

УДК624.879

Зедгенизов А. В. Головных И. М.

Иркутский государственный технический университет, Иркутск, Россия

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ НОРМАТИВНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ
ОСТАНОВОЧНЫХ ПУНКТОВ ГОРОДСКОГО ПАССАЖИРСКОГО
ТРАНСПОРТА**

Zedgenizov A. V., Golovnich I. M., ISTU, Russia

Improvement of regulations of method of calculation of capacity of bus stops.

This article describes calibration of the HCM 2000 technique for bus stops capacity estimation using the statistical data obtained by field surveys in Russian condition.

Современные тенденции развития городов, их архитектурных и планировочных решений требуют современных методик расчета, обосновывающих расположение и геометрические параметры основных узлов и участков улично-дорожной сети (УДС) [8]. Особое внимание привлекают участки, ограничивающие пропускную способность транспортных и пешеходных потоков. Среди таких участков наиболее значимыми остаются различного рода пересечения и остановочные пункты городского пассажирского транспорта (ГПТ). Необходимо отметить, что в условиях плотных транспортных потоков, именно комплексные схемы организации движения (КСОД) и проектирования УДС дают максимальную эффективность. В рамках обозначенного направления проводились работы направленные на разработку методики расчета пропускной возможности и геометрических параметров остановочного пункта. Представленная ниже методика разработана с учетом максимального количества факторов, которые могут повлиять на формирование транспортного процесса в зоне остановочного пункта ГПТ.

Основой расчета пропускной способности остановочного пункта выбрана модель [12]:

$$B_S = N_{eb} \cdot B_{bb} = N_{eb} \cdot \frac{3600 \cdot \left(\frac{g}{C}\right)}{t_c + \left(\frac{g}{C}\right) \cdot t_d + z_a \cdot c_v \cdot t_d}, \quad (1)$$

где B_S – пропускная способность остановочного пункта, ед/ч; N_{eb} – эффективное число мест на остановочном пункте, B_{bb} – пропускная способность одного остановочного места, ед./ч; g – длительность горения зеленого сигнала для движения, с; C – длительность цикла регулирования, с; t_c – время освобождения (выезда из) остановочного пункта, с; t_d – время обслуживания пассажиров на остановочном пункте, с; z_a – коэффициент вероятности отказа в заявке на обслуживание; c_v – коэффициент вариации времени обслуживания пассажиров на остановочном пункте.

Рассмотрим поэтапно каждый элемент модели.

Оценка пропускной способности остановочных пунктов в зависимости от количества расположенных на нем мест N_{eb} . Предположим, что условия эксплуатации или объемы пассажиропотоков требуют высокой интенсивности ГПТ, это в свою очередь, для обеспечения пропуска всех транспортных средств через остановочный пункт требует использования нескольких мест расположенных в его зоне. При эксплуатации нескольких остановочных мест возникают взаимные помехи от маневров транспортных средств и, в целом, пропускная способность остановочного пункта не растет пропорционально увеличению числа мест на нем. В литературе [4] предлагается использовать снижение эффективности остановочного пункта из расчета, что одно место функционирует на 100%, два на 80% и три на 70%. Другой источник [12] предлагает более дифференцированный метод, представленный в (табл. 1). Так же в источниках [3;4;12] приведены рекомендации по максимальному количеству мест, в общем, при линейной схеме функционирования рекомендуют не более 4 мест. В противном случае рекомендуют использовать альтернативные схемы функционирования или разносить остановочные пункты по маршрутам, направлениям классам транспортных средств.

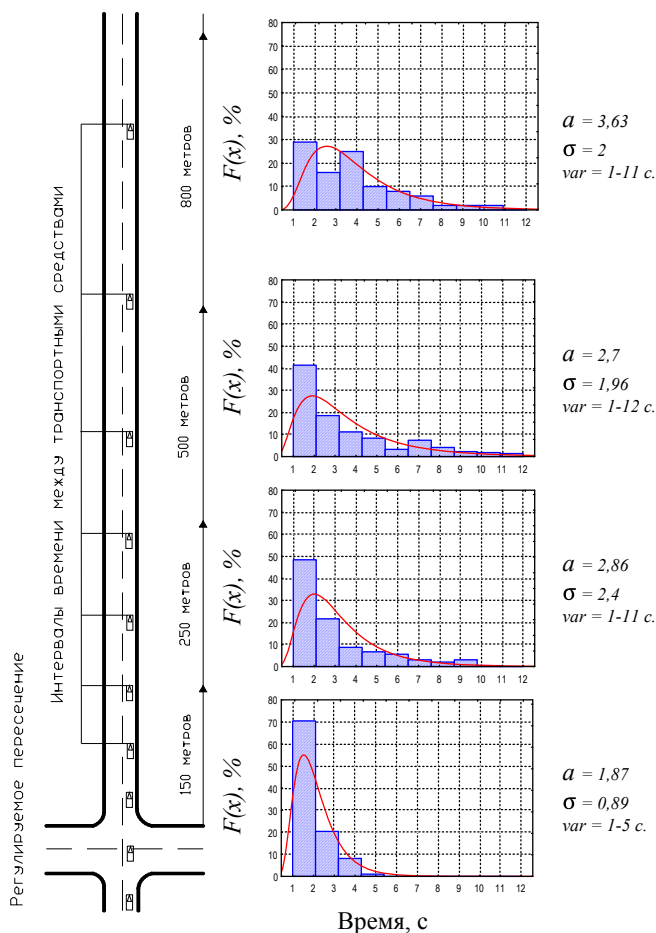
Таблица 1

Число мест на остановочном пункте	На крайней правой полосе		В специальном кармане		Среднее число мест
	Эффективность, %	Общее число мест	Эффективность, %	Общее число мест	
1	100	1.00	100	1.00	1.00
2	85	1.85	85	1.85	1,85
3	60	2.45	75	2.60	2,52
4	20	2.65	65	3.25	2,9
5	5	2.70	50	3.75	3,22

Влияние регулируемых пересечений на пропускную способность остановочного пункта g/c . Расположенные в непосредственной близости от остановочных пунктов, регулируемые пересечения в условиях плотных транспортных потоков оказывают влияние на пропускную способность остановочных пунктов вследствие накопления транспортных средств на перекрестке при запрещающем сигнале светофорного регулирования. Другими словами, транспортные средства, скопившееся на регулируемом пересечении выезжают с последнего «пачками».

Исходя из выше сказанного, можно заключить, что те остановочные пункты, которые находятся в непосредственной близости от регулируемых пересечений, нуждаются в корректировке, а именно в модели (1) заложен параметр отношения длительности действия разрешающего сигнала к общей длительности цикла регулирования g/c .

Изучая, интервалы распределения времени между транспортными средствами, выезжающими с регулируемого пересечения на разных расстояниях от перекрестка (см. рис. 1), было установлено, что, на расстоянии 800 метров и менее распределение интервалов времени подчинялось логарифмически-нормальному закону [1]. По мере удаления от регулируемого пересечения интервалы времени между транспортными средствами принимают больший вариационный размах и пачка начинает разваливаться. Последнее означает случайность прибытия подвижного состава к остановочному пункту, т. е. отсутствие влияния регулируемого пересечения на пропускную способность ОП.



$$f(x) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi} \cdot x} \cdot e^{-\frac{(\ln x - \ln a)^2}{2 \cdot \sigma^2}}$$

где $f(x)$ – плотность распределения интервалов времени, %
 σ – стандартное отклонение; a – медиана; x – случайное значение переменной

Рис. 1 Исследование интервалов времени между транспортными средствами

Время освобождения остановочного пункта. Под временем освобождения остановочного пункта понимается время с момента трогания транспортного средства в зоне остановочного пункта до момента его «вливания» в общий транспортный поток.

В методике [12] рассматривается только

один фактор, влияющий на время освобождения остановочного пункта – интенсивность общего потока на крайней правой полосе. Причиной этого явилось использование, однотипного или схожего по своим техническим характеристикам подвижного состава. Напротив, во многих городах России для городских перевозок с большим пассажирооборотом используется подвижной состав, различающийся по типу, классу, маркам и количеству дверей. В связи с таким разнообразием используемого подвижного состава встает вопрос о том, влияет ли данное разнообразие на пропускную способность остановочных пунктов. Проведенные натурные исследования показывают различия между полученными данными по классам транспортных средств. Таким образом, на время освобождения остановочного пункта влияет три фактора, а именно интенсивность общего потока движения на крайней правой полосе, класс транспортного средства и ситуация, при которой приходилось или не приходилось совершать маневр по

обгону впереди стоящего транспортного средства. Для установления значений рассматриваемого параметра был использован регрессионный анализ [1;2;5].

Время освобождения остановочного пункта наилучшим образом описывается следующим уравнением регрессии.

$$t_c = B_0 + B_1 \cdot X_1 + B_2 \cdot X_2 + B_3 \cdot X_3 = 0,003 \cdot N + 0,056 \cdot Q + 6,53 \cdot i, \quad (2)$$

где $B_{0,1,2,3}$ – коэффициенты регрессии; $X_{1,2,3}$ – факторы влияющие на функцию отклика; N – интенсивность общего потока на крайней правой полосе, ед/ч; Q – номинальная вместимость транспортного средства, пасс.; i – фактор, учитывающий факт совершения или не совершения маневра по обгону впереди стоящего транспортного средства.

Зависимость времени освобождения остановочного пункта от перечисленных выше факторов представлена в трехмерном пространстве на (рис. 2). Фактор, учитывающий факт совершения или не совершения маневра по обгону, будет учтен в (2), как среднее число между случившимися и не случившимися маневрами при статистически значимом числе наблюдений (0,452).

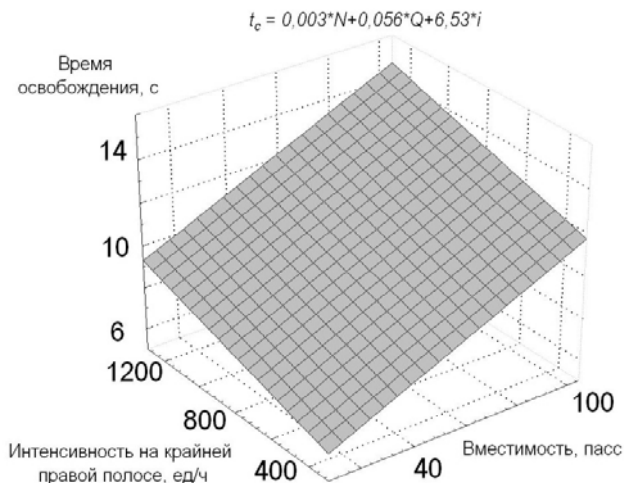


Рис. 2. Зависимость времени освобождения остановочного пункта от интенсивности на крайней правой полосе и вместимости транспортного средства.

Таким образом, определение времени освобождения остановочного пункта представляется двумя способами. Рассчитать по предложенному уравнению регрессии (2) или определить по графику (рис. 3).

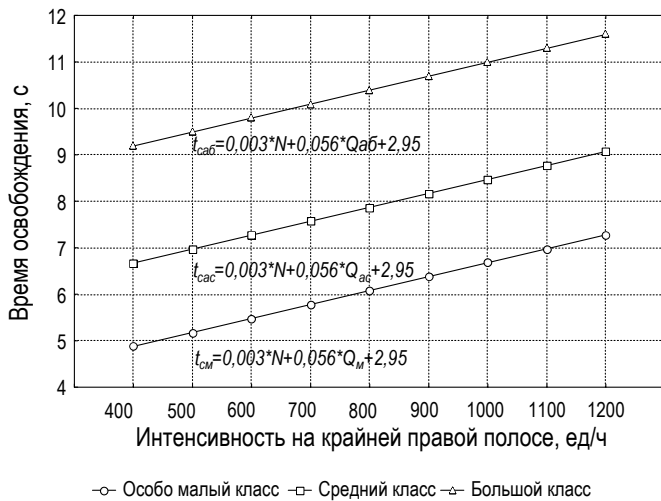


Рис. 3. Влияние интенсивности на крайней правой полосе на время освобождения остановочного пункта

Примечание: N – интенсивность на крайней правой полосе, ед/ч; $t_{c_{m,ac,ab}}$ – время освобождения остановочного пункта особо малым, средним и большим классом соответственно, с.

В случае смешанного потока ГПТ необходимо знать структуру потока. Далее суть сводиться к определению средневзвешенного времени освобождения остановочного пункта, всех классов транспортных средств.

$$t_c = t_{ci} \cdot k_i + t_{c_{ab}} \cdot k_{ab} + t_{c_{ac}} \cdot k_{ac} \quad (3)$$

где t_c – средневзвешенное время освобождения остановочного пункта; $k_{m,ac,ab}$ – доля (вес) класса транспортных средств в ГПТ.

Время обслуживания пассажиров на остановочном пункте. Под временем обслуживания пассажиров принято считать время с момента полной остановки транспортного средства на остановочном пункте до момента его трогания. Поскольку во многих городах России на городских маршрутах используется разнообразный подвижной состав, имеющий различные технические характеристики, а это в первую очередь его вместимость, то и время обслуживания пассажиров будет различным.

Время обслуживания пассажиров на остановочном пункте наилучшим образом описывается уравнениями регрессии представленными в (табл.3).

Таблица 3

Уравнение регрессии	Класс транспортного средства
$t_d = B_0 + B_1 \cdot X_1 = 11,44 + 3,22 \cdot p$	Особо малый
$t_d = B_0 + B_1 \cdot X_1 = 4,79 + 2,9 \cdot p$	Средний с одной дверью

$t_d = B_0 + B_1 \cdot X_1 = 8,84 + 2,2 \cdot p$	Средний с двумя дверьми
$t_d = B_0 + B_1 \cdot X_1 = 7,75 + 2,45 \cdot p$	Средний с одной и двумя дверьми совместно
$t_d = B_0 + B_1 \cdot X_1 = 4,12 + 2,18 \cdot p$	Большой

Примечание: $B_{0,1,2,3}$ – коэффициенты регрессии; $X_{1,2,3}$ – факторы влияющие на функцию отклика; p – пассажирооборот приходящийся на одно транспортное средство.

Статистический анализ показал, что значимо на время обслуживания пассажиров влияет только число входящих и выходящих пассажиров, поэтому для определения среднего времени обслуживания достаточно знать общую величину пассажирообмена на остановочном пункте и интенсивность ГПТ проходящего через него.

$$p = \frac{P}{N_{ГПТ}}, \quad (4)$$

где p – среднее число выходящих и входящих пассажиров на одно транспортное средство – удельный пассажирооборот, пасс/ед; $N_{ГПТ}$ – интенсивность городского пассажирского транспорта, ед/ч; P – общий пассажирооборот остановочного пункта, пасс/ч.

Таким образом, в случае смешанного потока ГПТ, также необходимо знать структуру потока. Далее суть сводиться к определению средневзвешенного времени обслуживания пассажиров всех классов транспортных средств:

$$t_d = t_{d1} \cdot k_1 + t_{d2} \cdot k_2 + t_{d3} \cdot k_3, \quad (5)$$

где $t_{d1, d2, d3}$ – среднее время обслуживания пассажиров, соответствующее особо малому, среднему с одной дверью, среднему с двумя дверьми, среднему с одной и двумя дверьми совместно и большому классу, с; k_1, k_2, k_3 – доли (вес) каждого из классов транспортных средств.

При отсутствии в потоке ГПТ, какого либо класса, соответствующее ему слагаемое в (8) исключается. Среднее время обслуживания пассажиров для каждого класса транспортного средства представлено на (рис. 4).

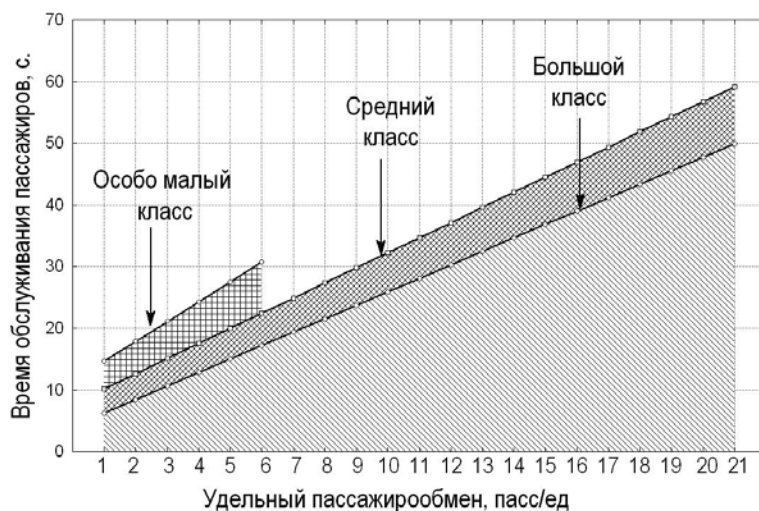


Рис. 4. Зависимость времени обслуживания пассажиров от удельного пассажирообмена и класса транспортного средства

Вероятность отказа в заявке на обслуживание. Поскольку, различные классы транспортных средств имеют различную величину времени обслуживания пассажиров, на остановочном пункте в зависимости от величины спроса между маршрутами, типом подвижного состава и прочими факторами, то влияние вариации, времени обслуживания пассажиров приобретает весьма значимый вес. Коэффициент вариации C_v рассматриваемого параметра может быть найден как отношение стандартного отклонения к среднему значению. В случае отсутствия натуральных обследований рекомендуется значение 0,54.

$$C_v = S / \bar{t}_d, \quad (6)$$

где S — стандартное отклонение времени обслуживания пассажиров;

\bar{t}_d — среднее время обслуживания пассажиров, с.

Коэффициент вероятности отказа в заявке на обслуживание z_a , направлен на обеспечение запаса надежности при расчете пропускной способности остановочного пункта. Заштрихованная область на (рис. 5) показывает возможность того, что в некоторых случаях время обслуживания пассажиров может превышать среднее значение \bar{t}_d .

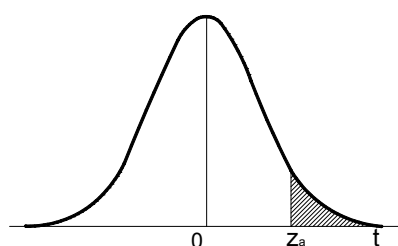


Рис. 5. Нормальное распределение

Коэффициент вероятности отказа можно определить по формуле:

$$Z_a = \frac{\Delta t_i}{S} = \frac{t_i - \bar{t}_d}{S}, \quad (7)$$

где t_i - случайная величина времени обслуживания, с; Δt_i - отклонение i -ого случая от среднего значения \bar{t}_d , с; S - стандартное отклонение.

Следовательно: $S = C_v \cdot \bar{t}_d$ (8)

а отклонение $\Delta t_i = t_i - \bar{t}_d$ $\Delta t_i = S \cdot Z_a = c_v \cdot \bar{t}_d \cdot Z_a$

В таблице 4 приведены значения коэффициента Z_a , в соответствии с вероятностью отказа за рассматриваемый период.

Таблица 4

Вероятность отказа, %	Коэффициент Z_a
1,0	2,330
2,5	1,960
5,0	1,645
7,5	1,440
10	1,280
15	1,040
20	0,840
25	0,675
30	0,525
50	0,000

По источнику [12] в центральных зонах городов (бизнес центры, центры массового тяготения) вероятность отказа рекомендована от 7,5 до 15%. Данная величина отражает компромисс между скоростями сообщения и достижением высоких пропускных способностей остановочных пунктов требуемых в центральных зонах городов. На периферии городов вероятность отказа рекомендована 2,5%.

В результате выполненных натурных обследований и установления значений расчетных параметров, модель (1) полностью адаптирована к российским условиям. Схема расчета адаптированной модели, приведена на (рис.6).

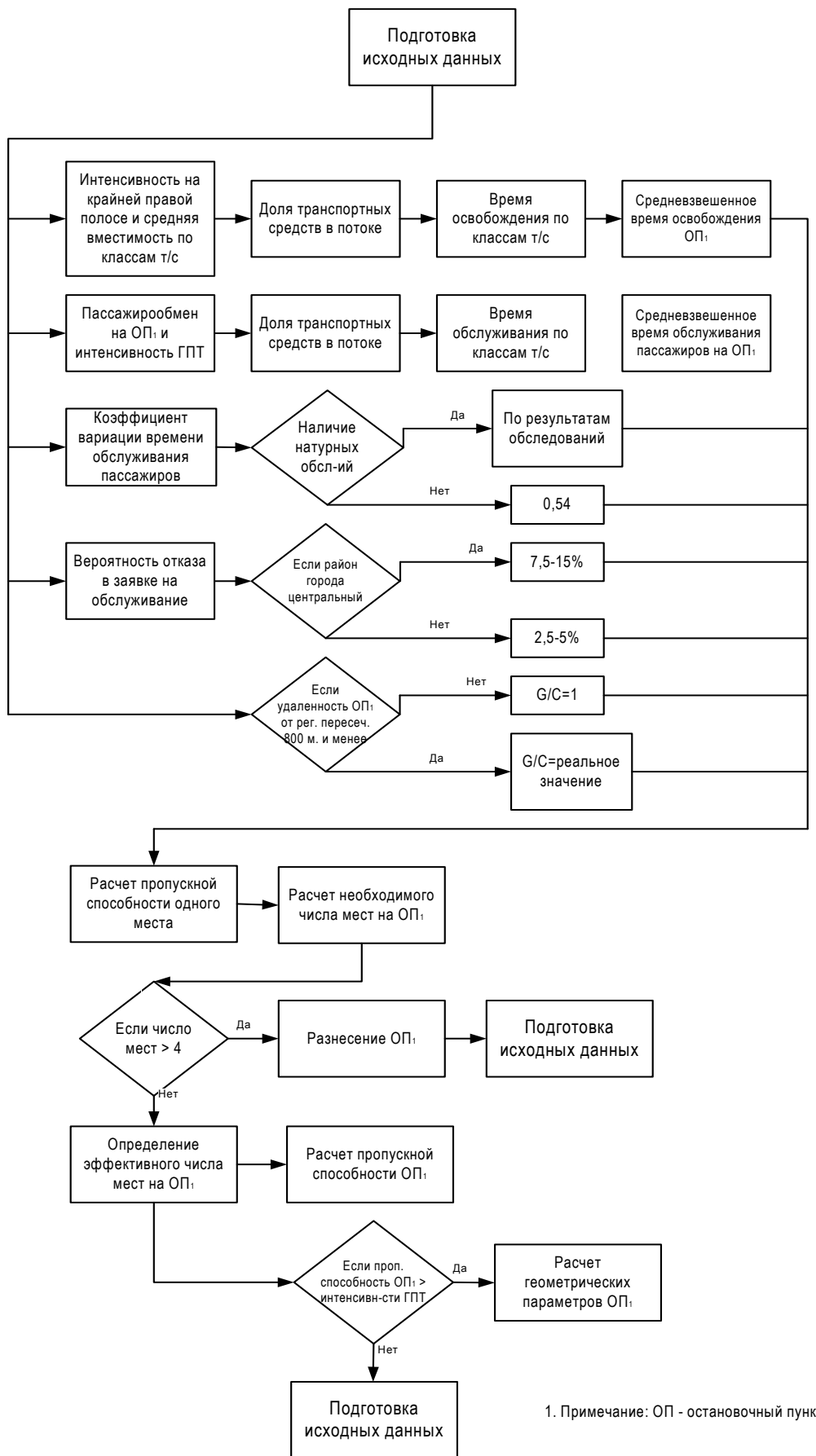


Рис. 6. Схема расчета пропускной способности и геометрических параметров остановочного пункта

Список используемой литературы:

1. Боровиков В. Statistica – Искусство анализа на компьютере – Для профессионалов. – Изд. дом «Питер», 2001.
2. Вознесенский В. А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях. – 2е-изд. Перераб. и доп. – М.: финансы и статистика, 1975. – 120 с.
3. Гудков В. А., Миротин Л. Б., Вельможин А. В., Ширяев А. С. Пассажирские автомобильные перевозки : учебник для вузов / Под ред. Гудкова В. А. – М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 448 с.: ил.
4. Ефремов И. С., Кобозев В.М., Юдин В.А. – Теория городских пассажирских перевозок: Учеб. пособие для вузов. – М.:Высш. Школа, 1980. – 535 с. ил.
5. Завадский Ю.В. Решение задач автомобильного транспорта и дорожно-строительных машин с помощью регрессионно-корреляционного анализа. Учеб. пособ. М. – 1981.
6. Клинковштейн Г. И., Коноплянко В. И. Организация дорожного движения / МАДИ. – М., 1977. – 59 с.
7. Краткий автомобильный справочник – М.: АО «ТРАНСКОЛСАНТИНГ», НИИАТ, 1994 – 779 с.
8. Лобанов Е.М. Транспортная планировка городов. – М.: Транспорт, 1990. – 240 с.
9. СНиП 2.07.01 – 89. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. / Госстрой СССР. – М.: ЦНТИ Госстроя СССР, 1989. – 56 с.
10. Bus stop design standard, December, 3, 2002. www.commuterpage.com/TDM/pdf/ArlingtonCoBusStopStsndarts.pdf
11. Grundlagen Der Strassenverkehrstechnik und der Verkehrsplanvng/ Schnabel/ Lose. Unter Mitarb. Von Lothar Laetzsch. – Berlin: Verl. Suer Bauwesen. – 1997.
12. Highway Capacity Manual 2000. – Transportation Research Board, National Research Council. – Washington, D.C., USA, 2000, – 1134 p.