

## ИЗСЛЕДВАНЕ НА ФУНКЦИЯТА НА СЪПРОТИВЛЕНИЕ НА ПЪТНИКОПОТОЦИТЕ ПРИ ГРАДСКИ ТРАНСПОРТ

Мирена Тодорова  
[mirena\\_todorova@abv.bg](mailto:mirena_todorova@abv.bg)

*Висше транспортно училище „Тодор Каблешков”, катедра „ТОУТ“  
София 1574, ул. „Гео Милев” 158  
БЪЛГАРИЯ*

**Ключови думи:** градски транспорт, разпределение на пътуванията (дистрибуция), гравитационен модел, функция на съпротивлението

**Резюме:** През последните години се наблюдава отрицателна тенденция при използването на градския транспорт в София въпреки разширяването на метрото, което осигурява бързо придвижване и привлича много пътници. В световен мащаб градските власти се стремят към развитието на „интермодални транспортни системи“ чрез координирано използване на всички видове градски транспорт и за превръщането им в привлекателни и ефективни за жителите, за да се постигне повишаване на използването им. За да се подобри услугата, предоставяна от автобусните превози в столицата, е извършено проучване за дължината на кореспонденцията на пътуващите, използващи автобуси в София. Определен е видът и коефициентите на „Функцията на съпротивление”, представена като функция на разпределение на пътниците в зависимост от пропътуваното разстояние. Тази функция се използва при модели за немодално разпределение, при моделите за разпределение на пътуванията (дистрибуция) и по точно в „гравитационния модел” и ще спомогне за оптимизиране и планиране на автобусната услуга в няколко области. От една страна така може да се постигне оптимално разпределение на подвижния състав по участъци, припокриващи се от различни маршрути, и подобряване на разписанията на превозните средства, а от друга страна ще допринесе за усъвършенстване на планиране на нови маршрути и определяне местоположението на спирките.

### ВЪВЕДЕНИЕ

В световен мащаб се върви към нов стадий на „интермодални транспортни системи“ за балансирано и координирано използване на всички видове транспорт и за превръщане на системите на градския публичен транспорт в привлекателни и ефективни за жителите, които се поощряват да ги използват. Това се постига и като се използват ограничения с меки и твърди мерки в използването на автомобили с цел намаляване на хроничното претоварване и минимизиране на щетите в градската среда.

Ежедневно с масов градски транспорт в столицата се осъществяват над 1,2 млн. пътувания с над 800 превозни средства по данни на Националния статистически институт за 2018 г. През 2011 г. дневно са превозвани 1,56 млн. пътници, а през 2014 г.

общия дневен брой пътници възлиза на 1,44 млн. човека. Тази отрицателна тенденция е факт въпреки навлизане на метрото, което е много атрактивно и само по себе си привлича много пътници. Въпреки опитите на държавата и местните власти да подобрят състоянието на градския транспорт и да стимулират хората да слязат от личните си автомобили, отивайки на работа например, данните на Националния статистически институт показват, че няма напредък в тази област.

Подобряването на качеството на управлението на обществения градски транспорт се определя от необходимостта да се осигурят конкурентни предимства пред бързото нарастване на автомобилния парк, чрез повишаване на ефективността на оперативното управление и качеството на планиране, прогнозиране и моделиране в системата на градския обществен транспорт.

## **ТЕОРЕТИЧНА ПОСТАНОВКА**

В труд [1] системата на градския транспорт се определя като „сложна система, която се характеризира със стохастичност – поради случайната стойност на търсенето на транспортни услуги, времеви и климатични фактори, промени в характеристиките на пътната мрежа, аварийни ситуации и влошаване на пътната настилка“. Очевидно тази толкова сложна система на градския транспорт трябва да се разглежда и от гледна точка на: качеството на обслужване на пътниците, ефективното планиране на маршрутите, оптималното разпределение на подвижния състав по съответните маршрути, ефикасния режим на движение (разписанията) и много други. За целта е необходимо да се провеждат систематични наблюдения, осигуряващи коректни данни за закономерностите и особеностите на пътничкопотоците, както и данни за появата на транспортно търсене от страна на населението [2, 6, 9,10].

Класическият четиристъпков транспортен модел е световно признат подход за моделиране на транспортното търсене. При него последователно се изследват и моделират отделни етапи от вземането на решение за самото пътуване до избора на конкретен маршрут за реализирането му [3,7]. Четирите стъпки са: модели за генериране и привличане за различните зони, разпределение на пътуванията (дистрибуция), избор на вид транспорт (модален сплит) и прикрепване на трафика[3,7, 8, 10].

Разпределението на пътувания е насочено към определянето на OD-матрицата (origin-destination matrix) за дадена прогнозна година. Има два подхода, които се използват за определяне на разпределението:

◆ В първият подход се използват данните за пътуванията от съществуваща OD-таблица за базова година като насока, за да се разпределят бъдещите предизвикани и привлечени пътувания (определени в модела за генериране и привличане) върху новата OD-матрица за прогнозната година. Тъй като старите данни за пътуването всъщност ще бъдат повдигнати с фактор на растежа, този модел се нарича „модел на фактора на растеж“ - могат да се използват няколко различни „модела на фактора на растеж“[6, 7,8].

◆ Вторият подход използва нивото на устойчивост на пътуванията или съпротивлението между зоните като мярка, чрез която да се разпределят пътуванията над клетките на OD-таблицата. Тъй като получените формули до известна степен приличат на закона за гравитацията на Нютон, често се нарича „модел на гравитацията“ или „модел на ентропията“[3,5,8, 9, 11].

При гравитационния модел се използва влиянието на съпротивлението срещу пътуване – пътно съпротивление. Свързаната с него концепция за функция на съпротивлението стои в основата на самия модел. Целта е да се определи формата на т.

нар. Функция на съпротивлението за базовата година и да се използва за прогнозната година.

Функцията на съпротивлението може да се изрази, чрез обобщената стойност на транспорта  $c_{ij}$  или само чрез времето за пътуване  $T_{ij}$  или разстоянието  $L_{ij}$ . Интуитивно е ясно (и от емпиричните изследвания се вижда), че броят на пътуванията до крайната точка намалява, когато разстоянието до тази дестинация се увеличава. В зависимост от целта на пътуването се прилагат различни функции на съпротивление, които зависят от личните характеристики на пътуващите и от вида на използвания транспорт.

Исторически погледнато, през годините са предлагани множество математически формули за функцията на съпротивление [8]. Първоначално специалистите предполагат, че броят на пътуванията ще намалява пропорционално на квадрата на разстоянието, предопределено от закона за гравитацията на Нютон. Провежданите наблюдения, обаче не потвърждават тази хипотеза. Формата на функцията на съпротивление може да бъде приблизително описана от отрицателна експоненциална функция или смесени функции. В градския транспорт вместо функция на съпротивление се използва функция на разпределение на пътниците в зависимост от пропътуваното разстояние  $P(L_{ij})$ . В този случай някои от използваните функции са показателна, експоненциална и смесена.

Въпреки, че често се използва, отрицателната експоненциална функция има недостатък [8]. Същото абсолютно увеличение на пътното съпротивление при негови ниски стойности има същия относителен ефект върху пътуванията, както при високо пътнo съпротивление. Това не се потвърждава от нашата интуиция. Може да се очаква например, че увеличението на пътното съпротивление от 5 до 10 минути ще има относително по-голям ефект, отколкото увеличението от 120 до 125 минути. Следователно обикновено е възможно да се използва отрицателна експоненциална функция само за емпирични данни в ограничен диапазон на пътното съпротивление.

Понякога функцията на съпротивление не намалява монотонно през целия обхват на пътното съпротивление. Например използването на градски транспорт за много кратки разстояния обикновено е рядко, а предпочитан избор е ходенето пеша или колоезденето. В такива случаи понякога е възможно да се използва комбинация от степенна и експоненциална функция за описание на данните.

## **ПРОУЧВАНЕ НА РАЗПРЕДЕЛЕНИЕТО НА ПЪТНИЦИТЕ ПО АВТОБУСНИЯ ТРАНСПОРТ В СОФИЯ В ЗАВИСИМОСТ ОТ ПРОПЪТУВАНОТО РАЗСТОЯНИЕ**

„Центърът за градска мобилност” в София регулярно провежда преброяване на пътниците по спирките. В резултат се получават данни за броя на качилите се и слезли пътници и от там натоварването между спирките по маршрута на дадена линия на обществения транспорт. Проучване за създаването на OD-матрици не е правено и затова и използването на „модели на разпределение на пътуванията” не се използват при планиране на градския транспорт.

Ще разгледаме т. нар. модели за немодално разпространение (придвижване с един вид транспортно средство), при които обобщената стойност на транспорта е еднаква. През 2019 направихме проучване на дължините на пътуванията на пътниците в София използващи автобусен транспорт. Резултатите от направеното изследване по автобусните линии са дадени в таблица 1. В него са направени наблюдения на големините на разстоянията, пропътувани от пътниците използващи автобусните линии: № 11, № 72, № 77, № 111 и № 404. Автобусни линии № 11 и № 72 са двойно радиални, преминаващи през центъра на София. Автобусни линии № 77 и № 404 са радиални от Централна гара до крайни квартали, а автобусна линия № 111 е обходна по

околоръстния път на София. Затова считаме, че с избора на тези линии на автобусния градски транспорт на София на практика обхващаме основни варианти на трасета.

Таблица 1

L <sub>ij</sub> [km]	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4	2,7	3	3,3	3,6	3,9	4,2	4,5	4,8	5,1
Пътници [бр]	7	20	27	17	36	31	22	39	15	22	19	11	7	18	5	6	9
L <sub>ij</sub> [km]	5,4	5,7	6	6,3	6,6	6,9	7,2	7,5	7,8	8,1	8,4	8,7	9,8	10,9	12	13,5	15
Пътници [бр]	7	14	13	2	11	8	5	5	1	15	2	6	2	4	2	2	1

В случаят ще изследваме зависимостта на разпределението на пътниците от разстоянието, до което се пътува, тоест ще изследваме *функция на разпределение на пътниците в зависимост от пропътуваното разстояние P(L<sub>ij</sub>)*.

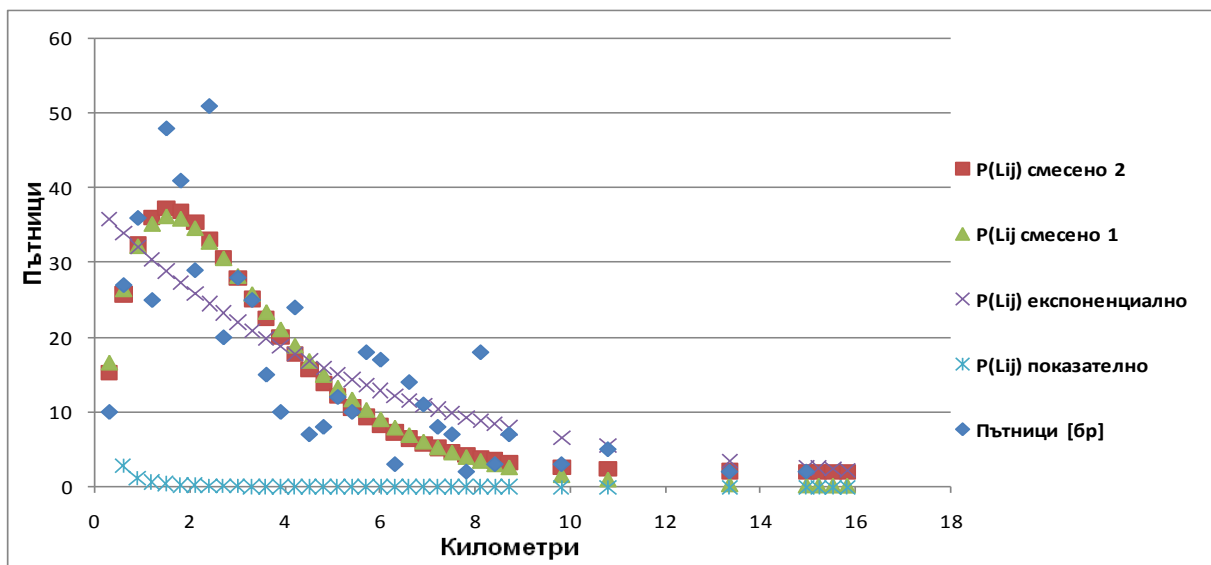
Използваме следните функции:

- (1)  $P(L_{ij}) = \frac{1}{L_{ij}^2}$  - показателна функция;
- (2)  $P(L_{ij}) = a.e^{b.L_{ij}}$  - експоненциална функция;
- (3)  $P(L_{ij}) = a.e^{b.L_{ij}} .L_{ij}^c$  - смесена функция 1;
- (4)  $P(L_{ij}) = d + a.e^{b.L_{ij}} .L_{ij}^c$  - смесена функция 2.

където:

L<sub>ij</sub> – е разстоянието, което пътника пропътува от спирка i, на която се качва до спирката j, на която слиза;

a, b, c, d – са коефициенти на функцията.



Фигура 2. Графика на данните и изследваните функции

На фигура 2 са дадени графиките на събраната база от данни и четирите изследвани функции. Параметрите a, b, c и d в изследваните функции се определят, чрез използване на метода на най-малките квадрати. Реализацията му се извършва с помощта на функцията MS Solver в Excel от пакета MS Office и резултатите са дадени в Табл.2.

Таблица 2. Коэффициенти на разглежданите функции

	a	b	c	d	Сума на квадратите на остатъците
Показателна функция (1)	-	-	-	-	8060,93
Експоненциална функция (2)	27,90	-0,18	-	-	1687,28
Смесена функция 1 (3)	45,50	-0,61	0,97	-	1069,99
Смесена функция 2 (4)	52,77	-0,82	1,31	2,00	982,89

Както се вижда в таблица 2 смесените функции са с най-малка сума на квадратите на остатъците (*MNK*) и ще направим оценка на адекватността на регресионните уравнения по критерия на Фишер [4].

Смесена функция 1  $F_{em} = 375,93 > F_{tabl}(0,95\%) = 2,60$

Смесена функция 2  $F_{em} = 350,69 > F_{tabl}(0,95\%) = 2,60$

И двете уравнения са адекватни и затова избираме уравнението - смесена функция 2, която е с по голямо  $F_{em}$  и по малка сума на квадратите на остатъците.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

За пръв път е направено проучване на дължината на кореспонденцията на пътуващите използващи автобусния транспорт в София. Това даде възможност за определяне на „Функцията на съпротивление” представена като функция на разпределение на пътниците в зависимост от пропътуваното разстояние, използвана при модели за немодално разпространение.

Получаването на вида и коефициентите на функцията дават възможност за оптимизиране и планиране на автобусната услуга в няколко области. Използвайки попълнените първоначални О-Д матриците чрез изведената функция и данните от „Центърът за градска мобилност” за броя на качилите се и слезли пътници ще се получат базови О-Д матриците по различните маршрути използвайки „модели на фактора на растеж” или „модел на гравитацията”. Това ще помогне да се постигне оптималното разпределение на подвижния състав по участъци припокриващи се от различни маршрути; разписанията на превозните средства и много други. Най-значимо приложение на изведената функция ще има при планиране на нови маршрути и разположението на спирките, отчитайки центровете за привличане и пораждаване на големи пътникопотоци.

## ЛИТЕРАТУРА:

[1] Антоф Ас., Въведение в транспортното моделиране. Презентация на лекция. София : УНСС, 24.01.2015. URL:

<[http://www.ncsip.bg/files/Presentations/AA%20Transport%20Modelling% 20150104.pdf](http://www.ncsip.bg/files/Presentations/AA%20Transport%20Modelling%20150104.pdf)>

[2] Димитров Д., Хаджиев Е., Усъвършенствуване на методите за прогнозиране и анализ на градските пътнически превози при отчитане дейността на железопътния транспорт, , Сборник доклади на десета научна конференция с международно участие ТЕМРТ 97, Част I, с. 67-74, 1997г.

[3] Карагъзов К. Мултимодални модели за прогнозиране на транспортния трафик , Международна конференция "Балканите транспортен кръстопът м/у Европа, Азия и Африка", София, 1998г.

[4] Качаунов, Т., Трендафилов, З. Апроксимация на вероятността от неудовлетворяване заявките на клиенти с товарни вагони. //XIV Международна научна конференция, Транспорт 2004, ВТУ Т.Каблешков, София, ISBN 954-12-0104-0

- [5] Клямбарски Л., Съвременно състояние на научните изследвания в сферата на транспортното планиране и моделиране : Студия, София, ВТУ „Тодор Каблешков“, 2017. 69 с. URL: <[https://www.vtu.bg/wp-content/uploads/2017/04/Studio\\_Transportno-modelirane\\_Klyambarски.pdf](https://www.vtu.bg/wp-content/uploads/2017/04/Studio_Transportno-modelirane_Klyambarски.pdf)>
- [6] Тодорова М., С. Асенова, „Application of "Growth Factor" model for projecting passengers in a city route line“, 57 конференция на РУ и СУ " New industries, Digital Economy, Society - projecting of the future", ISSN 1311-3321 (print), FRI-2.203-1-TMS-11(online) , Русе, 25-26 октомври 2018, <http://conf.uni-ruse.bg>, <http://conf.uni-ruse.bg/bg/docs/Booklet%20SC%2718.pdf#page=146>
- [7] Тодорова М., Д. Динчев, Зл. Трендафилов, "Възможности за намаляване на времето за придвижване на пътниците, използващи градски транспорт", Електронно-научно приложно списание "Железопътен и интермодален транспорт", ISSN 1314-5878
- [8] Immers, L. H., Stada, J. E. Traffic Demand Modelling : Course H111. Transl. by L. Hurley. Heverlee, Belgium : Katholieke Universiteit Leuven, 1998. IV, 110 p. URL: <<https://www.mech.kuleuven.be/cib/verkeer/dwn/H111part1.pdf>>
- [9] Modi, Kevin B., L. B. Zala, F. S. Umrigar, T. A. Desai. Transportation Planning Models: A Review. // National Conference on Recent Trends in Engineering & Technology, 13-14 May 2011. V.V.Nagar, Gujarat, India : B.V.M. Engineering College, 6 p. URL: <<http://www.bvmengineering.ac.in/misc/docs/published-20papers/civilstruct/Civil/101029.pdf>>
- [10] Novačko L., Lj. Šimunović, D. Krsić, Estimation of origin-destination trip matrices for small cities, Traffic & Transportation, Vol. 26, 2014, No. 5, 419-428
- [11] Stoilova Sv., V. Stoev, Study of passengers' flow at underground stations, Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology (JMEST), ISSN: 3159-0040, Vol. 2 Issue 5, May, 2015

## **STUDY ON DETERRENCE FUNCTION OF PASSENGER FLOWS . IN URBAN TRANSPORT**

**Mirena Todorova**  
[mirena\\_todorova@abv.bg](mailto:mirena_todorova@abv.bg)

*Todor Kableshkov University of Transport*  
*1574 Sofia, 158 Geo Milev Str.*  
**BULGARIA**

**Key words:** *public transport, distribution model, gravity model, deterrence function*

**Abstract:** *There has been a negative trend in using public transport in Sofia recently despite the underground extension, which ensures fast mobility and attracts a lot of passengers. Globally, urban authorities are striving to develop "intermodal transport systems" coordinating all types of urban transport and making them attractive and efficient for residents to achieve increased utilisation. To improve bus services in the capital city, a survey on the length of the correspondence of passengers commuting by buses in Sofia has been carried out. The type and the coefficients of "Deterrence function" are defined as a function of distribution of passengers according to the distance travelled. This function is used in non-modal distribution models, in travel distribution models and more specifically in "gravity model" to help optimize and plan the bus service in several areas. On the one hand, it enables the achievement of optimal fleet distribution in overlapping sections of different routes and improvement of vehicle timetables, and on the other hand, it contributes to making planning of new routes and bus stops locations more efficient.*