



Подходы к определению уровня дублирования маршрутов регулярных перевозок



Енин Дмитрий Владимирович – Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет, Институт прикладных транспортных исследований, Москва, Россия.*

Дмитрий ЕНИН

В сфере транспортного обслуживания населения и организации перевозок пассажиров вопросы дублирования маршрутов регулярных перевозок важны с точки зрения обеспечения их соответствия потребностям пассажиров в перевозках, а также их влияния на технико-эксплуатационные и экономические показатели работы этих маршрутов и маршрутной сети в целом.

В России дублирование маршрутов регулярных перевозок получило интенсивное развитие в составе маршрутных сетей в конце 1990-х – начале 2000-х годов как в городском сообщении, так и в других видах сообщения и между ними. В последнее десятилетие эти маршруты всё чаще подвергаются ревизии со стороны органов местного самоуправления и субъектов Российской Федерации при решении задач транспортного планирования и повышения качества транспортного обслуживания населения.

Оценка дублирования маршрутов, как правило, осуществляется на основе маршрутного коэффициента и показателя дублирования маршрутов, позволяющего попарно оценивать маршруты по длине их совпадающих участков.

Цель настоящей статьи заключается в том, чтобы показать некорректность распространённой методики и представить другой подход, обеспечивающий,

на взгляд автора, правильную интерпретацию способа определения показателя «дублирование маршрутов». Достижение поставленной цели основывается на методах теоретических исследований в области организации перевозок пассажиров.

Предложен новый метод определения показателя дублирования маршрутов с использованием показателя смежности маршрутов, учитывающего направления и объёмы корреспонденций пассажиров. На простых примерах приведено сопоставление существующего и предлагаемого подходов. Результаты расчётов подтвердили разную природу методических подходов к формированию показателей и отсутствие прямой связи между потребностями пассажиров в перевозках на транспорте общего пользования и протяжённостью смежных участков маршрутов. Сделан вывод о целесообразности использования второго (авторского) подхода на основе показателя смежности маршрутов, который обеспечивает корректное решение искомой задачи транспортного планирования. Показана возможность применения нового подхода при выполнении диагностики или проектировании маршрутных сетей в различных видах сообщения как в отношении паросочетаний маршрутов, так и в отношении их «кустов» и всей маршрутной сети.

Ключевые слова: транспорт, дублирование, корреспонденции, маршрут, маршрутная сеть, пассажир, пассажирский транспорт общего пользования.

*Информация об авторе:

Енин Дмитрий Владимирович – кандидат технических наук, доцент Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ), директор ООО «Институт прикладных транспортных исследований», Москва, Россия, ✉ info@iptis.ru.

Статья поступила в редакцию 03.12.2020, принята в публикации 26.02.2021.

For the English text of the article please see p. 220.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема дублирования маршрутов регулярных перевозок (далее – маршруты) возникла ранее или имеется сейчас во многих городах и регионах мира. Причины её возникновения и степень влияния на качество транспортного обслуживания населения в значительной мере отличались в силу исторических особенностей развития транспортных систем. В качестве частного примера можно привести рассмотрение ситуации в свете либерализации автобусных маршрутов в городском сообщении в Великобритании, одним из последствий которой стало увеличение дублирования наиболее коммерчески прибыльных маршрутов [1]. Проблема ставится и в рамках общих подходов к совершенствованию маршрутных сетей при организации транспортного обслуживания населения, при разработке стратегий развития пассажирского транспорта общего пользования в городском, пригородном и междугородном сообщениях (например, в виде принципа наименьшего дублирования маршрутов [2]), при принятии решений о введении ограничений на дублирование существующих маршрутов, особенно маршрутов различных видов сообщения, в целях обеспечения справедливой конкуренции [3], устранения существенной плотности наложения (дублирования по длине) маршрутов при планировании [4], использования показателя плотности наложения маршрутов в качестве одного из пяти ведущих принципов оценки качества маршрутной сети [5].

В России проблема дублирования маршрутов особенно отчётливо проявилась в конце XX–начале XXI века из-за разукрупнения транспортных предприятий и интенсивного, почти стихийного, развития коммерческих перевозок пассажиров. Выигрышным в социальном и экономическом плане стало развитие беспересадочных схем перевозок пассажиров. С одной стороны, такой вектор развития предоставил населению лучшие условия территориальной доступности пассажирского транспорта общего пользования, снижение уровня пересадочности и финансовых затрат пассажиров на поездки. С другой стороны, он привёл к

повышению загрузки улично-дорожной сети (далее – УДС) городов маршрутными транспортными средствами, повышению расходов перевозчиков на оплату труда водителям и эксплуатацию транспорта, ограничил возможности использования на маршрутах транспортных средств большой и особо большой вместимости. Такая ситуация в начале двухтысячных годов на официальном уровне почти не рассматривалась как проблема по ряду политических, финансовых, правовых и иных причин. В последнее десятилетие органы исполнительной власти стали проявлять всё больший интерес к вопросу снижения дублирования маршрутов, указывая на необходимость выполнения соответствующих работ, преимущественно в рамках муниципальных контрактов [6–10 и др.]. Но двойственная природа рассматриваемого явления до сих пор остаётся нераскрытой.

ЦЕЛЬ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью исследования является необходимость показать некорректность распространённого подхода к определению показателя «дублирование маршрутов» и представить другой его вариант, обеспечивающий корректную интерпретацию способа определения этого показателя.

Достижение поставленной цели основывается на *методах* теоретических исследований в области организации перевозок пассажиров.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Показатели оценки дублирования маршрутов

Решение задачи снижения дублирования маршрутов в работах по транспортному планированию, как правило, основано на использовании маршрутного коэффициента или показателя дублирования маршрутов.

Маршрутный коэффициент представляет собой одну из основных характеристик маршрутных сетей городов, которая отражает средневзвешенное количество маршрутов, приходящееся на один условный участок УДС, обслуживаемый пассажирским транспортом общего пользования [11; 12 и др.]:





$$K_m = \frac{\sum L_m}{L_{MC}}, \quad (1)$$

где $\sum L_m$ – сумма длин маршрутов, км;

L_{MC} – длина маршрутной сети (длина УДС, обслуживаемой маршрутами пассажирского транспорта общего пользования), км.

Маршрутный коэффициент пригоден для усреднённой оценки состояния маршрутной сети по признаку дублирования (плотности) участков маршрутов, является обобщённым и не позволяет сопоставлять характеристики маршрутов между собой. Встречается также несколько иная интерпретация этого показателя, когда в знаменателе указывают длину всей УДС [13].

Попарно оценивать маршруты между собой по длине их совпадающих участков позволяет показатель дублирования маршрутов. Наиболее распространённым является следующее его представление [14]:

$$K_d = \frac{L_{\text{дм}}}{L_M} \cdot 100\%, \quad (2)$$

где $L_{\text{дм}}$ – длина всех дублируемых участков одного маршрута, выбранного в качестве базового относительно другого (например, проектируемого маршрута относительно существующего), км;

L_M – длина маршрута, выбранного из двух рассматриваемых маршрутов в качестве базового, км.

Маршруты с уровнем дублирования более 60–95 % (разные авторы по-разному определяют эту границу) [14–16 и др.] признают полностью дублирующими, на основании чего один или несколько из них предлагаются к отмене. Для существующих маршрутов предусматривают перераспределение высвобождаемого пассажиропотока на оставшиеся маршруты.

В развитие показателя (2) могут использоваться и другие показатели, уточняющие характеристики дублирования маршрутов, например:

а) сетевой коэффициент дублирования маршрутов, позволяющий определить долю дублируемых участков маршрутной сети:

$$K_{\text{сет}} = \frac{\sum L_{\text{дс}}}{L_{MC}} \cdot 100\%, \quad (3)$$

где $\sum L_{\text{дс}}$ – общая длина дублируемых участков маршрутной сети, км;

L_{MC} – длина маршрутной сети, км;

б) средневзвешенная доля дублирования в длине маршрутов:

$$\Delta_d = \frac{\sum L_{\text{дм}}}{\sum L_M} \cdot 100\%, \quad (4)$$

где $\sum L_{\text{дм}}$ – сумма длин дублируемых участков каждого маршрута, км;

$\sum L_M$ – сумма длин маршрутов, км.

Особенностью представленных показателей является то, что оценка дублирования производится топологически: по длине участков маршрутов. Они позволяют определить степень обеспеченности УДС маршрутами, в некоторой степени связаны с загрузкой УДС транспортом общего пользования (через параметры маршрутов), однако не отражают влияние дублирования на потребности пассажиров в перевозках. Эта особенность подчёркивает их вторичность, поскольку они не столько определяют, сколько зависят от наличия маршрутов, формируемых на основе транспортного спроса. И они более близки к вопросам организации дорожного движения, чем к вопросам перевозки пассажиров. Любопытно, но такой подход получил распространение также и за рубежом [17–19 и др.]¹.

В сфере транспортного обслуживания населения и организации перевозок пассажиров проблема дублирования маршрутов заключается в другом:

- в необходимости обеспечения приемлемого уровня загрузки транспортными средствами общего пользования остановочных пунктов, оказывающих немалое влияние на провозную способность маршрутов;

- в поиске возможностей для применения на маршрутах транспортных средств более высокого класса по отношению к эксплуатируемому подвижному составу, при обеспечении эффективности их использования (степени загрузки);

- в изменении уровня конкуренции между отдельными маршрутами или перевозчиками.

Решение перечисленных вопросов следует рассматривать не на основе сопоставления длин участков маршрутов, а на основе сопоставления направлений и объё-

¹ SEPTA. Southeastern Pennsylvania Transportation Authority. Frequently asked questions. [Электронный ресурс]: <https://www.septa.org/service/bus/network/faq.html>. Доступ 29.11.2020.

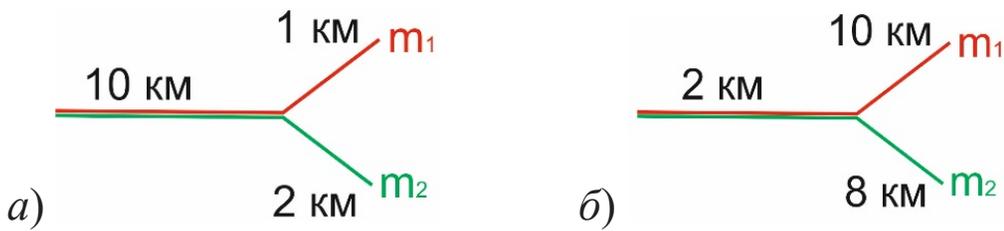


Рис. 1. Варианты схем элементарной маршрутной сети (составлено автором).

мов корреспонденций пассажиров между парами остановочных пунктов, поскольку структура и характеристики транспортного обслуживания населения преимущественно определяются характером потребностей людей в передвижениях. Соответственно, в задаче оценки дублирования маршрутов основное внимание нужно уделять не звеньям маршрутной сети (перегонам), а её узлам — остановочным пунктам.

Анализ литературных источников показал, что близок к этому подходу оказался А. С. Кажаяев в своей диссертационной работе [20], однако автору не удалось раскрыть суть вопроса, и он ограничился применением коэффициента совмещения остановочных пунктов. В других работах приводится корректное описание проблемы, правильное направление мысли в отношении значимости корреспонденций пассажиров между остановочными пунктами, но до методики определения дублирования маршрутов дело не доходит. В числе отечественных источников можно отметить методические рекомендации Минтранса России по разработке Документа планирования регулярных перевозок [21]; из зарубежных источников — например, рекомендации для города Эдмонта [22].

Для удобства описания и наглядности различий между двумя подходами — на основании длины маршрутов (первый подход) и корреспонденций пассажиров (второй подход) — заменим далее понятие «дублирование маршрутов» на «смежность маршрутов».

Определение «смежности маршрутов» при втором подходе осуществляется следующим образом.

Пусть из всей совокупности маршрутов M имеются несколько $M_m \in M$, у которых совпадает хотя бы один участок, соединяющий два или более общих для них остано-

вочных пунктов $O_m \in O$ (где O — множество остановочных пунктов).

Все остановочные пункты O по своему функциональному назначению подразделяются на остановочные пункты отправления $I \in O$ и остановочные пункты прибытия $J \in O$ пассажиров. Каждая пара остановочных пунктов I и J характеризуется определённым объёмом корреспонденций пассажиров:

$$Q(i, j) \mid i \in I, j \in J,$$

где i, j — номера остановочных пунктов, соответственно, отправления и прибытия пассажиров.

Обозначим через $Q_S(i, j) \subset Q(i, j)$ количество смежных корреспонденций пассажиров, которые могут быть реализованы при поездке на любом из рассматриваемых маршрутов M_m между парой остановочных пунктов i и j . Количество корреспонденций пассажиров, которые возможно реализовать только на конкретных маршрутах из числа рассматриваемых M_m между парой остановочных пунктов i и j , обозначим как $Q_M(i, j) \subset Q(i, j)$. Тогда коэффициент смежности для двух или нескольких (k) маршрутов M_m будет иметь вид:

$$K_{см} = \frac{\sum_{m=1}^k Q_S(i, j)}{\sum_{m=1}^k (Q_S(i, j) + Q_M(i, j))} \cdot 100\%. \quad (5)$$

Примеры

Пример 1

Для наглядности различий между подходами (существующим первым и предлагаемым вторым) к оценке дублирования (смежности) маршрутов рассмотрим игровую модель выбора из двух вариантов маршрутных сетей, характеризуемых противоположными предельными состояниями, наилучшего варианта при каждом подходе.



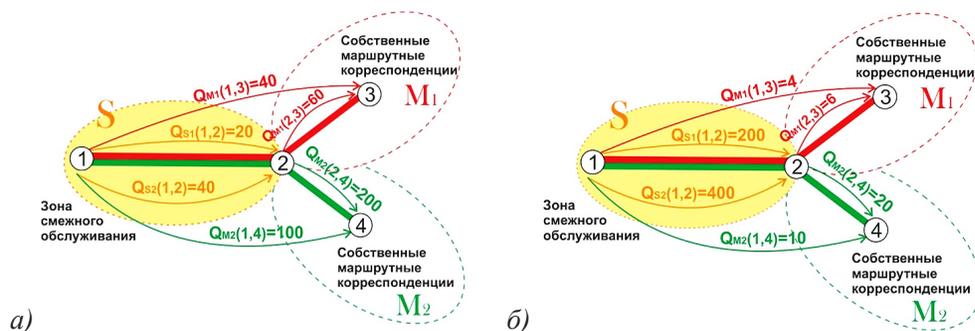


Рис. 2. Варианты схем элементарной маршрутной сети (составлено автором).

1. Определение дублирования маршрутов по длине их участков.

Рассмотрим две элементарные маршрутные сети *a* и *б*, состоящие из двух простых маршрутов. Одна сеть (*a*) имеет протяжённый участок дублирования, а другая (*б*) – короткий. Характеристики маршрутов m_1 и m_2 приведены на рис. 1. Высоким уровнем дублирования маршрутов считается значение коэффициента дублирования более 80 %.

Требуется:

- рассчитать значения: маршрутного коэффициента; показателя дублирования маршрутов для m_1 и m_2 ; сетевого коэффициента дублирования маршрутов; средневзвешенную долю дублирования в длине маршрутов;

- определить наличие маршрутов с высоким уровнем дублирования и необходимость отмены одного из них.

Определим значения показателей для маршрутной сети *a*:

1) маршрутный коэффициент определяется по формуле (1):

$$K_m = \frac{L_{m1} + L_{m2}}{L_{MC}} = \frac{11 + 12}{10 + 2 + 1} = 1,77;$$

2) показатель дублирования маршрутов определяется по формуле (2) для случаев, когда в качестве базового маршрута принимается маршрут m_1 или m_2 :

$$K_{dm1} = \frac{L_{dm1}}{L_{m1}} \cdot 100\% = \frac{10}{11} \cdot 100\% \approx 92\% ,$$

$$K_{dm2} = \frac{L_{dm2}}{L_{m2}} \cdot 100\% = \frac{10}{12} \cdot 100\% \approx 83\% ;$$

3) сетевой коэффициент дублирования маршрутов определяется по формуле (3):

$$K_{cd} = \frac{\sum L_{oc}}{L_{MC}} \cdot 100\% = \frac{10}{10 + 1 + 2} \cdot 100\% \approx 77\% ;$$

4) средневзвешенная доля дублирования в длине маршрутов определяется по формуле (4):

$$\Delta_d = \frac{L_{dm1} + L_{dm2}}{L_{m1} + L_{m2}} \cdot 100\% = \frac{10 + 10}{11 + 12} \cdot 100\% \approx 87\% .$$

Аналогично вычисляются значения для маршрутной сети *б*:

1) маршрутный коэффициент:

$$K_m = \frac{L_{m1} + L_{m2}}{L_{MC}} = \frac{12 + 10}{2 + 10 + 8} = 1,1;$$

2) показатель дублирования маршрутов:

$$K_{dm1} = \frac{L_{dm1}}{L_{m1}} \cdot 100\% = \frac{2}{12} \cdot 100\% \approx 17\% ,$$

$$K_{dm2} = \frac{L_{dm2}}{L_{m2}} \cdot 100\% = \frac{2}{10} \cdot 100\% = 20\% ;$$

3) сетевой коэффициент дублирования маршрутов:

$$K_{cd} = \frac{\sum L_{oc}}{L_{MC}} \cdot 100\% = \frac{2}{2 + 10 + 8} \cdot 100\% = 10\% ;$$

4) средневзвешенная доля дублирования в длине маршрутов:

$$\Delta_d = \frac{L_{dm1} + L_{dm2}}{L_{m1} + L_{m2}} \cdot 100\% = \frac{2 + 2}{12 + 10} \cdot 100\% \approx 18\% .$$

Краткий анализ результатов расчётов по первому подходу

Сравнение значений маршрутного коэффициента для двух маршрутных сетей показывает более высокий уровень дублирования на маршрутной сети *a*, т.к. $K_{Ma} > K_{Mb}$ ($1,77 > 1,1$). Но этот результат не имеет достаточной обоснованности для выводов об отмене маршрутов: понятно, что при варианте *a* дублирование выше, но непонятно, нужно ли и что именно нужно менять? По этой причине рассматриваемый показатель нецелесообразно использовать для решения подобных задач, он приемлем только для сетевых задач более высокого уровня. Из

дальнейшего рассмотрения в настоящем примере он исключается.

Из сравнения значений по оставшимся показателям следует, что маршрутная сеть *a* характеризуется высоким уровнем дублирования (между парами маршрутов: 83 и 92 %; на сети 77 %). Поскольку значения для маршрутов превышают 80 %, по условиям задачи требуется отмена одного из них. Претендентом на отмену является маршрут m_1 , как имеющий большее значение показателя. На практике приоритеты выбора могут быть другими: сохранение маршрута с лучшими технико-эксплуатационными характеристиками, более надёжным перевозчиком, наибольшим пассажиропотоком и т.д.

Маршрутная сеть *b* имеет значения показателей многократно ниже 80 %, поэтому её маршруты рассмотрению не подлежат.

2. Определение смежности маршрутов на основе объёмов корреспонденций пассажиров.

В качестве исходных данных выступают те же варианты элементарных маршрутных сетей (*a* и *b*), представленные на рис. 1, но дополненные значениями объёмов корреспонденций пассажиров в соответствии с рис. 2. Протяжённость участков маршрутов в этом случае не рассматривается.

Требуется вычислить значения коэффициента смежности маршрутов для каждого варианта.

Решение

1) коэффициент смежности маршрутов для варианта *a* будет равен (для удобства записи заменим часть круглых скобок на квадратные):

$$K_{см}^a = \frac{Q_{S1}(1,2) + Q_{S2}(1,2)}{[Q_{S1}(1,2) + Q_{S2}(1,2)] + [(Q_{M1}(1,3) + Q_{M1}(2,3)) + (Q_{M2}(1,4) + Q_{M2}(2,4))]} \cdot 100\% =$$

$$= \frac{20 + 40}{[20 + 40] + [(40 + 60) + (100 + 200)]} \cdot 100\% =$$

$$= \frac{60}{460} \cdot 100\% \approx 13\%;$$

2) коэффициент смежности маршрутов для варианта *b* составит:

$$K_{см}^b = \frac{200 + 400}{[200 + 400] + [(4 + 6) + (10 + 20)]} \cdot 100\% =$$

$$= \frac{600}{640} \cdot 100\% \approx 94\%.$$

Краткий анализ результатов расчётов по второму подходу

Маршрутная сеть *a* характеризуется низким уровнем востребованности пассажирами смежных узлов маршрутов (13 %) и нецелесообразна для рассмотрения, поскольку не отвечает поставленному условию: $13\% \ll 80\%$. Напротив, маршрутная сеть *b* характеризуется высокой востребованностью пассажирами смежных узлов маршрутов и показывает высокий уровень смежности маршрутов (94 %), в связи с чем возможна отмена маршрута m_1 , характеризуемого меньшим объёмом пассажиров (не исключается возможность введения отдельных рейсов на оставшемся маршруте в направлении 2–3).

Сравнение двух подходов на основе полученных результатов

Сравнение значений коэффициентов дублирования и смежности маршрутов по длине и по объёмам корреспонденций пассажиров показало противоположные результаты для маршрутных сетей *a* и *b*. При первом подходе высокий уровень дублирования маршрутов наблюдается в маршрутной сети *a*, а при втором подходе – в маршрутной сети *b*.

Полученные результаты подтверждают разную природу показателей и отсутствие прямой связи между потребностями пассажиров в перевозках на транспорте общего пользования и протяжённостью смежных участков маршрутов. Соответственно, оценка смежности маршрутов по формулам (1–4) не позволяет правильно определить уровень дублирования маршрутов в сфере транспортного обслуживания населения и принять правильное решение по изменению маршрутной сети на их основе. Вопросы организации дорожного движения и частоты движения транспорта оставим за рамками настоящей статьи.

Коэффициент смежности маршрутов, напротив, позволил по формуле (5) получить искомый корректный уровень смежности маршрутов, оказавшийся характерным только для маршрутной сети *b*, и установить подлежащий отмене маршрут. Однако следует осторожно подходить к принятию окончательного решения. Несмотря на логичность и наблюдаемую весомость полученного значения, оно





Таблица 1

Среднесуточное распределение корреспонденций пассажиров (составлено автором)

№№ ОТ	Пункты отправления																														Σ
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
1	55	69	86	140	164	251	87	258	302	147	155	274	113	246	14	250	222	216	210	69	71	75	257	75	73	71	670	148	139	2018	
2	55	69	86	140	164	251	87	258	302	147	155	274	113	246	14	250	222	216	210	69	71	75	257	75	73	71	670	148	139	2018	
3	55	69	86	140	164	251	87	258	302	147	155	274	113	246	14	250	222	216	210	69	71	75	257	75	73	71	670	148	139	2018	
4	55	69	86	140	164	251	87	258	302	147	155	274	113	246	14	250	222	216	210	69	71	75	257	75	73	71	670	148	139	2018	
5	55	69	86	140	164	251	87	258	302	147	155	274	113	246	14	250	222	216	210	69	71	75	257	75	73	71	670	148	139	2018	
6	55	69	86	140	164	251	87	258	302	147	155	274	113	246	14	250	222	216	210	69	71	75	257	75	73	71	670	148	139	2018	
7	55	69	86	140	164	251	87	258	302	147	155	274	113	246	14	250	222	216	210	69	71	75	257	75	73	71	670	148	139	2018	
8	55	69	86	140	164	251	87	258	302	147	155	274	113	246	14	250	222	216	210	69	71	75	257	75	73	71	670	148	139	2018	
9	55	69	86	140	164	251	87	258	302	147	155	274	113	246	14	250	222	216	210	69	71	75	257	75	73	71	670	148	139	2018	
10	55	69	86	140	164	251	87	258	302	147	155	274	113	246	14	250	222	216	210	69	71	75	257	75	73	71	670	148	139	2018	
11	55	69	86	140	164	251	87	258	302	147	155	274	113	246	14	250	222	216	210	69	71	75	257	75	73	71	670	148	139	2018	
12	55	69	86	140	164	251	87	258	302	147	155	274	113	246	14	250	222	216	210	69	71	75	257	75	73	71	670	148	139	2018	
13	55	69	86	140	164	251	87	258	302	147	155	274	113	246	14	250	222	216	210	69	71	75	257	75	73	71	670	148	139	2018	
14	55	69	86	140	164	251	87	258	302	147	155	274	113	246	14	250	222	216	210	69	71	75	257	75	73	71	670	148	139	2018	
15	55	69	86	140	164	251	87	258	302	147	155	274	113	246	14	250	222	216	210	69	71	75	257	75	73	71	670	148	139	2018	
16	55	69	86	140	164	251	87	258	302	147	155	274	113	246	14	250	222	216	210	69	71	75	257	75	73	71	670	148	139	2018	
17	55	69	86	140	164	251	87	258	302	147	155	274	113	246	14	250	222	216	210	69	71	75	257	75	73	71	670	148	139	2018	
18	55	69	86	140	164	251	87	258	302	147	155	274	113	246	14	250	222	216	210	69	71	75	257	75	73	71	670	148	139	2018	
19	55	69	86	140	164	251	87	258	302	147	155	274	113	246	14	250	222	216	210	69	71	75	257	75	73	71	670	148	139	2018	
20	55	69	86	140	164	251	87	258	302	147	155	274	113	246	14	250	222	216	210	69	71	75	257	75	73	71	670	148	139	2018	
21	55	69	86	140	164	251	87	258	302	147	155	274	113	246	14	250	222	216	210	69	71	75	257	75	73	71	670	148	139	2018	
22	55	69	86	140	164	251	87	258	302	147	155	274	113	246	14	250	222	216	210	69	71	75	257	75	73	71	670	148	139	2018	
23	55	69	86	140	164	251	87	258	302	147	155	274	113	246	14	250	222	216	210	69	71	75	257	75	73	71	670	148	139	2018	
24	55	69	86	140	164	251	87	258	302	147	155	274	113	246	14	250	222	216	210	69	71	75	257	75	73	71	670	148	139	2018	
25	55	69	86	140	164	251	87	258	302	147	155	274	113	246	14	250	222	216	210	69	71	75	257	75	73	71	670	148	139	2018	
26	350	460	580	490	590	720	1380	1050	1270	1340	2060	580	1000	670	71	480	440	360	700	1260	1450	2000									
27						149				136	15			117				51				73					166	120	113	399	
28						158				145	15			124			54					78						154	145	299	
29						121				149	18			95			67					76					205	154	200	200	
30						114				141	17			89			63					71					194	145	200		
Σ	908	1107	1318	1651	1826	3102	2581	2494	2689	2502	4346	758	1000	898	2058	699	598	829	694	521	1226	1532	1604	2000	2000	399	299	200	79638		

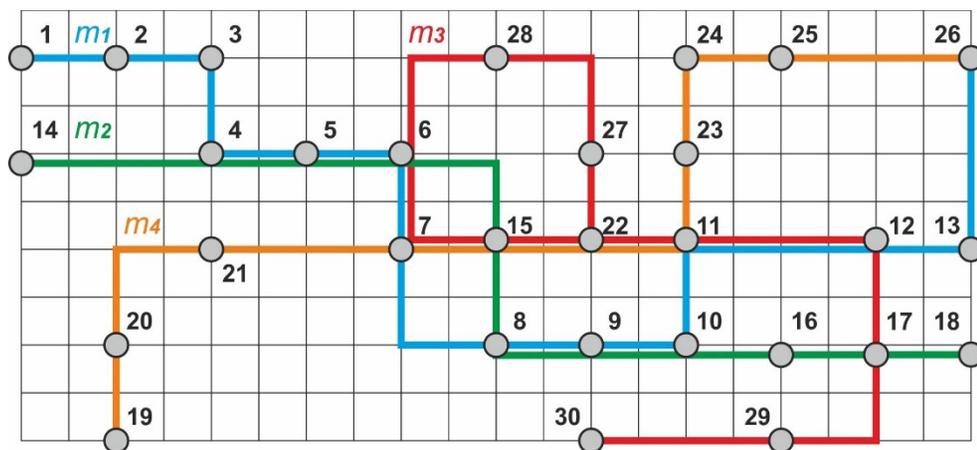


Рис. 3. Схема маршрутной сети (составлено автором).

относится к необходимому, но недостаточному условию для отмены какого-либо из маршрутов. Достаточность может быть обеспечена только на основе полноценного анализа несмежных участков маршрутов, провозной и пропускной способностями смежного участка, социальной значимости рассматриваемых маршрутов и остановочных пунктов на них, имеющих и планируемых объёмов ресурсного обеспечения на эксплуатацию маршрутов, оценки целесообразности введения подвозящих маршрутов (в примере – между остановочными пунктами 2–3–4) или объединения смежных маршрутов в один с разными режимами работы транспортных средств по длине (основные рейсы между конечными пунктами 1–2, укороченные рейсы между конечными пунктами 1–3 и 1–4), оценки иных ситуаций. В практике автора был случай, когда смежные на 100 % маршруты троллейбуса и автобуса вынужденно были сохранены из-за недостаточной провозной способности троллейбусного маршрута и в целях обеспечения бесперебойного сообщения в случаях отключения электроэнергии. Поэтому только по итогам многоаспектного анализа следует принимать окончательное решение об отмене или сохранении какого-либо из смежных маршрутов. Это условие также делает малозначимой задачу нормирования и установления предельно допустимых значений коэффициента смежности в качестве критерия отмены или сохранения смежных маршрутов, но не исключает её.

Пример 2

Первый пример для наглядности был показан на элементарной маршрутной сети из двух маршрутов. В реальных условиях структура маршрутных сетей более сложная, в связи с чем возникает вопрос о применимости рассматриваемых подходов к оценке смежности большого количества маршрутов, в том числе с разными участками смежности. Необходимо подтвердить применимость показателей на сетевом уровне. Для этого используем несколько более сложную модель, на которой покажем действие формул (1, 3–5). Показатель, определяемый по формуле (2) не относится к сетевым, поэтому не подлежит рассмотрению в настоящем примере.

Дана маршрутная сеть, состоящая из четырёх маршрутов (рис. 3). Маршруты выполнены на регулярной УДС с длиной ребра ячейки 0,25 км и имеют длину: $L_{m1} = 8$ км, $L_{m2} = 6$ км, $L_{m3} = 6,5$ км, $L_{m4} = 8$ км. Длина маршрутной сети – 23 км. Общее количество остановочных пунктов, действующих в одном или нескольких направлениях, составляет 30 ед. Среднесуточное распределение корреспонденций пассажиров на маршрутной сети представлено в табл. 1.

Вычислим значения показателей по формулам (1, 3–5):

1) маршрутный коэффициент:

$$K_m = \frac{L_{m1} + L_{m2} + L_{m3} + L_{m4}}{L_{MC}} = \frac{8 + 6 + 6,5 + 8}{23} = 1,24,$$

т.е. усреднённо на каждый четвёртый участок маршрутной сети приходится два



маршрута, на остальные три участка — по одному маршруту;

2) сетевой коэффициент дублирования маршрутов:

$$K_{сд} = \frac{\sum L_{дс}}{L_{мс}} \cdot 100\% = \frac{5}{23} \cdot 100\% \approx 22\%;$$

3) средневзвешенная доля дублирования в длине маршрутов:

$$\Delta_{д} = \frac{L_{дm_1} + L_{дm_2} + L_{дm_3} + L_{дm_4}}{L_{m_1} + L_{m_2} + L_{m_3} + L_{m_4}} \cdot 100\% = \\ = \frac{3,5 + 2 + 1,5 + 3}{8 + 6 + 6,5 + 8} \cdot 100\% \approx 35\%;$$

4) коэффициент смежности маршрутов составит (значения в числителе и знаменателе предварительно просуммированы на основании таблицы 1):

$$K_{см} = \frac{16621}{16621 + 63017} \cdot 100\% \approx 21\%.$$

В приведённом примере значения сетевого коэффициента дублирования маршрутов и коэффициента смежности маршрутов оказались близки. Отметим, что определённая зависимость между ними действительно может существовать в полифункциональных городах, где распределение корреспонденций населения находится в зависимости от расстояния (времени) передвижения людей. Однако такая связь характерна не для всех городов. В меньшей степени она проявляется в городах монофункциональных: промышленных, ресурсодобывающих, промысловых, курортных и др.

Попарное сравнение маршрутов (все-го шесть вариантов, расчёт не приводится), показало, что при определении сетевого коэффициента дублирования маршрутов совмещёнными оказались только три пары маршрутов со значениями показателя от 9 до 14 %. При определении коэффициента смежности маршрутов совмещёнными оказались уже пять пар маршрутов, значения показателя для которых составили от 4 до 11,4 %. Таким образом, несмежные по длине и топологии трасс маршруты оказались частично смежными по корреспонденциям пасса-

жиров между остановочными пунктами. При сравнении групп из трёх маршрутов (четыре варианта) значения сетевого коэффициента дублирования маршрутов составили от 7 до 16 %, а коэффициента смежности маршрутов — от 5,5 до 17,5 %.

Как видно, во всех случаях маршруты с высоким уровнем дублирования отсутствуют. Вместе с тем, представленный пример даёт ответ на основной поставленный вопрос: формула (5), наравне с формулами (1, 3, 4) по своему направлению, оказалась применима для диагностики дублирования «кустов» маршрутов и всей маршрутной сети.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Для сферы транспортного обслуживания населения установлена нецелесообразность применения показателей дублирования маршрутов, основанных на сопоставлении длин смежных участков маршрутов, поскольку такие показатели не учитывают потребности пассажиров в поездках, их объёмы и направления, а результаты могут существенно расходиться с логикой вопросов планирования и организации перевозок пассажиров транспортом общего пользования и привести к неверному результату.

2. Оценку дублирования (смежности) маршрутов регулярных перевозок при осуществлении диагностики существующего состояния и планировании развития маршрутных сетей городов целесообразно выполнять на основе предложенного коэффициента смежности маршрутов, учитывающего в своей основе направления и объёмы корреспонденций пассажиров между узлами сети — остановочными пунктами. Показатель применим для сопоставления пар маршрутов, «кустов» маршрутов и маршрутных сетей в целом.

3. При наличии результатов, отражающих высокий уровень смежности маршрутов, окончательное решение о сохранении, изменении или отмене маршрутов следует принимать только после всестороннего анализа других факторов, не ограничиваясь коэффициентом смежности маршрутов.

4. Показано, что использование маршрутного коэффициента для детальной

оценки дублирования маршрутов нецелесообразно вследствие его неинформативности и недостаточности для принятия решений о сохранении или отмене маршрутов. Этот показатель применим только для решения сетевых задач высокого уровня.

ЛИТЕРАТУРА

1. Jeffrey, S. Delivering change – improving urban bus transport. [Электронный ресурс]: <https://www.centreforcities.org/reader/improving-urban-bus-services/deregulation-makes-improving-bus-services-harder-for-mayors/>. Доступ 24.11.2020.

2. Andreev, K., Terentyev, V. Development of strategies for the development of urban passenger transport in EurAsEC countries. ITSE-2019, E3S Web of Conferences, Vol. 135, 02013 (2019). DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201913502013>. Доступ 24.11.2020.

3. Yakimov, M., Trofimenko, Yu. Developing an urban public passenger transport route network with account for natural resource limitations. Transportation Research Procedia, 2018, Vol. 36, pp. 801–809. DOI: 10.1016/j.trpro.2018.12.078.

4. Petrelli, M. A transit network design model for urban areas. WIT Transactions on the Built Environment, 2004, Vol. 75. DOI: 10.2495/UT040171. Доступ 24.11.2020.

5. Wang, J. J., Po, K. Bus Routing Strategies in A Transit Market: A Case Study of Hong Kong. Journal of Advanced Transportation, 2001, Vol. 35 No. 3, pp. 259–288. DOI: <https://doi.org/10.1002/atr.5670350306>. Доступ 24.11.2020.

6. Проблемы пассажирских перевозок // Общественная палата Российской Федерации. [Электронный ресурс]: https://www.oprf.ru/about/interaction/region_chambers/431/2584/newsitem/50418?PHPSESSID=hkjjfahnf5ek219mdh99k7hk2. Доступ 20.11.2020.

7. Полухин Е. Дождались перемен. Как в Воронеже решается проблема пассажирских перевозок // РИА. Воронеж. [Электронный ресурс]: <https://riavrn.ru/news/dozhдалис-перемен-kak-v-voronezhe-reshaetsya-problema-passazhirskikh-перевозок-/>. Доступ 20.11.2020.

8. В Орле ожидаются масштабные изменения в маршрутах общественного транспорта // Орел. times. [Электронный ресурс]: <https://oreltimes.ru/news/obshhestvo/v-orle-ozhidajutsja-masshtabnye-izmenenijsa-v-marshrutah-obshhestvennogo-transporta/>. Доступ 20.11.2020.

9. Всех под один тариф. В Ярославле частных перевозчиков приравняют к муниципальным // Российская газета. Экономика Центрального округа № 89 (7847). [Электронный ресурс]: <https://rg.ru/2019/04/23/reg-cfo/v-iaroslavle-obiavili-o-reforme-gorodskogo-passazhirskogo-transporta.html>. Доступ 20.11.2020.

10. Овчарук Н., Николаев С., Белов Е. Куда катится этот город? Как решат проблемы общественного транспорта Уфы // Башинформ.рф. [Электронный ресурс]: <https://www.bashinform.ru/longread/transport-v-ufe/>. Доступ 20.11.2020.

11. Ефремов И. С., Кобзев В. М., Юдин В. А. Теория городских пассажирских перевозок: Учеб. пособие для вузов. – М.: Высш. школа, 1980. – С. 133.

12. Спирин И. В. Организация и управление пассажирскими автомобильными перевозками: Учебник для студ. учреждений сред. проф. образования. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – С. 163.

13. Гришук Д. В. Оценка эффективности системы автобусного транспорта Казани // Вестник Иркутско-

го государственного технического университета. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2019. – Т. 9. – № 2. – С. 84. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39542651>. Доступ 30.11.2020.

14. Постановление администрации города Иркутска от 24.12.2015 г. № 031-06-1231/5 «Об организации регулярных перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом в городе Иркутске» (с изм. и доп. от 25.12.2018 г.) [Электронный ресурс]: <http://docs.cntd.ru/document/440526818>. Доступ 24.11.2020.

15. Кузькина Н. А., Лаврушина Е. М., Евтикова Е. А. Оценка степени дублирования городского пассажирского транспорта пригородными маршрутами // Материалы VIII Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум». [Электронный ресурс]: <http://scienceforum.ru/2016/article/2016020238>. Доступ 26.11.2020.

16. Постановление администрации городского округа муниципального образования «город Саянск» от 25.01.2017 г. № 110-37-56-17 «О внесении изменений в постановление администрации городского округа муниципального образования «город Саянск» от 28.12.2015 г. № 110-37-1272-15 «Об утверждении Положения об организации регулярных перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом на территории муниципального образования «город Саянск». [Электронный ресурс]: <http://www.admsayansk.ru/qa/5310.html>. Доступ 30.11.2020.

17. Transit standards and performance measures. Procedures guide. USA: Valley Metro, 2019, p. 11. [Электронный ресурс]: https://www.valleymetro.org/sites/default/files/tspm_procedures_guide_final_10.04.19.pdf. Доступ 28.11.2020.

18. Harrison, K. Measuring Access to Employment to Guide and Evaluate Public Transit Service Planning in New Orleans. University of New Orleans Theses and Dissertations, 2016, 46 p. [Электронный ресурс]: <https://scholarworks.uno.edu/td/2256>. Доступ 29.11.2020.

19. Best Practices in Transit Service Planning. Final Report. Project No. BD549–38. USA: Prepared by the Center for Urban Transportation Research University of South Florida, 2009, pp. 14–15. [Электронный ресурс]: <https://www.nctr.usf.edu/pdf/77720.pdf>. Доступ 29.11.2020.

20. Кажаяв А. А. Снижение конфликтных ситуаций на остановочных пунктах маршрутных сетей городского пассажирского транспорта / Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.22. – М., 2012. – 19 с. [Электронный ресурс]: <https://dspace.susu.ru/xmlui/bitstream/handle/0001.74/5911/000486807.pdf?sequence=3&isAllowed=y?sequence=3&isAllowed=y>. Доступ 24.11.2020.

21. Методические рекомендации по разработке Документа планирования регулярных перевозок пассажиров и багажа по муниципальным и межмуниципальным маршрутам автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом: утв. заместителем Министра транспорта Российской Федерации А. К. Семёновым от 30.06.2020 г. (ред. от 30 июня 2020 г.). [Электронный ресурс]: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_352633. Доступ 24.11.2020.

22. Accelerating Transit in the Edmonton Metropolitan Region: Building a Regional Transit Services Commission. ADDENDUM, 2020. [Электронный ресурс]: <https://www.fortsask.ca/en/your-city-hall/resources/Documents/News/News-Releases/2020/Accelerating-Transit-in-Edmonton-Metropolitan-Region-Addendum.pdf>. Доступ 29.11.2020.

