

## СРЕДСТВА ЗА СИМУЛАЦИЯ НА СИСТЕМИ ЗА МАСОВО ОБСЛУЖВАНЕ - ОБЗОР НА ВЪЗМОЖНОСТИТЕ ИМ

Е. Саранова<sup>1,2</sup>, Ст. Порязов<sup>1</sup>, Г. Петров<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт по математика и информатика – БАН

<sup>2</sup>Колеж по телекомуникации и пощи, София  
e-mail: emiliya@cc.bas.bg, stoyan@cc.bas.bg

### **Резюме:**

*Целта на изследването е да се проучат съвременните разбирания за понятията: модели, моделиране, симулация, верификация и валидация; както и на възможностите на най-разпространените средства за симулация на системите за масово обслужване (СМО); да се уточнят основни характеристики, въз основа на които да бъдат сравнени средствата за симулация; да се сравнят най-разпространените средства за симулация въз основа на уточнените характеристики; да се прецени кое от разгледаните средства за симулация е най-подходящо за моделиране на системи за масово обслужване, при нашите условия.*

*Резултатите от изследването могат да се приложат при избор и използване на средства за симулация за анализ на логистични мрежи, както и при някои системи за масово обслужване.*

**Keywords:** *Simulation Modeling, Queuing Theory, Service Networks, Simulation Tools.*

### **Въведение**

Три са основните стълбове на науката: теория, физически експеримент и изчислителна наука (изчислителен експеримент)[6].

Практиката показва, че добър начин за определяне на свойствата на даден обект е натурният експеримент, т.е. изследване на свойствата и поведението на самия обект в реални условия. Понякога по-полезен е експеримент със самия обект, но при определени от експериментатора условия, т.н. “физически експеримент”. Физическият експеримент е необходим, но понякога е невъзможен или нецелесъобразен [1].

При проектирането, проблемът е в това, че обектът не съществува и за бъдещото му взаимодействие с околната среда не могат да бъдат отчетени много от факторите, а за други се използват хипотетични, или нови, недостатъчно проверени данни, и др.

Основен начин за преодоляване на ситуацията е методът на моделирането – създаване на друг обект, наречен “модел” и изучаването му (симулация), вместо изследвания.

**Целта на статията е:** да се проучат възможностите на най-разпространените средства за моделиране и симулация, при изследване и проектиране на системи за масово обслужване и да се прецени кое от разгледаните такива е най-подходящо, при нашите условия.

За това е необходимо да се уточнят основни характеристики, въз основа на които да бъдат сравнени качествата на средствата за моделиране и симулация и да се сравнят тези средства, въз основа на уточнените характеристики;

Получените резултати от изследването могат да се приложат при използване на средства за симулация за анализ на логистични мрежи, както и при някои системи за масово обслужване.

## **Модели и моделиране**

Основни понятия и определения

Има много и различни определения на понятието “модел”. Например в [11] има посочени поне 25 значения на думата. Ние ще използваме определението:

**модел** – апроксимация, представяне или идеализация на избрани аспекти на структурата, поведението, операциите, или други характеристики на реален процес, концепция, или система [12].

**Моделирането** е създаване на модел, което включва в себе си: създаване на обекта, който ще се използва (с определена цел) като модел на друг обект, верификация и валидация на модела.

**Валидация на модела** е процесът на определяне на степента в която изискванията, проекта или реализацията на модела отговарят на избраните аспекти на моделираната система [12]. С други думи, определяне на степента на съответствие между модела и моделирания обект.

**Верификация на модела** е процесът на определяне на степента в която стъпките на реализация на модела съответстват една на друга. Например съответствията между изискванията и проекта; между проекта и реализацията му [12]. Друг пример, при математически модели - доколко аналитичното решение на системата уравнения е вярно и пълно; доколко числените пресмятания, по намереното решение, са надеждни и точни. С други думи, верификацията разглежда правилността на реализация на модела, а не неговата валидност.

**Симулация** е процесът на използване на един модел, който има поведение или действия (оперира) както моделираната система [12]. Такъв модел, обикновено, се нарича *поведенчески* или **симулационен модел**. От руски език, у нас е дошъл и често се използва термина “имитационен модел”.

Друго виждане за симулацията е всяко използване на един обект, като модел на друг обект [13].

Привеждаме и друго виждане за моделирането:

**моделиране** – един от етапите на познавателната дейност на субекта, включваща в себе си разработка (избор) на модел, провеждане на изследвания върху модела, получаване и анализ на резултати, извеждане на препоръки за по-нататъшната работа на субекта и оценяване качествата на модела относно решаваната задача, отчитайки конкретните условия [6].

Следователно, моделирането представлява заместването на един обект с друг с цел получаване на информация за най-важните (за даден проект) свойства на обекта-оригинал. Обектът-заместител се нарича модел. Моделът представлява едновременно *средство при експеримента*, заменящ изучавания обект и *обект на експеримента*, понеже експериментите се провеждат с модела. За да бъде оправдано пренасянето на свойствата на модела върху оригинала, между модела и оригинала, трябва да има определено сходство, *подобие*.

## Видове модели

Съществуват голям брой класификации на моделите, в зависимост от това: 1) какво, 2) с какво и 3) как се моделира. Тук ще изброим някои класификации, като отбележим, че често в практиката на моделирането присъстват хибридни, (съставени от разнородни компоненти) модели, съчетаващи различни подходи и техники за моделиране:

Според това, дали се моделира статичната, или динамичната страна на една система – моделите се наричат статични, или динамични. В много случаи се налага да се моделират и двете страни, тогава се говори просто за *модел на системата*;

Според начина на моделиране на причинно-следствените (каузални) връзки, моделите са детерминирани и стохастични (вероятностни). Обикновено в стохастичните модели присъстват и детерминирани зависимости;

Според начина на моделираните на процесите, моделите са дискретни и непрекъснати. Има случаи, при които процеси, считани за непрекъснати, се моделират дискретно, например хода на времето. Понякога дискретни системи да се моделират като непрекъснати, например системите за масово обслужване могат да се моделират посредством модели описващи потоци на течности;

По вида на моделиращите обекти, моделите са материални (механични, електрически, химични и т.н.), мисловни (каквито ползва всеки човек) и идеални (абстрактни).

**Абстрактните** модели използват описания (но не самите обекти, очевидно) на математически и информационни обекти и действия с тях.

**Математическите** модели (моделиращите обекти са математически - уравнения, неравенства, символи, числа, множества и др.) са типични абстрактни модели за количествено описание. Основават се на формално (най-често - аналитично) описание на изследвания процес чрез функционални съотношения: системи алгебрични, диференциални, интегрално - диференциални уравнения, логически условия. или други математически обекти. Математическият модел, който е абстрактен образ на моделирания обект или процес, не може да бъде техен пълен аналог. Достатъчно е сходството в тези елементи, които определят целите на проучването. За качествена оценка на адекватността на сходството между модел и обект, се използват понятията хомоморфизъм, изоморфизъм и

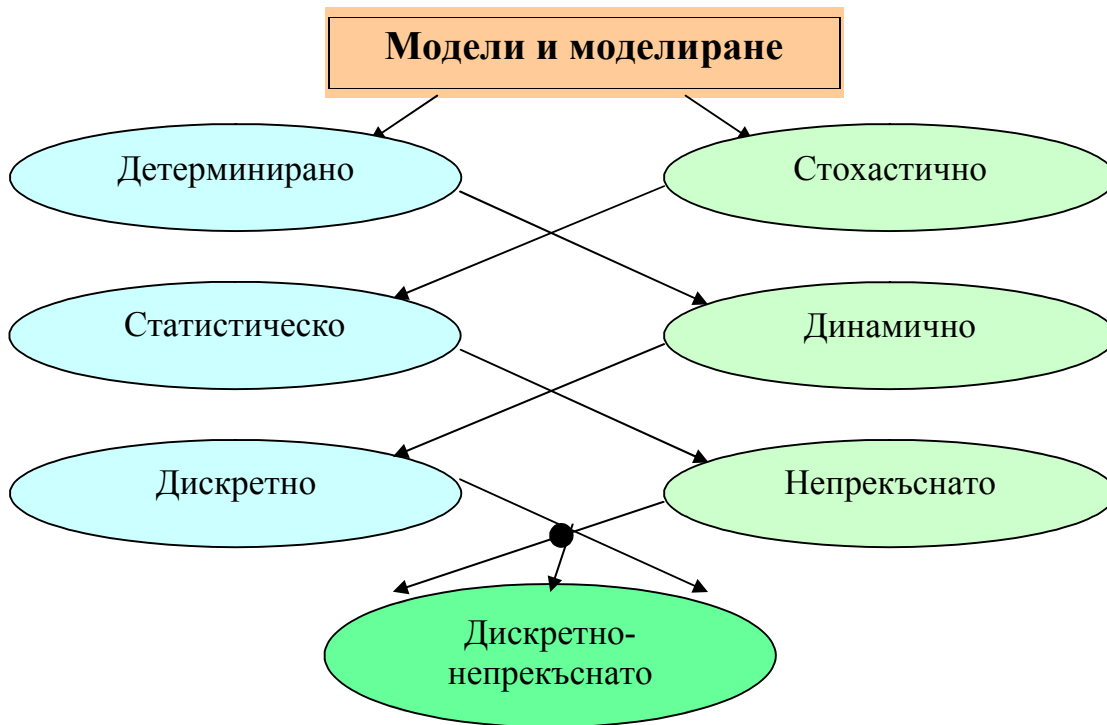
изофункционализъм. Окончателната преценка за адекватността на модела дава практиката, съпоставяйки модела в сравнение с реалния обект [1].

**Компютърните модели** представляват абстрактно описание на изследваната система, посредством информационни обекти, с които могат да се извършват информационни операции. Това може да се извършва ръчно, но поради обемистата, формална и трудна работа, едни от първите създадени компютърни езици, са специализирани езици за моделиране и симулация. Например езикът GPSS (General Purpose Simulating System), предназначен за дискретно моделиране е публикуван в 1961 г. [14].

По време на симулацията, посредством цифровите (дискретни) компютри, се използват и псевдо-случайни числа, които се генерират по специални алгоритми и са неотличими от случайните числа, при специализираните тестове. При аналоговите (с непрекъснато действие) компютри, се използват физически генератори на случайни числа. Въпреки несравнимо по-голямото им бързодействие, поради различни, предимно технологични, причини, аналоговите компютри се използват рядко понастоящем. За повечето непрекъснати модели се използват дискретни компютри и съответни езици за програмиране и симулация. Един от първите такива е DSL (Digital Simulation Language) разработен през 1964 [16]. Предварителните реализации на GPSS и DSL са използвали първият компютърен език от високо ниво – FORTRAN, публикуван в 1956 г. [15].

Поради факта, че компютърните модели използват описания на информационни обекти и операции с тях, през 1963 год. те са наречени “информационни модели” [17]

Някои типове модели са показани на фиг. 1:



Фиг. 1. Класификация на модели и моделиране

#### Цели на моделирането:

- ✓ **Прогнози и проектиране** - оценка на поведението на системата при определено съчетание на управляемите и неуправляеми параметри на системата. Прогнозирането е главната цел на моделирането.
- ✓ **Обяснение и по-добро разбиране на обекта.** Често се срещат задачи за оптимизация и анализ на чувствителността. *Оптимизация* – това е точното определяне на такова съчетание на факторите и техните стойности, при които се осигурява най-доброто качество на системата, най-доброто въз основа на критерия за достигане целите на моделираната система. *Анализ на чувствителността* – измежду големия брой фактори влияещи върху системата да се изберат тези, чиито стойности в най-голяма степен влияят на функционирането на моделираната система. Изходните данни при това се явяват резултати от експерименти с модела [1].

### **Различия между компютърните и аналитичните модели**

1) Аналитичният модел се *решава* чрез математически методи (понякога с помощта на компютърни програми, извършващи аналитични преобразувания, дори доказателства на теореми), след което, обикновено, симулацията на обекта се извършва посредством числени пресмятания, чрез използване на компютри. При компютърното моделиране моделът, който е описан като компютърна програма – *се реализира* на компютри;

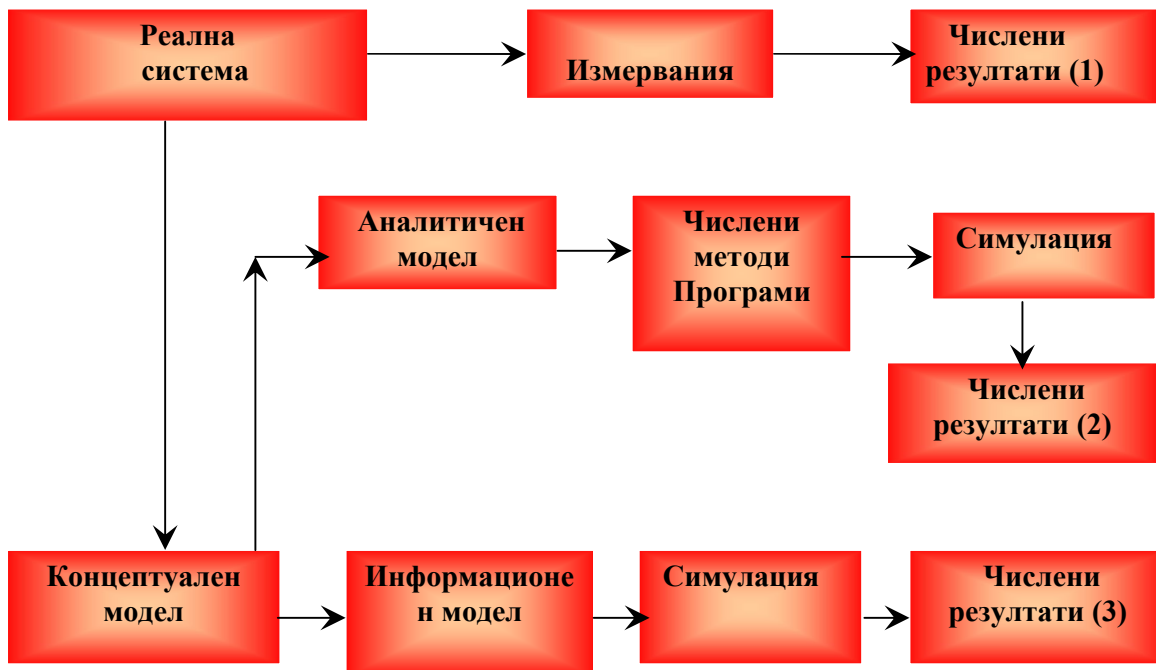
2) При компютърното моделиране могат да се използват обекти, за които няма удобно математическо представяне (например някои емпирични разпределения) Компютърните модели достатъчно просто отчитат влиянието на случайните фактори. За аналитичните модели това е сериозен проблем;

3) Компютърните модели често използват значително повече компютърно време, в сравнение с математическите.

Когато при изследването на обекта е трудно използването само на симулационно или аналитично моделиране, тогава се използва **хибридно** (комбинирано), аналитико-симулационно моделиране.

### **Методика на моделиране [6], [4]**

**Концептуален модел.** Описва точно и ясно компонентите на моделираната система, връзките и отношенията между тях, както и протичането на процесите, от гледна точка на изследователя. Въз основа на него се прави обоснован избор на средства и методи за решаване на поставената задача (включително избор на езици и методи за създаване на софтуер).



Фиг. 2. Схема на методиката на моделиране, показваща една от техниките на валидация и верификация на модели. Моделите се проверяват, посредством сравнение на числените резултати (1), (2) и (3).

### Системи за масово обслужване

С развитието на симулационните модели областта на прилагане на аналитичните модели се ограничи. Въпреки това актуалността на аналитичното моделиране се запази за системи, особено за тези, в които протичат така наречените процеси без последствие. Процесите без последствие се използват при моделиране на функциониране на много технически системи. Процесите без последствие и системите, в които те протичат, се наричат марковски, а един тип на такъв процес се нарича верига на Марков. Популярността на тази теория се състои още и в това, че тя може да бъде използвана и за системи с последствие, които с помощта на някои допълнителни ограничения може да се трактуват за марковски.

Към марковските процеси и аналитични модели, се отнасят широк клас от най-разнообразни обекти, имащи общо название системи за масово обслужване (СМО). Аналитичните модели за много от стандартните структури на СМО, свързващи показатели за ефективността на СМО с характеристиките на СМО, са приведени в съответни справочници [18].



**Дискретна марковска верига** се нарича случаен процес, при който смяната на дискретните състояния се извършва в *определени моменти от време*.

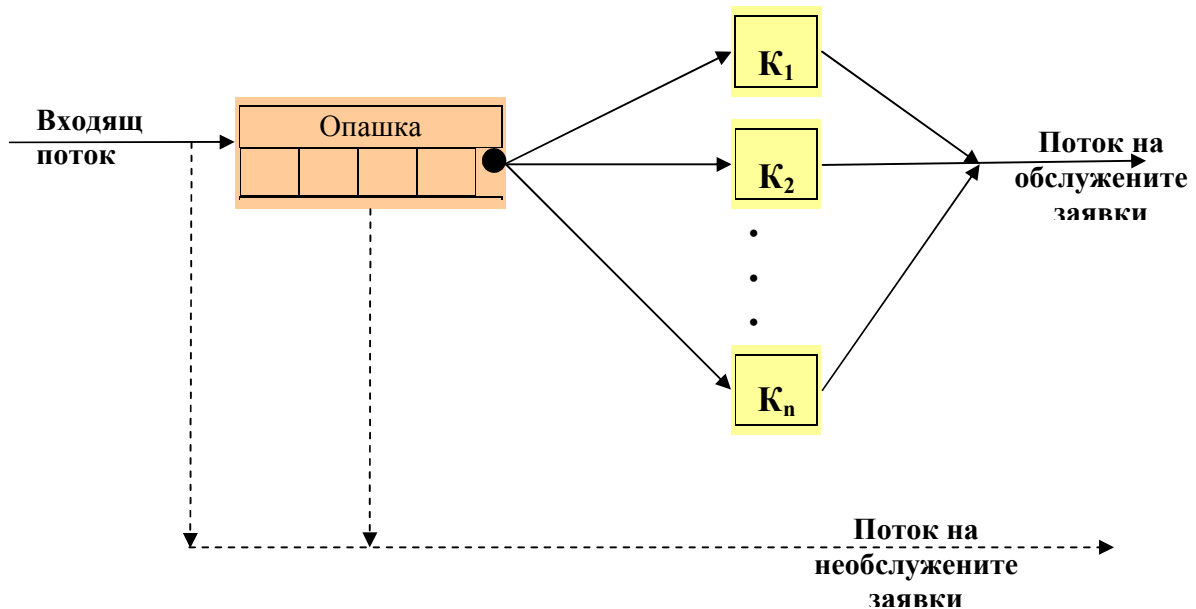
**Непрекъснат марковски процес** се нарича случаен процес, при който смяната на състоянията се извършва в *случайни моменти от време*.

### Елементи на СМО, кратка характеристика

При решаването на управленски задачи от различни области често възникват задачи, свързани с проблеми от масовото обслужване, от типа:

- ✓ оценка на пропускателната способност на системата;
- ✓ оценка на ефективността;
- ✓ оценка на качеството на обслужване и др.

За да се отговори удовлетворително на този въпрос се разглежда определена съвкупност от елементи, образуваща система за масово обслужване (СМО) (Фиг. 3).



Фиг. 3. Опростена система за масово обслужване.

### Елементи на СМО са:

- входящ поток от заявки;
- прибори (каналы) за обслужване (означени на Фиг. 3 съответно с  $K_1, K_2, \dots, K_n$ );
- опашка от заявки, очакващи обслужване;
- изходящ поток от обслужени заявки;
- поток от необслужени заявки;
- опашка от свободни канали (за многоканални СМО).

### Типове СМО

Въз основа на признаците, влияещи на функционирането, СМО може да принадлежи на един от типовете, приведени в класификацията (Фиг. 4.).



Фиг. 4. Класификация на СМО

Едно съвременно общо определение на СМО, основано на работите на Реордан, от 1962 г. [18] е: “ Обслужваща система (service system) е конфигурация от технологични и организационни мрежи, проектирани да предоставят стоки и услуги, които задоволяват нуждите или желанията на клиентите”. Най-малката СМО е едно устройство, или човек, а най-голямата, създадена от човека, е световната икономика.

### **Обекти и операции в СМО, които трябва да се симулират са:**

Разпределение и средна честота на потоците от заявки; броят на приборите (каналите) за обслужване; броят на местата в опашката от заявки, очакващи обслужване, продължителност на чакане и обслужване и др.

### **Въпроси, на които трябва да отговорят моделирането и симулацията:**

- Каква е производителността на системата (коефициента на използване на устройствата и др.)?
- Къде има претоварване?
- Кои устройства са неефективно натоварени?
- Има ли недопустими или нежелателни забавяния?
- Съгласуват ли се операциите по време?
- Какъв е приоритетът на събитието спрямо останалите събития в рамките на процеса?
- В кой момент от време по абсолютната времева скала настъпва за първи път разглежданото събитие?
- Как (при какви условия, по какъв начин) се определя следващият момент, в който събитието настъпва?
- Колко време продължава разглежданото събитие (процес)?
- Как се определя продължителността на разглежданото събитие?
- Какви са началните състояния на разглежданото събитие?
- Какви са крайните състояния на разглежданото събитие?

### **Средства за симулация на СМО.**

**Моделите се описват посредством езици за програмиране [19], които са**

- ✓ Универсални езици
- ✓ Специализирани (симулационни) езици.

## **Универсалните езици имат следните**

### **- предимства:**

Максимална гъвкавост;  
По-ниска цена и др.

### **- недостатъци:**

Изискват по-продължително обучение;  
По-обемисто и сложното програмиране.

**Специализираните езици (симулационни)** съдържат определен брой типови модули, с чиято помощ се съставя структурата на имитационния модел.

## **Универсални езици (за симулация) от типа на SIMUL8**

**Simul8** [7] е интегрирана среда за работа със симулационни модели, представлява съществено развитие на езика GPSS (General Purpose Simulating System). Simul8 поддържа най-високите професионални стандарти.

**WarpIV** [8] предоставя рамка за моделиране, алгоритъм за управление в напредване във времето, комуникатор със споделена памет.

**Simscrip II.5** [9] е език за симулация със синтаксис подобен на английският, служещ за описание на отделни събития и процеси.

## **Резултати**

**Избор на параметри (основни характеристики) за сравняване на езиците за симулация:**

- Области на приложимост;
- Моделирана среда и поддържане на:
  - ✓ графичен дизайн на симулацията;
  - ✓ авторско моделиране, програмиращо моделите;
  - ✓ анимация (в диалогов режим);
  - ✓ поддръжка и анализ на резултатите.[3]

Таблица 1. Сравняване на езиците за симулация по основни характеристики						
Система за моделиране	Софтуерен производител	Приложения	Моделирана среда и поддръжка			
			Графичен дизайн на симулацията	Авторско моделиране, програмиране на моделите	Анимация (в реално време)	Анализ на резултатите
ARENA	System Modeling Corporation	Производство, бизнес анализ на процесите, дискретна симулация	Блоксхеми	+	+	+
EXTEND	Imagine That, Inc.	Стратегическо планиране, бизнес моделиране	Блокове, постоянни и дискретни модели	+	+	Анализ на чувствителността
GPSS/H-PROOF	Wolverine Software Corporation	общо предназначение, производство, транспорт и т.н.	Блоксхеми	+	+	ANOVA
IThINK ANALYST	High Performance System, Inc.	Паричен поток за управление, реинженеринг на предприятия, банки и т.н.	CASE-инструменти, блоксхеми	+	+	Анализ на чувствителността
PROCESS MODEL	PROMODEL Corporation	Общо производство, реинженеринг	Блокова схема, дискретна симулация	-	-	+
SIMUL8	Visual Thinking International	Универсално средство за симулация на дискретни процеси	-	Обектно-ориентирано програмиране	+	+
TAYLOR SIMULATION SOFTWARE	F&H Simulation Inc.	Производство, анализ на разходите	Блокова схема, дискретна симулация	-	+	+
WITNESS	Lanner Group Inc.	Бизнес планиране, производство, финанси	+	+	+	+ Блок за оптимизация

Таблица 1. Сравняване на езиците за симулация по основни характеристики (продължение)

Система за моделиране	Софтуерен производител	Приложения	Моделирана среда и поддръжка			
			Графичен дизайн на симулацията	Авторско моделиране, програмиране на моделите	Анимация (в реално време)	Анализ на резултатите
<b>VENSIM</b>	<b>Ventana Systems</b>	Моделите на системната динамика	Поток на диаграми	–	+	+
<b>POWERSIM</b>	<b>Powersim Co.</b>	Непрекъснатата симулация	Поток на диаграми	–	+	–
<b>DYNAMO</b>	<b>Expectation Software</b>	Изчислителни модели на системната динамика	Блок схеми	–	–	–

### Заклучения

Направено е изследване, при което:

1. Проучени са съвременните разбирания за понятията: модели, моделиране, симулация, верификация и валидация
2. Разгледани са най-разпространените класификации на моделите, като са сравнени основните свойства на математическите и компютърните модели;
3. Приведени са съвременните разбирания за системите за масово обслужване и типовете СМО. Особено внимание е отделено на въпросите, на които трябва да отговарят моделите и симулацията на СМО;
4. Проучени са възможностите на най-разпространените средства за симулация на СМО;

5. Уточнени са основните характеристики за сравнение качествата на средства за симулация;
6. Въз основа на уточнените характеристики са сравнени най-разпространените средства за симулация;
7. За целите на изследванията по проекти на КТП и преподаването в КТП, най-подходящ е SIMUL8.

## Литература

1. Бигдан В.Б., Пепеляев В., Сахнюк М. Актуальные проблемы и тенденции в области современного имитационного моделирования, In: УкрПрог Доповідь на конференції або симпозиумі PeerReviewed, 1-3 июня 2004 г., г. Киев, Украина, 2004 <http://eprints.isoftware.kiev.ua/260/1/D36.DOC>
2. Боев В.Д., Р.П. Сыпченко, Компьютерное моделирование, 16 .11. 2010, [www.intuit.ru/calculate/compmodel](http://www.intuit.ru/calculate/compmodel)
3. Станислав Митичкин. Компьютерна симулация на социално-икономическите системи, 2003, [www.mista.ru](http://www.mista.ru)
4. Толуев Ю.И. Имитационное моделирование логистических сетей // Логистика и управление цепями поставок. 2008 г., № 2/25. ISBN: 1727-6349 <http://www.xjtek.ru/file/208>
5. Маттиас Рут, Брюс Хэннон, Моделирование динамических экономических систем <http://www.vasilysi.info/literatura-ne-dla-vseh/modelirovanie-dinamiceskih-ekonomiceskih-sistem>
6. Соколов Б.В., Юсупов Р.М. Комплексное моделирование информационных процессов и систем, Второй всероссийской научно-практической конференции «Имитационное моделирование. Теория и практика» ИММОД-2005, Санкт-Петербург, 19-21 октября, 2005, <http://www.spiiras.nw.ru>
7. [simul8] [www.simul8.com](http://www.simul8.com) – Simul8 Corporation;
8. [WarpIV] [www.ramlabs.com](http://www.ramlabs.com) – WarpIV Framework;
9. [Simscrip II.5] [www.simscrip.com](http://www.simscrip.com) – Simscrip II.5;
10. Аверил М. Лоу, В. Дейвид Келтон, Имитационное моделирование 3-е издание. - СПб. : Питер, 2004. - 846 с. <http://investment.vasilysi.info/biblioteka/imitacionnoe-modelirovanie>
11. Based on the Random House Dictionary, © Random House, Inc. 2011. (<http://dictionary.reference.com/browse/model>)

- 12.IEEE Std 610.3-1989. IEEE Standard Glossary of Modeling and Simulation Terminology. IEEE Standard Board, USA, Approved January 1, 1989, Published May 15, 1989. U18400 6039340.
- 13.DoD 5000.59-M. Department of Defense. Modeling and Simulation Glossary, USA December 1997
- 14.Gordon, Geoffrey. "A General Purpose Systems Simulation Program". Proc. of EJCC, Washington, D.C., New York: The Macmillan Company, 1961, 87-104.
- 15.The Fortran Automatic Coding System for the IBM 704 (October 15, 1956), the first Programmer's Reference Manual for Fortran
- 16.Syn, W. M., and R. N. Linebarger, "DSL/90 – A Digital Simulation Program for Continuous System Modeling." AFIPS Conference Proceedings, SJCC, Vol. XXVIII, Washington, D. C.: Spartan Books, (April, 1966), 165-187.
- 17.Глушков, В.М. Гносеологическая природа информационного моделирования. Вопросы философии, 1963, № 10, с. 13-18.
- 18.Обретенов, А., Димитров, Б. Справочник по масово обслужване. Наука и изкуство, София, 1979. стр.216.
- 19.Киндлер, Е. Языки моделирования. Перевод с чешского В. М. Беспалова. Москва, Энергоатомиздат, 1985. с. 288.
- 20.John Riordan. Stochastic Service Systems. Wiley, New York, 1962. x + 139 pp. Illus. "Anyone seeking an introduction to queueing theory..." Also: <http://www.sciencemag.org/cgi/content/citation/137/3532/742-a> Science, 7 September 1962: Vol. 137. no. 3532, p. 742