



Методические рекомендации  
**РАСЧЕТ ОГРАНИЧЕНИЙ ПРИ ОТКРЫТИИ МАРШРУТОВ  
ГОРОДСКОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА  
ОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ**

**Н1**

УДК 656.13

Рецензент

Начальник управления транспортного планирования АО «Институт «Стройпроект»

*Калинина В.В.*

Расчет ограничений при открытии маршрутов городского пассажирского транспорта общего пользования: методические рекомендации / сост. М.Р. Якимов — Москва: Институт транспортного планирования общероссийской общественной организации Российская академия транспорта, 2016. – 36 с.

Настоящие Методические рекомендации предназначены для расчета ограничений при открытии маршрутов городского пассажирского транспорта общего пользования. Методические рекомендации позволяют оценить параметры функционирования городского пассажирского транспорта общего пользования и возможности действующей дорожно-транспортной инфраструктуры удовлетворять потребности населения через сложившуюся в городе единую маршрутную сеть, а также оценить резервы функционирования инфраструктуры городского пассажирского транспорта общего пользования при открытии новых маршрутов городского пассажирского транспорта общего пользования.

Методические рекомендации разработаны специалистами Института транспортного планирования Российской академии транспорта.

УДК 656.13

© Институт транспортного планирования Российской академии транспорта, 2016  
© Якимов М.Р., 2016

## Оглавление

Введение .....	4
1 Инфраструктурные ограничения.....	8
1.1 Ограничения на количество одновременно прибывающих на остановочный пункт единиц подвижного состава маршрутных транспортных средств.....	8
1.2 Ограничения на количество одновременно находящихся единиц подвижного состава маршрутных транспортных средств на площадках отстоя, организованных на конечных точках маршрутов городского пассажирского транспорта общего пользования.....	18
2 Ограничение по уровню дублирования маршрутов ГПТОП.....	23
3 Пример проведения расчета ограничений при открытии маршрутов городского пассажирского транспорта общего пользования .....	25
3.1 Пример расчета ограничения на количество одновременно прибывающих на остановочный пункт единиц подвижного состава маршрутных транспортных средств ....	26
3.2 Пример расчета ограничения на количество одновременно находящихся единиц подвижного состава маршрутных транспортных средств на площадках отстоя, организованных на конечных точках маршрутов городского пассажирского транспорта общего пользования.....	29
3.3 Пример расчета ограничения по уровню дублирования маршрутов ГПТОП .....	33
Литература.....	36

## Введение

Задачей исполнительной власти городских округов и сельских поселений при реализации полномочий, закрепленных в законе РФ «Об общих принципах организации местного самоуправления в Российской Федерации» №131 от 06.10.2003, является создание эффективной транспортной системы на территориях данных образований.

Согласно подпункту 7 пункта 1 статьи 16 закона РФ «Об общих принципах организации местного самоуправления в Российской Федерации» №131 от 06.10.2003: «К вопросам местного значения городского округа относятся создание условий для предоставления транспортных услуг населению и организация транспортного обслуживания населения в границах городского округа».

В соответствии со ст. 11 Федерального закона от 13 июля 2015 г. № 220-ФЗ «Об организации регулярных перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»: «муниципальные маршруты регулярных перевозок в границах одного городского поселения устанавливаются, изменяются, отменяются уполномоченным органом местного самоуправления соответствующего поселения».

Одним из важных инструментов повышения качества жизни на территориях является создание эффективной транспортной системы города. Инструментами формирования эффективной транспортной системы города являются, в первую очередь, транспортное планирование, а далее организация дорожного движения, формирование маршрутной сети городского пассажирского транспорта общего пользования и парковочная политика.

Особое внимание следует уделять качеству проектирования системы городского пассажирского транспорта общего пользования. В частности, на

технические параметры дорожно-транспортной инфраструктуры и способность этой инфраструктуры удовлетворять закладываемые в единой маршрутной сети параметры транспортного движения подвижного состава, а также распределение пассажиропотоков.

За редким исключением инфраструктура системы городского пассажирского транспорта общего пользования является частью инфраструктуры всей улично-дорожной сети города. Как развитие улично-дорожной сети, так и развитие инфраструктуры городского пассажирского транспорта общего пользования ограничено имеющимися в распоряжении сообщества территориями – территориями общего пользования. Расширение этих территорий в городах, особенно в исторических и центральных частях городов, приводит к снижению качества жизни населения на прилегающих территориях, а иногда расширение территорий невозможно в силу объективных ограничений, связанных с исторической застройкой культурных, природно-ландшафтных и других охраняемых зон. Развитие системы городского пассажирского транспорта общего пользования так же, как и в целом развитие транспортной системы города, сталкивается с этими ограничениями. Эксплуатация инфраструктуры системы городского пассажирского транспорта общего пользования в режиме перегрузки ведет к снижению общей эффективности функционирования системы, росту транспортных издержек перевозчиков и пассажиров, снижению безопасности функционирования системы.

Из всего набора параметров, накладывающих ограничения на развитие системы городского пассажирского транспорта общего пользования, касающихся его инфраструктуры, выделим следующие:

- ограничения на количество одновременно прибывающих на остановочный пункт единиц подвижного состава маршрутных транспортных средств;

- ограничения на количество единовременно находящихся единиц подвижного состава маршрутных транспортных средств на площадках отстоя, организованных на конечных точках маршрутов городского пассажирского транспорта общего пользования;

- ограничения по уровню дублирования маршрутов городского пассажирского транспорта общего пользования.

Указанные выше параметры определяют физическую возможность эксплуатации инфраструктуры городского пассажирского транспорта общего пользования. Физические эксплуатационные характеристики действующей инфраструктуры определяют описанные ограничения через:

- длину заездного кармана для остановки маршрутного транспортного средства на установленных местах его остановки (остановочных пунктах);

- количество стояночных мест в местах отстоя транспорта на конечных точках маршрутов городского пассажирского транспорта общего пользования.

Количественные характеристики каждого из вышеназванных параметров входят в понятие единой маршрутной сети (ЕМС) городского пассажирского транспорта общего пользования (ГПТОП). Кроме физических характеристик, определяющих возможности действующей инфраструктуры, ЕМС содержит в себе сведения о маршрутах движения городского пассажирского транспорта общего пользования, интервалах движения на маршруте, типе подвижного состава на маршруте.

При открытии нового маршрута городского пассажирского транспорта общего пользования либо увеличении графиков движения на действующем маршруте требуется сохранять режимы эксплуатации действующей инфраструктуры, не превышающие ее предельных возможностей. Для оценки и прогнозирования режимов функционирования инфраструктуры городского пассажирского транспорта общего пользования (ГПТОП) при открытии новых маршрутов либо увеличении графиков движения на действующих маршрутах

требуется сопоставить объемы существующего движения подвижного состава и физические возможности эффективного удовлетворения этого движения при увеличении нагрузки на инфраструктуру.

Настоящие методические рекомендации содержат алгоритмы и определяющие соотношения для самостоятельного расчета нагрузки на отдельные элементы инфраструктуры городского пассажирского транспорта общего пользования с целью определения резервов в их эксплуатации. Выполненные согласно методическим рекомендациям расчеты позволяют читателю самостоятельно определить возможность (или невозможность) открытия нового маршрута движения или увеличения графиков движения на действующем маршруте с учетом инфраструктурных ограничений.

## 1 Инфраструктурные ограничения

1.1 Ограничения на количество одновременно прибывающих на остановочный пункт единиц подвижного состава маршрутных транспортных средств

Для эффективной эксплуатации инфраструктуры системы городского пассажирского транспорта общего пользования необходимо учитывать ряд параметров, накладывающих ограничения на развитие системы городского пассажирского транспорта общего пользования. Одним из важнейших параметров являются ограничения на количество одновременно прибывающих на остановочный пункт единиц подвижного состава маршрутных транспортных средств. Детальный расчет данного параметра необходим для комплексного исследования возможности открытия нового маршрута.

При обустройстве остановочных пунктов необходимо учитывать интенсивность движения единиц подвижного состава ГПТОП. Для обоснования минимальной вместимости остановочного пункта необходимо рассчитать такой параметр, как количество автобусов, одновременно осуществляющих посадку и высадку пассажиров на остановочном пункте.

Для расчета минимальной вместимости остановочного пункта использовались следующие параметры:

$N$  - количество маршрутов, проходящих через остановочный пункт;

$T$  – время остановки транспортного средства на посадку и высадку пассажиров, с;

$T_i$  – интервал движения  $i$ -го маршрута ГПТОП, проходящего через остановочный пункт, с;

$M$  – вместимость остановочного кармана у рассматриваемого остановочного пункта, то есть количество автобусов, которые одновременно могут осуществлять посадку и высадку пассажиров в остановочном кармане, ТС.

Для того чтобы оценить необходимую вместимость остановочного кармана, необходимо оценить вероятность прибытия на остановку одновременно 1, 2, ...,  $N$  автобусов, осуществляющих посадку и высадку пассажиров.

Рассмотрим примеры расчета вероятности одновременной посадки пассажиров одной (двумя и т.д.) единицами подвижного состава маршрутных транспортных средств. Для этого введем следующие параметры:

$p_i$  – вероятность прибытия на остановку единицы подвижного состава  $i$ -го маршрута ГПТОП;

$q_i$  - вероятность неприбытия на остановку единицы подвижного состава  $i$ -го маршрута ГПТОП, то есть событие обратное событию, описываемому вероятностью  $p_i$ ;

При этом данные параметры рассчитываются следующим образом:

$$p_i = \frac{T_i}{3600}, \quad (1)$$

$$q_i = 1 - p_i. \quad (2)$$

Тогда вероятность того, что на остановке будет находиться только единица подвижного состава только  $i$ -го маршрута ГПТОП, будет равна:

$$p_i^1 = p_i \cdot \prod_{j=1, j \neq i}^N q_j, \quad (3)$$

где

$p_i^1$  - вероятность того, что на остановке будет находиться только единица подвижного состава  $i$ -го маршрута ГПТОП.

Таким образом, вероятность того, что на остановке будет находиться только единица подвижного состава только  $i$ -го маршрута будет являться произведением вероятности нахождения на остановке единицы подвижного

состава  $i$ -го маршрута ГПТОП  $p_i$  и вероятностей ненахождения на остановке остальных маршрутов ГПТОП, проходящих через рассматриваемую остановку. Вместе данные события образуют полную группу событий.

Далее определим вероятность нахождения на остановке одной единицы подвижного состава одного из  $N$  маршрутов ГПТОП, проходящих через рассматриваемую остановку:

$$p^1 = \sum_{i=1}^N p_i^1, \quad (4)$$

где

$p^1$  - вероятность нахождения на остановке одной единицы подвижного состава одного из  $N$  маршрутов ГПТОП, проходящих через рассматриваемую остановку;

$p_i^1$  - вероятность того, что на остановке будет находиться только единица подвижного состава только  $i$ -го маршрута ГПТОП.

Аналогичным образом определим вероятность того, что на остановке будет находиться только одна единица подвижного состава только  $i$ -го маршрута ГПТОП и только одна единица подвижного состава только  $j$ -го маршрута ГПТОП будет равна:

$$p_{ij}^2 = p_i \cdot p_j \cdot \prod_{k=1, k \neq i, k \neq j}^N q_k, \quad (5)$$

где

$p_{ij}^2$  - вероятность того, что на остановке будут находиться одновременно только одна единица подвижного состава только  $i$ -го маршрута ГПТОП и только одна единица подвижного состава только  $j$ -го маршрута ГПТОП.

Тогда вероятность нахождения на остановке по одной единице подвижного состава каких-либо двух маршрутов ГПТОП из  $N$  маршрутов, проходящих через рассматриваемую остановку, будет равняться:

$$p^2 = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N p_{ij}^2, i \neq j \quad (6)$$

где

$p^2$  - вероятность нахождения на остановке по одной единице подвижного состава каких-то двух маршрутов ГПТОП из  $N$  маршрутов, проходящих через рассматриваемую остановку;

$p_{ij}^2$  - вероятность того, что на остановке будут находиться одновременно только одна единица подвижного состава только  $i$ -го маршрута ГПТОП и только одна единица подвижного состава только  $j$ -го маршрута ГПТОП.

Вероятность того, что на остановке будет находиться только одновременно одна единица подвижного состава  $i$ -го маршрута ГПТОП, только одна единица подвижного состава  $j$ -го маршрута ГПТОП и только одна единица подвижного состава  $k$ -го маршрута ГПТОП будет равна:

$$p_{ijk}^3 = p_i \cdot p_j \cdot p_k \cdot \prod_{l=1, l \neq i, l \neq j, l \neq k}^N q_l, \quad (7)$$

где

$p_{ijk}^3$  - вероятность того, что на остановке будут находиться одновременно только одна единица подвижного состава только  $i$ -го маршрута ГПТОП, только одна единица подвижного состава только  $j$ -го маршрута ГПТОП и только одна единица подвижного состава только  $k$ -го маршрута ГПТОП.

Тогда вероятность нахождения на остановке по одной единице подвижного состава каких-либо трех маршрутов ГПТОП, проходящих через рассматриваемую остановку, будет равняться:

$$p^3 = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^N p_{ijk}^3, i \neq j \neq k \quad (8)$$

где

$p^3$  - вероятность нахождения на остановке по одной единице подвижного состава каких-либо трех маршрутов ГПТОП из  $N$  маршрутов, проходящих через рассматриваемую остановку;

$p_{ijk}^3$  - вероятность того, что на остановке будут находиться одновременно только одна единица подвижного состава только  $i$ -го маршрута ГПТОП, только одна единица подвижного состава только  $j$ -го маршрута ГПТОП и только одна единица подвижного состава только  $k$ -го маршрута ГПТОП.

Аналогичным образом определяются вероятности прибытия на остановку четырех, пяти и более единиц подвижного состава каких-либо из  $N$  маршрутов, проходящих через остановку.

После расчета приведенных выше параметров можно перейти к расчету минимальной вместимости остановочного кармана. Для этого будем последовательно определять вероятности прибытия на остановку разного количества подвижного состава.

Сначала определим вероятность того, что на остановку в какой-то момент не приедет ни одной единицы подвижного состава. Вероятность такого события равна:

$$p^0 = \prod_{i=1}^N q_i = \prod_{i=1}^N (1 - p_i), \quad (9)$$

где

$p^0$  - вероятность того, что на остановку в какой-то момент не приедет ни одной единицы подвижного состава;

$p_i$  – вероятность прибытия на остановку единицы подвижного состава  $i$ -го маршрута ГПТОП;

$q_i$  - вероятность неприбытия на остановку единицы подвижного состава  $i$ -го маршрута ГПТОП, то есть событие обратное событию, описываемому вероятностью  $p_i$ .

Используя полученную величину  $p^0$ , определим вероятность одновременной посадки и высадки пассажиров на остановке как минимум одной единицей подвижного состава ГПТОП:

$$p^{1+} = 1 - p^0 = 1 - \prod_{i=1}^N q_i \quad (10),$$

где

$p^{1+}$  – вероятность посадки и высадки пассажиров как минимум одной единицей подвижного состава маршрута ГПТОП.

Интерпретация данной формулы заключается в том, что вероятность одновременной посадки и высадки пассажиров как минимум одной единицей подвижного состава ГПТОП является обратным событием для события одновременного неприбытия на остановку единиц подвижного состава всех маршрутов ГПТОП, проходящих через остановку.

Аналогичным образом, вероятность одновременной посадки и высадки пассажиров как минимум двумя единицами подвижного состава ГПТОП является обратным событием для события одновременно неприбытия на остановку единиц подвижного состава всех маршрутов ГПТОП, проходящих через остановку и события нахождения на остановке только одной единицы подвижного состава  $i$ -го маршрута ГПТОП. Таким образом, вероятность одновременной посадки и высадки пассажиров как минимум двумя единицами подвижного состава каких-либо маршрутов ГПТОП будем рассчитывать по следующей формуле:

$$p^{2+} = 1 - p^0 - p^1 = 1 - \prod_{i=1}^N q_i - p^1 \quad (11),$$

где

$p^{2+}$  – вероятность одновременной посадки пассажиров как минимум двумя единицами подвижного состава каких-либо маршрутов ГПТОП.

Аналогично вероятность одновременной посадки пассажиров как минимум  $M$  единицами подвижного состава каких-либо маршрутов ГПТОП будет равняться:

$$p^{M+} = 1 - p^0 - \sum_{j=1}^{M-1} p^j = 1 - \prod_{i=1}^N q_i - \sum_{j=1}^{M-1} p^j, \quad (12)$$

где

$p^{M+}$  - вероятность одновременной посадки пассажиров как минимум  $M$  единицами подвижного состава каких-либо маршрутов ГПТОП.

Для определения минимальной вместимости остановочного кармана, необходимо определить предельное значение для вероятности одновременного прибытия нескольких единиц подвижного состава.

На основании п. 72 Приказа Министерства автомобильного транспорта РСФСР от 31.12.1981г. №200 «Об утверждении правил организации пассажирских перевозок на автомобильном транспорте» определяется допустимое отклонение от расписания на маршрутах ГПТОП. Несмотря на то, что данный нормативный акт в настоящее время не действует, организаторы перевозок до сих пор используют его требования при составлении расписаний движения и осуществлении мониторинга исполнения перевозчиками расписаний движения. Прежде всего, это связано с тем, что к настоящему времени нет действующего нормативного документа, который заменил бы Приказ Министерства автомобильного транспорта РСФСР от 31.12.1981г. №200.

Согласно п. 72 Приказа Министерства автомобильного транспорта РСФСР от 31.12.1981г. №200 «Об утверждении правил организации пассажирских перевозок на автомобильном транспорте», допускается отклонение от

расписания городских автобусных маршрутах на +/- 2 минуты, то есть диапазон, на который возможно отклонение от расписания за один рейс, составляет 4 минуты или 240 секунд. Обозначим это время:

$T_{отк}$  - время, на которое единица подвижного состава ГПТОП может отклониться от расписания за один рейс, с.

Поэтому время, которое единица подвижного состава ГПТОП может затратить на ожидание остановки на посадку и высадку пассажиров, составляет:

$$t_{ожид} = \frac{T_{отк}}{k}, \quad (13)$$

где

$t_{ожид}$  - время, которое единица подвижного состава ГПТОП может потратить на ожидание остановки на посадку и высадку пассажиров, с;

$T_{отк}$  - время, на которое единица подвижного состава ГПТОП может отклониться от расписания за один рейс, с;

$k$  - среднее количество остановочных пунктов на маршрутах ГПТОП в действующей ЕМС.

Обозначим время, которое единица подвижного состава ГПТОП в среднем затрачивает на остановку как  $t_{ост}$ , то возможная вероятность ожидания единицей подвижного состава ГПТОП остановки для посадки и высадки пассажиров составляет:

$$P_{\max} = \frac{t_{ожид}}{t_{ост}}, \quad (14)$$

где

$p_{\max}$  - вероятность ожидания единицей подвижного состава ГПТОП остановки для посадки и высадки пассажиров;

$t_{\text{ожид}}$  - время, которое единица подвижного состава ГПТОП может потратить на ожидание остановки на посадку и высадку пассажиров, с;

$t_{\text{ост}}$  - время, затрачиваемое на остановку для посадки и высадки пассажиров, с.

Сформулируем условие бесконфликтного использования остановочной площадки несколькими единицами пассажирского транспорта: вероятность  $p^{M+}$  одновременной посадки пассажиров как минимум  $M$  единицами подвижного состава маршрутов ГПТОП не должна превышать вероятность ожидания единицей подвижного состава ГПТОП остановки для посадки и высадки пассажиров  $p_{\max}$ .

Алгоритм определения минимальной вместимости остановочного кармана представлен в виде блок-схемы на рисунке 1.

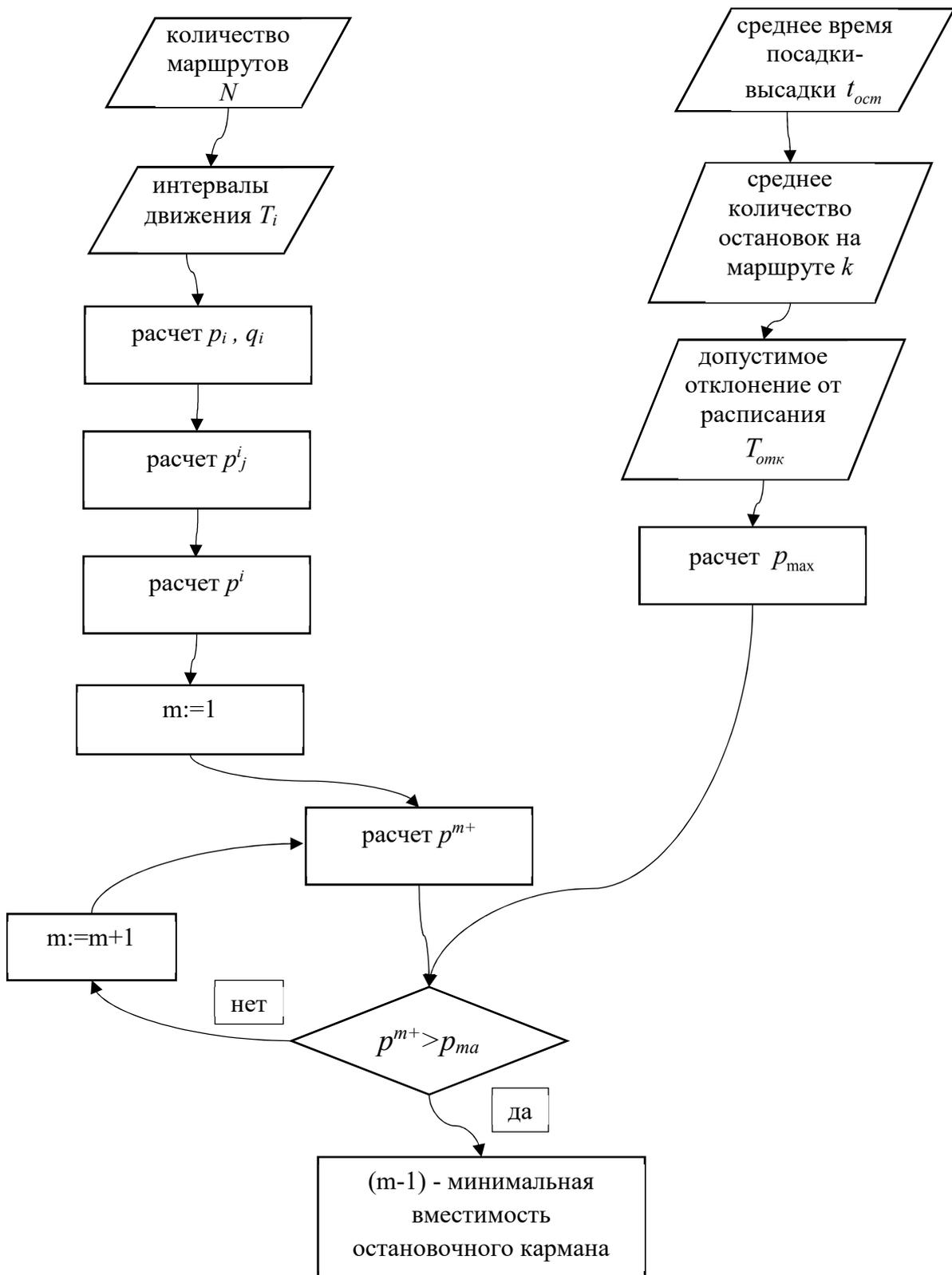


Рисунок 1 - Алгоритм расчета минимальной вместимости остановочного кармана

Алгоритм расчета минимальной вместимости остановочного кармана сводится к последовательному расчету для разных значений  $M$  вероятностей  $p^{M+}$  единовременной посадки пассажиров как минимум  $M$  единицами подвижного состава каких-либо маршрутов ГПТОП и сравнения получившейся вероятности с вероятностью ожидания единицей подвижного состава ГПТОП остановки для посадки и высадки пассажиров. То значение  $M$ , которое превысит вероятностью ожидания единицей подвижного состава ГПТОП остановки для посадки и высадки пассажиров, будет являться минимальной вместимостью остановочного кармана.

Таким образом, ограничение на количество единовременно пребывающих на остановочный пункт единиц подвижного состава при открытии нового маршрута ГПТОП будет формулироваться следующим образом: при открытии нового маршрута ГПТОП не должно увеличиваться значение минимальной вместимости остановочного кармана  $M$ . Если при открытии нового маршрута ГПТОП данное значение увеличивается, необходимо реконструировать остановочный карман, иначе возрастут задержки в движении остальных маршрутов ГПТОП из-за увеличения времени ожидания подъезда к остановке для посадки и высадки пассажиров.

1.2. Ограничения на количество единовременно находящихся единиц подвижного состава маршрутных транспортных средств на площадках отстоя, организованных на конечных точках маршрутов городского пассажирского транспорта общего пользования

Другим важным ограничением является ограничение на количество единовременно находящихся единиц подвижного состава маршрутных транспортных средств на площадках отстоя, организованных на конечных

точках маршрутов городского пассажирского транспорта общего пользования. Далее изложена подробная методика расчета указанного ограничения. Полученные в результате расчета данные позволяют также сделать вывод о возможности открытия нового экспериментального маршрута или дополнительных графиков на действующем маршруте.

Для каждого конечного остановочного пункта необходимо знать количество мест для отстоя общественного транспорта, предназначенных для перерыва для отдыха и питания. Обозначим количество мест для отстоя общественного транспорта переменной -  $M (TC)$ . Физические ограничения для инфраструктуры в виде параметра – количество мест для отстоя общественного транспорта являются известными.

Таким образом, для рассматриваемого конечного пункта необходимо знать следующие параметры:

- количество мест для отстоя общественного транспорта –  $M (TC)$ ;
- суммарное количество графиков для всех маршрутов, прибывающих на рассматриваемый остановочный пункт –  $N, (TC)$ .

Для каждого определенного  $i$ -го графика, где  $i = 1 \dots N$  задать:

- время начала выхода на рейс -  $T0_i$ , ч;
- время окончания работы -  $TK_i$ , ч;
- количество рейсов на графике –  $k$ ;
- оборачиваемость маршрута -  $T_{об\ i}$ , мин;
- среднее время пребывания на краткосрочный отдых на рассматриваемом остановочном пункте -  $\Delta t_i$ , мин;
- время, затрачиваемое на обед на рассматриваемом остановочном пункте -  $T_{обед\_ост\ i}$ , мин;
- время, затрачиваемое на смену водителей, на рассматриваемом остановочном пункте -  $T_{пер\ i}$ , мин.

Все параметры для рассматриваемого конечного остановочного пункта необходимо свести в общую таблицу (таблица 1).

Таблица 1 Сведения о маршруте ОТ на конечном остановочном пункте. Наименование остановочного пункта (м/р Садовый)

№ графика	Начало работы, $T0_i$	Окончание работы, $TK_i$	Количество рейсов, к.	Оборачиваемость маршрута, $T_{обі}$	Среднее время на отдых, $\Delta t_i$	Время обеда на конечном остановочном пункте, $T_{обед\_ост}^i$	Время пересменки, $T_{пер}^i$
1							
...							
N							

Каждый представленный в таблице 1 график выполняется на одной единице транспортного средства общего пользования. Общее количество графиков соответствует количеству автобусов, прибывающих в течение дня на исследуемый конечный остановочный пункт, и составляет  $N$  (ТС) – различных единиц подвижного состава маршрутных транспортных средств. В течение дня график разбивается на 2 смены, время, которое затрачивается на пересмену, обозначим  $T_{пер}^i$ . Для разных графиков время  $T_{пер}^i$  различное по продолжительности. Примем следующие допущения, если  $T_{пер}^i > 120$  мин, то пересмена водителей происходит вне места отстоя на конечном остановочном пункте, если  $T_{пер}^i \leq 120$  мин, то транспортное средство отстает и осуществляет пересмену на месте отстоя на рассматриваемом конечном остановочном пункте.

Для  $i$ -го автобуса введем понятие  $i$ -го события. В терминах теории вероятности  $i$ -ым событием назовем событие, когда  $i$ -ый автобус находится на месте отстоя на исследуемом конечном остановочном пункте. Индекс  $i = 1 \dots N$  - индекс номера графика, прибывающего на конечный остановочный пункт. Тогда вероятность появления  $i$ -го события в любой момент рабочего времени

обозначим  $p_i$  и будем рассчитывать в зависимости от продолжительности  $T_{пер}^i$  из следующих соотношений:

1. Если  $T_{пер}^i > 120$  мин, то

$$p_i = \frac{T_{обед\_ост}^i + k \cdot \Delta t_i}{(TK_i - T0_i) - T_{пер}^i} \quad (15),$$

2. Если  $T_{пер}^i \leq 120$  мин, то

$$p_i = \frac{T_{обед\_ост}^i + k \cdot \Delta t_i + T_{пер}^i}{(TK_i - T0_i)} \quad (16),$$

где

$p_i$  - вероятность того, что в любой момент рабочего времени  $i$ -ый автобус находится на месте отстоя на исследуемом конечном пункте;

$T0_i$  - время начала выхода на рейс, ч;

$TK_i$  - время окончания работы, ч;

$k$  - количество рейсов на графике;

$\Delta t_i$  - среднее время пребывания на краткосрочном отдыхе при каждом прибытии на рассматриваемый конечный остановочный пункт, мин;

$T_{обед\_ост}^i$  - время, затрачиваемое на обед в течение рабочего дня, мин;

$T_{пер}^i$  - время, затрачиваемое на смену водителей, мин;

$i = 1 \dots N$  - индекс номера графика, прибывающего на конечный остановочный пункт;

$N$  - суммарное количество графиков для всех маршрутов (ТС).

Далее найдем сумму вероятностей  $i$ -ых событий, обозначим ее переменной  $P$ . Если  $P$  будет превышать количество мест для отстоя общественного транспорта на перерыв для отдыха и питания  $M$ , то необходимо увеличивать количество мест или запрещать открытие дополнительных графиков маршрутов для рассматриваемого конечного пункта. Описанное условие будет выглядеть следующим образом:

---

$$P = \sum_{i=1}^N p_i \leq M \quad (17),$$

где  $P$  - сумма вероятностей  $i$ -ых событий;

$p_i$  - вероятность  $i$ -го события, рассчитанная по формуле (15) или (16);

$i = 1 \dots N$  - индекс номера графика, прибывающего на конечный остановочный пункт;

$N$  - суммарное количество графиков для всех маршрутов, ТС;

$M$  - количество мест для отстоя общественного транспорта, ТС.

Для определения возможности открытия дополнительных графиков движения общественного транспорта необходимо рассчитать вероятность того, что дополнительный график маршрута городского пассажирского транспорта общего пользования в любой момент его рабочего времени будет находиться на месте отстоя на исследуемом конечном остановочном пункте по формуле (15) или (16). Далее добавить рассчитанную вероятность к сумме вероятностей, а затем проверить условие (17). Таким образом, полученные в результате расчета данные помогают сделать вывод об обоснованности или необоснованности открытия нового экспериментального маршрута или дополнительного графика уже существующего маршрута. При условии выполнения или не выполнения ограничения на количество одновременно находящихся единиц подвижного состава маршрутных транспортных средств на площадках отстоя, организованных на конечных точках маршрутов городского пассажирского транспорта общего пользования.

## 2 Ограничение по уровню дублирования маршрутов ГПТОП

Введение ограничений по дублированию существующих маршрутов городского пассажирского транспорта общего пользования преследует своей целью обеспечение условий добросовестной конкуренции на рынке услуг пассажирских перевозок. Вводимые ограничения, с одной стороны, должны обеспечивать приток новых пассажиров в систему городского пассажирского транспорта общего пользования, с другой стороны - ограничивать возможный отток пассажиров с уже действующих маршрутов на вновь открываемые (экспериментальные).

Для планируемого экспериментального маршрута необходимо провести исследование того, как он будет работать с существующей утвержденной маршрутной сетью городского пассажирского транспорта общего пользования.

Ограничениями по дублированию маршрутов в существующей маршрутной сети будут являться:

1) одновременно начальный и конечный пункты не должны совпадать с маршрутом уже существующей сети;

2) на одном из конечных пунктов экспериментального маршрута должна быть оборудована площадка для отстоя подвижного состава на перерывы для отдыха и обеда водителей и кондукторов, обслуживающих маршрут;

3) дублирование прохождения экспериментального маршрута не должно совпадать более, чем определенную долю от общей длины маршрута, где есть общие участки прохождения экспериментального маршрута с действующими маршрутами сети городского пассажирского транспорта общего пользования.

Формализуем для третьего условия алгоритм расчета допустимой доли от длины нового маршрута, которая может дублировать существующие маршруты ГПТОП.

Приведем характеристики существующей маршрутной сети в усредненных показателях:

$d$  - среднее расстояние между остановочными пунктами, м.

$k$  - среднее количество остановок на маршруте в одном направлении.

$dl$  - средняя длина маршрута в одном направлении, м.

$lp$  - средняя дальность поездки одного человека, м.

По приведенным усредненным данным получим соотношение для оценки того, насколько каждый пассажир использует один маршрут общественного транспорта, обозначим его  $pr$ , найдем из соотношения:

$$pr = \frac{lp}{dl} * 100\%, \quad (18)$$

где

$pr$  - процентное соотношение использования длины маршрута пассажиром;

$lp$ , м - средняя дальность поездки одного человека;

$dl$ , м - средняя длина маршрута в одном направлении.

На основе полученного процентного соотношения использования длины маршрута пассажиром формулируется третье условие ограничения по уровню дублирования маршрутов ГПТОП:

«дублирование прохождения экспериментального маршрута не должно совпадать более, чем на  $pr = \frac{lp}{dl} * 100\%$  от общей длины маршрута, где есть общие участки прохождения экспериментального маршрута с действующими маршрутами сети городского пассажирского транспорта общего пользования».

При дублировании новыми маршрутами старых маршрутов на протяжении более длины средней поездки есть вероятность того, что пассажир выберет новый (экспериментальный) маршрут, так как он также может удовлетворить его потребность. Если дублирование окажется меньше средней длины поездки, новый маршрут не так привлекателен для пассажиров, пользующихся

действующими маршрутами, так как не удовлетворит их потребность в перемещении из т. А в т. В. Это значит, что новый (экспериментальный) маршрут будет ориентирован в большей степени на привлечение «собственного» пассажира, ранее не пользовавшегося услугами городского пассажирского транспорта общего пользования.

Для большего удобства возможно использовать не долю от длины маршрута, а максимально допустимое количество остановок, которое может дублироваться новым маршрутом. Для этого проведем расчет среднего количества остановок, которые проезжает пассажир при одной поездке на ГПТОП, обозначим  $ost$ . Данный показатель найдем из соотношения:

$$ost = \frac{lp}{d}, \quad (19)$$

где,  $ost$  - среднее количество остановок за одну поездку пассажира;

$lp$  - средняя дальность поездки одного человека, м.

$d$  - среднее расстояние между остановочными пунктами, м.

В результате проведенных расчетов получили, что дублирование остановочных пунктов не должно превышать цепочку из 8 подряд остановок, совпадающих с уже существующими маршрутами сети.

### 3 Пример проведения расчета ограничений при открытии маршрутов городского пассажирского транспорта общего пользования

При открытии любого экспериментального маршрута или дополнительного числа графиков на действующем маршруте городского пассажирского транспорта общего пользования требуется определить, будут ли при этом удовлетворены имеющиеся инфраструктурные ограничения.

Типы ограничений описаны в настоящих методических рекомендациях в пунктах 1-2.

#### 3.1 Пример расчета ограничения на количество одновременно прибывающих на остановочный пункт единиц подвижного состава маршрутных транспортных средств

Сначала определим вероятность ожидания единицей подвижного состава ГПТОП остановки для посадки и высадки пассажиров.

Среднее количество остановок на маршрутах общественного транспорта составляет  $k = 19$  пунктов.

В результате проведенных исследований, связанных с продолжительностью времени остановки автобусов на посадку и высадку пассажиров на остановочных пунктах города Перми, было получено значение среднего времени посадки и высадки пассажиров на остановке:  $T = 23$  с.

Для города Перми время, которое единица подвижного состава ГПТОП может потратить на ожидание остановки на посадку и высадку пассажиров, будет составлять:

$$t_{\text{ожид}} = \frac{T_{\text{отк}}}{k} = \frac{240}{19} = 12,6 \text{ с.}$$

Значение вероятности ожидания единицей подвижного состава ГПТОП остановки для посадки и высадки пассажиров для г. Перми составляет:

$$P_{\max} = \frac{t_{\text{ожид}}}{t_{\text{ост}}} = \frac{12,6}{23} = 0,54 .$$

Методику расчета вероятностей одновременной посадки и высадки пассажиров на одном остановочном пункте рассмотрим для одного из остановочных пунктов общественного транспорта в г. Перми – «МЖК» (учитывалось движение общественного транспорта по направлению в центр города).

Маршруты, которые следуют через указанный остановочный пункт, и интервалы их движения, приведены в таблице 2 (таблица 2).

Таблица 2 Сводная таблица маршрутов ГПТОП для остановки «МЖК»

Номера маршрутов, i	1 (автобус 77)	2 (автобус 80)	3 (автобус 47)
Интервал движения, мин	5	8	7
Интервал движения, с ( $T_i$ )	300	480	420

Для исследуемого остановочного пункта рассчитаем сумму вероятностей единовременной посадки и высадки пассажиров для одного, двух и более автобусов.

Рассчитаем для данных трех маршрутов, проходящих через остановку, вероятности нахождения маршрута на остановочном пункте  $p_i$ :

$$p_1 = \frac{300}{3600} = 0,083 \text{ с},$$

$$p_2 = \frac{480}{3600} = 0,133 \text{ с},$$

$$p_3 = \frac{420}{3600} = 0,117 \text{ с} .$$

Далее рассчитаем вероятность неприбытия ни одной единицей подвижного состава на остановку:

$$p^0 = q_1 \cdot q_2 \cdot q_3 = (1 - 0,083) \cdot (1 - 0,133) \cdot (1 - 0,117) = 0,702$$

Вероятность нахождения на остановке одной единицы подвижного состава одного из 3 маршрутов ГПТОП, проходящих через рассматриваемую остановку:

$$p^1 = p_1 \cdot q_2 \cdot q_3 + q_1 \cdot p_2 \cdot q_3 + q_1 \cdot q_2 \cdot p_3 = 0,083 \cdot (1 - 0,133) \cdot (1 - 0,117) + (1 - 0,083) \cdot 0,133 \cdot (1 - 0,117) + (1 - 0,083) \cdot (1 - 0,133) \cdot 0,117 = 0,264$$

Вероятность нахождения на остановке по одной единице подвижного состава каких-то двух маршрутов ГПТОП, проходящих через рассматриваемую остановку:

$$p^2 = p_1 \cdot p_2 \cdot q_3 + p_1 \cdot q_2 \cdot p_3 + q_1 \cdot p_2 \cdot p_3 = 0,083 \cdot 0,133 \cdot (1 - 0,117) + 0,083 \cdot (1 - 0,133) \cdot 0,117 + (1 - 0,083) \cdot 0,133 \cdot 0,117 = 0,032$$

Вероятность посадки и высадки пассажиров как минимум одной единицей подвижного состава маршрута ГПТОП:

$$p^{1+} = 1 - p^0 = 1 - 0,702 = 0,298$$

Вероятность одновременной посадки и высадки пассажиров как минимум двумя единицами подвижного состава каких-либо маршрутов ГПТОП:

$$p^{2+} = 1 - p^0 - p^1 = 1 - 0,702 - 0,264 = 0,034$$

Вероятность одновременной посадки и высадки пассажиров как минимум тремя единицами подвижного состава каких-либо маршрутов ГПТОП:

$$p^{3+} = 1 - p^0 - p^1 - p^2 = 1 - 0,702 - 0,264 - 0,032 = 0,002$$

Значение вероятности одновременной посадки пассажиров как минимум 1 единицей подвижного состава для рассматриваемой остановки получилось меньше, чем значение вероятности ожидания единицей подвижного состава ГПТОП остановки для посадки и высадки пассажиров для г. Перми. В связи с этим, для остановки «МЖК» достаточно вместимости кармана в одну единицу подвижного состава.

Для остановок, через которые проходит большое количество маршрутов ГПТОП, проводить подобный расчет вручную довольно трудоемко и затруднительно, поэтому для таких расчетов рекомендуется использовать

специальное приложение, разработанное специалистами Института транспортного планирования Российской академии транспорта. Скачать приложение можно на сайте Института.

3.2 Пример расчета ограничения на количество одновременно находящихся единиц подвижного состава маршрутных транспортных средств на площадках отстоя, организованных на конечных точках маршрутов городского пассажирского транспорта общего пользования

Для исследуемого маршрута №42 конечными остановочными пунктами являются «Аэропорт - Большое Савино» и «Автовокзал».

На конечном остановочном пункте «Аэропорт Большое Савино» не предусмотрены места для отстоя транспорта, и перерыв на обеденное время на этом конечном пункте так же не выделен. Поэтому расчет по методике, описанной в пункте 2, проводиться не будет, так как конечный остановочный пункт не несет в себе никаких ограничений.

Для конечного остановочного пункта «Автовокзал» проведем расчеты, описанные в пункте 2. Рассматриваемый остановочный пункт является конечным остановочным пунктом для действующего маршрута №42 городского пассажирского транспорта общего пользования (таблица 3).

Таблица 3 Конечный пункт «Автовокзал», графики маршрутов, прибывающих на остановочный пункт

№ графика, $i$	Начало работы, $T0_i$	Окончание работы, $TK_i$	Количество рейсов, к.	Оборачиваемость маршрута, $T_{об}$	Среднее время на отдых, $\Delta t_i$	Время обеда на конечном остановочном пункте, $T_{обед\_ост}^i$	Время пересменки, $T_{пер}^i$
Номер маршрута (Автобус 42 Автовокзал – Аэропорт)							

№ графика, $i$	Начало работы, $TO_i$	Окончание работы, $TK_i$	Количество рейсов, к.	Оборачиваемость маршрута, $T_{об\ i}$	Среднее время на отдых, $\Delta t_i$	Время обеда на конечном остановочном пункте, $T_{обед\_ост\ i}$	Время пересменки, $T_{пер\ i}$
1	6:00	21:50	10	1:22	4,57	85	-
2	6:12	23:53	11	1:22	2,63	127	-
3	7:44	20:31	8	1:22	2,3	84	-
4	6:24	20:11	9	1:22	2,71	58	-
5	6:33	22:17	10	1:22	4,25	69	-
6	6:42	22:47	10	1:22	3,71	103	-
7	6:51	20:55	9	1:22	3	74	-
8	7:00	21:27	9	1:22	3,17	96	-
9	7:08	23:02	10	1:22	3,57	97	-
10	7:16	23:31	10	1:22	6	102	-
11	7:30	22:32	10	1:22	2,5	105	-

Рассчитаем вероятности того, что  $i$ -ый график маршрута №42 городского пассажирского транспорта общего пользования в любой момент его рабочего времени будет находиться на месте отстоя на исследуемом конечном остановочном пункте ( $p_i$ ). Расчет для каждого графика  $i=1...11$  будем производить по формуле (5), данные для расчета представлены в таблице 3.

$$p_1 = \frac{85 + 10 * 4,57}{950} = 0.138; \quad p_2 = \frac{127 + 11 * 2.63}{1061} = 0.15; \quad p_3 = \frac{84 + 8 * 2.3}{767} = 0.13;$$

$$p_4 = \frac{58 + 9 * 2.71}{827} = 0.1; \quad p_5 = \frac{69 + 10 * 4.25}{944} = 0.129; \quad p_6 = \frac{103 + 10 * 3.71}{965} = 0.15;$$

$$p_7 = \frac{74 + 9 * 3}{844} = 0.12; \quad p_8 = \frac{96 + 9 * 3.17}{867} = 0.14; \quad p_9 = \frac{97 + 10 * 3.57}{865} = 0.153;$$

$$p_{10} = \frac{102 + 10 * 6}{975} = 0.166; \quad p_{11} = \frac{105 + 10 * 2.5}{902} = 0.144.$$

Тогда сумма вероятностей, рассчитанная по формуле (6) будет составлять:

$$P = \sum_{i=1}^{11} p_i = 1.52 .$$

Полученное значение суммы вероятностей  $P$  превышает единицу, это означает, что для кратковременного отдыха или перерыва на обед на конечном остановочном пункте «Автовокзал» должно быть предусмотрено хотя бы одно парковочное место. В настоящее время мест для отстоя общественного

транспорта на конечном пункте «Автовокзал» не предусмотрено, поэтому водители автобусов производят остановку для перерыва на обед и кратковременных отдых на остановочных пунктах общественного транспорта, что, в свою очередь, создает помехи для осуществления посадки и высадки пассажиров другими маршрутами. В связи с изложенным, делаем вывод, что добавление графиков на маршруте №42 с конечным пунктом «Автовокзал» невозможно.

Для конечного остановочного пункта «Автовокзал» получили, что дополнение маршрутной сети экспериментальными маршрутами, для которых остановочный пункт «Автовокзал» будет конечным невозможно. Рассмотрим на примере конечного остановочного пункта «Микрорайон Заозерье», где дополнение действующей ЕМС новыми маршрутами с конечным остановочным пунктом «Микрорайон Заозерье» возможно с точки зрения ограничений на количество одновременно находящихся единиц подвижного состава маршрутных транспортных средств на площадках отстоя. Расчетным путем покажем, что площадка для отстоя ОТ на отдых на рассматриваемом конечном остановочном пункте позволяет открывать новые экспериментальные маршруты или дополнять новыми графиками действующие маршруты.

Количество парковочных мест для отстоя общественного транспорта для кратковременного отдыха и обеда на конечном остановочном пункте «Микрорайон Заозерье» составляет  $M = 3$ . На рассматриваемый конечный пункт прибывают автобусы маршрутов 24, 49, 73 (таблица 4).

Таблица 4 Конечный пункт «Микрорайон Заозерье», графики маршрутов, прибывающих на остановочный пункт

№ графика	Начало работы, $T_{0i}$	Окончание работы, $T_{K_i}$	Количество рейсов, к.	Оборачиваемость маршрута, $T_{обi}$	Среднее время на отдых, $\Delta t_i$	Время обеда на конечном остановочном пункте, $T_{обед\_ост i}$	Время пересменки, $T_{пер i}$
Номер маршрута (Автобус 24 Автопарк – Заозерье)							

№ графика	Начало работы, $TO_i$	Окончание работы, $TK_i$	Количество рейсов, к.	Оборачиваемость маршрута, $T_{обі}$	Среднее время на отдых, $\Delta_i$	Время обеда на конечном остановочном пункте, $T_{обед\_ост\ i}$	Время пересменки, $T_{пер\ i}$
1	6:40	20:26	7	1:46	3	60	15
2	7:31	21:20	7	1:46	4	57	14
Номер маршрута (Автобус 49 Ц.Рынок – Заозерье)							
1	6:02	23:38	7	2:14	4,25	95	-
2	6:28	22:00	5	2:14	5	36	208
3	6:56	22:31	6	2:14	11	88	15
4	7:10	23:04	6	2:14	3,2	79	-
5	7:52	20:36	5	2:14	5,3	73	-
Номер маршрута (Автобус 73 Январский – Заозерье)							
1	6:00	23:03	9	1:40	3,7	-	-
2	7:50	19:18	4	1:40	3,25	-	279
3	6:14	21:47	8	1:40	3,37	-	-
4	7:15	18:41	5	1:40	2	23	151
5	5:53	18:49	6	1:40	3,75	-	169
6	6:05	20:40	6	1:40	4	-	271
7	6:14	23:03	9	1:40	2,14	73	-
8	6:59	20:29	4	1:40	6	-	380
9	5:52	19:35	7	1:40	2,7	69	-
10	7:16	22:41	8	1:40	2,125	-	37
11	6:26	19:45	6	1:40	2	-	166
12	6:38	19:55	6	1:40	2	-	165

По формулам (15) и (16), описанной в пункте 2 настоящих методических рекомендаций, рассчитаем  $p_i$  - для всех графиков маршрутов, представленных в таблице 4.

Маршрут 24:

$$p_1 = \frac{60 + 7 \cdot 3 + 15}{826} = 0.116; \quad p_2 = \frac{57 + 7 \cdot 4 + 14}{829} = 0.119;$$

Маршрут 49:

$$p_1 = \frac{95 + 7 \cdot 4.25}{1056} = 0.12; \quad p_2 = \frac{36 + 5 \cdot 5}{932 - 208} = 0.084; \quad p_3 = \frac{88 + 6 \cdot 11 + 15}{935} = 0.18;$$

$$p_4 = \frac{79 + 6 \cdot 3.2}{954} = 0.1; \quad p_5 = \frac{73 + 5 \cdot 5.3}{764} = 0.13;$$

Маршрут 73:

$$p_1 = \frac{9 \cdot 3.7}{1023} = 0.03; \quad p_2 = \frac{4 \cdot 3.25}{688 - 279} = 0.03; \quad p_3 = \frac{8 \cdot 3.37}{933} = 0.028;$$

$$p_4 = \frac{23+5*2}{686-151} = 0.063; p_5 = \frac{6*3.75}{776-169} = 0.037; p_6 = \frac{6*4}{875-271} = 0.04;$$
$$p_7 = \frac{73+9*2.14}{1009} = 0.091; p_8 = \frac{4*6}{810-380} = 0.056; p_9 = \frac{69+7*2.7}{865} = 0.1;$$
$$p_{10} = \frac{8*2.125+37}{925} = 0.058; p_{11} = \frac{6*12}{799-166} = 0.019; p_{12} = \frac{6*2}{797-165} = 0.019.$$

Тогда сумма вероятностей по всем маршрутам, рассчитанная по формуле (17), будет составлять:

$$P = \sum_{i=1}^{19} p_i = 1.42 \leq M = 3.$$

Это означает, что на рассматриваемом конечном остановочном пункте всегда находится хотя бы один автобус. Условие (17) пункта 2 настоящих методических рекомендаций, при котором возможно открытие новых экспериментальных маршрутов или дополнительных графиков для действующих маршрутов городского пассажирского транспорта общего пользования, выполняется, так как сумма вероятностей не превышает количество парковочных мест. Таким образом, на конечном остановочном пункте «Микрорайон Заозерье» возможно открытие дополнительных графиков или экспериментальных маршрутов, с условием, что сумма вероятностей, рассчитанных по формулам (15), (16) и (17), для новых графиков не будет превышать значение  $M - P = 3 - 1.42 \approx 1.5$ .

### 3.3 Пример расчета ограничения по уровню дублирования маршрутов ГПТОП

Приведем характеристики существующей маршрутной сети г. Перми:

$d = 746$  м - среднее расстояние между остановочными пунктами;

$k = 19$  - среднее количество остановок на маршруте в одном направлении;

$dl = 15200$  м - средняя длина маршрута в одном направлении;

$lp = 6159$  м - средняя дальность поездки одного человека.

По приведенным усредненным данным получим соотношение для оценки того, насколько каждый пассажир использует один маршрут общественного транспорта, обозначим его  $pr$ , найдем из соотношения:

$$pr = \frac{lp}{dl} * 100\%,$$

где  $pr$  - процентное соотношение использования маршрута пассажиром;

$lp$ , м - средняя дальность поездки одного человека;

$dl$ , м - средняя длина маршрута в одном направлении.

Для города Перми расчетный параметр составляет:

$$pr = \frac{lp}{dl} = \frac{6159}{15200} \cdot 100\% = 40\%.$$

Полученное соотношение показывает, что в среднем по городу один пассажир перемещается на одном маршруте общественного транспорта на 40% от общей длины маршрута. В результате приведенных расчетов, дублирование старых маршрутов новыми маршрутами в г. Перми не должно составлять более 40% длины существующего маршрута.

Рассчитаем также максимально допустимое количество остановок, которое может дублироваться новым маршрутом в г. Перми. Для этого проведем расчет среднего количества остановок, которые проезжает пассажир при одной поездке на ГПТОП в г. Перми. Для города Перми среднее количество остановок составляет:

$$ost = \frac{lp}{d} = \frac{6159}{746} = 8,2.$$

Таким образом, в г. Перми при открытии новых маршрутов ГПТОП дублирование остановочных пунктов не должно превышать цепочку из 8 подряд остановок, совпадающих с уже существующими маршрутами сети.

## Литература

1. Трофименко Ю.В., Якимов М.Р. Транспортное планирование: формирование эффективных транспортных систем крупных городов: монография / – М.: Логос, 2013. – 464 с.
2. Якимов М.Р. Транспортное планирование: создание транспортных моделей городов: монография / М.Р. Якимов – М.: Логос, 2013. – 188 с.
3. Якимов М.Р., Попов Ю.А. Транспортное планирование: Практические рекомендации по созданию транспортных моделей городов в программном комплексе PTV Vision® VISUM: монография / М.Р. Якимов, А.Ю. Попов. – М.: Логос, 2014. – 200 с.