

**МЕЖМАРШРУТНОЕ ДУБЛИРОВАНИЕ:
КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА**

Г. Таубкин

Данная статья выводит понятие межмаршрутного дублирования из однозначно негативного поля и показывает примеры его позитивного воздействия на баланс «качество-затраты» пассажирских перевозок. Предлагаются количественные методы анализа дублирования и приводятся примеры его использования для рационального планирования перевозок. Кроме того, материалы этой статьи являются входными данными для статьи о маршрутных кустах.

This article refuses just negative side of routes duplication and shows examples of its positive impact on the transit cost-benefit balance. It demonstrates quantitative analysis methods of duplication and provides examples of its use for sustainable transport planning. In addition, the materials of this article play role of the input data for the article regarding routes clustering.

Тема межмаршрутного дублирования часто поднимается в рамках проектов анализа и планирования пассажирских перевозок и в основном несёт негативную нагрузку с точки зрения неэффективного использования транспортных ресурсов (Подвижного Состава, Эксплуатационных затрат). Отчасти это верно, но не во всех случаях. Можно привести примеры и эффективного дублирования, такого как планирование рациональной структуры маршрутных вариантов, использование укороченных и экспрессных опций, ориентированных непосредственно на характер транспортной потребности. Такое дублирование приводит к эффективному использованию подвижного состава. В этом случае по некоему дорожному сегменту могут проходить несколько маршрутов позитивно влияя на эффективность куста.

На рисунке 1 приведён пример эффективного планирования, используя рациональную структуру маршрутов при обслуживании одного коридора. В верхнем левом угле показан часовой пассажиропоток по остановкам коридора, который разбит на 7 участков. Как видно второй участок почти в 2 раза превышает по загрузке средне-

коридорную величину. Предлагается пять опций планирования перевозок на данном коридоре с использованием комбинации 4-х потенциальных маршрутов (М-1, М-2, М-3, М-4). Маршрут М-1 покрывает весь коридор с временем пробега для анализируемого периода дня – 60 минут. Маршрут М-2 покрывает два первых участка коридора с временем пробега для анализируемого периода дня – 20 минут. И так далее. Первая планировочная опция заключается в использовании одного длинного маршрута с интервалом 6 минут (10 рейсов в час), настроенного на объём максимального пассажиропотока участка 2. Остальные четыре опции основаны на комбинациях 2-х маршрутов с интервалами 6-10-15 минут (10-6-4 рейсов в час), при условии, что на максимальном втором участке будет суммарно не менее 10 рейсов в час. Структура опций показана в правой части рисунка. Например, опция 2 включает маршрут М-1 с частотой 4 рейса в час и маршрута М-2 с частотой 6 рейсов в час. В левом нижнем углу показаны результаты планирования по каждой опции, где маршрутный коэффициент отражает степень дублирования (см ниже). Как видно, самый недублированный вариант (Опция-1) оказывается самым неэффективным. Конечно, в реальном планировании не всё так однозначно. Здесь и учёт пассажирских корреспонденций и наличие ОРП (Отстойно-Разворотных Площадок) и возможность составления /поддержания координированных расписаний. Но факт неоднозначности негативного оттенка дублирования налицо. Поэтому предлагается серьёзная аналитическая проработка этой характеристики с учётом не только географического ингредиента, но и дублирования пассажирских корреспонденций, коридорной и маршрутной частоты движения, координации расписаний.

По сложившейся практике дублирование определяется по наложению траекторий маршрутов, что оценивается *маршрутным коэффициентом*, который рассчитывается как отношение суммарного километража всех маршрутов к общей длине дорожной сети, по которой маршруты проложены:

$$CF_r = \sum Li / RN,$$

где Li – длина маршрута;

RN – общая протяжённость дорожной сети принимающей общественный транспорт.

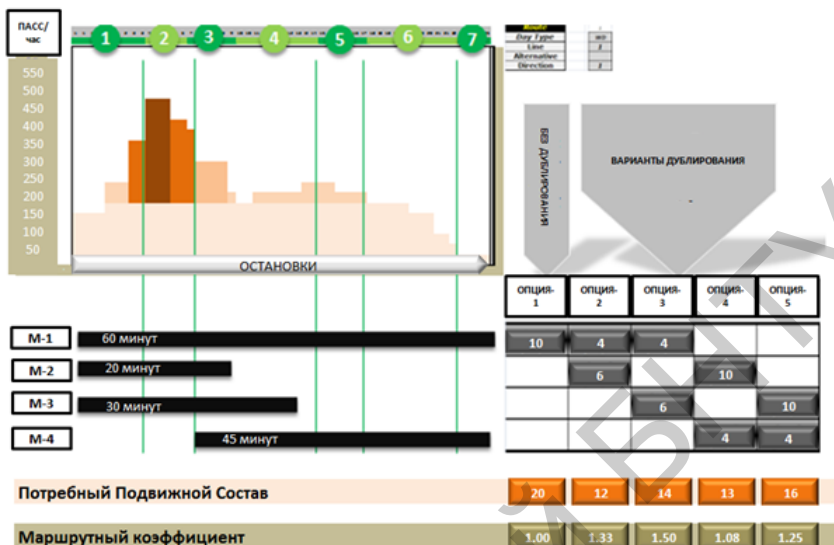


Рисунок 1 – Пример эффективного дублирования

Этот показатель как бы отражает количество маршрутов, пересекающих некое типично-среднее сечение дорожной сети и, конечно, имеет место быть. Здесь не предлагается отменить эту аналитику, однако в дополнение указывается метод адресного выявления дублирования и введено очень важное уточнение: анализируется не дублирование участков маршрутов, а дублирование межостановочных связей. На рисунке 2 показаны три маршрута. На начальном участке дублирование зелёного и синего не вызывает сомнения. Но связь между первой и третьей остановки дублируется и коричневым маршрутом тоже.

Исходя из такого подхода предлагается:

- каждый маршрут, имеющий N остановочных пунктов осуществляет обслуживание на $N*(N-1)/2$ межостановочных связей;
- любой другой маршрут может дублировать часть этих связей.

Причём, дублирование может осуществляться как между парами последовательных остановок (коридор синего и зелёного маршрутов), так и между любой парой остановок (дублирование ряда связей коричневым маршрутом).

Коэффициент дублирования маршрутом 2 маршрута 1 исчисляется отношением количества дублирующих пар остановок маршрутом 2 к общему количеству межстаночных связей маршрута 1.

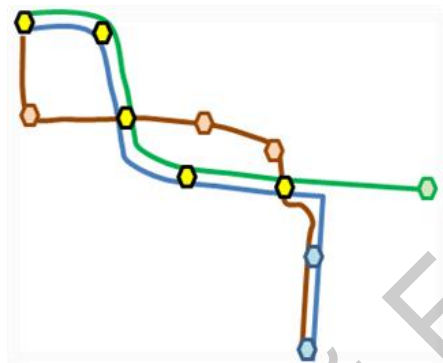


Рисунок 2 – Дублирование межстаночных связей

В качестве остановок используются агрегированные пункты – так как понятие дублирования ориентировано на пассажира.

То есть предлагается в качестве показателя географического дублирования маршрутов использовать отношения их общих межстаночных связей к числу связей анализируемого маршрута. Для удобства аналитики можно ввести классификацию уровней геодублирования (рисунок 3). В качестве примера можно привести расчёт показателя дублирования маршрутов до 25 остановок (рисунок 4). По вертикали представлены варианты маршрутов от 2 до 25 остановок и число связей на каждом из них (синим цветом). По горизонтали представлены варианты маршрутов-кандидатов на дублирование от 2 до 25 остановок и число связей на каждом из них (зелёным цветом). Например, если синий маршрут из 10 остановок имеет в данном коридоре 4 общих остановки с зелёным маршрутом, то синий маршрут дублирован зелёным на 13,3 % – слабый уровень дублирования. Если он имеет 8 общих остановок с зелёным – показатель дублирования отражает сильный уровень – 62,2 %.

То есть, для каждой пары маршрутов можно посчитать два показателя в зависимости от того, кого из них считать дублируемым и дублирующим. Например, возвращаясь к рисунку 1 можно сказать,

что маршрут М-1 дублирован маршрутом М-2 на 30%, а маршрут М-2 дублирован маршрутом М-1 на 100%. Данные результаты говорят о вложении маршрута М-2 в маршрут М-1 даже без просмотра карты. Вышеприведённый пример можно обобщить (рисунок 5), показывая возможные комбинации дублирования.

Степень дублирования маршрутов		
наименование	>	<=
1 Касающиеся		5%
2 Слабо дублированные	5%	25%
3 Дублированные	25%	50%
4 Сильно дублированные	50%	100%
5 Полностью дублированные	100%	

процент дублирования пар остановок ↗

Рисунок 3 – Уровни геодублирования маршрутов – определение

остановки ↴	связи ↴	уровни геодублирования																									
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25		
2	1	100.0%																									
3	3	33.3%	100.0%																								
4	6	16.7%	50.0%	100.0%																							
5	10	10.0%	30.0%	60.0%	100.0%																						
6	15	6.7%	20.0%	40.0%	65.7%	100.0%																					
7	21	4.8%	14.3%	28.6%	47.6%	71.2%	100.0%																				
8	28	3.6%	10.7%	21.4%	35.7%	54.0%	75.0%	100.0%																			
9	36	2.8%	8.3%	16.7%	27.8%	41.7%	58.3%	77.8%	100.0%																		
10	45	2.2%	6.7%	13.3%	22.2%	33.3%	46.7%	62.4%	80.0%	100.0%																	
11	55	1.8%	5.5%	10.9%	18.2%	27.3%	38.4%	50.5%	65.5%	81.8%	100.0%																
12	66	1.5%	4.5%	9.1%	15.2%	22.7%	31.8%	42.4%	54.5%	68.2%	83.3%	100.0%															
13	78	1.3%	3.8%	7.7%	12.8%	19.2%	26.9%	35.9%	46.2%	57.7%	70.5%	84.6%	100.0%														
14	91	1.1%	3.3%	6.6%	11.0%	16.5%	23.1%	30.8%	39.6%	49.5%	60.4%	73.5%	85.7%	100.0%													
15	105	1.0%	2.9%	5.7%	9.5%	14.3%	20.0%	26.7%	34.3%	42.9%	52.4%	62.9%	74.3%	86.7%	100.0%												
16	120	0.8%	2.5%	5.0%	8.3%	12.5%	17.5%	23.3%	30.0%	37.5%	45.8%	55.0%	65.0%	75.8%	87.5%	100.0%											
17	136	0.7%	2.2%	4.4%	7.4%	11.0%	15.6%	20.6%	26.5%	33.1%	40.4%	48.5%	57.4%	66.9%	77.2%	88.2%	100.0%										
18	153	0.7%	2.0%	3.9%	6.5%	9.8%	13.7%	18.3%	23.5%	29.4%	35.9%	43.1%	51.0%	59.5%	68.6%	78.4%	88.9%	100.0%									
19	171	0.6%	1.8%	3.5%	5.8%	8.8%	12.3%	16.4%	21.1%	26.3%	32.2%	38.6%	45.6%	53.2%	61.4%	70.2%	79.5%	89.5%	100.0%								
20	190	0.5%	1.6%	3.2%	5.3%	7.9%	11.1%	14.7%	18.9%	23.7%	28.9%	34.7%	41.1%	47.9%	55.0%	63.2%	71.6%	80.5%	90.0%	100.0%							
21	210	0.5%	1.4%	2.9%	4.8%	7.1%	10.0%	13.3%	17.1%	21.4%	26.2%	31.4%	37.1%	43.3%	50.0%	57.4%	65.6%	74.6%	84.6%	95.0%	100.0%						
22	231	0.4%	1.3%	2.6%	4.3%	6.5%	9.1%	12.1%	15.6%	19.5%	23.8%	28.6%	33.8%	39.4%	45.5%	51.9%	58.8%	66.3%	74.6%	83.6%	93.0%	100.0%					
23	253	0.4%	1.2%	2.4%	4.0%	5.9%	8.3%	11.1%	14.2%	17.8%	21.7%	26.1%	30.8%	36.0%	41.5%	47.4%	53.8%	60.5%	67.6%	75.1%	83.0%	91.3%	100.0%				
24	276	0.4%	1.1%	2.2%	3.6%	5.4%	7.6%	10.1%	13.0%	16.3%	19.9%	23.9%	28.3%	33.0%	38.0%	43.5%	49.3%	55.4%	62.0%	68.9%	76.1%	83.7%	91.7%	100.0%			
25	300	0.3%	1.0%	2.0%	3.3%	5.0%	7.0%	9.3%	12.0%	15.0%	18.3%	22.0%	26.0%	30.3%	35.0%	40.0%	45.3%	51.0%	57.0%	63.3%	70.0%	77.0%	84.3%	92.0%	100.0%		

Рисунок 4 – Уровни геодублирования маршрутов – пример расчёта

Маршрут-1	Маршрут-2	Вид дублирования
Дублирован Маршрутом-2 на 100%	Дублирован Маршрутом-1 на 100%	Полное наложение
Дублирован Маршрутом-2 на 100%	Дублирован Маршрутом-1 частично	Маршрут-1 вложен в Маршрут-2
Дублирован Маршрутом-2 частично	Дублирован Маршрутом-1 на 100%	Маршрут-2 вложен в Маршрут-1
Дублирован Маршрутом-1 частично	Дублирован Маршрутом-2 частично	Частичное перекрытие

Рисунок 5 – Виды геодублирования маршрутов

Используя данный подход разработан программный продукт, анализирующий маршрутную сеть и рассчитывающий матрицу межмаршрутного геодублирования, результаты которой применяются для:

- выявления дублирования;

Анализируемый вариант				105 3397		красный-тот же маршрут									
#	номер	остановки	связи	Дублирующие		ЛАД		ЛАД		ЛАД		ЛАД		ЛАД	
				варианты	связи	1	%	2	%	3	%	4	%	5	%
1	214-1	23	253	57	573	702-1	36%	***202м>2	36%	68>1	22%	***104>2	18%	***915>2	8%
2	214-2	24	276	47	587	702-2	38%	***202м>1	33%	68>2	20%	***104>1	13%	***915>1	10%
3	68-1	22	231	37	561	**3м (доп.)>	24%	***269м>1	16%	***430м>2	16%	3>1	16%	***3м>2	16%
4	68-2	20	190	30	476	**3м (доп.)>	35%	***269м>2	19%	***430м>1	19%	3>2	11%	***3м>1	11%
5	606-1	14	91	27	400	***606м>1	73%	31>2	23%	618>2	23%	278>2	23%	601>1	23%
6	606-2	15	105	28	361	***606м>2	63%	290>2	20%	259>2	20%	***290м>1	20%	***359м>1	20%
7	261-1	21	210	47	495	***504м>1	26%	699>2	21%	718-1	17%	226>1	17%	***330м>2	16%
8	261-2	20	190	39	428	***504м>2	24%	699>1	24%	718-2	19%	226>2	19%	816-1	15%
9	785-1	19	171	37	549	788>2	39%	793>2	39%	***497м>1	39%	688>1	21%	***308м>1	21%
10	785-2	20	190	36	360	688>2	19%	***308м>2	19%	788-1	15%	793>1	15%	47>1	11%
11	70-1	12	66	5	110	***70м>1	83%	***600м>1	42%	698-1	32%	65	5%	***65м>1	5%
12	70-2	10	45	5	90	***70м>2	100%	***600м>2	62%	698-2	33%	65	2%	***65м>2	2%
13	63-1	21	210	54	1258	***134м>2	90%	763м>2	43%	***735м>2	43%	78>1	37%	***294м>1	37%
14	63-2	22	231	58	1534	***134м>1	100%	763м>1	45%	***735м>1	45%	78>2	39%	***294м>2	39%
15	7-1	23	253	28	177	131>1	11%	141>1	6%	125-1	6%	***341м>1	6%	620>2	5%
16	7-2	23	253	32	213	131>2	14%	141>2	6%	125-2	6%	***341м>2	6%	620>2	5%

Рисунок 6 – Таблица межмаршрутного дублирования

Таблица показывает для каждого МВН (маршрут-вариант-направление) все дублирующие его другие МВН, отсортированные (слева – направо) по убыванию степени дублирования. Например, маршрут 214 первого направления дублирован 57 другими МВН, наиболее значительный из которых маршрут 702 первого направления (36 % показатель дублирования).

- классификация маршрутов по степени дублированности;

наименование	
1	Эксклюзивный
2	Слабо дублированный
3	Дублированный
4	Сильно дублированный
5	Полностью дублированный

Рисунок 7 – Классы дублированности

Можно выделить классы маршрутов от полной изолированности (эсклюзивности) до полностью дублированности. Для макро-анализа целесообразно построить распределения маршрутов анализируемого города по таким классам, что может натолкнуть на некоторые выводы по совершенствованию сети. Для микро-анализа целесообразно знать насколько данный маршрут эксклюзивен - каковы последствия его отмены или изменения.

- дублирования пассажирских корреспонденций:

Геодублирование является первым этапом анализа взаимодействия маршрутов. На его основе наше ПО считает также межмаршрутное дублирование на уровне пассажирских корреспонденций – общие пассажирские связи для каждой пары маршрутов. Такая информация является предельно важной для выявления последствий предлагаемых планировочных решений. Например, если сильная пассажирская корреспонденция находится на эксклюзивном маршруте – то его модификация опасна для изменения уровня качества перевозок. С другой стороны, если такая корреспонденция распределена между целым рядом маршрутов, то при изменении одного из них другие могут «помочь» в их обслуживании. Наше ПО позволяет определить пассажиров, которые получают негативные или позитивные изменения качества обслуживания в результате внедрения предлагаемых планировочных мер.

Еще один аспект анализа дублирования пассажирских корреспонденций – подготовка задач для составления расписания.



Рисунок 8 – Корреспонденции – база для задач расписания

В левом случае имеется целесообразность координации маршрутных расписаний с точки зрения выравнивания интервалов между ними (синего и зелёного маршрутов) – так как их общий участок обладает мощной внутренней пассажирской корреспонденцией. В

этом случае межмаршрутная координация интервалов и отправлений превалирует над маршрутными.

В правом случае – главная задача сосредоточена именно на каждом отдельном маршруте.

- выделение автономных маршрутных кустов;

Эта тема рассмотрена в статье «Рационализация пассажирских перевозок в рамках».

Поступила 5 декабря 2016 г.

УДК: 656.13

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ СОСТАВЛЕНИЯ РАСПИСАНИЙ ДЛЯ МАЛЫХ ПАТП

О.Г. Коптелов, Г.В. Таубкин

В работе приводится описание онлайн системы, предназначенной для составления маршрутного расписания движения автобусов с использованием доступных программных инструментов.

This paper describes the online scheduling system for fixed-routes bus timetables with easy to use software tools.

Составление маршрутных расписаний движения автобусов весьма трудоемкий процесс. Вручную на составление одного варианта расписания требуется до 5 рабочих дней высококвалифицированного труда. На каждый автобусный маршрут ежегодно требуется составить до 15 вариантов расписаний. Связано это с изменениями пассажиропотоков по дням недели, месяцам и сезонам года, а также с изменениями условий движения автобуса по маршруту [1]. Кроме того, маршрутные расписания должны ежегодно подвергаться корректировке с учетом произошедших изменений эксплуатационных показателей и внешних воздействий на условия движения по маршруту [2]. Существует точка зрения, что в современных условиях в традиционном маршрутном расписании нет смысла, поскольку оно трудно выполнимо в городах с загруженной транспортными потоками дорожно-уличной сетью [3]. Однако в России насчитывается примерно 750 малых городов с численностью населения до 50 тысяч человек – что составляет 3/4 от всех российских городов. Эти города, как правило,