальных пассажиропотоков и определим отношение , которое показывает, насколько меньше будет время ожидания пассажиров, следующих в обратном направлении, т. е. в направлении с минимальным рассматриваемом пассажиропотоком. В примере



.



Таким образом, приближенно в обратном направлении пассажиры будут тратить на ожидание автобусов 0,65 времени, которое затратят на ожидание автобусов все пассажиры, следующие в основном направлении.

Как уже показано, время ожидания пассажиров в основном направлении на одном маршруте =чел-мин. В исходном варианте назначено пять маршрутов, и общее время ожидания всех пассажиров чел-мин или 165 чел-ч.



Общие затраты времени всех пассажиров на следование, пересадки и ожидание 6219,2+165,0=6384,3 чел-ч. Эти данные заносятся в таблицу 5 в столбец «Исходный вариант».

Затем рассчитывается целесообразность назначения дополнительных маршрутов в соответствии с проделанным анализом таблицы 3. В данном примере это маршруты 2 - 4, 2-7, 3-6 и 5-7.

Назначение каждого дополнительного маршрута изменяет общие затраты времени пассажиров. С одной стороны, уменьшаются затраты времени на пересадки, так как назначение нового маршрута позволяет определенной части пассажиров ехать без пересадок. С другой стороны, назначение каждого дополнительного маршрута приводит к увеличению общего числа маршрутов и тем самым и к увеличению общего времени ожидания автобусов пассажирами.

Каждый новый вариант рассчитывается так же, как и исходный, но при этом учитывается, что введен дополнительный маршрут. Все расчеты выполняются аналогично расчетам, которые проделаны в табл. 4. Например, если дополнительно к исходному варианту ввести маршрут 2-7, то это сократит время, затрачиваемое на пересадки для пассажиропотоков 2-7 и 2-8, за счет ликвидации пересадок в пункте 3. В соответствующих клетках таблицы 4 время следования и пересадок уменьшится на 3 мин. Общее время на следование и пересадки у всех пассажиров при этом уменьшится на 43,3 чел-ч по сравнению с тем, что имело место при исходном варианте маршрутной схемы, и составит 6176,1 чел-ч. Но введение дополнительного маршрута 2-7 приведет к увеличению общего времени ожидания на чел-ч. Заносим эти данные в таблицу 5.



Таблица 5

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Наименование | Исходный вариант | Группы вариантов | | | | | | | | |
| I | | | | II | | | III | |
| Дополнительно назначаемые маршруты | - | │2-7│ | 2-4 | 3-6 | 5-7 | │2-4│ | 3-6 | 5-7 | 3-6 | 5-7 |
| Затраты на следование и пересадки,  чел.-ч | 6219,3 | 6176,1 | 6184,3 | 6189,4 | 6191,1 | 6141,1 | 6158,1 | 6164,6 | 6132,7 | 6139,2 |
| Затраты на ожидание, чел.-ч | 165,0 | 198,0 | 198,0 | 198,0 | 198,0 | 231,0 | 231,0 | 231,0 | 264,0 | 264,0 |
| Общие затраты, чел.-ч | 6384,3 | 6374,1 | 6382,3 | 6387,0 | 6389,1 | 6372,1 | 6389,1 | 6395,6 | 6396,7 | 6403,2 |

Теперь так же, как описано выше, выполняются расчеты по введению остальных возможных маршрутов: 2-4, 3-6 и 5-7. При этом каждый раз к исходному варианту назначается только один дополнительный маршрут. Результаты этих расчетов по каждому из них вносятся в таблицу 5, и они составляют I группу вариантов.

Анализ общих затрат времени по I группе вариантов показывает, что наибольшее сокращение времени дает введение дополнительного маршрута 2-7. Отмечаем его рамкой, и теперь для исходного варианта II группы принимается наличие всех маршрутов исходного варианта и еще одного дополнительного маршрута 2-7, назначение которого дало наилучший вариант в I группе. Вновь дополнительно назначаются маршруты 2-4, 3-6 и 5-7, что дает результаты по II группе вариантов, когда принимаются два дополнительных маршрута, т. е. 2-7 и еще один из оставшихся.

Анализ результатов расчетов по II группе вариантов показывает, что установление маршрута 2-4 снижает общие затраты по сравнению с лучшим вариантом I группы. Назначение остальных дополнительных маршрутов такого снижения не дает.

В III группе вариантов расчет выполняется так же, как в предыдущих группах, но за исходный принимается лучший вариант II группы. Таким образом, в III группе дополнительно назначается третий маршрут. Расчеты показывают, что все варианты III группы дают большие затраты времени пассажиров, чем лучший вариант II группы. На этом расчеты целесообразности назначения дополнительных сквозных маршрутов (расчеты по этапу IV) заканчиваются.

Таким образом, сначала исследуются варианты с одним дополнительным маршрутом

(I группа), затем с двумя (II группа) и так далее до тех пор, пока наилучший вариант новой группы не окажется хуже наилучшего варианта предыдущей группы, который принимается как оптимальный.

С целью сокращения трудоемкости вычислений можно после расчета каждой группы вариантов отбрасывать из дальнейшего рассмотрения те маршруты, у которых общие затраты времени больше по сравнению с наилучшим вариантом предыдущей группы. Доказано, что такие маршруты не входят в оптимальную комбинацию. Например, в I группе вариантов назначение маршрутов 3-6 и 5-7 дало общие затраты времени пассажиров большие, чем в исходном варианте (см. таблицу 5). Поэтому при расчете II и последующих групп эти маршруты можно было уже не рассматривать. Во II группе эти маршруты тоже дали затраты времени большие, чем у наилучшего варианта I группы. Поэтому их вводить в дальнейший расчет нецелесообразно, т. е. расчет III группы вариантов в данном примере можно было и не производить.

В результате расчетов, которые были проведены по IV этапу, в данном примере получена схема маршрутов (рисунок 5). По сравнению с исходным вариантом маршрутной схемы (см. рисунок 3) здесь дополнительно введены маршруты 2-7 и 2-4, а так как участковый маршрут 2-3 при этом совпал с вновь назначенными, то он ликвидируется.

Этап V. Проверка полученной схемы автобусных маршрутов на заданный коэффициент использования вместимости автобусов. Для проверки по всей сети составляют таблицу пассажиропотоков, в которой в левом верхнем углу каждой клетки проставляют промежуточные пункты следования данного потока пассажиров по кратчайшему пути с учетом назначенных маршрутов (таблица 6).

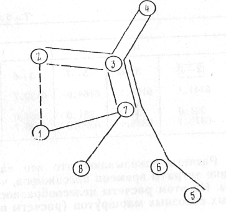
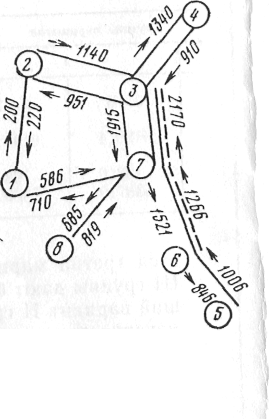
Затем рассчитывают суммарный пассажиропоток по каждому участку сети в прямом и обратном направлениях. Для этого составляют таблицу 7. Рассматривая последовательно каждую клетку таблицы 6 по строкам с учетом пунктов следования, в таблицу 7 заносят количество пассажиров, следующих в каждом направлении по каждому участку сети.

Например, в таблице 6 рассматриваем строку I. По направлению 1-2 следуют 200 пассажиров, что заносится в соответствующую клетку таблицы 7. Следующая клетка 1-3 показывает, что 60 пассажиров следуют по направлениям 1-7 и 7-3. Поэтому по столбцу 1 таблицы 7 число 60 заносится в две клетки 1-7 и 7-3 и т. д.

Таким же образом рассматриваются и остальные строки таблицы 6, и соответствующее число пассажиров проставляется в столбцах таблицы 7. При этом на одном и том же участке сети могут по одному и тому же пункту стоять несколько цифр пассажиропотоков. Так, например, по участку 1-7 с первого пункта следуют пассажиры в пункты 3, 4, 5, 6 и 7. Поэтому в таблице 7 на этом участке по пункту 1 будет записано 5 цифр.

Общая сумма по каждой строке таблицы 7 - суммарный пассажиропоток по данному участку. Умножая суммарный пассажиропоток на протяженность участка, получают количество пассажиро-километров. Данные о суммарном пассажиропотоке по каждому участку переносят на полученную схему маршрутов (рисунок 6). По каждому маршруту выбирают максимальный суммарный пассажиропоток.

Рисунок 5. Схема маршрутов по результатам Рисунок 6. Суммарный пассажиропоток по участкам сети и расчёта этапа IV окончательно назначенные



автобусный маршрут перевозка пассажиропоток

220-Количество пассажиров на участке; → - направление движения пассажиров

Если по одному и тому же участку проходят два и более маршрутов, то делают следующее: по каждому из этих маршрутов выбирают наибольший пассажиропоток без учета пассажиропотока на совмещенном участке; минимальный из выбранных определяет пассажиропоток по первому маршруту; выбирают следующий наибольший пассажиропоток в основном направлении по остальным маршрутам, и наименьший из них определяет пассажиропоток по следующему маршруту; пассажиропоток по последнему маршруту, проходящий по совмещенному участку, определяется наибольшей цифрой из максимального пассажиропотока на одном из его участков или разностью между максимальным пассажиропотоком движения на совмещенном участке и суммой ранее определенных пассажиропотоков на маршрутах, проходящих по данному совмещенному участку.

В рассматриваемом примере (см. рисунок 6) пассажиропоток в основном направлении по маршруту 1-2 будет равен 220 пасс., а по маршруту 1-8 - 819 пасс. Все остальные назначенные маршруты имеют совмещенные участки.

Т а б л и ц а 6

| Пункты отправле-ния | Пассажиропоток, чел. | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Пункты прибытия | | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 1 | - | 200 | 7  60 | 7; 3  70 | 7; 6  56 | 7  120 | 70 | 210 |
| 2 | 220 | - | 300 | 3  350 | 3;7;6  20 | 3;7  130 | 3  250 | 3 ; 7  190 |
| 3 | 7  60 | 56 | - | 240 | 7; 6  540 | 7  105 | 30 | 7  110 |
| 4 | 3; 7  20 | 3  350 | 80 | - | 3;7;6  60 | 3; 7  10 | 3  360 | 3; 7  30 |
| 5 | 6; 7  70 | 6;7;3  40 | 6; 7  600 | 6;7;3  46 | - | 150 | 6  80 | 6; 7  20 |
| 6 | 7  45 | 7; 3  85 | 7  90 | 7; 3  50 | 60 | - | 100 | 7  40 |
| 7 | 180 | 3  235 | 100 | 3  520 | 6  90 | 250 | - | 85 |
| 8 | 7  335 | 7; 3  185 | 7  25 | 7; 3  64 | 7; 6  40 | 7  100 | 70 | - |

Таблица 7

| Участки сети | Количество пассажиров в обоих направлениях по пунктам, чел. | | | | | | | | Суммарный пассажиропоток по участку, чел. | Расстояние участка, км. | Используемые пассажыро-километры |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 1-2 | 220 | - | - | - | - | - | - | - | 200 | 8 | 1600 |
| 2-1 | - | 220 | - | - | - | - | - | - | 220 | 7 | 7980 |
| 2-3 | - | 300+350++20+130+  +250+190 | - | - | - | - | - | - | 1140 | 7 | 7980 |
| 3-2 | - | - | 56 | 350 | 40 | 85 | 235 | 185 | 951 | 7 | 6657 |
| 3-7 | - | 20+130+  +250+190 | 60+540+  +105+30++110 | 20+60+  +10+360++30 | - | - | - | - | 1915 | 5 | 9575 |
| 7-3 | 60+70 | - | - | - | 40+600+46 | 85+90+50 | 235+100+  +520 | 185+25+64 | 2170 | 5 | 10850 |
| 8-7 | - | - | - | - | - | - | - | 335+185++25+64+  +100+70++40 | 819 | 5 | 4095 |
| 7-8 | 210 | 190 | 110 | 30 | 20 | 40 | 85 | - | 685 | 5 | 3425 |
| 3-4 | 70 | 350 | 240 | - | 46 | 50 | 520 | 64 | 1346 | 7 | 9380 |
| 4-3 | - | - | - | 20+350+  +80+60+  +10+360++30 | - | - | - | - | 910 | 7 | 6370 |
| 7-6 | 56+120 | 20+130 | 540+105 | 60+10 | - | - | 90+25 | 40+100 | 1521 | 14 | 21294 |
| 6-7 | - | - | - | - | 70+40+  +600+46++80+20 | 45+85+  +90+50+  +100+40 | - | - | 1266 | 14 | 17724 |
| 6-5 | 56 | - | 540 | 60 | - | 60 | 90 | 40 | 846 | 4 | 3384 |
| 5-6 | - | - | - | - | 70+40+  +600+46++150+80++20 | - | - | - | 1006 | 4 | 4024 |
| 1-7 | 60+70+  +56+70+  +210 | - | - | - | - | - | - | - | 586 | 9 | 5274 |
| 7-1 | - |  | 60 | 20 | - | - | 180 | 335 | 710 | 9 | 6390 |
| Всего |  | 119782 |

Если какой-либо маршрут целиком совмещается с другим более длинным маршрутом, то он из дальнейшего рассмотрения исключается, нашем примере таких маршрутов нет.

Если какой-либо маршрут целиком совпадает с участками других маршрутов, то пассажиропоток по нему устанавливается на основании максимального потока пассажиров между конечными пунктами этого маршрута определяемого по таблице 6. В примере таким является маршрут 2-4, совпадающий с участками маршрутов 2-7 и 4-7. Так как пассажиропоток между пунктами 2 и 4 в обе стороны одинаков (350 пасс.), то для этого маршрута устанавливается пассажиропоток в 350 пасс. Это число исключается из густоты пассажиропотоков по участкам 2-3 и 3-4.

Остальные маршруты 2-7, 4-7 и 3-5 совмещаются по участку 3-7 с максимальным потоком 2170 пасс. Наименьший из максимальных пассажиропотоков в основном направлении (с учетом назначенного пассажиропотока на маршруте 2-4) соответствует маршруту 2-7 и равен 790 пасс. (1140-350).

Следующим рассматриваем маршрут 4-7, основной пассажиропоток которого

1340-350=990 пасс.

Пассажиропоток маршрута 3-5 в основном направлении равен 1521 пасс. На совмещенном участке 3-7 маршрутами 2-7 и 4-7 уже обеспечена перевозка 790+990=1780 пасс., т. е. на этом участке не обеспечена перевозка 2170-1780 = 390 пасс. Так как неосвоенный пассажиропоток на совмещенном участке меньше, то для маршрута 3-5, который рассматривается последним на данном совмещенном участке, назначается пассажиропоток 1521 пасс.

Теперь подсчитываем количество предоставленных пассажирокилометров при назначенных маршрутах в обоих направлениях. Так как в оба направления по каждому маршруту делается одинаковое количество рейсов в часы пик, то пассажиропоток в основном направлении при этом увеличивается вдвое и умножается на длину маршрута. Таким образом, в нашем примере количество предоставленных пассажиро-километров на каждом маршруте будет равно:

|  |  |
| --- | --- |
| 1-2 | 22028 — 3520 |
| 1-8 | 819214 = 22932 |
| 2-7 | 790212 = 18960 |
| 3-5 | 1521223 = 69966 |
| 4-7 | 990212 = 23760 |
| 2-4 | 350214 = 9800 |
| Итого | 148938 |

В таблице 7 было рассчитано количество используемых пассажиро-кнлометров, которое равно 119782, т. е. данная схема обеспечивает коэффициент использования вместимости, равный 0,805 (119782:148938).

Если полученный коэффициент больше или равен заданному, то на этом расчеты заканчивают. Если же полученный коэффициент меньше заданного, то необходимо определить возможность повышения коэффициента использования вместимости автобусов при организации маршрутов по полученной схеме.

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ СТЕПЕНИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВМЕСТИМОСТИ АВТОБУСОВ НА ЗАДАННОЙ СХЕМЕ МАРШРУТОВ

Повысить коэффициент использования вместимости автобусов можно введением укороченных маршрутов, путь следования которых совпадает с путем следования сквозного маршрута, а конечными пунктами являются либо один промежуточный и один конечный, либо два промежуточных пункта сквозного маршрута. Поэтому введение такого маршрута не приводит к увеличению числа пересадок и времени на следование и пересадки пассажиров, но всегда дает увеличение времени ожидания отправления автобусов. Однако этим в данном случае приходится пренебречь, так как целью является выявление возможности выдержать заданный по условию задачи коэффициент использования вместимости автобусов, от которого зависит потребность в них для обеспечения перевозок пассажиров.

Пусть в рассматриваемом примере задано получить коэффициент не менее 0,82, а на предыдущем этапе расчетов получен коэффициент, равный 0,805, т. е. необходимо сократить число предоставляемых пассажиро-километров. Для этого выбираем маршрут с наибольшим потоком пассажиров и рассматриваем его по отдельным участкам. Таким является маршрут 5-3 (см. рисунок 6). Наибольшая величина пассажиропотока 1521 пасс, на участке 6-7. На других участках в основном направлении эта величина составит 1006 пасс. Таким образом, если установить маршрут 3-5 с расчетным потоком в основном направлении 1006 пасс, и новый маршрут 3-6 (на рисунке 6 он показан штриховой линией) с расчетным потоком в основном направлении, равным 515 пасс. (1521-1006), то количество предоставленных пассажиро-километров сократится на ()-() + +() =4120, а общее число предоставленных пассажиро-километров составит 144,8 тыс. Это обеспечит получение коэффициента использования вместимости автобусов 0,827, т. е. удовлетворит поставленному ограничению.



Можно дополнительно рассмотреть возможность введения укороченных маршрутов с целью повышения указанного коэффициента. Однако делать этого не следует, имея в виду, что каждый новый маршрут увеличивает время ожидания, т. е. общее время, затрачиваемое пассажирами на поездки.

Таким образом, полученная в результате расчетов схема автобусных маршрутов обеспечивает в часы пик заданный коэффициент использования вместимости подвижного состава. При этом назначено 7 маршрутов, что соответствует чел.=231 чел-ч ожидания. Затраты времени пассажиров на следование и пересадки составляют 6141,1 чел-ч (см. таблицу 5). Общее время всех пассажиров на передвижение в принятый для расчета период равно 6372,1 чел-ч, что соответствует наименьшим затратам в заданных условиях.



На этом расчет оптимальной схемы автобусных маршрутов заканчивается. Однако следует учитывать, что указанный расчет проводится только для утренних часов пик, учитывает только два основных фактора - минимальное суммарное время на передвижение всех пассажиров и обеспечение заданного коэффициента использования вместимости подвижного состава. Поэтому полученная схема может явиться только основой для установления окончательной маршрутной схемы в городе на основе тщательного анализа полученных результатов и их корректировки с учетом факторов, которые не были учтены при расчете. При этом следует помнить, что каждое изменение полученного в расчете варианта маршрутной схемы ведет либо к увеличению времени передвижения пассажиров, либо к уменьшению коэффициента использования вместимости подвижного состава.

Исходя из темпов застройки городов, целесообразно пересматривать схемы автобусных маршрутов каждые 3-5 лет. Расчет рациональной схемы производят с учетом целесообразности изменения или добавления не более 15-20% новых маршрутов.

После корректировки полученная схема маршрутов должна вводиться в практику работы автобусного транспорта постепенно, так как одновременное изменение многих маршрутов может создать значительные неудобства для пассажиров.

После того как схема автобусных маршрутов определена, решаются задачи определения потребностей городских автобусных маршрутов в подвижном составе и его распределения между маршрутами, определяются режимы движения автобусов на маршрутах и резервирования подвижного состава. За последние годы для решения этих задач разработаны методы, которые позволяют получать оптимальные решения.

### Литература

1 Геронимус Б.Л. «Экономико-математические методы в планировании на автомобильном транспорте», М: Транспорт, 1977.