

# ИМИТАЦИОНЕН МОДЕЛ НА ПЕШЕХОДЕН СВЕТОФАР

## SIGNALIZED PEDESTRIAN CROSSING SIMULATION MODEL

### ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ПЕШЕХОДНОМ ПЕРЕХОДЕ

assist. prof. dr. eng. Dimitrov S.

Faculty of Transport Management, Higher School of Transport "Todor Kableshkov", Sofia, Bulgaria

**Abstract:** This paper presents a simulation model, developed using GPSS, with the main purpose to model the behavior of the system "signalized pedestrian crossing", functioning under various road conditions and scenarios.

**KEYWORDS:** SIMULATION, MODEL, SYSTEM, GPSS, SCENARIO, TRAFFIC FLOW, TRAFFIC SIGNAL PHASE, QUEUE LENGTH

#### 1. Увод.

Наблюдащата се напоследък, във връзка с търсене на работа, миграция на работната сила към големите градове, около и в които са съсредоточени големи производствени предприятия и заводи, бизнес центрове и офиси на фирми от частния сектор, доведе до нарастване на числеността на градското население и увеличаване на броя на личните леки автомобили. Големият брой движещи се лични автомобили усложниха пътната обстановка и допринесоха за задълбочаване на съществуващите транспортни проблеми – образуване на задръствания в пиковите часове на деня, способстващи за увеличаване на времепътването на населението с отделните видове транспорт на територията на града и натрупване на транспортна умора у пътниците, замърсяване на въздуха и околната среда с вредни емисии, недостиг на паркоместа за паркиране на лични и служебни автомобили в градските центрове и др. Оттук се породи и силна потребност от вземане на спешни мерки за прилагане на съвременни и ефективни методи и средства за разрешаване на належащите проблеми.

#### 2. Предпоставки и начини за разрешаване на проблема.

Сложността на транспортните системи не винаги позволява протичащите в тях процеси да бъдат описани аналитично, чрез познатите математически методи. Ето защо за разрешаване на възникналите проблеми и трудности може да се използва метода на имитационното моделиране [1], чрез което се извършва алгоритмично описание на процесите на функциониране на изследваната система. Имитационното моделиране намира все по-широко приложение в научните изследвания. То се явява мощно средство за разрешаване на разнообразни проблеми, тъй като позволява чрез извършване на симулации, използвайки имитационен модел [1,7], за кратко време и с минимални усилия и разходи да се изучи поведението на моделираната система и установят специфични особености, характеризиращи нейното функциониране.

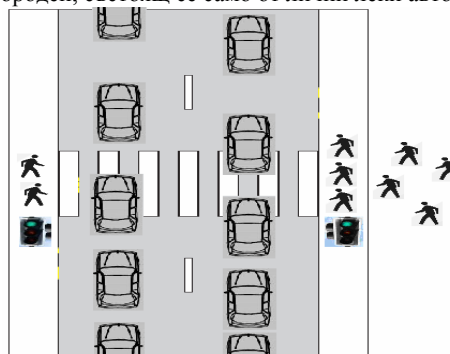
Приложението на имитационното моделиране за създаване на модели на сложни системи е неразривно свързано с ползването на компютрите и създавания в тази насока специализиран софтуер. Необходимостта от ползване на компютри възниква поради големия брой реализации на модела, които трябва да бъдат извършени при изследване на всички възможни сценарии. Следователно, за да се разработи адекватен имитационен модел, детайлно описващ моделираната система, е необходимо да се подбере подходящ инструмент за симулации. При съществуващото разнообразие от симулационен софтуер – универсални и специализирани програмни езици за непрекъснато и дискретно имитационно моделиране – изборът на изследователите обикновено се свежда до лесен за изучаване софтуер, позволяващ за най-малко време да се построи желания модел.

#### 3. Решение на проучения проблем.

За намаляване на трафика и справяне с образуващите се задръствания по градските пътни артерии, транспортните и пътните инженери най-често прибегват до действия, насочени

към увеличаване на пропускателната способност, чрез увеличаване броя на лентите за движение, както и увеличаване на допустимата скорост на движение на транспортния поток, оптимизирани на продължителността на светофарните цикли с помощта на създадени за целта модели [2,4,5,8], изграждане на надлези и подлези, построяване на естакади и въвеждане на организация на уличното движение на различни нива и др.

Възможна алтернатива за преодоляване на транспортни задръжки е разработеният имитационен модел, моделиращ работата на пешеходен светофар, регулиращ уличното движение при пресичане на движещият се по еднопътен двулентов участък транспортен поток с пешеходния (фиг. 1). За опростяване на модела е прието, че транспортния поток е еднороден, състоящ се само от лични леки автомобили.



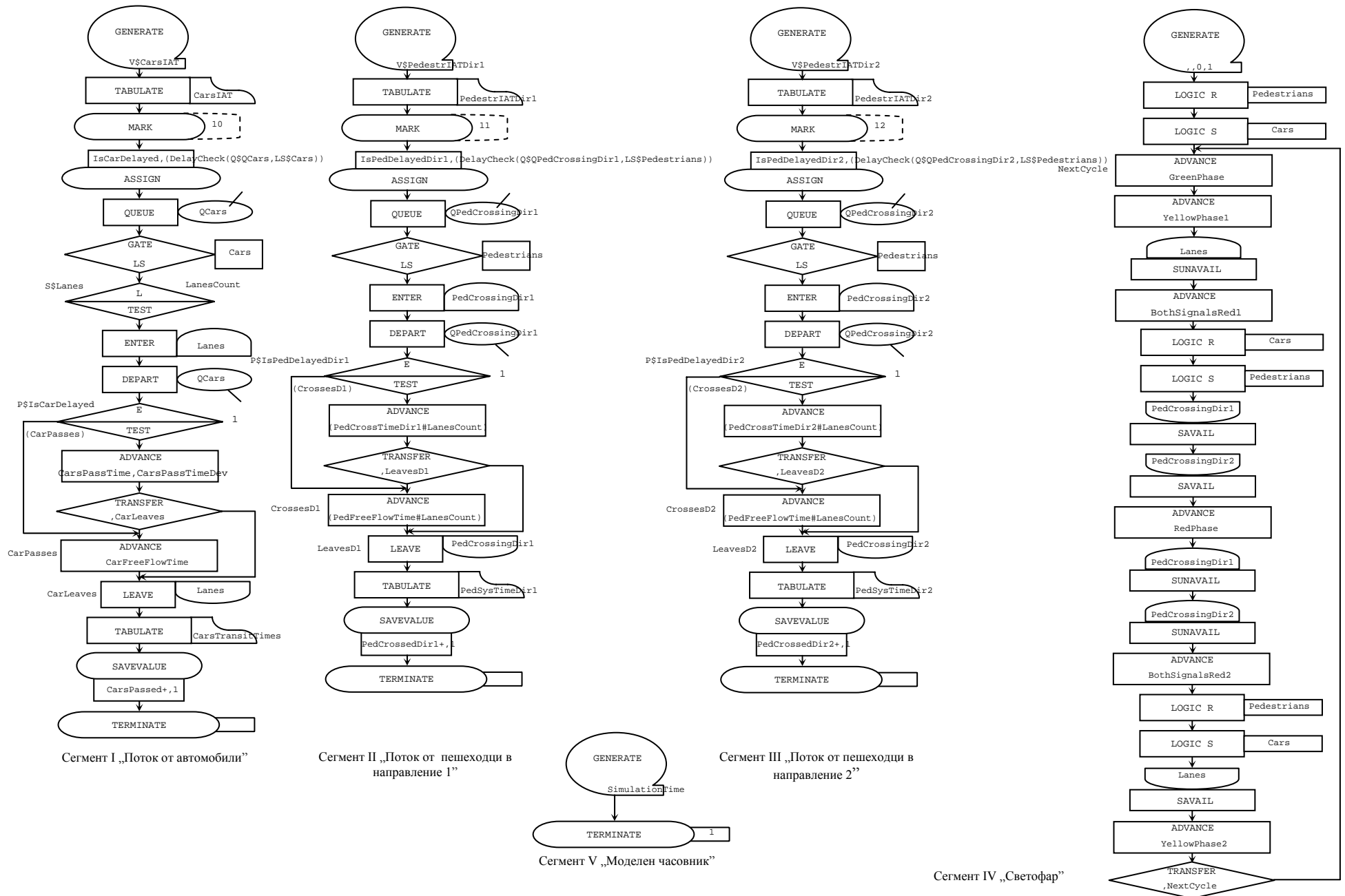
Фиг. 1. Схема на моделираната система

За програмната реализация на модела е използван специализирания език за имитационно моделиране GPSS World(tm) Student Version [6] продукт на Minuteman Software. GPSS спада към езиците за моделиране на дискретни системи. Имитационният модел е построен с последователно свързване на стандартни блокове в т.нар. блокова диаграма [3,4], указваща логическата структура на моделираната система. Динамичните компоненти в модела се представят чрез транзакти, които съгласно описаната в алгоритъма логика се придвижват последователно от един блок в друг. Всеки блок в модела изпълнява заложената в него функционалност. В GPSS World е предвидена възможност за създаване на потребителски процедури, чрез ползване на вградения в него програмен език PLUS (Programming Language Under Simulation) [6].

Разработеният с GPSS имитационен модел се състои от 5 на брой моделни сегменти, както следва:

- сегмент I, моделиращ потокът от пристигащи пред пешеходния светофар транспортни средства (автомобили);
- сегмент II, моделиращ потокът от пешеходци, пресичащи пътното платно в условно приетото направление 1;
- сегмент III, моделиращ пешеходния поток, пресичащ пътното платно в условно приетото направление 2;
- сегмент IV, моделиращ режима на работа на пешеходния светофар по смяна на сигналите за автомобили и пешеходци;
- сегмент V, изпълняващ функцията на моделен часовник, който контролира продължителността на симулацията.

Структурните блок-схеми на моделиращите алгоритми на разработения имитационен модел на пешеходен светофар са показани на фиг. 2. Програмният код на имитационния модел, написан на езика GPSS е представен на фиг. 3.



Фиг. 2. Структурни блок-схеми на моделиращите алгоритми на имитационния модел на пешеходен светофар

```

*****
*   Signalized Pedestrian Crossing Simulation Model   *
*****
***** Declaration Segment *****
*   Setting Seeds for Random Number Generators 1,2 & 3 *
*****
***** Constants *****
SimulationTime EQU 3600.0
CarsIAT EQU 4.4
PedestrIATDir1 EQU 5.0
PedestrIATDir2 EQU 5.0
GreenPhase EQU 42.0
YellowPhase1 EQU 3.0
BothSignalsRed1 EQU 9.0
RedPhase EQU 27.0
BothSignalsRed2 EQU 16.0
YellowPhase2 EQU 3.0
LanesCount EQU 2
CarsPassTime EQU 2.75
CarFreeFlowTime EQU 1.0
PedFreeFlowTime EQU 2.5
PedCrossTimeDir1 EQU 3.0
PedCrossTimeDir2 EQU 3.0
CarsPassTimeDev EQU 0.25
***** Variables *****
VARIABLE (EXPONENTIAL(1.0,CarsIAT))
VARIABLE (EXPONENTIAL(2.0,PedestrIATDir1))
VARIABLE (EXPONENTIAL(3.0,PedestrIATDir2))
***** Savevalues *****
INITIAL XSCarsPassed,0
INITIAL XSPedCrossedDir1,0
INITIAL XSPedCrossedDir2,0
***** Storages *****
Lanes STORAGE 2
PedCrossingDir1 STORAGE 5
PedCrossingDir2 STORAGE 5
***** Tables *****
CarsIAT TABLE VSCarsIAT,2,2,10
PedestrIATDir1 TABLE VPedestrIATDir1,2,2,10
PedestrIATDir2 TABLE VPedestrIATDir2,2,2,10
CarsTransitTimes TABLE M1,5,5,10
PedSysTimeDir1 TABLE MP1,5,5,10
PedSysTimeDir2 TABLE MP2,5,5,10
***** QTables *****
QueueCars QTABLE QCars,2,2,10
QueuePedDir1 QTABLE QPedCrossingDir1,2,2,10
QueuePedDir2 QTABLE QPedCrossingDir2,2,2,10
***** Modeling Segment *****
*   Cars Movement Modeling Segment   *
GENERATE VSCarsIAT
TABULATE CarsIAT
MARK IsCarDelayed,(DelayCheck(QSCars,LSCars))
ASSIGN QCars
GATE LS
TEST L S$Lanes,LanesCount
ENTER Lanes
DEPART QCars
TEST E P$IsCarDelayed,1,CarPasses
ADVANCE CarPassTime,CarPassTimeDev
TRANSFER ,CarLeaves
ADVANCE CarFreeFlowTime
LEAVE Lanes
TABULATE CarsTransitTimes
SAVEVALUE CarsPassed+,1
TERMINATE
***** Pedestrians Crossing Direction 1 Modeling Segment *****
GENERATE VPedestrIATDir1
TABULATE PedestrIATDir1
MARK IsPedDelayedDir1,(DelayCheck(QSPedCrossingDir1,LS$Pedestrians))
ASSIGN QPedCrossingDir1
GATE LS
ENTER PedCrossingDir1
DEPART QPedCrossingDir1
TEST E P$IsPedDelayedDir1,1,CrossesD1
ADVANCE (PedCrossTimeDir1#LanesCount)
TRANSFER ,LeavesD1
ADVANCE (PedFreeFlowTime#LanesCount)
LEAVE PedCrossingDir1
TABULATE PedSysTimeDir1
SAVEVALUE PedCrossedDir1+,1
TERMINATE
***** Pedestrians Crossing Direction 2 Modeling Segment *****
GENERATE VPedestrIATDir2
TABULATE PedestrIATDir2
MARK IsPedDelayedDir2,(DelayCheck(QSPedCrossingDir2,LS$Pedestrians))
ASSIGN QPedCrossingDir2
GATE LS
ENTER PedCrossingDir2
DEPART QPedCrossingDir2
TEST E P$IsPedDelayedDir2,1,CrossesD2
ADVANCE (PedCrossTimeDir2#LanesCount)
TRANSFER ,LeavesD2
ADVANCE (PedFreeFlowTime#LanesCount)
LEAVE PedCrossingDir2
TABULATE PedSysTimeDir2
SAVEVALUE PedCrossedDir2+,1
TERMINATE
***** Traffic Light Modeling Segment *****
GENERATE ,0,1
LOGIC R Pedestrians
LOGIC S Cars
ADVANCE GreenPhase
ADVANCE YellowPhase1
SUNAVAIL Lanes
ADVANCE BothSignalsRed1
LOGIC R Cars
Pedestrians
LOGIC S PedCrossingDir1
SUNAVAIL PedCrossingDir1
ADVANCE RedPhase
SUNAVAIL PedCrossingDir2
SUNAVAIL PedCrossingDir2
LOGIC R Pedestrians
LOGIC S Cars
SUNAVAIL Lanes
ADVANCE YellowPhase2
TRANSFER ,NextCycle
***** Simulation Clock Modeling Segment *****
GENERATE SimulationTime
TERMINATE 1
***** Realizations Count Modeling Segment *****
START 1
*****
CLEAR
RMULT 100,111,123
STORAGE 1
EQU 15
START 1
*****
CLEAR
RMULT 100,111,123
EQU 54
EQU 15
START 1
*****
PROCEDURE DelayCheck(QueueLength,LogicSet)
BEGIN
  IF ((QueueLength>0) 'OR' (LogicSet=0)) THEN
    BEGIN
      RETURN 1;
    END;
  ELSE
    BEGIN
      RETURN 0;
    END;
  END;
*****
***** END *****

```

Фиг. 3. Програмен код на имитационния модел на езика GPSS

#### 4. Резултати и дискусия.

Имитационният модел е приложен за симулиране работата на системата за период от 1 час (3600 сек.), при предварително зададени продължителности на отделните фази на светофарния цикъл (табл. 1). Реализирани са 3 на брой сценарии:

Сценарий 1: Симулиране на работата на пешеходен светофар при движение на потокът от автомобили по еднопосочен двулентов участък;

Сценарий 2: Симулиране на работата на пешеходен светофар при движение на транспортния поток по еднопосочен еднолентов участък. Чрез този сценарий е моделирано поведението на системата в случай, когато едната от наличните две ленти за движение от уличното платно е временно затворена поради ремонт, например и при условие, че времената за фазите от първия сценарий остават непроменени;

Сценарий 3: Симулиране на работата на пешеходен светофар при движение на автомобилите по еднопосочен еднолентов участък, с актуализирани продължителности на фазите на светофарния цикъл (табл. 2). За намаляване на неограничено растящата опашка от автомобили, наблюдаваща се при сценарий 2, работата на системата при сценарий 3 е симулирана, след като времетраенето на светофарните фази е съобразено с временно въведената организация на движение в една лента и с отчитане на резултатите, получени в сценарий 2.

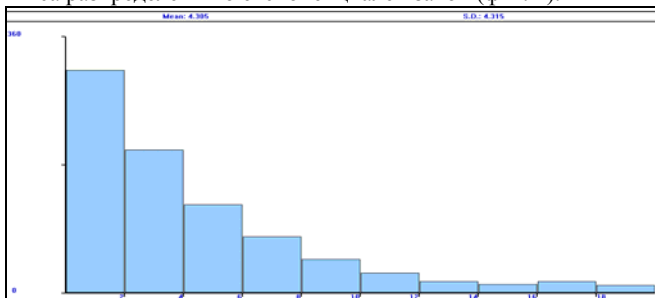
Табл. 1. Времетраене на фазите на светофарния цикъл на автомобил и пешеходен светофар при сценарии 1 и 2

Сигнали на автомобилен светофар	З	Ж	ЧЧ	Ч	ЧЧ	Ж
Сигнали на пешеходен светофар	Ч	ЧЧ	Ч	ЧЧ	Ч	Ч
Времетраене на фазите, сек.	42	3	9	27	16	3

Табл. 2. Времетраене на фазите на светофарния цикъл на автомобил и пешеходен светофар при сценарий 3

Сигнали на автомобилен светофар	З	Ж	ЧЧ	Ч	ЧЧ	Ж
Сигнали на пешеходен светофар	Ч	ЧЧ	Ч	ЧЧ	Ч	Ч
Времетраене на фазите, сек.	54	3	9	15	16	3

За всички разгледани сценарии е прието, че потокът от автомобили е поасонов, т.е. интервалите между пристигането им са разпределени по експоненциален закон (фиг. 4).

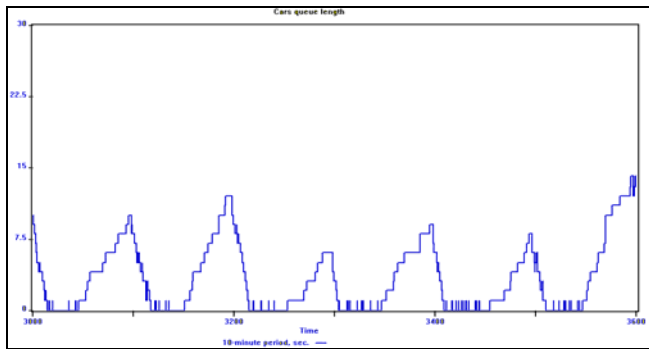


Фиг. 4. Хистограма на разпределение на интервалите от време между пристигане на автомобилите

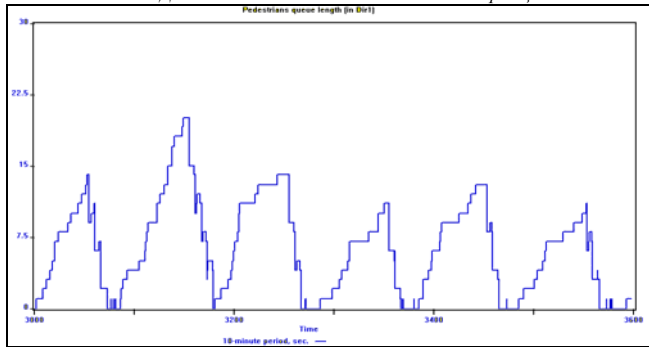
С цел по-ясно визуализиране на динамичното изменящите се в хода на симулацията опашки от автомобили и пешеходци, на диаграмите за сценарий 1 (фиг. 5, 6 и 7) е показан 10-минутен отрязък от време, което дава възможност да се наблюдава процеса на първоначално натрупване на опашка след светване на червен сигнал и нейното последващо разреждане по време на зеления сигнал. Процесът на разреждане на опашката от автомобили (фиг. 5) протича по-равно отколкото при опашката от пешеходци (фиг. 6 и фиг. 7).

За съпоставка на резултатите от имитацията за всеки от 3-те сценарии, последователно на фиг. 8, 9 и 10 графично е представено изменението на дължините на опашките от автомобили във времето. Вижда се, че за разлика от сценарий 1, при който системата работи нормално, без претоварване и образуване на големи опашки от чакащи автомобили (фиг. 8), при сценарий 2 (фиг. 9) се наблюдава непрекъснато нарастваща опашка от автомобили, която е намалена след задаване на подходящи времена за фазите в светофарния цикъл (фиг. 10).

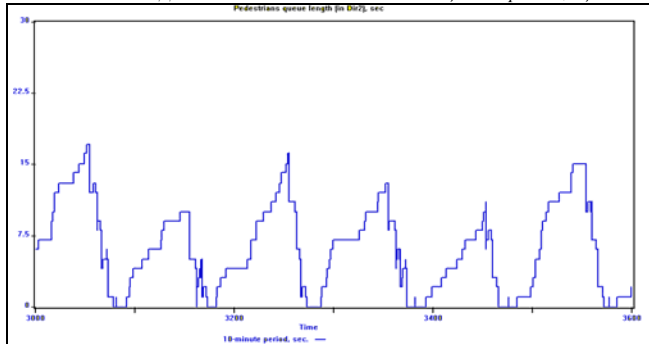
Полученият брой преминали автомобили и пешеходци, средни стойности за дължини на опашки и средни времена за престой (чакане) в опашките за автомобили и пешеходци, пресичащи пътното платно и в двете направления, при зададените светофарни фази, както и максималните дължини на опашките за периода на симулацията, са подредени в табл. 3.



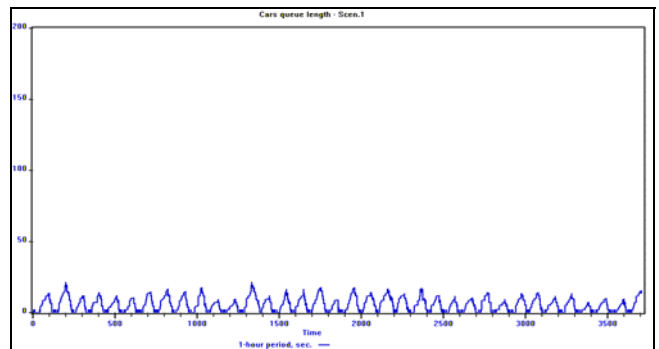
Фиг. 5. Дължина на опашката от автомобили при сцен. 1



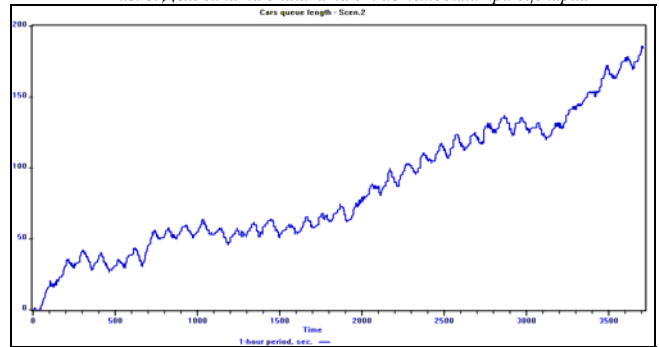
Фиг. 6. Дължина на опашката от пешеходци в направл. 1, сцен. 1



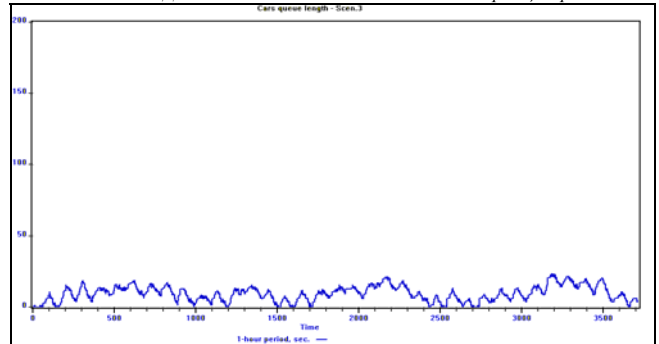
Фиг. 7. Дължина на опашката от пешеходци в направл. 2, сцен. 1



Фиг. 8. Дължина на опашката от автомобили при сценарий 1



Фиг. 9. Дължина на опашката от автомобили при сценарий 2



Фиг. 10. Дължина на опашката от автомобили при сценарий 3

Табл. 3. Резултати от симулациите

Сценарий №	Брой ленти за движение на автомобили	Времетраеие на зелена фаза за автомобили, сек.	Времетраеие на червена фаза за пешеходци, сек.	Максимална дължина на опашката от автомобили, бр. авт.	Среден брой			Максимална дължина		Средно време			Преминали		
					автомобили в опашката	пешеходци в опашката за направление 1	пешеходци в опашката за направление 2	на опашката от пешеходци, бр. пеш.	за направление 1	за направление 2	за престой на автомоб. в опашката, сек.	за престой на пешеходци в опашката за напр. 1, сек.	за престой на пешеходци в опашката за напр. 2, сек.	автомоб. бр./час	пешеходци за направление 1, бр./час
1	2	42	27	20	4,5	7,8	6,3	30	22	18,9	38,4	33,3	832	730	681
2	1	42	27	165	83,5	6,0	5,4	27	22	367,3	29,5	28,5	634	730	681
3	1	54	15	23	8,9	8,7	7,5	30	24	40,5	43,0	39,5	782	730	681

## 5. Заключение.

Разработеният имитационен модел, симулиращ пропускателния режим на автомобили и пешеходци на пешеходен светофар, притежава следните предимства:

1. Моделът е гъвкав, тъй като позволява да се симулира движение на автомобилите в повече от една на брой ленти.

2. Дава възможност за подобряване на организацията на движение в еднопосочен участък, пресечен от светлинно регулиран пешеходен преход. Тъй като поради липса на емпирични данни моделните експерименти са извършени с ползване на примерни, за осъществяване на горният замисъл, е необходимо калибриране на модела с реални данни.

3. След допълнителна обработка и усложняване, съществуващият модел би могъл да се разшири до модел:

3.1. отчитащ размери и брой на отделните видове транспортни средства, т.е. разнороден транспортен поток;

3.2. симулиращ двупосочно движение на автомобилите по участък на пресичане на пътя от пешеходен светофар;

3.3. симулиращ работата на пешеходен светофар в пряка зависимост от разположен след него друг светофар.

4. Предложеният имитационен модел може да послужи като основа при разработване на модел с динамично променяща се продължителност на фазите на светофара.

## 6. Литература.

### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Качаунов, Т. Т., Карагъзов, К. Ст., Купенов, Д. П., Размов, Т. К., "Имитационно моделиране на транспортните процеси", Печатница ВВТУ "Тодор Каблешков", София, 1998г.
- [2] Кудрявцев, Е. М., "GPSS World. Основы имитационного моделирования различных систем", ДМК Пресс, Москва, 2004 г.
- [3] Шрайбер, Т. Дж., "Моделирование на GPSS", Машиностроение, Москва, 1980 г.
- [4] Bobillier, P. A., Kahan, B. C., Probst, A. R., "Simulation with GPSS and GPSS V", Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1976
- [5] Bonisch, C., Kretz, T., "Simulation of Pedestrians Crossing a Street", PTV Planung Transport Verkehr AG, 2009
- [6] GPSS World(tm) Reference Manual, Minuteman Software
- [7] Solomon, S. L., "Simulation of Waiting Line Systems", Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1983
- [8] Zhicai, J., Yinsheng, Y., "A Traffic Simulation Model for Analysing Capacity and Service Level at Signalized Roundabouts", Journal of Systems Science and Systems Engineering, 1997, Vol. 6, No. 1, pp. 29-36.