

## APPLICATION OF THE "GROWTH FACTOR" MODEL FOR PROJECTING PASSENGERS IN A CITY ROUTE LINE<sup>1</sup>

**Assoc. Prof. Mirena Todorova, PhD**

Department of Technology, Organization and Management of Transport

„Todor Kableshkov” University of Transport, Sofia

Tel.: +359 02 9709 411

E-mail: mirena\_todorova@abv.bg

**PhD. St. Silvia Assenova**

Department of Technology, Organization and Management of Transport

„Todor Kableshkov” University of Transport, Sofia

Phone: +359 886 571785

E-mail: silviaboianova@yahoo.com

**Abstract:** *The reducing of traffic in cities and the attracting of passengers to urban transport require the travel time to be reduced. It is used developed methodology for optimizing the timing of vehicles on partially overlapping routes with an aim to reduce waiting times at the stops of the DPS. It is based on the demand for such timetables on the public transport lines for a given a section with the same routes, which minimizes the amount of passenger time spent waiting for a vehicle.*

*There are three steps in the implementation of the methodology: determination of the passenger flow traveling on the lines inside the section; determining the average waiting time by a given schedule option and determining the option with at least hourly waiting times for a vehicle. The research looks for decision with forecasting of the size of the passenger flow from a stop to a stop, ie obtaining the O-D matrices along a bus route using the "Average Growth Factor Model."*

**Keywords:** *urban transport, O-D matrix forecast, average waiting time, vehicle timetable*

### ВЪВЕДЕНИЕ

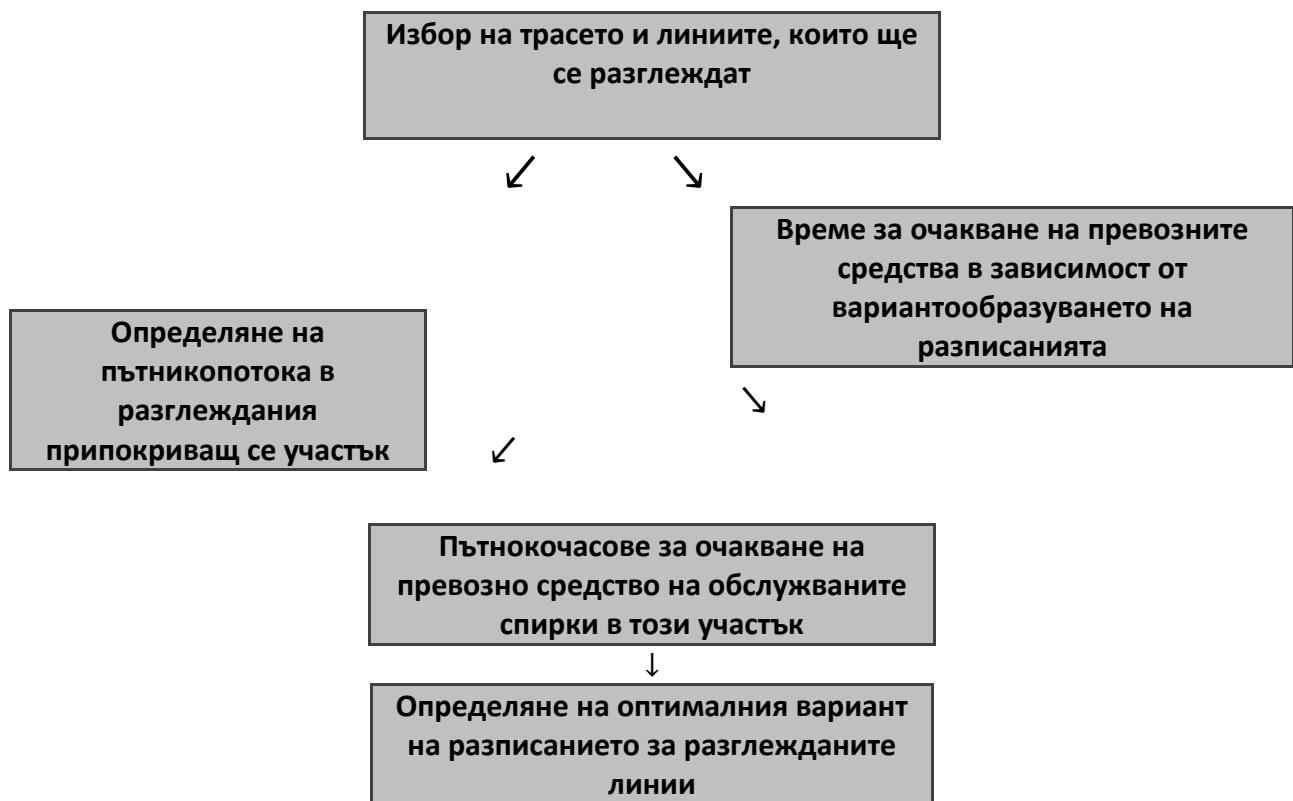
С течение на времето се установява намалено използване на услугите, които предлага градския транспорт. След направени проучвания се забелязва, че населението в градовете се пренасочва към алтернативни пътувания, които осигуряват по-бързо, по-комфортно и екологичночисто придвижване от една точка до друга. През последните години се предприемат различни стъпки за подобряване на услугите, предлагани от градския транспорт. Такива са закупуването на нови автобуси, въвеждане на иновативни системи за таксуване - ползване на различни абонаментни карти (за по-дълги периоди), билети за определен брой пътувания, за определено време, с което се увеличава комфорта на пътуване и се намаляват разходите при използване на градския транспорт.

Всяко пътуване може да се осъществи с едно или няколко превозни средства (ПС), както с един или повече видове транспорт. В този контекст ходенето пеша се приема също като начин на транспорт. Същото има начална (изходна) точка О и крайна (местоназначение) точка D. Ако се разгледа времето за пътуване с градския транспорт от О-D, то се състои от три елемента – ходене пеша до спирките и обратно, чакането по спирките и времепътуването с превозните средства. За да се намали времето за чакане по спирките може да се използва разработената „Методика за оптимизиране на разписанието на превозните средства по частично припокриващи се трасета“.

Тя се базира на търсенето на такъв вариант на разполагане във времето на разписанията, при които се минимизира големината на пътничкочасовете за очакване на ПС. Реализира се в

<sup>1</sup>Докладът е представен на пленарната сесия на 26 октомври 2018 с оригинално заглавие на български език: ПРИЛАГАНЕ НА МОДЕЛА «СРЕДЕН ФАКТОР НА РАСТЕЖА» ЗА ПРОГНОЗИРАНЕ НА ПЪТНИКОПОТОКА ПО ГРАДСКА ЛИНИЯ

избор на базова линия с най-голям обслужван пътничопоток и се приема нейния график за постоянен. На другата линия с припокриващ се маршрут се разработват варианти с промяна на часа на тръгване на ПС от началната спирка, като се използва дадения график от Центъра за градска мобилност (ЦГМ). За различните варианти се определят среден интервал между превозните средства, постъпващи на спирката, средноквадратичното им отклонение, коефициента на вариации на интервала на пристигане и оттам големината на времето за очакване на превозното средство. Използвайки определения пътничопоток за дадения часови диапазон се изчисляват и пътничочасовете за очакване на ПС. Вариантът с минимална стойност на този параметър ни дава оптималното разписание за дадените линии. Ако имаме и друга линия с по-малък пътничопоток, то и тя се включва във вариантообразуването. Етапите на методиката са дадени на фиг.1.



Фиг. 1 Етапи на „Методика за оптимизиране на разписанието на превозните средства по частично припокриващи се трасета“

Основният проблем е установяване на пътничопотоците и определянето O-D таблица за изследваните градски линии за дадена прогнозна година. Именно това е и целта на даденото изследване.

## ТЕОРЕТИЧНА ПОСТАНОВКА

Пътничопотоците зависят от различни фактори и са променливи във времето. За установяване на настъпващите изменения в направленията е необходимо периодично те да се подлагат на проучване, като получаваните данни да осигуряват възможност за регулярни корекции на превозните възможности на градския обществен транспорт, така че той да отговоря на постоянно променящите се транспортни потребности на населението. Най-широко използваните методи и модели за определяне на очакваните или реализирани пътничопотоци в масовия градски транспорт са различните видове анкети сред населението и натурни преброявания (таблични, талонни, окомерни и др.) по маршрути или спирки. Докато преброяванията по спирките на качили - слезли пътници се извършват след промяна на пътната инфраструктура и промяна на транспортната схема, то провеждането на анкети за определяне на пътничопотоците в нашата страна през последните години не са известни.

След като е извършено преброяване на пътниците по спирките по дадена линия на градски транспорт и са определени броя на заминаващите и пристигналите пътуванията, се преминава към следващата стъпка – определянето на разпределение на бъдещето пътуване между зоните на произход и местоназначение. Използват се методите за разпределение на пътуванията /дистрибуция/. Генерираният пътничкопоток от всяка зона трябва да бъде разпределен между всички останали зони на основата на личния избор на пътуващия. За тази цел се изследват т.нар. *матрици на пътуванията (O-D матрици)*. Най-често използвани са два типа модели – факторни и гравитационни, като последните се използват за задачи, в които потребителското търсене има ярко изразена дискретна структура. За нашето изследване ще използваме факторен модел.

Моделът на обобщен фактор на растежа не отчита динамиката на развитие между отделните параметри на града и има ниска степен на достоверност. На практика този модел се използва за приблизителна оценка на транспортните потоци при проектирането на конкретни райони на града в близко бъдеще. Моделът на „Средния фактор на растежа“ отчита различни темпове на развитие на отделните райони и има по разпространено приложение, затова ще се използва при прогнозиране на пътничкопотоките по градската линия.

Моделът на „Средния фактор на растежа“ взема в предвид различните темпове на растеж на пътуването, което може да се очаква в различните спирки на изследваното трасе. Средният фактор на растежа, който ще използваме се отнася до всяка спирка. Всичко това може да бъде изразено математически по следния начин:

$$T_{ij}^k = T_{ij}^{(k-1)} * (F_i^{(k-1)} + F_j^{(k-1)}) / 2 \quad (1)$$

$$F_i^{(k-1)} = O_i / \sum_i T_{ij}^{(k-1)} \quad (2)$$

$$F_j^{(k-1)} = D_j / \sum_i T_{ij}^{(k-1)} \quad (3)$$

където:

$T_{ij}^k$  - бъдещ поток ij

$T_{ij}^{(k-1)}$  – настоящ поток ij

$O_i$  – бъдещ генериран поток на спирка i

$\sum_i T_{ij}^{(k-1)}$  - настоящ генериран поток на спирка i

$D_j$  – бъдещо привличане на спирка j

$\sum_i T_{ij}^{(k-1)}$  - настоящо привличане на спирка j

k- номерът на итерацията.

Този модел използва итерационен процес за приближаване към окончателното решение. Резултатите от изчисленията на всяка итерация представлява изходни данни за следващата. Този процес се извършва, докато не се получи приближение между предварително зададените величини качили се – слезли пътници и размера на кореспон-

	A	B	C	D	Σ	F <sub>i</sub> (O <sub>i</sub> )	F <sub>i</sub>		A	B	C	D	Σ	F <sub>i</sub> (O <sub>i</sub> )	F <sub>i</sub>	MNK	
A	-	20	24	36	80	160	2		A	-	30	60	63	153	160	1,05	49
B	20	-	28	28	76	76	1		B	30	-	56	35	121	76	0,63	2025
C	24	28	-	12	64	192	3		C	60	56	-	27	143	192	1,34	2401
D	36	28	12	-	76	114	1,5		D	63	35	27	-	125	114	0,91	121
Σ	80	76	64	76	296				Σ	153	121	143	125	542			ΣMNK
F <sub>j</sub> (D <sub>j</sub> )	160	76	192	114		542			F <sub>j</sub> (D <sub>j</sub> )	160	76	192	114		542	1	4596
F <sub>j</sub>	2	1	3	1,5					K <sub>j</sub>	1,05	0,63	1,34	0,91				

$$T_{ij}^1 = 20 \frac{(1+2)}{2} = 30$$

$$MNK = (P_i - \Sigma)^2 = (160 - 153)^2 = 7^2 = 49$$

Фиг. 2 Среден фактор на растеж

денциите, получени в резултат от изчисленията за дадена спирка, т.е. коефициентите  $F_i^k, F_j^k$  клонят към 1 или когато сумата на квадратите на отклоненията не стане минимална (Фиг. 2).

$$F_i^k \rightarrow 1; F_j^k \rightarrow 1 \tag{4}$$

$$\Sigma MNK_k \rightarrow 0 \tag{5}$$

### ПРОГНОЗИРАНЕ НА ПЪТНИКОПОТОЦИТЕ ПО РЕАЛНА АВТОБУСНА ЛИНИЯ

Моделът „Среден фактор на растежа” е приложен за линиите № 11 и № 102 в участъка от трасето на движение, където двете линии се припокриват от началната им спирка в квартал Овча купел и имат 11 последователни общи спирки, а именно от Овча купел-2 до Балканкар в град София. Маршрутите и на двете линии са от тип двойно радиален и са със значително натоварване.



Фиг.3 Схема на маршрутите на автобусни линии 11 и 102

Една от слабостите на факторните модели, че ако в началната таблица има стойност нула, то и при разпределението на пътниците ще си остане нула. На база на извършеното преброяване се подготвя матрицата на кореспонденциите, като поради липса на предварителна информация за съществуващите кореспонденции се полага броя на пътниците да е единица /данните от преброяването са предоставени от Центъра за градска мобилност/. Полагат се и коефициентите  $F_i^0$  за последната спирка и  $F_i^0$  за първата спирка

Табл. 1 Начална O-D таблица на пътуващите по автобусна линия 11



- Определяне на факторите на растежа по редове и стълбове за началната матрица  $F_i^0, F_j^0$ .
- Създаване на нова матрица с елементи получени на базата на първоначалната матрица и определените фактори за нея. Изчисляване на сумата на квадратите на остатъците и в зависимост от големината ѝ се решава дали ще се продължи. Друг критерий е коефициентите  $F_i^n, F_j^n$  да са приблизително равни на едно.
- Ако се продължава се създава следваща матрица с елементи получени на базата на предишната матрица и определените фактори за нея. Изчисляване на сумата на квадратите на остатъците. Този процес се продължава до минимизиране на сумата на квадратите на остатъците.

За оптимизация на маршрутите се използват дадените разписания на страницата на Центъра за градска мобилност - София. Търси се такъв вариант на разположение на разписанията, при който ще има минимум пътничкочасове престой. За различните варианти са определени: среден интервал между превозните средства, постъпващи на спирката, коефициента на вариации на интервала на пристигане и оттам и големината на времето за очакване на превозното средство.

От получения резултат може да се направи извод, че използваната методика и модела за прогнозиране на пътничкопотоците по O-D матриците на избраните градски линии води до конкретни резултати и използването им ще намали общото време пътуване и ще подобри обслужването на пътниците, използващи градски транспорт за придвижване в столицата.

## REFERENCES

Danni ot prebroyaneto na patnitsite po avtobusi, polucheni ot "Tsentr za gradska mobilnost" EAD, (2017). (**Оригинално заглавие:** Данни от преброяването на пътниците по автобуси, получени от "Център за градска мобилност" ЕАД, (2017).

Internet stranitsa na "Tsentr za gradska mobilnost" EAD. (**Оригинално заглавие:** Интернет страница на "Център за градска мобилност" ЕАД -[www.sofiatraffic.bg](http://www.sofiatraffic.bg)).

Kachaunov T.T, Stamenov V.N., (1994) "Gradski patnicheski transport" – VTU "Т. Kableshkov", Sofia. (**Оригинално заглавие:** Качаунов Т.Т, Стаменов В.Н., (1994) "Градски пътнически транспорт" – ВТУ "Т. Каблешков", София).

Karagyozov K., Todorova M., (2016). Leksii po distsiplinata "Prognoziranje na trafika", VTU "Т. Kableshkov" (**Оригинално заглавие:** Карагъзов К., Тодорова М., (2016) Лекции по дисциплината "Прогнозиране на трафика", ВТУ "Т. Каблешков").

Kevin B. Modi, L. B. Zala, F. S. Umrigar, T. A. Desai, (2011), "Transportation Planning Models: A Review", National Conference on Recent Trends in Engineering & Technology, B.V.M. Engineering College, V.V.Nagar, Gujarat, India, 13-14 May 2011.

L.H. Immers, J.E. StadaHeverlee, (1998), "Traffic Demand Modelling", Faculty of engineering department of civil engineering traffic engineering and infrastructure planning section, KasteelparkArenberg 40, B-3001 Heverlee, Belgium, May 1998.

P.K. Sarkar, Vinay Maitri, G.J. Joshi, (2017), "Transportation Planning : Principles, Practices And Policies", PHI Learning Pvt. Ltd., [www.Amazon.com](http://www.Amazon.com)

Todorova M., Dinchev D., Trendafilov Zl., (2017) „Vazmozhnosti za namalyavane na vremeto za pridvizhvanе na patnitsite, izpolzvashti gradski transport“, „Intermodalen i zhelezopaten transport“, br.12/2017 g. (**Оригинално заглавие:** Тодорова М., Динчев Д., Трендафилов Зл., (2017) „Възможности за намаляване на времето за придвижване на пътниците, използващи градски транспорт“, „Интермодален и железопътен транспорт“, бр.12/2017 г.) URL: <http://www.ritrans.eu/index.xsp?issue=2017-12&article=DA5B4C4AB71AE315C22582A80061ED1E>