

МОДЕЛ ЗА РАЗПРЕДЕЛЕНИЕ И ПРОГНОЗИРАНЕ НА ГРАДСКИЯ ТРАФИК ПРИ ПРОМЕНИ В ТРАНСПОРТНАТА МРЕЖА

Тодор Размов
t.razmov@gmail.com

*Висше транспортно училище „Тодор Каблешков,
ул. „Гео Милев“ № 158, София 1574,
БЪЛГАРИЯ*

Ключови думи: прогнозиране на трафика, градски транспорт, потокови модели, линейно програмиране

Резюме: Промените в градската транспортна инфраструктура и градската транспортна мрежа водят до промени в трафика. Той се преразпределя под влияние на това. Разработен е модел, чрез който се реализира и прогнозира това преразпределение. Моделът е тестван и приложен за реален проект.

ВЪВЕДЕНИЕ

При промяна на пътната транспортна мрежа градския трафик се преразпределя и неговите нива се променят по съответните пътни участъци. Промените в пътната транспортна мрежа могат да са свързани с изграждане на нови транспортни връзки, като дъги, скоростни тангенти, скоростни обходни пътища, увеличаване на капацитета на дадени транспортни пътни участъци или реализиране на пресичания на две нива. Прогнозите на нивата на градския трафик е в основата на финансовата, икономическа и екологична оценка на изградената нова инфраструктура.

ИЗХОДНИ ПРЕДПОСТАВКИ

Ще бъде разгледано примерното разпределение на транзитния, входния и изходен трафик за град София вследствие на промените в градската пътна транспортна мрежа. Вътрешният градски трафик е приет априорно за модела.

Транзитния, входен и изходен трафик е получен като изход от работата на четиристъпков транспортен модел дефиниран за цялата пътна транспортна мрежа на България. Реализираният подход е йерархичен. На високото йерархично звено е транспортният модел на България, а на по-ниското йерархично звено е моделът за град София.

На фиг.1 и в табл.1 са представени данните за пътната инфраструктура на град София. Трафикът съставен от леки автомобили, автобуси и товарни автомобили влиза и излиза от пунктове 1 (автомагистрала „Люлин“), 2 (направление Благоевград, Кулата), 7 (направление Драгоман, Калотина), 6 (Направление Монтана), 4 (автомагистрала „Хемус“) и 3 (автомагистрала „Тракия“). Пунктове 8 и 9 са вътрешни за града. Трафикът от и до тези пунктове се приема като трафик от и за града.

Пътният участък начертан със син цвят (северна скоростна тангента - ССТ) е новият елемент в пътната мрежа.

Основната цел е да бъде определен трафикът за вариант без промени в пътната инфраструктура („без проект“) и за вариант с изграждане на северна скоростна тангента („с проект“), след което ще бъдат анализирани промените и показано преразпределението му.

Таблица 1



Пътен участък	Дължина в км.	Разходи в лв.	Допустима скорост		Категория на пътния участък
1 2	6,2	1,41	90	СОП	1 клас
1 7	2,7	0,73	90	СОП	1 клас
2 3	18,2	4,05	90	СОП	1 клас
2 9	8,1	2,69	50		1 клас
3 4	8,5	1,89	90	СОП	1 клас
5 4	19	4,22	90	СОП	1 клас
6 5	5,5	1,23	90	СОП	1 клас
6 8	7,9	2,63	50		1 клас
7 6	3,3	0,61	90	СОП	1 клас
7 8	6,3	2,1	50		1 клас
8 4	11,8	3,91	50		1 клас
8 9	3,5	1,15	50		1 клас
9 3	11,4	3,79	50		1 клас
6 4	18,8	4,13	120	ССТ	магистрала

Фиг.1 Градска пътна инфраструктура и входно-изходни точки на трафика

СОП – софийски околновръстен път
ССТ – северна скоростна тангента

Разпределението на трафика по пътни участъци ще бъде получен по направления запад – изток и изток - запад поотделно. В табл.2 са представени данни за входящия и изходящия трафик, като номерата на входните и изходни пунктове отговарят на тези от фиг.1. Трафик не се генерира след реализация на ССТ, а само се преразпределя.

Таблица 2 Данни за трафика в хил. превозни средства

2013 год.		Пунктове на изходящ поток на трафика				Общо
		3	4	8	9	
Пунктове на входящ поток на трафика	1	5	12	2	1	20
	2	3	3	2	2	10
	6	2	18	3	2	25
	7	10	7	3	5	25
	Общо	20	40	10	10	80

Таблица 3 Задължителен трафик

Задължителен трафик			
Без проект		С проект	
Пътен участък	Трафик в хил. превозни средства	Пътен участък	Трафик в хил. превозни средства
2-9	2	2-9	2
3-4	5	5-4	5
6-8	5	6-5	5
7-6	2	6-8	2
9-3	3	7-6	2
		8-4	3
		9-3	3

В табл.3 е даден задължителния трафик по пътни участъци, който е приет за априорен и отчита нивата на вътрешния трафик. Вътрешния трафик в случая не е предмет на разглеждане.

МОДЕЛ ЗА РАЗПРЕДЕЛЕНИЕ НА ГРАДСКИЯ ТРАФИК

Моделът за разпределение на градския трафик (транзитен, входен и изходен) е потоков [1], линеен [2]. Той е базиран на специално съставен за целта граф (фиг.2 за разпределение на трафика при вариант „без проект” и фиг.3 за разпределение на трафика за вариант „с проект”), който съдържа в себе си градската мрежа представена на определено ниво на детайлност и фиктивни дъги, които способстват за дефиниране на целевата функция и ограниченията. Графите $G_{WOP}(N_{WOP}, A_{WOP})$ за варианта „без проект” и $G_{WP}(N_{WP}, A_{WP})$ за варианта „с проект” съдържат съответно множество върхове N_{WOP} и N_{WP} и множество дъги A_{WOP} и A_{WP} , като за всеки граф между тях има еднозначно съответствие.

Моделът за определяне на разпределението на трафика ще бъде описан в общ вид за граф $G(N, A)$. За всяка от дъгите, съставлящи графите от фиг.2 и фиг.3, се използва следната информация: $U_{i,j}$ – горна граница на потока, който се движи по дъгата (i, j) на графа; $L_{i,j}$ – долна граница на потока, който се движи по дъгата (i, j) на графа; $C_{i,j}$ – разходи при преминаване на потока по пътния участък (i, j) и $f_{i,j}$ – търсена стойност на потока по дъгата (i, j) . Потока е целочислен или 0.

Общият вид на целевата функция е:

$$(1) \quad R(f_{ij}) = \sum_{(i,j) \in A} C_{i,j} \cdot f_{i,j} \rightarrow \min, \text{ където } A \text{ е множеството на дъгите в графа } G.$$

Ограниченията са следните:

1. Ограничения, които реализират и гарантират запазване на потока при преминаването му през всеки връх на графа A . Те имат следният вид:

$$(2) \quad \sum_{j=1}^V f_{i,j} - \sum_{j=1}^V f_{j,i} = 0, \text{ за } \forall i = 1, 2, \dots, V \text{ и } (i, j) \in A \text{ и } (j, i) \in A.$$

2. Ограничения, които задават възможните граници, в които може да се променя големината на потока, преминавайки по всяка дъга (i, j) . Тези ограничения се реализират, чрез задаване на горна и долна граница на потока. Тези ограничения имат вида:

$$(3) \quad L_{i,j} \leq f_{i,j} \leq U_{i,j} \text{ за всяка дъга } (i, j) \in A.$$

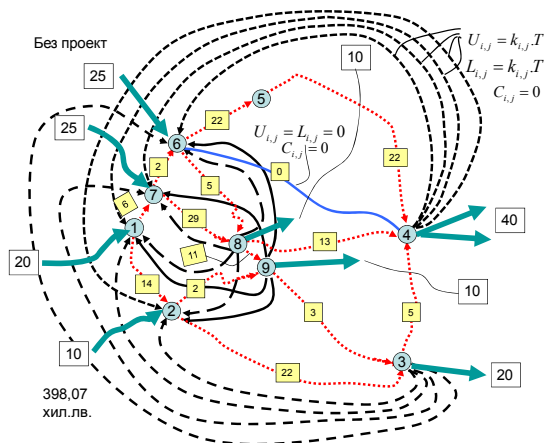
3. Ограничения, които реализират неотрицателност на решението, а именно:

$$(4) \quad f_{i,j} \geq 0 \text{ за всяка дъга } (i, j) \in A.$$

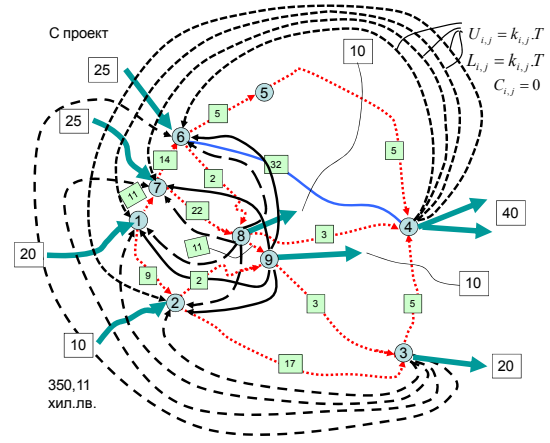
Като се приложи линейният модел (1-4) за графи $G_{WOP}(N_{WOP}, A_{WOP})$ - фиг.2 и $G_{WP}(N_{WP}, A_{WP})$ - фиг.3 се получава разпределението на трафика по пътни участъци за вариант „без проект” и за вариант „с проект”.

Таблица 4 Модел за разпределение на трафика при вариант „без проект” (без ССТ)										
дъга	км	мин	лв.	ско- рост	ГГП	ДГП	р-ди	по- ток	ел.на ЦФ	
1	2	6,2	8	1,41	46,50	99999	0	1,41	14	19,74
1	7	2,7	4	0,73	40,50	99999	0	0,73	6	4,38
2	1	6,2	8	1,41	46,50	99999	0	1,41	0	0
2	3	18,2	18	4,05	60,67	99999	0	4,05	22	89,1
2	9	8,1	14	2,69	34,71	99999	2	2,69	2	5,38
3	2	18,2	18	4,05	60,67	99999	0	4,05	0	0
3	4	8,5	6	1,89	85,00	99999	5	1,89	5	9,45
3	9	11,4	10	3,79	68,40	99999	0	3,79	0	0
4	3	8,5	6	1,89	85,00	99999	0	1,89	0	0
4	5	19	18	4,22	63,33	99999	0	4,22	0	0
4	6	18,8	26	4,13	43,38	0	0	4,13	0	0
4	8	11,8	15	3,91	47,20	99999	0	3,91	0	0
5	4	19	18	4,22	63,33	99999	0	4,22	22	92,84
5	6	5,5	6	1,23	55,00	99999	0	1,23	0	0
6	4	18,8	26	4,13	43,38	0	0	4,13	0	0
6	5	5,5	6	1,23	55,00	99999	0	1,23	22	27,06
6	7	3,3	4	0,61	49,50	99999	0	0,61	0	0
6	8	7,9	17	2,63	27,88	99999	5	2,63	5	13,15
7	1	2,7	4	0,73	40,50	99999	0	0,73	0	0
7	6	3,3	4	0,61	49,50	99999	2	0,61	2	1,22
7	8	6,3	9	2,1	42,00	99999	0	2,1	29	60,9
8	4	11,8	15	3,91	47,20	99999	0	3,91	13	50,83
8	6	7,9	17	2,63	27,88	99999	0	2,63	0	0
8	7	6,3	9	2,1	42,00	99999	0	2,1	0	0
8	9	3,5	9	1,15	23,33	99999	0	1,15	11	12,65
9	2	8,1	14	2,69	34,71	99999	0	2,69	0	0
9	3	11,4	10	3,79	68,40	99999	3	3,79	3	11,37
9	8	3,5	9	1,15	23,33	99999	0	1,15	0	0
3	1	0	0	0		5	5	0	5	0
3	2	0	0	0		3	3	0	3	0
3	6	0	0	0		2	2	0	2	0
3	7	0	0	0		10	10	0	10	0
4	1	0	0	0		12	12	0	12	0
4	2	0	0	0		3	3	0	3	0
4	6	0	0	0		18	18	0	18	0
4	7	0	0	0		7	7	0	7	0
8	1	0	0	0		2	2	0	2	0
8	2	0	0	0		2	2	0	2	0
8	6	0	0	0		3	3	0	3	0
8	7	0	0	0		3	3	0	3	0
9	1	0	0	0		1	1	0	1	0
9	2	0	0	0		2	2	0	2	0
9	6	0	0	0		2	2	0	2	0
9	7	0	0	0		5	5	0	5	0
						80	80			398,07

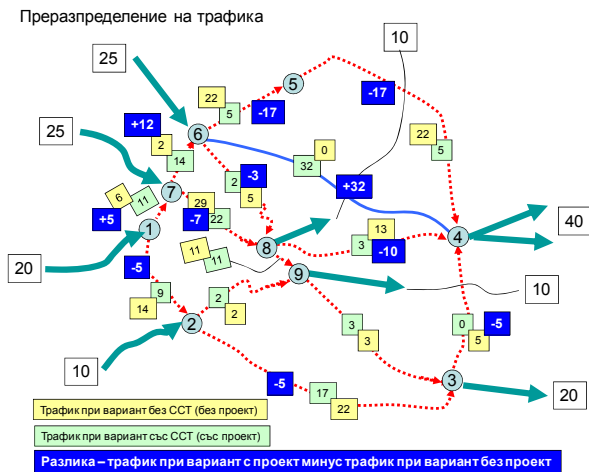
Таблица 5 Модел за разпределение на трафика при вариант „с проект” (със ССТ)										
дъга	км.	мин	лв	ско- рост	ГГП	ДГП	р-ди	по- ток	ел. на ЦФ	
1	2	6,2	8	1,41	46,50	99999	0	1,41	11	15,51
1	7	2,7	4	0,73	40,50	99999	0	0,73	9	6,57
2	1	6,2	8	1,41	46,50	99999	0	1,41	0	0
2	3	18,2	18	4,05	60,67	99999	0	4,05	17	68,85
2	9	8,1	14	2,69	34,71	99999	2	2,69	4	10,76
3	2	18,2	18	4,05	60,67	99999	0	4,05	0	0
3	4	8,5	6	1,89	85,00	99999	0	1,89	0	0
3	9	11,4	10	3,79	68,40	99999	0	3,79	0	0
4	3	8,5	6	1,89	85,00	99999	0	1,89	0	0
4	5	19	18	4,22	63,33	99999	0	4,22	0	0
4	6	18,8	15	4,13	75,20	99999	0	4,13	0	0
4	8	11,8	15	3,91	47,20	99999	0	3,91	0	0
5	4	19	18	4,22	63,33	99999	5	4,22	5	21,1
5	6	5,5	6	1,23	55,00	99999	0	1,23	0	0
6	4	18,8	15	4,13	75,20	99999	0	4,13	32	132,16
6	5	5,5	6	1,23	55,00	99999	5	1,23	5	6,15
6	7	3,3	4	0,61	49,50	99999	0	0,61	0	0
6	8	7,9	17	2,63	27,88	99999	2	2,63	2	5,26
7	1	2,7	4	0,73	40,50	99999	0	0,73	0	0
7	6	3,3	4	0,61	49,50	99999	2	0,61	14	8,54
7	8	6,3	9	2,1	42,00	99999	0	2,1	20	42
8	4	11,8	15	3,91	47,20	99999	3	3,91	3	11,73
8	6	7,9	17	2,63	27,88	99999	0	2,63	0	0
8	7	6,3	9	2,1	42,00	99999	0	2,1	0	0
8	9	3,5	9	1,15	23,33	99999	0	1,15	9	10,35
9	2	8,1	14	2,69	34,71	99999	0	2,69	0	0
9	3	11,4	10	3,79	68,40	99999	3	3,79	3	11,37
9	8	3,5	9	1,15	23,33	99999	0	1,15	0	0
3	1	0	0	0		5	5	0	5	0
3	2	0	0	0		3	3	0	3	0
3	6	0	0	0		2	2	0	2	0
3	7	0	0	0		10	10	0	10	0
4	1	0	0	0		12	12	0	12	0
4	2	0	0	0		3	3	0	3	0
4	6	0	0	0		18	18	0	18	0
4	7	0	0	0		7	7	0	7	0
8	1	0	0	0		2	2	0	2	0
8	2	0	0	0		2	2	0	2	0
8	6	0	0	0		3	3	0	3	0
8	7	0	0	0		3	3	0	3	0
9	1	0	0	0		1	1	0	1	0
9	2	0	0	0		2	2	0	2	0
9	6	0	0	0		2	2	0	2	0
9	7	0	0	0		5	5	0	5	0
						80	80			350,35



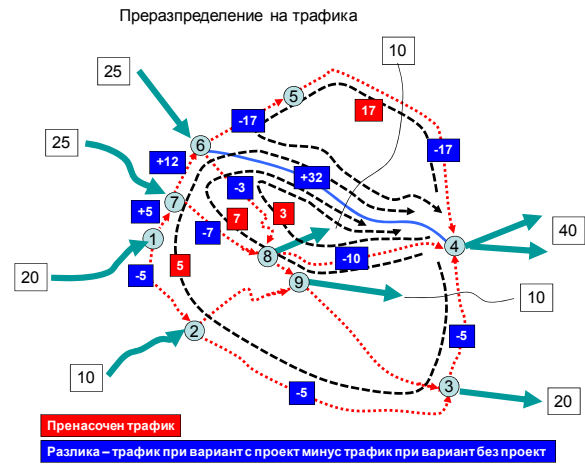
фиг.2 Разпределение на трафика при вариант „без проект” (без ССТ)



фиг.3 Разпределение на трафика при вариант „с проект” (със ССТ)



Фиг.4 Разлика между трафика при вариант „с проект” и трафика при вариант „без проект”



Фиг.5 Преразпределение на трафика след въвеждане в експлоатация на ССТ

Чрез стойностите на $L_{i,j}$ и $U_{i,j}$ са въведени допълнителни ограничения за структурата на входно-изходния трафик ($U_{i,j} = k_{i,j} \cdot T$; $L_{i,j} = k_{i,j} \cdot T$; $U_{i,j} = L_{i,j}$; $C_{i,j} = 0$). Те са представени в табл.4, като относителна стойност спрямо общия за града трафик (T) в едната посока.

Таблица 4 Структура на входно-изходния трафик

$k_{i,j}$	3	4	8	9	Общо изходен трафик
1	0,0625	0,1500	0,0250	0,0125	0,2500
2	0,0375	0,0375	0,0250	0,0250	0,1250
6	0,0250	0,2250	0,0375	0,0250	0,3125
7	0,1250	0,0875	0,0375	0,0625	0,3125
Общо входен трафик	0,2500	0,5000	0,1250	0,1250	1,0000

На фиг.4 е представен резултатът от разпределение на трафика при вариант „без проект” (без ССТ), при вариант „с проект” (с построена ССТ) и разликата на трафика по пътни участъци между вариант „с проект” и вариант „без проект” за базовата 2013 год. На тази база на фиг.5 е показано влиянието на въвеждането в експлоатация на новата пътна инфраструктура. Вижда се, че трафика от СОП почти изцяло се

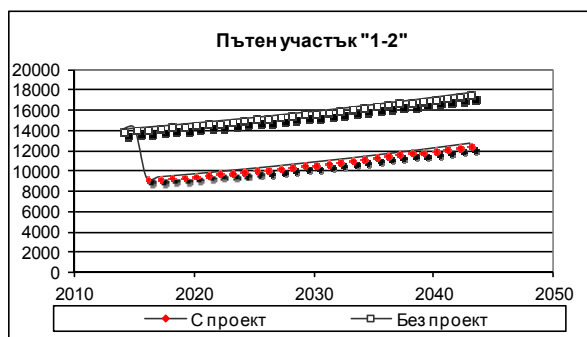
пренасочва по ССТ. Остава да се движи по СОП само местен трафик. Трафикът от Южната дъга и централните части на града се пренасочва по Западната дъга на града и след това по ССТ.

ПРОГНОЗИРАНЕ НА ГРАДСКИЯ ТРАФИК

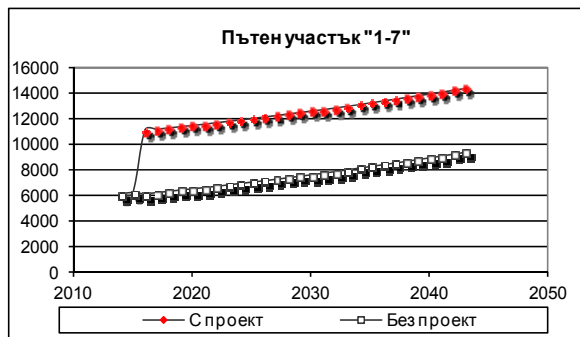
Установен е коефициент на еластичност на трафика спрямо реалния ръст на brutния вътрешен продукт, който е 0,790 (реален ръст на brutния вътрешен продукт за периода 2000 – 2013 год. от 54,22% и съответен ръст на трафика за същия период от 42,86%). На тази база и на база прогнози за реалния ръст на БВП са направени прогнози на входящия и изходящ трафик за времеви сечения (2013, 2014, 2015, 2020, 2030, 2040 и 2043 год.) за посоката запад - изток. След прилагане на моделът за разпределение на трафика (1÷4) за вариантите „без проект” (без ССТ) и „с проект” (без ССТ) за тези времеви сечения са получени и съответните прогнози за трафика по пътни участъци (фиг.6 ÷ фиг.11).

Таблица 5 Прогнози на входящия и изходящ трафик по времеви сечения

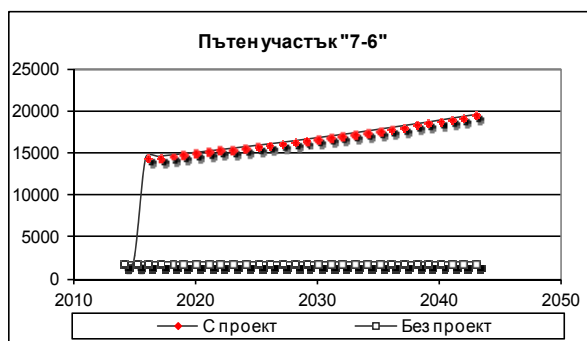
Година	Реален ръст на БВП	Еластичност 0,790 Ръст на БВП	Входящ трафик (хил. МПС)					Изходящ трафик (хил. МПС)				
			1	2	6	7	Общо	3	4	8	9	Общо
2013	0,900%	1,00000	20	10	25	25	80	20	40	10	10	80
2014	1,200%	1,00948	20,190	10,095	25,237	25,237	80,759	20,190	40,379	10,095	10,095	80,759
2015	1,200%	1,01906	20,381	10,191	25,476	25,476	81,525	20,381	40,762	10,191	10,191	81,525
2020	1,200%	1,06831	21,366	10,683	26,708	26,708	85,465	21,366	42,732	10,683	10,683	85,465
2030	1,350%	1,18329	23,666	11,833	29,582	29,582	94,664	23,666	47,332	11,833	11,833	94,664
2040	1,500%	1,32353	26,471	13,235	33,088	33,088	105,882	26,471	52,941	13,235	13,235	105,882
2043	1,500%	1,37116	27,423	13,712	34,279	34,279	109,693	27,423	54,846	13,712	13,712	109,693



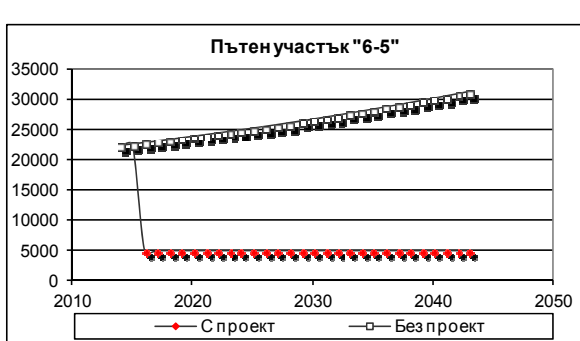
Фиг.6 Прогноза за трафика за пътен участък „1-2”



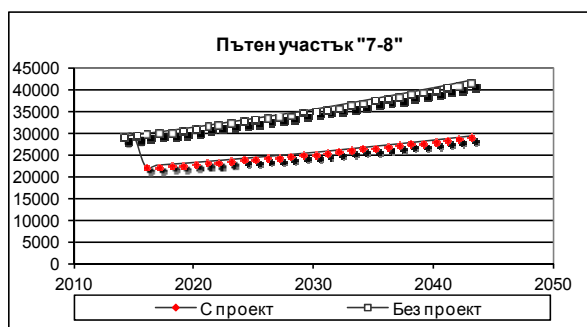
Фиг.7 Прогноза за трафика за пътен участък „1-7”



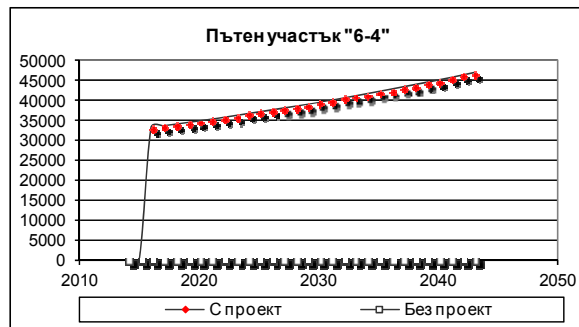
Фиг.8 Прогноза за трафика за пътен участък „7-6”



Фиг.9 Прогноза за трафика за пътен участък „6-5”



Фиг.10 Прогноза за трафика за пътен участък „7-8”



Фиг.11 Прогноза за трафика за пътен участък „6-4”

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

След изграждане на Северна скоростна тангента в града трафикът се преразпределя, като се насочва от околновръстния път, централните пътни участъци и южната дъга към нея. Това води до ползи, които могат да бъдат оценени след използване на анализ разходи – ползи. Предложеният модел е приложим за прогнозиране на градския трафик при по-голяма степен на агрегиране на градската пътна мрежа.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Таха, Х., Въведение в изследование операции, Мир, Москва, Седмо издание, 2006
 [2] Филипс Д., А. Гарсиа-Диас, Методи анализа сетей, Мир, Москва, 1984

MODEL FOR DISTRIBUTION AND FORECASTING OF URBAN TRAFFIC AFTER CHANGES IN TRANSPORT NETWORK

Todor Razmov
t.razmov@gmail.com

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

Key words: traffic forecasts, urban transport, workflow models, linear programming

Abstract: Changes in urban transport infrastructure and urban transport network lead to changes in traffic. It is redistributed under the influence of it. A model was developed, which realizes and forecasts redistribution. The model has been tested and applied to a real project.