

---

**МОДЕЛИРАНЕ И АНАЛИЗ НА УСТОЙЧИВОСТТА НА РЕШЕНИЯТА ЗА  
ЛОКАЦИЯ И БРОЙ ЕКИПИ В ЦЕНТРОВЕ ЗА СПЕШНА МЕДИЦИНСКА  
ПОМОЩ**

*Кирил Карагъзов, Петя Стоянова*  
[petia\\_8@abv.bg](mailto:petia_8@abv.bg), [kkaragyzov@yahoo.com](mailto:kkaragyzov@yahoo.com)

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

**Ключови думи:** симулация на системата за ЦМП, GPSS модели, задача за максимално покритие

**Резюме:** Докладът е базиран на изследвания, в които се използва комбиниран подход на аналитично и имитационно моделиране, позволяващ да се обективират показателите оборот на екипите и необходимия им брой за осигуряване на зададено ниво на обслужване. Основните показатели, на базата на които се оценява броят и местоположението на мобилните екипи за спешна медицинска помощ, са времето за достъп; гъстота на населението; възможност за покриване на района от повече от 1 екип. Времето за заетост на даден екип се формира чрез алгоритъм за реализация на критичните спешни повиквания, който включва времето за пътуване до мястото на повикване, обслужване на място, придвижване и предаване в болница и връщане до ЦМП. Чрез имитационен модел, реализиран на GPSS World, се изследва устойчивостта на оптимизационните решения за локация и е направен анализ относно броя на спешните екипи във всеки ЦМП, при изменение на интензивността на повикванията - 0.5, 0.75, 1.25, 1.5 и 2 пъти от базовата интензивност на спешните повиквания 0.213 бр/мин., както и при увеличение на времената за обслужване. За базовия модел, с 4 центъра за извънболнична спешна медицинска помощ, са необходими 20 екипа за осигуряване на спешните случаи с код червено А1- до 8 минути, осигуряващи покритие по площ и население, отговарящо на ниво  $LOS > 0.95$ . Получени са зависимости на общия брой екипи от натоварването на системата.

## **ВЪВЕДЕНИЕ**

На базата на разработения модел [1], където чрез приложен математически модел [2], основаващ се на [3], [4], [5] и [6] е осигурено равномерно и адекватно териториално разпределение на структурите на системата за спешна медицинска помощ, и е направено изследване на неговата устойчивост. Основни параметри от разработения модел, чрез които се определят броя и местоположението на екипите за спешна медицинска помощ са: отдалеченост на екипа /структурата за спешна помощ в района, който обслужва/, респективно времето за достъп; гъстота на населението в даден район; възможност за покриване на региона от повече от 1 екип (припокриване на районите); ниво на обслужване. При зададено максимално време и/или разстояние са

определени минималния брой и конкретната локация на спешните центрове, осигуряващи максимално обслужване (покрытие), както на населението, така и на територията на София, където са заложили характерни фази на придвижване и престой с определени времеви рамки, в изпълнение на повикванията. Избран е вариант с 4 центъра за извънболнична спешна медицинска помощ и тяхното покритие по площ и население, който осигурява ниво на обслужване  $LOS > 0.95$  при интензивност на спешните повиквания 0.23/мин. За този базов модел са необходими 20 екипа за осигуряване на спешните случаи с код червено А1- до 8 минути.

В настоящата работа се изследва устойчивостта на модела в зависимост от изменението на някои ключови параметри. Първо увеличението на параметрите на обслужване с 10% и 20%, как влияе на броя на екипите при запазен  $LOS > 0.95$  и как се изменя  $LOS$  при запазване на броя на екипите от базовия модел и второ какъв е необходимия брой екипи при изменение на интензивността на повикванията - 0.5, 0.75, 1.25, 1.5 и 2 пъти от основната базова интензивност, при двата варианта на параметри за обслужване – базов и увеличен с 20%.

## БАЗОВ СИМУЛАЦИОНЕН МОДЕЛ И ВАРИАНТИ ЗА ИЗМЕНЕНИЕ НА ПАРАМЕТРИТЕ

Базовия симулационен GPSS модел е разработен в [1], но за сведение е даден в приложение 1. Неговите основни параметри и увеличението с 10 и 20% са дадени в табл.1.

Параметри на модела				табл.1
<b>Базов модел</b>				
No	Параметри	Обозн.	Стойност	Дименсия
1	Интензивност на спешни повиквания (код 1,2,3)	<i>Lambda</i>	0.213	бр./мин
2	Вероятност за повикване код 1	<i>Pcode1</i>	0.21	
3	Вероятност повикване код 1 да се обслужи на място	<i>Pdom</i>	0.768	
5	Времетрайване от СЦ до място на повикване (от таблица на разстоянията) $mode = t_{ji}; t_{jimin}=0.95t_{ji}; t_{jimax}=1.1t_{ji}$	<i>t<sub>ji</sub></i>		мин./пов.
6	Обработка на място 6.1. При превоз до болница 6.2. При обслужване на място	<i>tD1</i>	(10,25,20)	мин./пов.
		<i>tD2</i>	(15,30,25)	мин./пов.
7	При превоз до болница (6.1.) Времетрайване до болница, престой в болница, времетрайване от болница до СЦ	<i>ttcomp</i>	(31,65,45)	мин./пов.
8	При обслужване на място (6.2.) Времетрайване от място на повикване до СЦ (от таблица на разстоянията) $mode = t_{ji}; t_{jimin}=0.95t_{ji}; t_{jimax}=1.1t_{ji}$	<i>t<sub>ij</sub>=t<sub>ji</sub></i>		мин./пов.
<b>Увеличение с 10%</b>				
6	Обработка на място 6.1. При превоз до болница 6.2. При обслужване на място	<i>tD1</i>	(11,27.5,22)	мин./пов.
		<i>tD2</i>	(16.5,33,27.5)	мин./пов.
7	При превоз до болница (6.1.) Времетрайване до болница, престой в болница, времетрайване от болница до СЦ	<i>ttcomp</i>	(34.1,71.5,49.5)	мин./пов.
<b>Увеличение с 20%</b>				
6	Обработка на място 6.1. При превоз до болница 6.2. При обслужване на място	<i>tD1</i>	(12,30,24)	мин./пов.
		<i>tD2</i>	(18,36,30)	мин./пов.
7	При превоз до болница (6.1.) Времетрайване до болница, престой в болница, времетрайване от болница до СЦ	<i>ttcomp</i>	(37.2,78,54)	мин./пов.

Заб. Тройката числа са параметри на триъгълното разпределение на вероятностите (минимална , максимална стойност, мода).

Резултатите от базовия вариант са дадени в табл.3, а значението на обозначенията в табл. 2.

Всеки вариант на параметрите на обслужване базов, увеличение с 10% и 20% се изследва за различна интензивност на спешните повиквания 0.5, 0.75, 1.25, 1.5, 2 пъти интензивността на базовия модел.

## ОБОЗНАЧЕНИЯ

Табл. 2

<i>Ro</i>	натоврване на СДЦ- среден брой заети екипи (мин/пов.)
<i>Sara</i>	относителна заетост на екипите
<i>W</i>	средно време за чакане освобождаване на екип
<i>Lq</i>	среден брой повиквания , чакащи освобождаване на екип (бр.)
<i>W(-0)</i>	средно време за чакане на тези, които действително чакат (мин/пов.)
<i>LOS</i>	ниво на обслужване- вероятност за обслужване без чакане
<i>Pw</i>	вероятност дадено повикване да чака
<i>Обсл%</i>	процент на обслужените от даден СДЦ
<i>Време за отговор</i>	време от момента на повикване до пристигане на място-средна стойност – <i>mean</i> , средно квадратично отклонение – <i>stdv</i> (мин./пов.)
<i>Оборот</i>	времето от повикване до готовност за следващо повикване
<i>Време за отговор до</i>	вероятност $\leq$ от получената емпирична функция на разпределение от модела

Обобщени резултати от Базов модел											табл. 3			
Спешни центрове	Екипи (бр.)	Ro (бр.)	Sara	W (min/пов.)	Lq (бр.)	W(-0) (min/пов.)	LOS	Pw	обсл (%)	Време за отгово		Оборот		
										mean	stdv	mean	stdv	
DC1-ST_1	4	1.11	0.277	0.265	0.008	9.46	0.972	0.028	17.2%	7.49	4.26	44.65	17.53	
DC2-ST_2	4	1.27	0.317	0.484	0.014	11.2	0.957	0.043	17.6%	Време за отговор до				
DC3-VA	8	3.46	0.433	0.187	0.015	7.28	0.974	0.026	47.6%	8 мин	10 мин	16 мин	22 мин	
DC4-IZ	4	1.31	0.328	0.563	0.017	11.729	0.952	0.048	17.6%	71.0%	89.1%	95.5%	97.6%	
Общо	20	7.15	0.358				0.967	0.033						
СДЦ- 4бр (Ст.Гара, Св.Ана,Възраждане,Изгрев)- % покритие до 8 мин-93.8%														

## РЕЗУЛТАТИ ОТ ИЗСЛЕДВАНЕ НА ИЗМЕНЕНИЕТО НА ПРАМЕТРИТЕ НА ОБСЛУЖВАНЕ

- Запазване на броя на екипите и увеличение с 10% на параметрите на обслужване

Обобщените резултати са дадени в табл.4.

Обобщени резултати от Базов модел с 10% увеличение с 10% на времената за обслужване											табл. 4			
Спешни центрове	Екипи (бр.)	Ro (бр.)	Sara	W (min/пов.)	Lq (бр.)	W(-0) (min/пов.)	LOS	Pw	обсл (%)	Време за отгово		Оборот		
										mean	stdv	mean	stdv	
DC1-ST_1	4	1.21	0.302	0.381	0.011	10.886	0.965	0.035	17.2%	7.65	4.67	48.09	19.31	
DC2-ST_2	4	1.37	0.342	0.672	0.02	12.316	0.945	0.055	17.6%	Време за отговор до				
DC3-VA	8	3.74	0.467	0.312	0.025	8.005	0.961	0.039	47.6%	8 мин	10 мин	16 мин	22 мин	
DC4-IZ	4	1.41	0.352	0.805	0.024	13.342	0.940	0.060	17.6%	70.3%	91.3%	94.9%	97.2%	
Общо	20	7.72	0.386				0.955	0.045						
СДЦ- 4бр (Ст.Гара, Св.Ана,Възраждане,Изгрев)- % покритие до 8 мин-93.8%														

Моделът показва една устойчивост на 10% изменение на параметрите на обслужване – общия **LOS** от 0.967 е спаднал на 0.955, но все още е над 0.95. Незначително е изменението на останалите ключови резултантни показатели. При 20% увеличение на параметрите за обслужване, не може да бъде осигурен общия **LOS** да е по малък от 0.95 без увеличение на броя на екипите.

### А. ИЗМЕНЕНИЕ НА БРОЯ НА ЕКИПИТЕ ЗА ОСИГУРЯВАНЕ НА ОБЩ $LOS > 0.95$ И $LOS > 0.94$ ЗА ВСЕКИ ОТДЕЛЕН ЦЕНТЪР

Общия брой екипи и респективно броя на екипите във всеки спешен център е определен за всеки вариант като се осигурява необходимия **LOS**.

• **Резултати за базов вариант на времената на обслужване при различна интензивност на спешните повиквания**

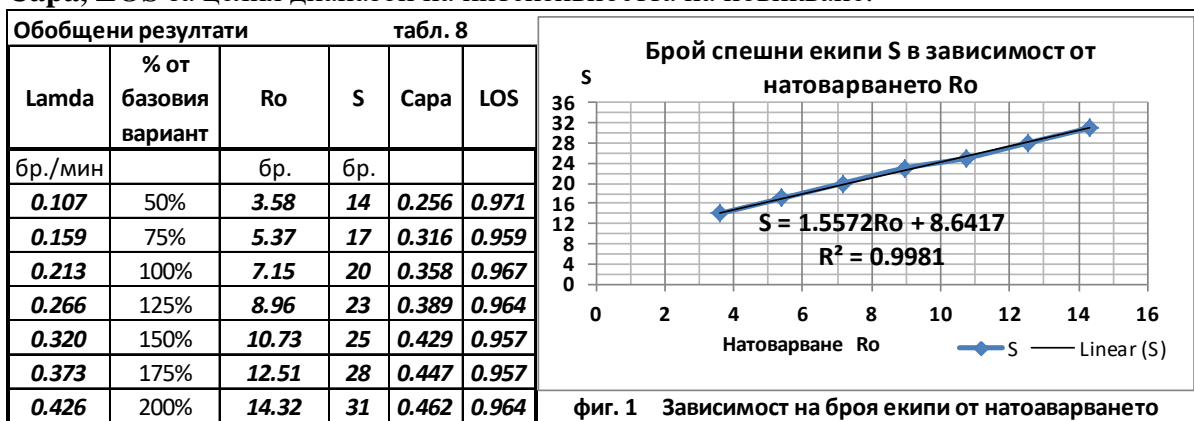
В настоящата работа, за да се покаже тенденцията за изменение на ключовите показатели на системата, в табл.5, табл.6 и табл.7 са представени част от резултатите, а именно за 0.5,1.5, 2 пъти от базовата интензивност на спешни повиквания.

Обобщени резултати при интензивност на повиквания- 50% от базовия вариант										табл.5			
Спешни центрове	Екипи (бр.)	Ro (бр.)	Cара	W (min/нов.)	Lq (бр.)	W(-0) (min/нов.)	LOS	Pw	обсл (%)	Време за отговор		Оборот	
										mean	stdv	mean	stdv
DC1-ST_1	3	0.56	0.185	0.213	0.003	11.128	0.981	<b>0.019</b>	17.2%	7.49	4.35	44.66	17.55
DC2-ST_2	3	0.63	0.211	0.353	0.005	12.923	0.973	<b>0.027</b>	17.6%	Време за отговор до			
DC3-VA	5	1.73	0.347	0.316	0.013	9.56	0.967	<b>0.033</b>	47.6%	8 мин	10 мин	16 мин	22 мин
DC4-IZ	3	0.66	0.219	0.419	0.006	13.764	0.970	<b>0.030</b>	17.6%	71.3%	89.3%	95.5%	97.7%
Общо	<b>14</b>	<b>3.58</b>	<b>0.256</b>				<b>0.971</b>	<b>0.029</b>					

Обобщени резултати при интензивност на повиквания 150% от базовия вариант										табл.6			
Спешни центрове	Екипи (бр.)	Ro (бр.)	Cара	W (min/нов.)	Lq (бр.)	W(-0) (min/нов.)	LOS	Pw	обсл (%)	Време за отговор		Оборот	
										mean	stdv	mean	stdv
DC1-ST_1	5	1.66	0.333	0.25	0.011	8.302	0.970	<b>0.030</b>	17.2%	7.53	4.26	44.692	17.54
DC2-ST_2	5	1.89	0.379	0.457	0.02	9.822	0.953	<b>0.047</b>	17.6%	Време за отговор до			
DC3-VA	10	5.20	0.520	0.284	0.034	6.667	0.957	<b>0.043</b>	47.6%	8 мин	10 мин	16 мин	22 мин
DC4-IZ	5	1.97	0.393	0.577	0.026	10.612	0.946	<b>0.054</b>	17.6%	70.6%	88.6%	95.3%	97.8%
Общо	<b>25</b>	<b>10.73</b>	<b>0.429</b>				<b>0.957</b>	<b>0.043</b>					

Обобщени резултати при интензивност на повиквания 200% от базовия вариант										табл.7			
Спешни центрове	Екипи (бр.)	Ro (бр.)	Cара	W (min/нов.)	Lq (бр.)	W(-0) (min/нов.)	LOS	Pw	обсл (%)	Време за отговор		Оборот	
										mean	stdv	mean	stdv
DC1-ST_1	6	2.22	0.371	0.212	0.012	7.644	0.972	<b>0.028</b>	17.2%	7.44	4.07	44.61	17.49
DC2-ST_2	6	2.54	0.423	0.438	0.026	9.023	0.951	<b>0.049</b>	17.6%	Време за отговор до			
DC3-VA	13	6.94	0.534	0.137	0.022	5.188	0.974	<b>0.026</b>	47.7%	8 мин	10 мин	16 мин	22 мин
DC4-IZ	6	2.62	0.437	0.534	0.032	9.591	0.944	<b>0.056</b>	17.6%	71.0%	89.2%	95.8%	98.0%
Общо	<b>31</b>	<b>14.32</b>	<b>0.462</b>				<b>0.964</b>	<b>0.036</b>					

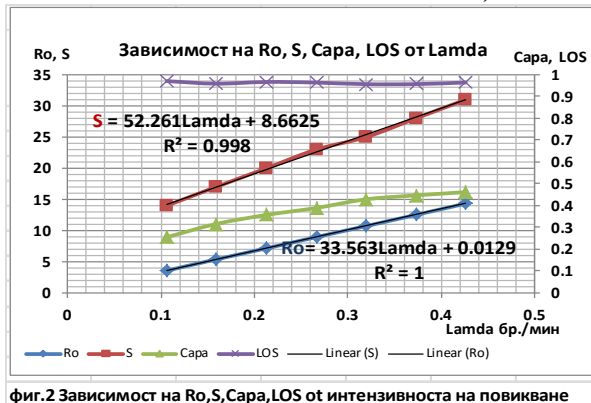
В табл.8 са приведени обобщените за системата резултати за брой екипи- S, Ro, Cара, LOS за целия диапазон на интензивността на повикване.



фиг. 1 Зависимост на броя екипи от натоварването

Независимо от необходимостта от проиграване на редица варианти на разпределение на екипите по отделните спешни центрове за достигане на изискването общия LOS да е по голям от 0.95, а LOS на отделните центрове да е по-голям от 0.94, получените резултати установяват практически функционална зависимост на общия брой екипи от общото натоварване на системата  $S=1.5572Ro+8.6417$ , като коефициента на корелация  $R=0.99905$ , а на детерминация  $R^2=0.9981$ .

На фиг.2 са представени зависимостите на **Ro, S, Сара, LOS** от интензивността на спешните повиквания. Установява се, че зависимостта на общото натоварване **Ro** е функционална  **$Ro=0.0129+33.563.Lambda$** , като коефициента на детерминация е  **$R^2=1$** .



фиг.2 Зависимост на Ro,S,Сара,LOS от интензивността на повикване

Тези натоварвания на системата са получени при зададените параметри на разпределенията на времената за обслужване в базовия вариант.

### **В. РЕЗУЛТАТИ ПРИ УВЕЛИЧЕНИЕ С 20% ВРЕМЕНАТА НА ОБСЛУЖВАНЕ ПРИ РАЗЛИЧНА ИНТЕНЗИВНОСТ НА СПЕШНИТЕ ПОВИКВАНИЯ**

Представени са обобщените резултати за интензивност на повикванията на част от изследваните стойности 1, 0.5, 1.5, 2 пъти интензивността на базовия вариант, които са показани във таблици 9,10, 11 и 12.

**Обобщени резултати при интензивност на повиквания в базовия вариант** табл.9

Спешни центрове	Екипи (бр.)	Ro (бр.)	Сара	W (min/пов.)	Lq (бр.)	W(-0) (min/пов.)	LOS	Pw	обсл (%)	Време за отговор		Оборот	
										mean	stdv	mean	stdv
DC1-ST_1	4	1.30	0.325	0.537	0.015	11.928	0.955	<b>0.045</b>	17.2%	7.58	4.42	51.335	20.96
DC2-ST_2	5	1.47	0.293	0.178	0.005	10.418	0.983	<b>0.017</b>	17.6%	<b>Време за отговор до</b>			
DC3-VA	8	4.00	0.500	0.507	0.041	9.208	0.945	<b>0.055</b>	47.6%	8 мин	10 мин	16 мин	22 мин
DC4-IZ	5	1.51	0.301	0.218	0.006	11.272	0.981	<b>0.019</b>	17.6%	70.6%	88.4%	95.1%	97.4%
<b>Общо</b>	<b>22</b>	<b>8.27</b>	<b>0.376</b>				<b>0.960</b>	<b>0.040</b>					

СДЦ- 4бр (Ст.Гара, Св.Ана,Възраждане,Изгрев)- % покритие до 8 мин-93.8%

**Обобщени резултати при интензивност на повиквания 0.5 пъти от базовия вариант** табл.10

Спешни центрове	Екипи (бр.)	Ro (бр.)	Сара	W (min/пов.)	Lq (бр.)	W(-0) (min/пов.)	LOS	Pw	обсл (%)	Време за отговор		Оборот	
										mean	stdv	mean	stdv
DC1-ST_1	3	0.65	0.217	0.391	0.006	13.151	0.970	<b>0.030</b>	17.2%	7.80	5.19	51.576	21.16
DC2-ST_2	3	0.73	0.244	0.623	0.009	15.409	0.960	<b>0.040</b>	17.6%	<b>Време за отговор до</b>			
DC3-VA	5	2.00	0.400	0.677	0.027	11.882	0.943	<b>0.057</b>	47.6%	8 мин	10 мин	16 мин	22 мин
DC4-IZ	3	0.76	0.252	0.71	0.011	15.85	0.955	<b>0.045</b>	17.6%	68.0%	85.5%	93.1%	96.3%
<b>Общо</b>	<b>14</b>	<b>4.14</b>	<b>0.296</b>				<b>0.953</b>	<b>0.047</b>					

СДЦ- 4бр (Ст.Гара, Св.Ана,Възраждане,Изгрев)- % покритие до 8 мин-93.8%

**Обобщени резултати при интензивност на повиквания 1.5 пъти от базовия вариант** табл.11

Спешни центрове	Екипи (бр.)	Ro (бр.)	Сара	W (min/пов.)	Lq (бр.)	W(-0) (min/пов.)	LOS	Pw	обсл (%)	Време за отговор		Оборот	
										mean	stdv	mean	stdv
DC1-ST_1	5	1.95	0.391	0.56	0.024	10.541	0.947	<b>0.053</b>	17.2%	7.53	4.24	51.319	20.95
DC2-ST_2	6	2.19	0.366	0.25	0.011	9.492	0.974	<b>0.026</b>	17.6%	<b>Време за отговор до</b>			
DC3-VA	11	6.00	0.545	0.346	0.042	7.5	0.954	<b>0.046</b>	47.7%	8 мин	10 мин	16 мин	22 мин
DC4-IZ	6	2.26	0.376	0.288	0.013	10.095	0.972	<b>0.028</b>	17.6%	68.0%	85.5%	93.1%	96.3%
<b>Общо</b>	<b>28</b>	<b>12.40</b>	<b>0.443</b>				<b>0.959</b>	<b>0.041</b>					

СДЦ- 4бр (Ст.Гара, Св.Ана,Възраждане,Изгрев)- % покритие до 8 мин-93.8%

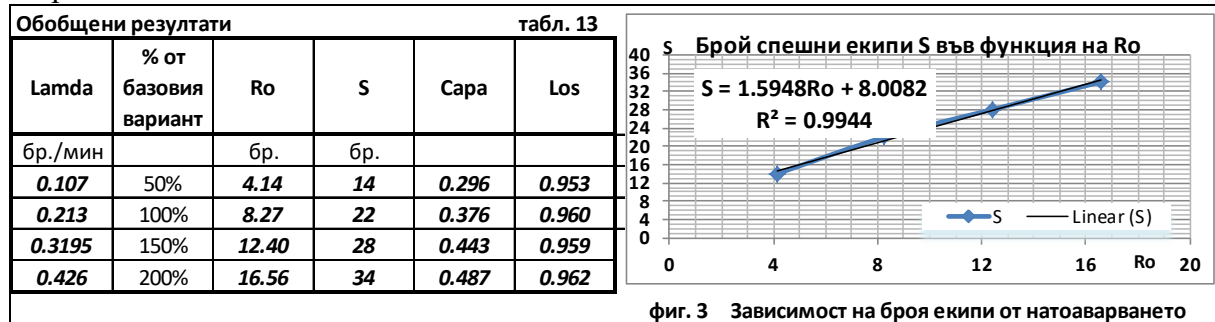
**Обобщени резултати при интензивност на повиквания 2 пъти от базовия вариант** табл.12

Спешни центрове	Екипи (бр.)	Ro (бр.)	Сара	W (min/пов.)	Lq (бр.)	W(-0) (min/пов.)	LOS	Pw	обсл (%)	Време за отговор		Оборот	
										mean	stdv	mean	stdv
DC1-ST_1	6	2.60	0.434	0.521	0.03	9.86	0.947	<b>0.053</b>	17.2%	7.48	4.14	51.244	20.93
DC2-ST_2	7	2.93	0.419	0.305	0.018	9.26	0.967	<b>0.026</b>	17.6%	<b>Време за отговор до</b>			
DC3-VA	14	8.00	0.572	0.216	0.035	6.17	0.965	<b>0.046</b>	47.6%	8 мин	10 мин	16 мин	22 мин
DC4-IZ	7	3.02	0.431	0.359	0.021	9.87	0.964	<b>0.028</b>	17.6%	70.7%	89.0%	95.6%	97.7%
<b>Общо</b>	<b>34</b>	<b>17</b>	<b>0.487</b>				<b>0.962</b>	<b>0.041</b>					

СДЦ- 4бр (Ст.Гара, Св.Ана,Възраждане,Изгрев)- % покритие до 8 мин-93.8%

В табл. 13 са изложени обобщените резултати при различна интензивност на повикванията и при увеличение с 20% на времената за обслужване. Отново се

установява, че зависимостта на общия брой екипи от натоварването на системата като цяло е практически функционална. Това е важен извод, защото натоварването на системата може лесно да се следи. На практика е необходимо за всяко повижаване, което е класифицирано с код 1 на спешност се да засича времето от потегляне на екипа до завръщане в базата.

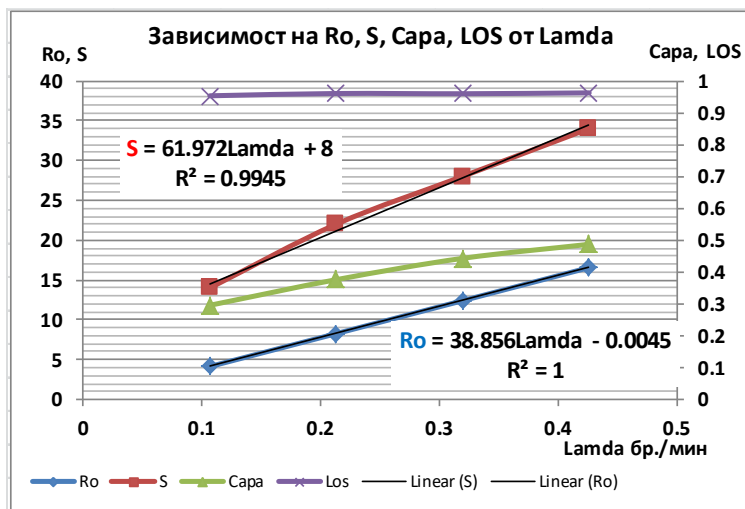


фиг. 3 Зависимост на броя екипи от натоварването

Ако в база  $i$ ,  $i=1, \dots, n_{DC}$  за време  $T$  има  $N_i^T$  повижавания с код 1 и всяко от тях има време  $ts_{ij}$  от потегляне до връщане на екипа, то натоварването на база  $i$  -  $Ro_i$  и общото натоварване на системата  $Ro$  се определят лесно с формули (1) и (2):

$$(1) \quad Ro_i = \sum_{j=1}^{N_i^T} \frac{ts_{ij}}{T} \text{ бр.} \quad (2) \quad Ro = \sum_{i=1}^{n_{DC}} \frac{ts_{ij}}{T} \text{ бр.}$$

На фиг.4 са представени зависимостите на  $Ro$ ,  $S$ ,  $Сара$ ,  $LOS$  от интензивността на спешните повижавания за вариантите с увеличение с 20% на времената за обслужване. Установява се, че зависимостта на общото натоварване  $Ro$  от интензивността на повижаванията е функционална  $Ro=0.0045+38.856.Lambda$ , като коефициента на детерминация е  $R^2=1$ .



фиг.4 Зависимост на  $Ro, S, Сара, LOS$  от интензивността на повижаване

### С. ЗАВИСИМОСТ НА ОБЩИЯ БРОЙ ЕКИПИ В СИСТЕМАТА ОТ НАТОВАРВАНЕТО НА СИСТЕМАТА

Получените зависимости на броя на екипите в различните варианти със и без увеличение на времената за обслужване са много близки, което дава основание да се изследва тази зависимост въз основа на резултатите от всички варианти, т.е.  $S=f(Ro)$ .

Получената линейна зависимост отново показва наличието на практика на функционална зависимост с коефициент на детерминация  $R^2 = 0.9958$ .

$$(3) \quad S = 8.4294 + 1.5702Ro \text{ бр.}$$

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Разработеният модел реализира приложимостта на структурирането и оптимизацията на системата за СМП, свързани с изследване на интензивността на потока от повиквания по райони. Направен е анализ на устойчивостта на модела за определяне на оборота на линейките и респективно броя на медицинските екипи, които да покриват ниво на обслужване по-високо от 0,95, и % на покритие до 8 мин.. При увеличение с 10% на параметрите на обслужване, може да се направи извода, че модела е устойчив, тъй като общия LOS от 0.967 е спаднал на 0.955, но все още е над 0.95. Незначително е изменението на останалите ключови резултатни показатели. Но при увеличение с 20% на параметрите за обслужване не може да се осигури общия LOS да е по-голям от 0.95 без увеличение на броя на екипите. В разгледания базов вариант - с 4 броя центрове и местоположения: (1) DC1-ST\_1, (2) DC2-ST\_2, (3) DC3-VA и (4) DC4-IZ; покритие до 8 мин. – 93,8 % от населението, като необходимия брой екипи са 20 бр., натоварването на системата е 8,27 с относителна заетост  $S_{ara} = 0.376$ , интензивност на повиквания 0,213 и ниво на обслужване 0,960. В следствие на влиянието на непокрытите райони вероятността за отговор (достигане на екипа до повикването) до мин 8 е 0.703. При вариант с увеличение 2 пъти от базовия, със същите 4 броя центрове; покритие до 8 мин. – 93,8 % от населението, като необходимия брой екипи са 34 бр., с относителна заетост  $S_{ara} = 0.483$ , интензивност на повиквания 0,426, ниво на обслужване 0,962 влиянието на непокрытите райони вероятността за отговор (достигане на екипа до повикването) до мин 8 е 0.707. От обобщените резултати при различна интензивност на повикванията и при увеличение с 20% на времената за обслужване се установява, че зависимостта на общия брой екипи от натоварването на системата като цяло е практически функционална, т.е. натоварването на системата лесно може да се проследи, като се засече оборота на линейката.

### **Приносителите на реализирания модел са в следните направления:**

- Използването на комбиниран подход на аналитично и имитационно моделиране, позволява да се обективират показателите оборот на екипите и необходимия им брой за осигуряване на зададено ниво на обслужване.
- Определяне на емпиричните вероятностни разпределения на времената за оборот на екипите и на времената за отговор при код –червено.
- Установяване на функционална зависимост на общия брой на екипите от натоварването на системата.
- Определянето на необходимия брой екипи (общо и по центрове) в зависимост от интензивността на повикванията позволява да се приложи модела за определяне на необходимия брой екипи за периодите с различна интензивност [7].

### **Насоки за бъдещи изследвания**

Получените резултати от модела за покритие, позволява даден район да бъде покрит от повече от един център. Това позволява в имитационния модел да се изследва възможността за концентрация на броя на екипите в дадени бази, разполагащи с по-добра техническа съоръженост. Времето за реакция въпреки, че е с по висока стойност да осигурява стандарта на покритие от 8 мин. Имитационният модел ще позволи да се изследва чувствителността му спрямо това емпирично решение.

## ЛИТЕРАТУРА:

[1] К. Карагъзов, П. Стоянова, Симулационен модел за определяне на необходимия брой спешни екипи при определен брой и местоположение на центровете за спешна помощ за град София, XXIV МЕЖДУНАРОДНА НАУЧНА КОНФЕРЕНЦИЯ “ТРАНСПОРТ 2019“, Научно електронно списание „Механика Транспорт Комуникации“ ISSN 1312-3823 (print), ISSN 2367-6620(online), бр.3,2019, статия ID:1781

[2] Стоянова П., К. Карагъзов, Изследване върху покритието на ЦСМП по брой и местоположение според определените стандарти за спешност, Научно електронно списание „Механика Транспорт Комуникации“ ISSN 1312-3823 (print), ISSN 2367-6620 (online), бр.3/2016, статия ID:1306, Научен форум “Ефективност на транспортните системи”, Факултет „Транспортен мениджмънт“ при ВТУ „Тодор Каблешков”, 22 - 23 юни 2016 г. , Банско., 2016г.

[3] Abuizam R., The Potential Deployment Of Set Covering And Location-Assignment Model: The Case Of Locating Trauma Centers At The Midwest Region, Journal of Business Case Studies – Fourth Quarter, Volume 10, Number 4, 2014.

[4] Marianov V., Re Velle C., The queueing maximal availability location problem: A model for the siting of emergency vehicles, European Journal of Operational Research 93 110-120, 1996.

[5] Sudtachat K., Strategies to improve the efficiency of emergency medical service (EMS) systems under more realistic conditions, All Dissertations. Paper 1359., 2014

[6] White J. and Case K., On covering problems and the central facility location problem, Geographical Analysis 6, 281, 1974 .

[7] К. Карагъзов, П. Стоянова, Аналитико-имитационен подход за планиране на ресурсите за обслужване, като система за масово обслужване при нестационарен входящ процес, XIII INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE “MANAGEMENT AND ENGINEERING ’15, юни 21-24 2015 г, Созопол.ISSN 1310-3946, ISSN 1314-6327, ТУ,- София, 2015г., 2015г.



\*GPSS модел на работата на системата за спешна медицинска помощ

Исходни параметри:

```

INITIAL X$Lamda,0.213 ;Интензивност на повикване br./min
INITIAL X$PercenALS,0.21 ;% КОИТО СА ЗА Code-1
INITIAL X$to_c,2 ;време за реакция -mode
INITIAL X$to_a,0.8 ;време за реакция -min
INITIAL X$to_b,2.5 ;време за реакция -max
INITIAL X$Cvtji,0.15 ;коэф. на вариация на време от СЦ до повикване
INITIAL X$PercenRet,0.768 ;% КОИТО НЕ СА ЗА БОЛНИЦА
* Време за обслужване на място при превоз в болница
INITIAL X$tD1_c,20 ; време за обслужване в дома- mode
INITIAL X$tD1_a,10 ; време за обслужване в дома- min
INITIAL X$tD1_b,25 ; време за обслужване в дома- max
* Време за обслужване на място без превоз в болница
INITIAL X$tD2_c,25 ; време за обслужване в дома- mode
INITIAL X$tD2_a,15 ; време за обслужване в дома- min
INITIAL X$tD2_b,30 ; време за обслужване в дома- max
* При obsл. в болница-времена -до болница,престой в болница и до СЦ
INITIAL X$tcomp_c,45 ; време tcomp- mode
INITIAL X$tcomp_a,31 ; време tcomp-min
INITIAL X$tcomp_b,65 ; време tcomp- max
INITIAL X$Cvtij,0.15 ;коэф. на вариация на време от СЦ до повикване

* Variables *
*****
*Инициализиране на променлива с име IAT, на която се присвояват експоненциално
*разпределени интервали от време между пристигане на заявките(транзактите)
*на входа
IAT FVARIABLE (ProbabilityDistribution(1,(1/X$lamda),1))

*****
* Functions *
*****

TYPE FUNCTION RN2,D2 ;Дефиниране на функция TYPE, връщаща като стойност вида на спешното повикване
0.21,1/1,2

REGION FUNCTION RN2,D24;Дефиниране на функция REGION, връщаща като стойност номера на региона
0.03501227,1/0.061,2/0.087,3/0.136,4/0.182,5/0.246,6/0.285,7/0.367,8/0.421,9/0.448,10/0.507,11/0.543,12/0.595,13/0.646,14/0.
670,15/0.725,16/0.740,17/0.785,18/0.826,19/0.843,20/0.932,21/0.943,22/0.982,23/1.000,24

BASE FUNCTION P2,L24 ;Дефиниране на функция BASE, връщаща като стойност на номера на базата, обслужваща региона
1,1/2,4/3,3/4,4/5,3/6,3/7,4/8,2/9,3/10,1/11,1/12,3/13,2/14,1/15,2/16,3/17,3/18,4/19,3/20,4/21,3/22,3/23,3/24,2
* за всеки спешен център в зависимост от избрания регион P3 се определя времетраянето
Dc1Ta equ 1
Dc2Ta equ 2
Dc3Ta equ 3
Dc4Ta equ 4

Dc1Ta FUNCTION P2,D3
10,2/11,3.67/14,3,4
Dc2Ta FUNCTION P2,D4
8,3.8/13,5.43/15,5.62/24,13.02
Dc3Ta FUNCTION P2,D12
1,1/3,3/5,6.6/6,4.2/9,5.1/12,4/16,3.4/17,14.9/19,5.9/21,6.4/22,12.1/23,7.8
Dc4Ta FUNCTION P2,D5
2,1/4,7.9/7,2.56/18,4.3/20,24.15

```

Фиг.1 GPSS модел на системата за спешна медицинска помощ

To	Fvariable (triangular(5, X\$to_a, X\$to_b, X\$to_c))		
Tobji	Fvariable FN*3		
Tobjj	Fvariable V\$Tobji		
TD_1	Fvariable (triangular(23, X\$tD1_a, X\$tD1_b, X\$tD1_c))		
TD_2	Fvariable (triangular(23, X\$tD2_a, X\$tD2_b, X\$tD2_c))		
TDcomp	Fvariable (triangular(23, X\$ttcomp_a, X\$ttcomp_b, X\$ttcomp_c))		
TimeInSys	TABLE	MP10,1,2,50	
ReponseT	TABLE	MP20,0,2,30	
DC_1	EQU	1	
DC_1	STORAGE	4	
DC_2	EQU	2	
DC_2	STORAGE	4	
DC_3	EQU	3	
DC_3	STORAGE	8	
DC_4	EQU	4	
DC_4	STORAGE	4	
<b>*GPSS основен модел</b>			
	Generate V\$IAT		
спешно повикване	ASSIGN	1,FN\$TYPE	;Присвоява на параметър 1 типа на
на региона	ASSIGN	2,FN\$REGION	;Присвоява на параметър 2 номера
линейки	ASSIGN	3,FN\$BASE	;Присвоява на параметър 3 базата с
ExitsNet	TEST NE	P1,1,ExitsNet	;Ако типа повикване не е 1 към
	MARK	10	
	MARK	20	
<b>*Оборот на линейката</b>			
база P3	ADVANCE	V\$To	; обработка на повикване
параметър 3	QUEUE	P3	;Опашка в чакане на линейка от
от база P3	ENTER	P3	; Заема линейка от база записана в
	DEPART	P3	;освобождава опашката за линейка
	ADVANCE	(triangular(1,0.95#V\$Tobji,1.1#V\$Tobji,V\$Tobji))	;времетражуване от ДЦ до регион
	TABULATE	ReponseT	
	TRANSFER	X\$PercenRet,,NoH	
връщане в база	ADVANCE	V\$STD_1	; престой в дома
	ADVANCE	V\$TDcomp	;време до болница, в болница и
NoH	TRANSFER	,Term	
	ADVANCE	V\$STD_2	; престой на място без болница
TERM	ADVANCE	V\$Tobjj	; връщане в базата
	LEAVE	P3	
ExitsNet	TABULATE	TimeInSys	; освобождава линейката
	TERMINATE	1	

```

INITIAL X$Lamda,0.213 ;Интензивност на повикване br./min
INITIAL X$PercenALS,0.21 ;% КОИТО СА ЗА Code-1
INITIAL X$Sto_c,2 ;време за реакция -mode
INITIAL X$Sto_a,0.8 ;време за реакция -min
INITIAL X$Sto_b,2.5 ;време за реакция -max
INITIAL X$Cvtji,0.15 ;коэф. на вариация на време от СЦ до повикване
INITIAL X$PercenRet,0.768 ;% КОИТО НЕ СА ЗА БОЛНИЦА
* Време за обслужване на място при превоз в болница
INITIAL X$tD1_c,20 ; време за обслужване в дома- mode
INITIAL X$tD1_a,10 ; време за обслужване в дома- min
INITIAL X$tD1_b,25 ; време за обслужване в дома- max
* Време за обслужване на място без превоз в болница
INITIAL X$tD2_c,25 ; време за обслужване в дома- mode
INITIAL X$tD2_a,15 ; време за обслужване в дома- min
INITIAL X$tD2_b,30 ; време за обслужване в дома- max
* При obsл. в болница-времена -до болница,престой в болница и до СЦ
INITIAL X$tcomp_c,45 ; време tcomp- mode
INITIAL X$tcomp_a,31 ; време tcomp-min
INITIAL X$tcomp_b,65 ; време tcomp- max
INITIAL X$Cvtij,0.15 ;коэф. на вариация на време от СЦ до повикване

*
Variables
*****
*Инициализиране на променлива с име IAT, на която се присвояват експоненциално
*разпределени интервали от време между пристигане на заявките(транзактите)
*на входа
IAT FVARIABLE (ProbabilityDistribution(1,(1/X$lamda),1))

*****
*
Functions
*****

TYPE FUNCTION RN2,D2 ;Дефиниране на функция TYPE, връщаща като стойност вида на спешното повикване
0.21,1/1,2

REGION FUNCTION RN2,D24;Дефиниране на функция REGION, връщаща като стойност номера на региона
0.03501227,1/0.061,2/0.087,3/0.136,4/0.182,5/0.246,6/0.285,7/0.367,8/0.421,9/0.448,10/0.507,11/0.543,12/0.595,13/0.646,1
4/0.670,15/0.725,16/0.740,17/0.785,18/0.826,19/0.843,20/0.932,21/0.943,22/0.982,23/1.000,24

BASE FUNCTION P2,L24 ;Дефиниране на функция BASE, връщаща като стойност на номера на базата, обслужваща
региона
1,1/2,4/3,3/4,4/5,3/6,3/7,4/8,2/9,3/10,1/11,1/12,3/13,2/14,1/15,2/16,3/17,3/18,4/19,3/20,4/21,3/22,3/23,3/24,2
* за всеки спешен център в зависимост от избрания регион P3 се определя времетраянето
Dc1Ta equ 1
Dc2Ta equ 2
Dc3Ta equ 3
Dc4Ta equ 4

Dc1Ta FUNCTION P2,D3
10,2/11,3.67/14,3.4
Dc2Ta FUNCTION P2,D4
8,3.8/13,5.43/15,5.62/24,13.02
Dc3Ta FUNCTION P2,D12
1,1/3,3/5,6.6/6,4.2/9,5.1/12,4/16,3.4/17,14.9/19,5.9/21,6.4/22,12.1/23,7.8
Dc4Ta FUNCTION P2,D5
2,1/4,7.9/7,2.56/18,4.3/20,24.15

```

Фиг.1 GPSS модел на системата за спешна медицинска помощ (продължение)

Резултатите получени от симулациония модел са за 1 000 000 транзакции в блок TERMINATE 1 и се реализират с командата START 1000000.

**MODELING AND ANALYSIS OF SUSTAINABILITY OF DECISIONS ON  
LOCATION AND NUMBER OF TEAMS IN CENTERS FOR EMERGENCY  
MEDICAL ASSISTANCE**

**Kiril Karagyozov, Petya Stoyanova**  
[petia\\_8@abv.bg](mailto:petia_8@abv.bg), [kkaragyozov@yahoo.com](mailto:kkaragyozov@yahoo.com)

**“Todor Kableshkov” University of Transport**  
**Sofia, st. Geo Milev – 158**  
**Bulgaria**

**Keywords:** *Emergency medical system simulation, GPSS models, maximum set covering models*

**Abstract:** *The report is based on research that uses a combined approach of analytical and simulation modeling, allowing to objectify the indicators of team turnover and the number needed to provide a given level of service. Main indicators on the basis of which it is estimated the number and location of mobile teams for emergency medical care are access time; population density; the opportunity to cover the area of more than 1 team. Time for employment of a team is formed by the times to travel to the location of the call, carrying out service on place, movement and delivery to the hospital and returning to the EMA center. Using a simulation model implemented at GPSS World, the stability of the optimization solutions for location is studied and an analysis is made regarding the number of emergency teams in each EMA center, with changes in the call intensity - 0.5, 0.75, 1.25, 1.5 and 2 times the base intensity of emergency calls 0.213 pcs / min., as well as in case of increase of the service times. For the basic model, with 4 bases centers of emergency medical assistance, 20 emergency teams are needed to provide a red code A1 red - to 8 minutes, providing coverage by area and population corresponding to LOS level > 0.95. Dependencies of the total number of teams on the system load are obtained.*