



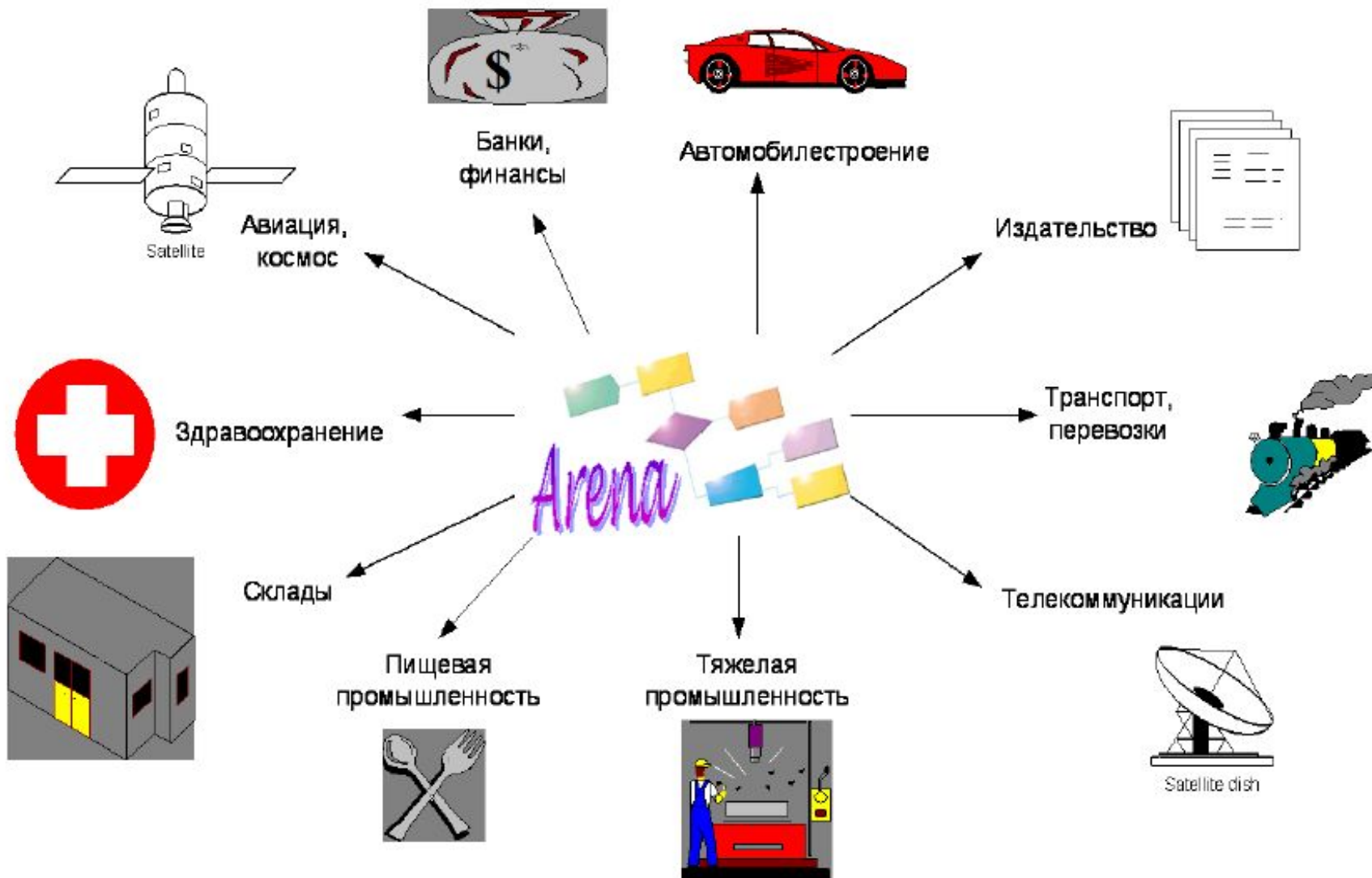
Лекция 10

Системы имитационного моделирования. Системы массового обслуживания (СМО).



Составитель: доц. Космачева И.М.

СИСТЕМА ARENA (ROCKWELL SOFTWARE)



СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

- Для производственных, обслуживающих (сфера услуг) систем различного назначения (TOMAC, SIRE, AnyLogic, **Arena**, GPSS и др.),
- Медицинского обслуживания (**MEDMODEL**),
- В области телекоммуникаций (COMNET, OPNET MODELER, NETWORK DESIGN и др.)



ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

- ❑ Математическое моделирование для исследования характеристик процесса функционирования систем можно разделить на *аналитическое, имитационное и комбинированное*.
- ❑ **Имитационное моделирование** основано на воспроизведении с помощью ЭВМ развернутого во времени процесса функционирования системы с учетом взаимодействия с внешней средой.
- ❑ **Основой имитационной модели (ИМ) является:**
 - ✓ разработка модели исследуемой системы на основе частных имитационных моделей (модулей) подсистем, объединенных своими взаимодействиями в единое целое;
 - ✓ выбор **информативных** (интегративных) характеристик объекта, способов их получения и анализа;
 - ✓ построение модели воздействия внешней среды на систему в виде совокупности имитационных моделей внешних воздействующих факторов;
 - ✓ выбор способа исследования имитационной модели в соответствии с **методами планирования имитационных экспериментов (ИЭ)**.



Отсеивающий

Эксперимент

Время передачи
одного пакета

Интенсивность
запроса на
рабочих станциях

Время передачи
1 Кбайта
из глобальной сети
при скорости 3,6 Кбайт

	Name (User Variable)	Value 1	Value 2
A	q_time	50	150
B	t_time	8	12
C	q_int	25000	35000
D	gn_time	200	350
E			
F			

Fraction: Full Half Quarter Eighth Sixteenth Run Count: 4

Result: Expression: qt\$network

Generate Run Procedure Load F11 with CONDUCT Command

Buttons: Insert Experiment, Cancel, Help, Alias Groups

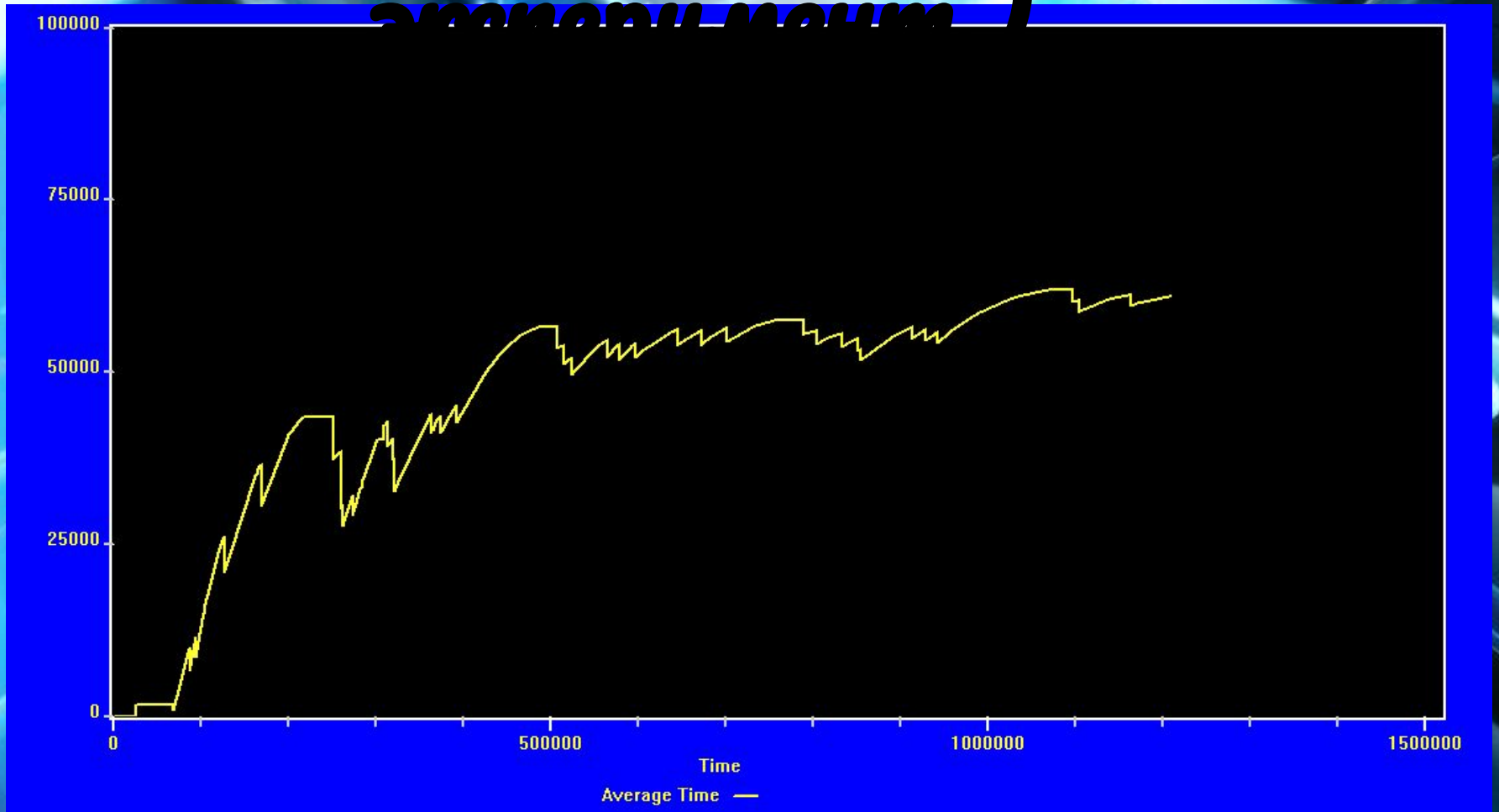
Цель - выявления степени влияния различных факторов и их комбинаций (взаимодействий) на значение целевой функции (функции отклика, представленной в виде уравнения регрессии).

Отсеивающий

05/07/08 08:54:23	Alias Group	Effect	Sum of Squares	Degrees of Freedom	F - for Only Main Effects	Critical Value of F (p=.05)
05/07/08 08:54:23	A	0.241	0.116	1	355.658	7.71
05/07/08 08:54:23	B	-0.241	0.116	1	356.055	7.71
05/07/08 08:54:23	AB	-0.005				
05/07/08 08:54:23	C	0.184	0.068	1	207.073	7.71
05/07/08 08:54:23	AC	0.004				
05/07/08 08:54:23	BC	-0.003				
05/07/08 08:54:23	ABC	0.025				
05/07/08 08:54:23	Error		0.001	4		
05/07/08 08:54:23	Total		0.301	7		
05/07/08 08:54:23	Grand Mean	0.481				
05/07/08 08:54:24	Experiment ended.					

Чем больше значение **F-статистики** (F-for Only Main Effects), тем **сильнее эффект**. Эффект, а, следовательно, и фактор, считается значимым, если превышает критическое значение (**Critical Value of F (p=.05)**).

Регрессионный анализ Соптимизирующий эволюции



Оптимизирующий

Optimizing Experiment Generator

Experiment Name

'Run Procedure' Name

Initial Local Experimental Region

	Factor Name (User Variable)	Value 1	Value 2
A	<input type="text" value="q_time"/>	<input type="text" value="50"/>	<input type="text" value="150"/>
B	<input type="text" value="t_time"/>	<input type="text" value="8"/>	<input type="text" value="12"/>
C	<input type="text" value="gn_time"/>	<input type="text" value="200"/>	<input type="text" value="350"/>
D	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
E	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Movement Limits

	Low Limit	High Limit
	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="100"/>
	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="100"/>
	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="100"/>
	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="100"/>
	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="100"/>

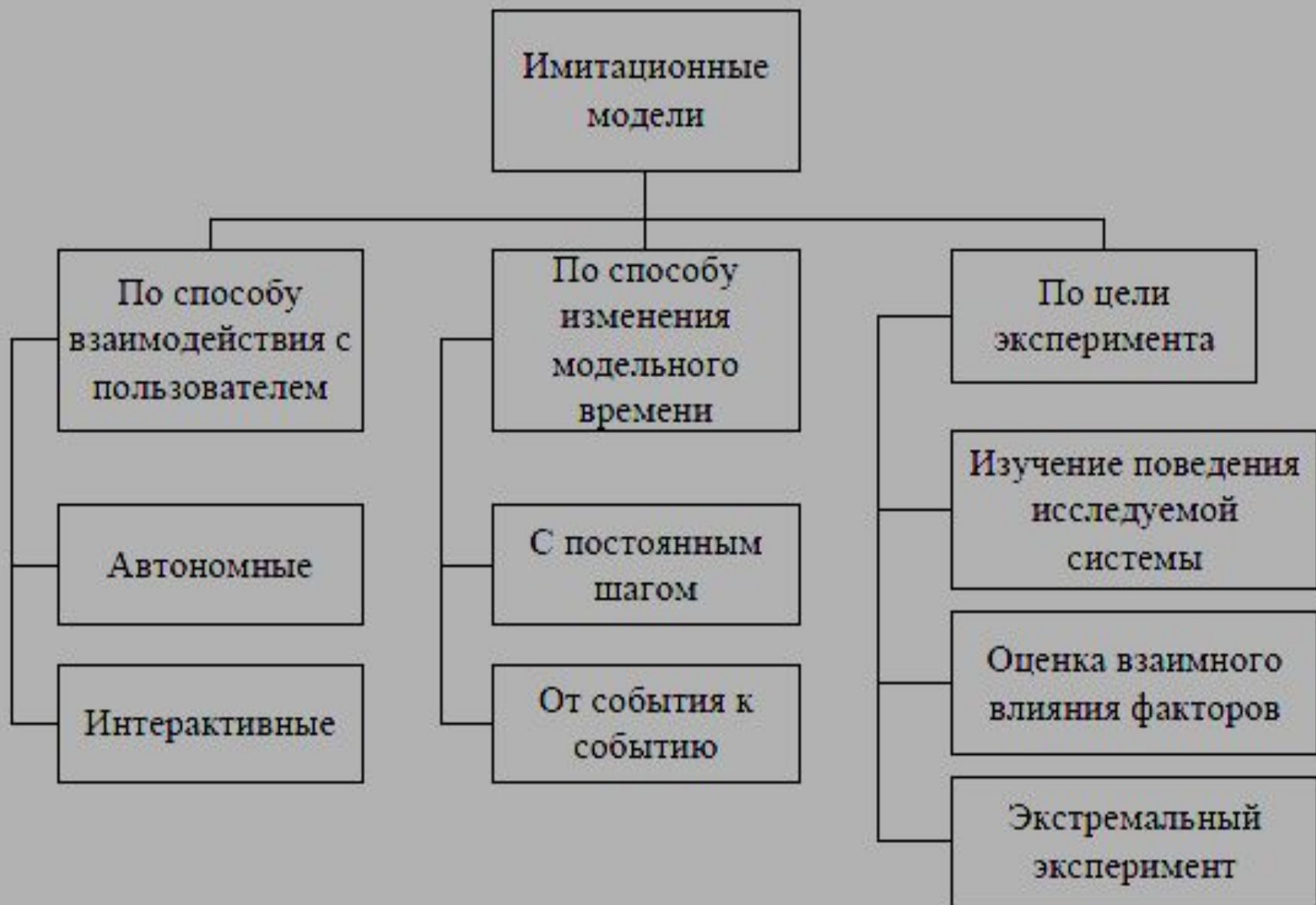
Result

Expression

Maximize Minimize

Redirection Limit

Generate Run Procedure Load F12 with CONDUCT Command



Классификация имитационных моделей

ИМИТАЦИОННОЕ (ПРОГРАММНОЕ) МОДЕЛИРОВАНИЕ

Имитационное моделирование целесообразно применять при наличии одного из условий:

1. Не существует законченной математической постановки задачи.
2. Аналитические методы имеются, но очень сложны и трудоемки, и имитационное моделирование дает более простой способ решения.
3. Аналитическое решение задачи имеется, но реализация невозможна из-за недостаточной подготовки имеющегося персонала.
4. Необходимо осуществлять наблюдение за ходом функционирования процесса в течение определенного периода. Необходимо сжатие шкалы времени (как замедление, так и ускорение).
5. Трудность постановки эксперимента и наблюдения явлений в реальных условиях.



СИСТЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Система моделирования включает:

- язык моделирования;
- язык управления системой моделирования (язык команд интерактивного взаимодействия с пользователем);
- управляющую программу (обеспечивает продвижение модельного времени, генерацию случайных чисел, сбор статистики, др.)



СВС

ОЧЕРЕДЬ

ГЕНЕРАТОР



У

У

ЗАПРОС

НАЗНАЧЕНИЕ



ОБСЛУЖИВАНИЕ

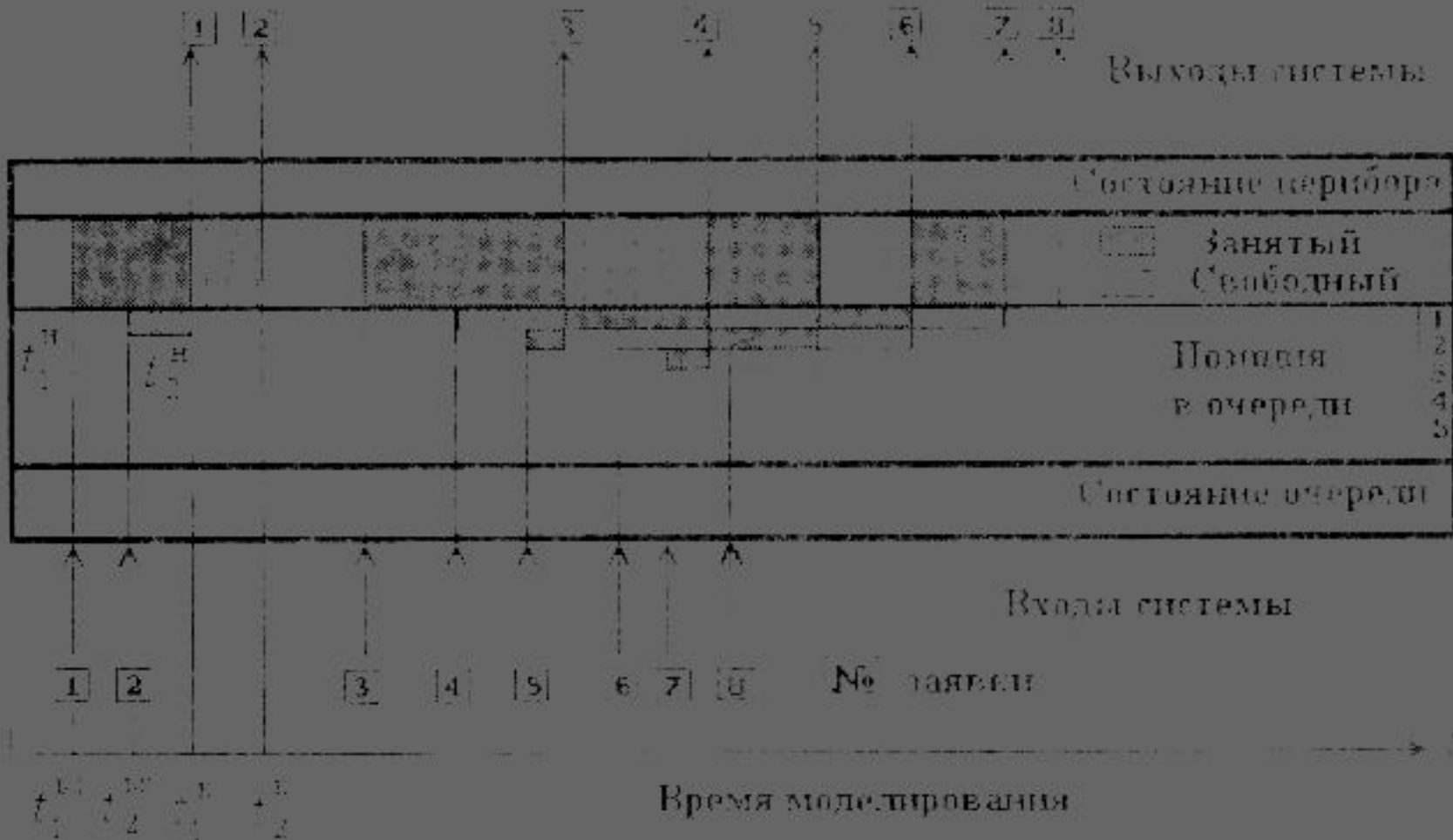


ОСВОБОЖДЕНИЕ



УПРЯМОЖЕНИЕ





ОТЧЕТ РАБОТЫ СИСТЕМЫ

GPSS World Simulation Report - Untitled Model 1.6.1										
Saturday, March 02, 2013 08:24:43										
START TIME		END TIME		BLOCKS	FACILITIES		STORAGES			
0.000		1000.000		9	1		0			
LABEL	LOC	BLOCK TYPE		ENTRY COUNT	CURRENT	COUNT	RETRY			
	1	GENERATE		54	0	0	0			
	2	QUEUE		54	0	0	0			
	3	SEIZE		54	0	0	0			
	4	DEPART		54	0	0	0			
	5	ADVANCE		54	1	0	0			
	6	RELEASE		53	0	0	0			
	7	TERMINATE		53	0	0	0			
	8	GENERATE		1	0	0	0			
	9	TERMINATE		1	0	0	0			
FACILITY	ENTRIES	UTIL.	AVE. TIME	AVAIL.	OWNER	PEND	INTER	RETRY	DELAY	
1	54	0.841	15.578	1	55	0	0	0	0	0
QUEUE	MAX CONT.	ENTRY	ENTRY(0)	AVE.CONT.	AVE.TIME	AVE.(-0)	RETRY			
1	1	0	54	34	0.082	1.520	4.104	0		
FEC	XN	PRI	BDT	ASSEM	CURRENT	NEXT	PARAMETER	VALUE		
	55	0	1013.194	55	5	6				
	56	0	1017.199	56	0	1				
	57	0	2000.000	57	0	8				
For Help, press F1										
Report is Complete.										

ОТЧЕТ РАБОТЫ СИСТЕМЫ

Usage

	<u>Inst Util</u>	<u>Num Busy</u>	<u>Num Sched</u>	<u>Num Seized</u>	<u>Sched Util</u>
Resource 1	0,99	0,99	1,00	360,00	0,99
Resource 2	0,90	0,90	1,00	362,00	0,90
Resource 3	0,58	0,58	1,00	350,00	0,58
Resource 4	0,15	0,15	1,00	34,00	0,15

Replication 1

Start Time: 0,00 Stop Time: 1,00 Time Units: Hours

Batch 1.Queue

<u>Time</u>	<u>Average</u>	<u>Half Width</u>	<u>Minimum</u>	<u>Maximum</u>
Waiting Time	0.01261170	0,000966870	0	0.02866043
<u>Other</u>	<u>Average</u>	<u>Half Width</u>	<u>Minimum</u>	<u>Maximum</u>
Number Waiting	4.4761	(Insufficient)	0	10.0000

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ

Информация об очередях

QUEUE	MAX	CONT.	ENTRIES	ENTRIES(0)	AVE.CONT	AVE.TIME	AVE.(0)	RETRY
-------	-----	-------	---------	------------	----------	----------	---------	-------

Здесь QUEUE – имя или номер объекта типа «очередь»:

MAX – максимальное содержимое объекта типа «очередь» в течение периода моделирования, который начинается с начала работы или с последней команды RESET или CLEAR:

CONT – текущее содержимое объекта типа «очередь» в момент завершения моделирования:

ENTRIES – общее количество входов в очередь в течение периода моделирования (счетчик входов):

ENTRIES(0) – общее количество входов в очередь с нулевым временем ожидания (счетчик «нулевых» входов):

AVE.CONT – среднее значение длины очереди:

AVE.TIME – среднее время, проведенное транзактом в очереди с учетом всех входов в очередь:

AVE.(0) – среднее время, проведенное транзактом в очереди без учета «нулевых» входов в очередь:

RETRY – количество транзактов, ожидающих специальных условий, зависящих от состояния объекта типа «очередь».

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ

Информация об одноканальных устройствах

FACILITY	ENTRIES	UTIL.	AVE. TIME	AVAIL.	OWNER	PEND	INTER	RETRY	DELAY
----------	---------	-------	-----------	--------	-------	------	-------	-------	-------

Здесь FACILITY – номер или имя одноканального устройства;

ENTRIES – количество транзактов, вошедших в устройство после последнего выполнения команды RESET или CLEAR или начала работы программы;

UTIL. – часть периода моделирования, в течение которого устройство было занято (коэффициент загрузки);

AVE. TIME – среднее время занятости устройства одним транзактом в течение процедуры моделирования после последнего выполнения команд CLEAR или RESET;

AVAILABLE – состояние готовности устройства в конце периода моделирования;

OWNER – номер последнего транзакта, занимавшего устройство (0 означает, что устройство не занималось);

PEND – количество транзактов, ожидающих устройство (находящееся в режиме прерывания);

INTER – количество транзактов, обработка которых прервана на устройстве в данный момент модельного времени;

RETRY – количество транзактов, ожидающих выполнения некоторых условий;



НЕПРЕРЫВНО-СТОХАСТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ

- К СМО относятся поликлиники, лечебные учреждения, компьютерные системы, сети передачи информации, ОС, базы данных, телефонные станции, магазины, ремонтные мастерские.
- Процесс работы СМО - случайный с дискретными состояниями и непрерывным временем;
- Состояние СМО меняется скачком в моменты появления каких-то событий (прихода нового пациента, окончания лечебной помощи, покидания пациентом очереди к врачу).



ОСНОВНЫЕ ИССЛЕДУЕМЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СМО

- ▣ **Средняя длина очереди** – число вызовов, ожидающих обслуживания;
- ▣ **Среднее время ожидания обслуживания;**
- ▣ **Вероятность потери вызова** (для систем с потерями);
- ▣ **Период занятости** – промежуток непрерывной занятости канала обслуживания, начинающийся с момента поступления в свободную систему и заканчивающийся первым моментом освобождения системы от всех вызовов;



ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СМО

- ▣ **Среднее время пребывания вызова в системе, равное сумме времени ожидания и обслуживания этого вызова;**
- ▣ **Среднее число вызовов в системе, равное сумме числа ожидающих и обслуживаемых вызовов;**
- ▣ **Среднее число вызовов, обслуженных за период занятости.**



КЛАССИФИКАЦИЯ СМО

- **СМО с отказами и с очередью.** СМО с очередью подразделяется на: **СМО с ограниченной емкостью накопителя** и **с неограниченной емкостью накопителя.**
- **Одноканальные СМО и многоканальные.**
- **СМО с многофазным обслуживанием и однофазным;**
- **СМО открытые и замкнутые.** В открытой СМО характеристики потока заявок не зависят от того, в каком состоянии находится сама СМО (сколько каналов занято), в замкнутой – зависят.
- **СМО с дисциплиной очереди FIFO, LIFO, случайный отбор заявок, с приоритетом.**



ОПИСАНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СМО

- **Интенсивность поступления заявок на обслуживание.**
- **Распределение продолжительности обслуживания.**
- **Конфигурация обслуживающей системы.**
- **Дисциплина очереди и приоритетные характеристики обслуживающей системы, алгоритмы поведения заявок в системе, бихевиориальные характеристики системы.**
- **Внутренние параметры Q-схемы: вместимость блока ожидания.**
- **Емкость источника требований.**



ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

- **Потоком событий** называется последовательность однородных событий, следующих одно за другим в какие-то случайные моменты времени (поток летальных исходов в лечебном учреждении, поток вызовов на станции скорой помощи).
- **Интенсивность потока** - это среднее число событий, приходящихся на единицу времени: $\lambda = N/T_n$, где N - число событий, произошедших за время наблюдения T_n .
- Поток событий называется **регулярным**, если события следуют один за другим через определенные **равные промежутки времени**.
- Иначе поток называют **случайным**.



ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

- Поток событий называют **стационарным**, если его вероятностные характеристики не зависят от времени ($\lambda = \text{const}$), и вероятность появления того или иного числа событий на интервале времени t зависит лишь от длины этого участка и не зависит от того, где на оси времени взят этот участок.
- Поток событий называется **ординарным**, если события в нем появляются поодиночке, а не группами, вероятностью попадания на малый участок времени Δt двух и более событий можно пренебречь.
- Поток событий называется **потокком без последействия**, если для **любых двух непересекающихся** участков времени t_1 и t_2 число событий, попадающих на один из них, не зависит от того, сколько событий попало на другой (т.е. события появляются независимо друг от друга).
- Поток называется **простейшим (пуассоновским)**, если он **стационарен, ординарен и не имеет последействия**.
 $f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (t > 0)$.



СТАЦИОНАРНЫЙ РЕЖИМ

- При длительном функционировании системы система входит в состояние, при котором ее характеристики от t не зависят, а изменяются, исходя из внутренних взаимосвязей между ними. Такой режим функционирования называется **стационарным**.
- Большинство реальных систем достаточно быстро оказываются в почти стационарном режиме. **Неустановившийся (переходный) режим** имеет место тогда, когда поведение системы продолжает оставаться функцией времени.
- Чтобы система имела стационарный режим, **необходимо и достаточно, чтобы объем поступающей работы был меньше пропускной способности системы.**



СТАЦИОНАРНЫЙ РЕЖИМ

- λ - интенсивность поступления заявок,
- μ - интенсивность обслуживания заявок.

Пусть загрузка системы (среднее число заявок, приходящее за среднее время обслуживания одной заявки)

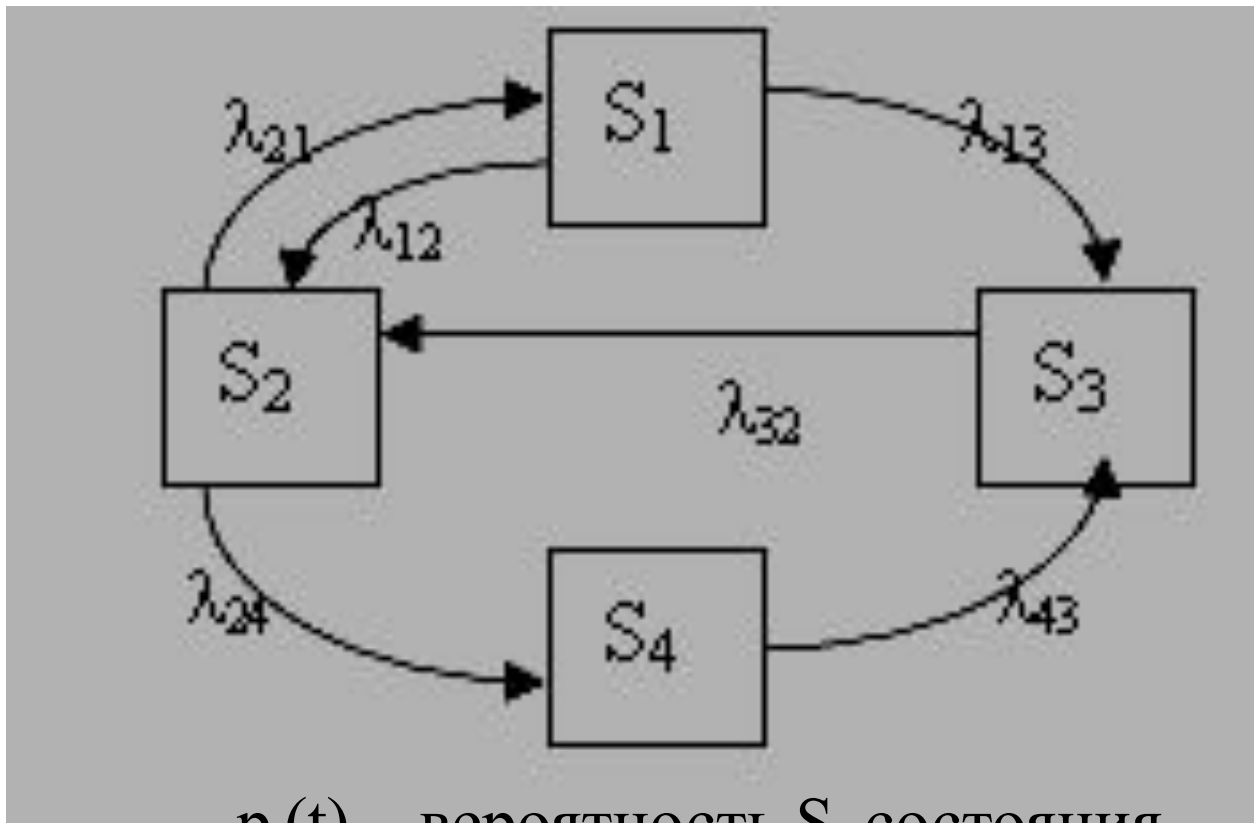
$$\rho = \frac{\lambda}{\mu}$$

- Для наличия стационарного режима необходимо и достаточно, чтобы $\lambda < \mu$, т.е. $\rho < 1$
- При $\rho = 1$ система также не имеет стационарного режима, «захлебывается» работой; очередь и время ожидания будут бесконечно расти.



ГРАФ СОСТОЯНИЙ СМО

Пусть рассматривается система S , имеющая n возможных состояний S_1, S_2, \dots, S_n .

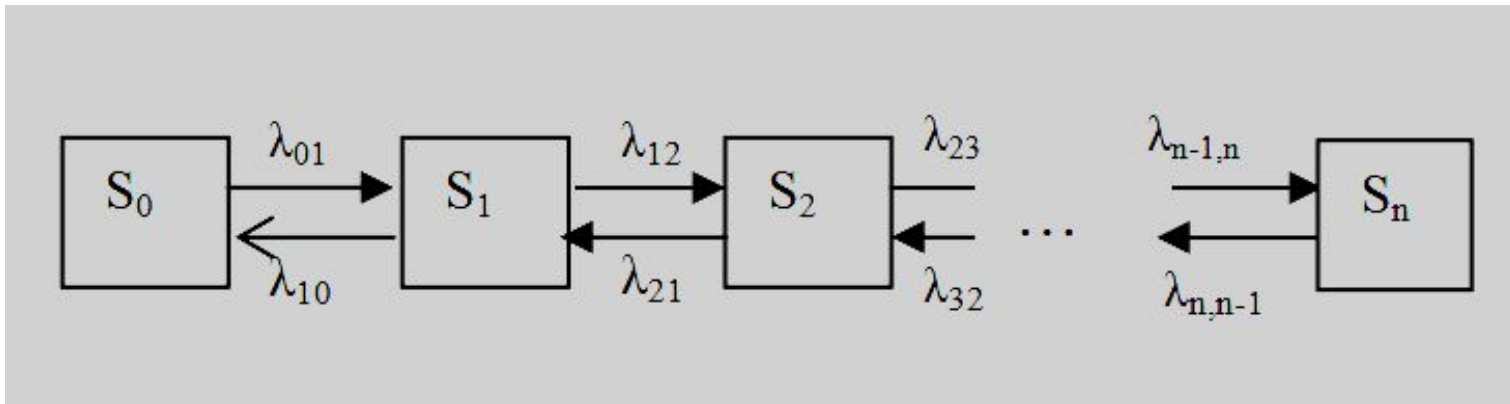


$p_i(t)$ – вероятность S_i состояния.



СХЕМА ГИБЕЛИ И РАЗМНОЖЕНИЯ

Название модели связано с представлением, что стрелки вправо означают переход к состояниям, связанным с ростом номера состояния ("рождение"), а стрелки влево - с убыванием номера состояний ("гибель"). Характерно наличие прямой и обратной связей с каждым соседним состоянием для всех средних состояний.

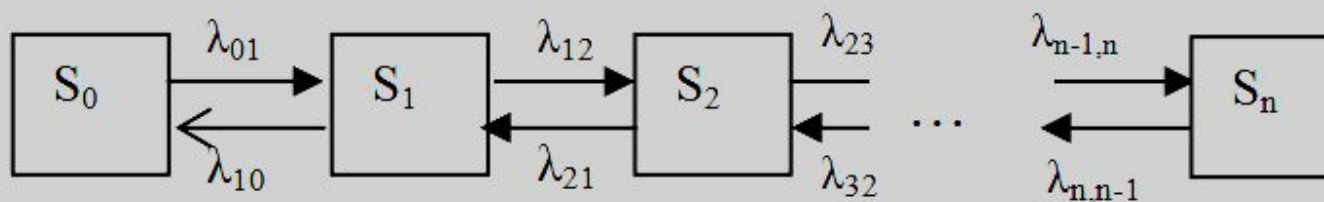


$$\begin{cases} \lambda_{01} p_0 = \lambda_{10} p_1, \\ (\lambda_{12} + \lambda_{10}) p_1 = \lambda_{01} p_0 + \lambda_{21} p_2, \\ \dots, \\ \lambda_{n,n-1} p_n = \lambda_{n-1,n} p_{n-1}. \end{cases}$$



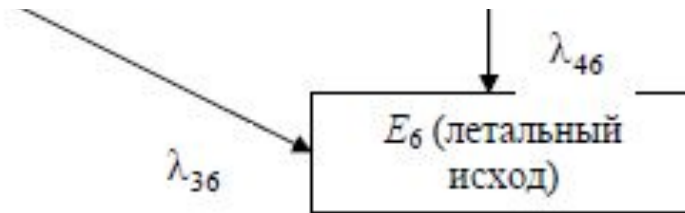
ПРИМЕР СМО

- Больные приходят в поликлинику в среднем **каждые 5 мин** и обращаются в регистратуру за талоном к врачу или за медицинской карточкой. Регистратор **обслуживает** посетителя в среднем в течение **3 мин**. Врачу выделяется на каждого больного в среднем по **12 мин**.
- Смоделировать работу поликлиники в течение 8 часов. Определить число врачей, обеспечивающее невозрастание очереди и коэффициент загрузки врачей в этом режиме.



ПРИМЕР СМО

- Попадание в E_6 (летальный исход) теоретически возможно из любого состояния.
- Причиной летального исхода при этом будет, наверняка, какая-то внешняя причина(не исследуемое заболевание). Поэтому интенсивности таких переходов практически равны нулю и в модели проигнорированы.
- Из состояния E_6 нет выходящих стрелок, т.е. это состояние поглощающее.



Граф состояний при инфекционном заболевании.



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ.

