



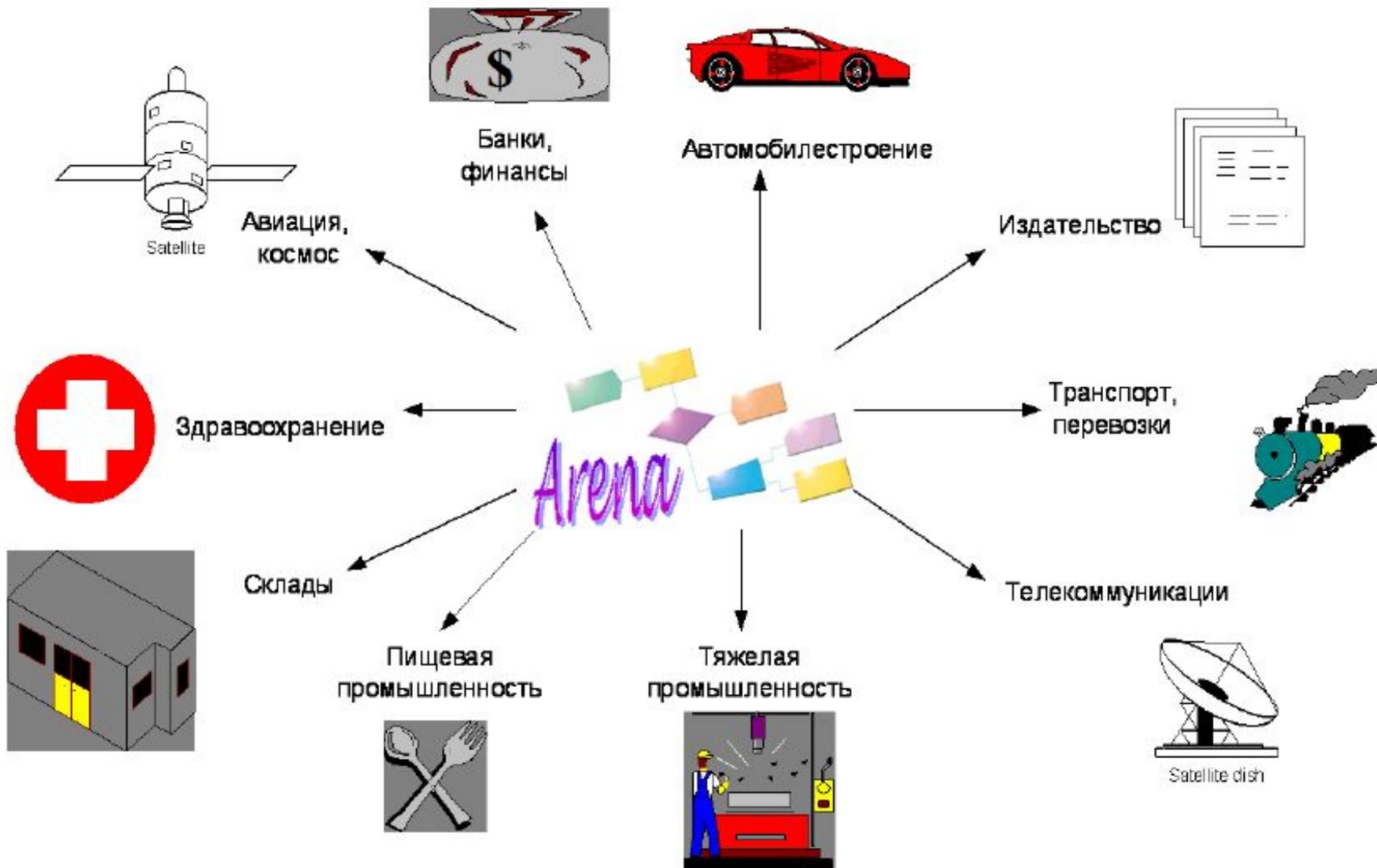
Лекция 10

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

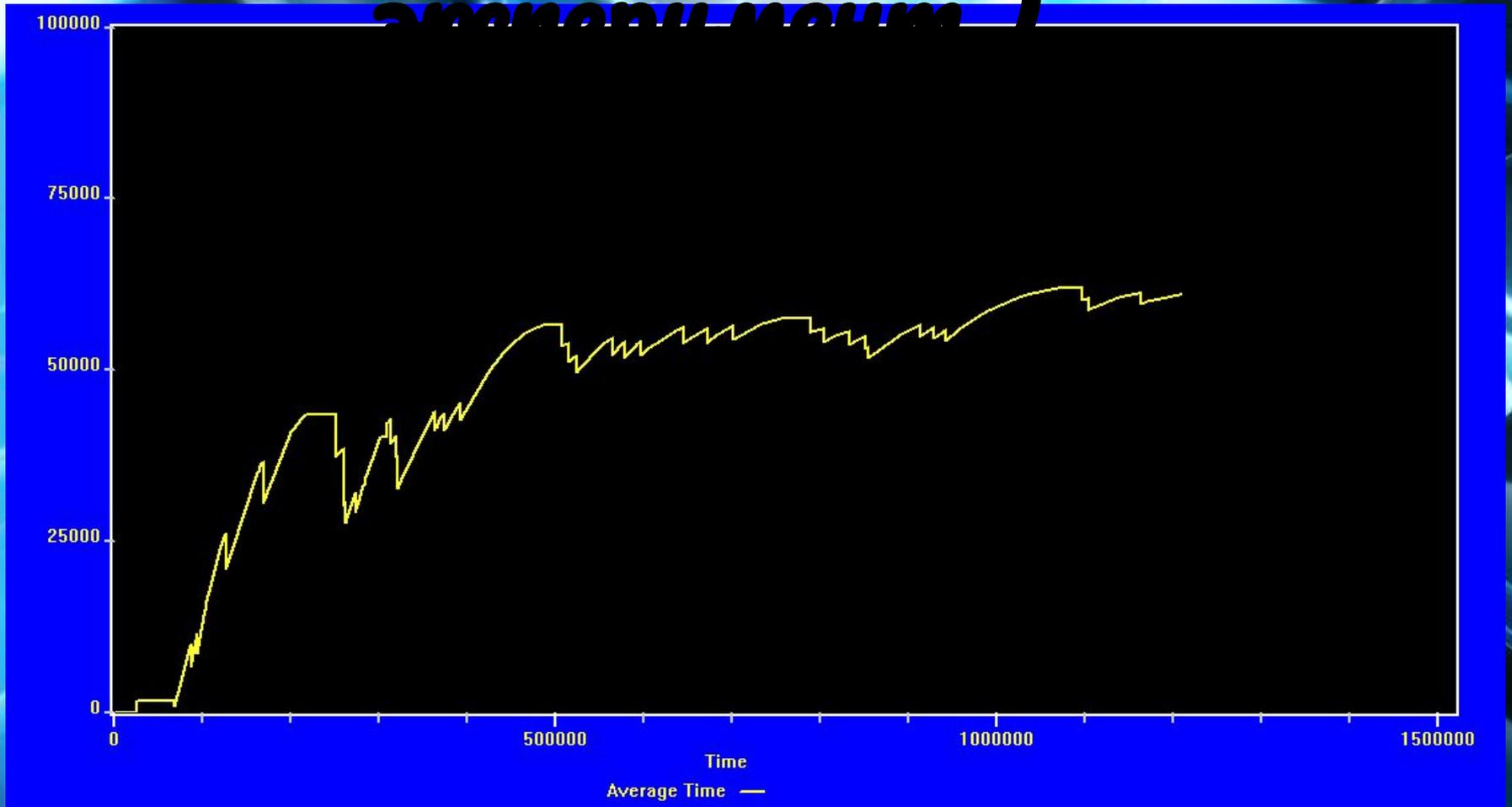
Цель - выявления степени влияния различных факторов и их комбинаций (взаимодействий) на значение целевой функции (функции отклика, представленной в виде уравнения регрессии).

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"/>

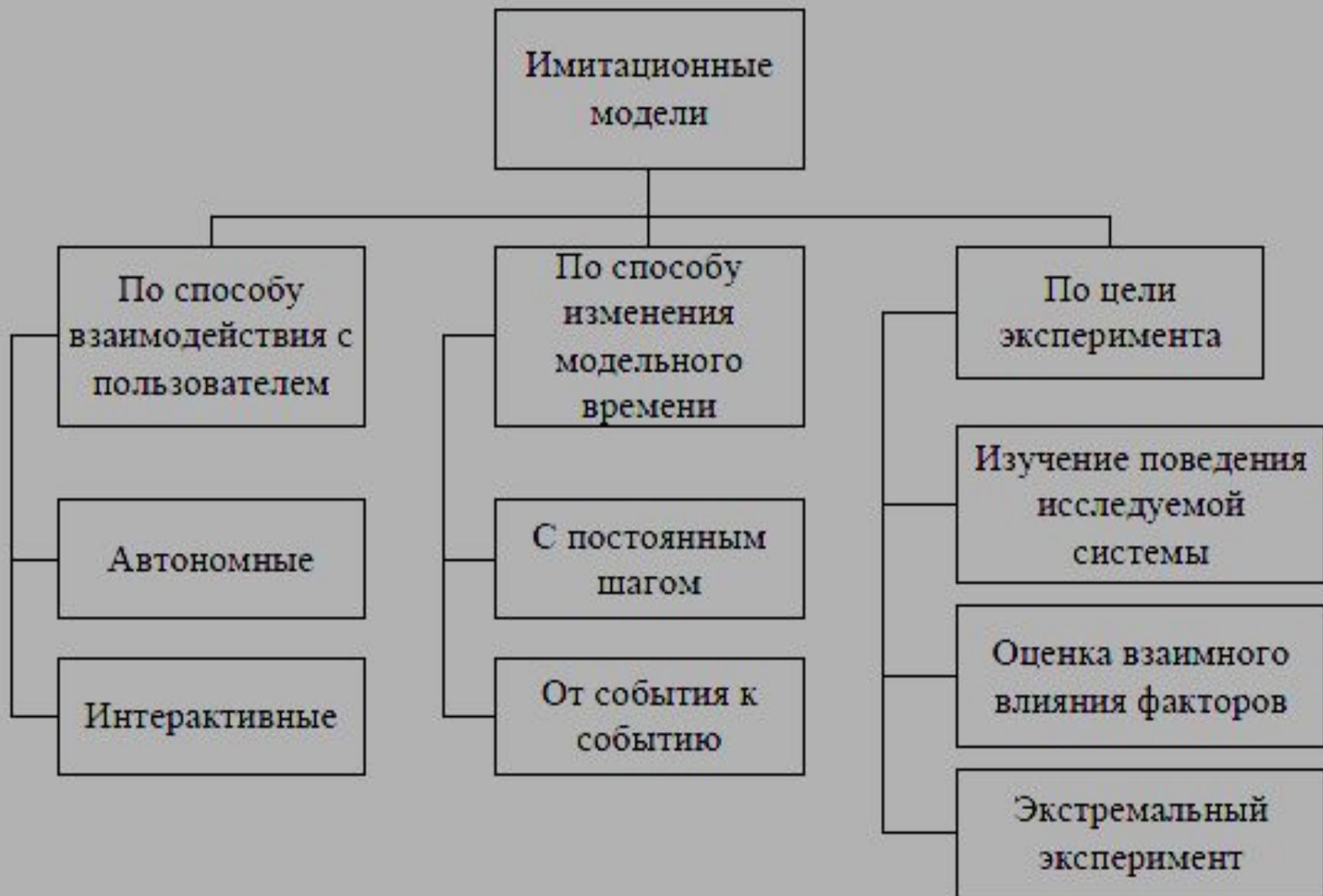
Result

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



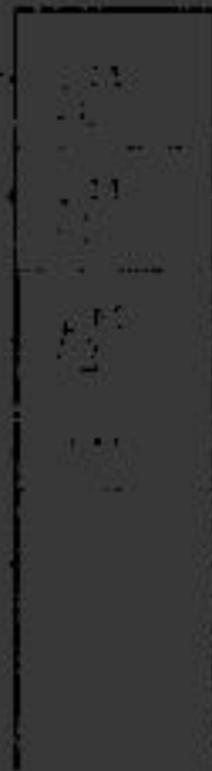
ОБСЛУЖИВАНИЕ

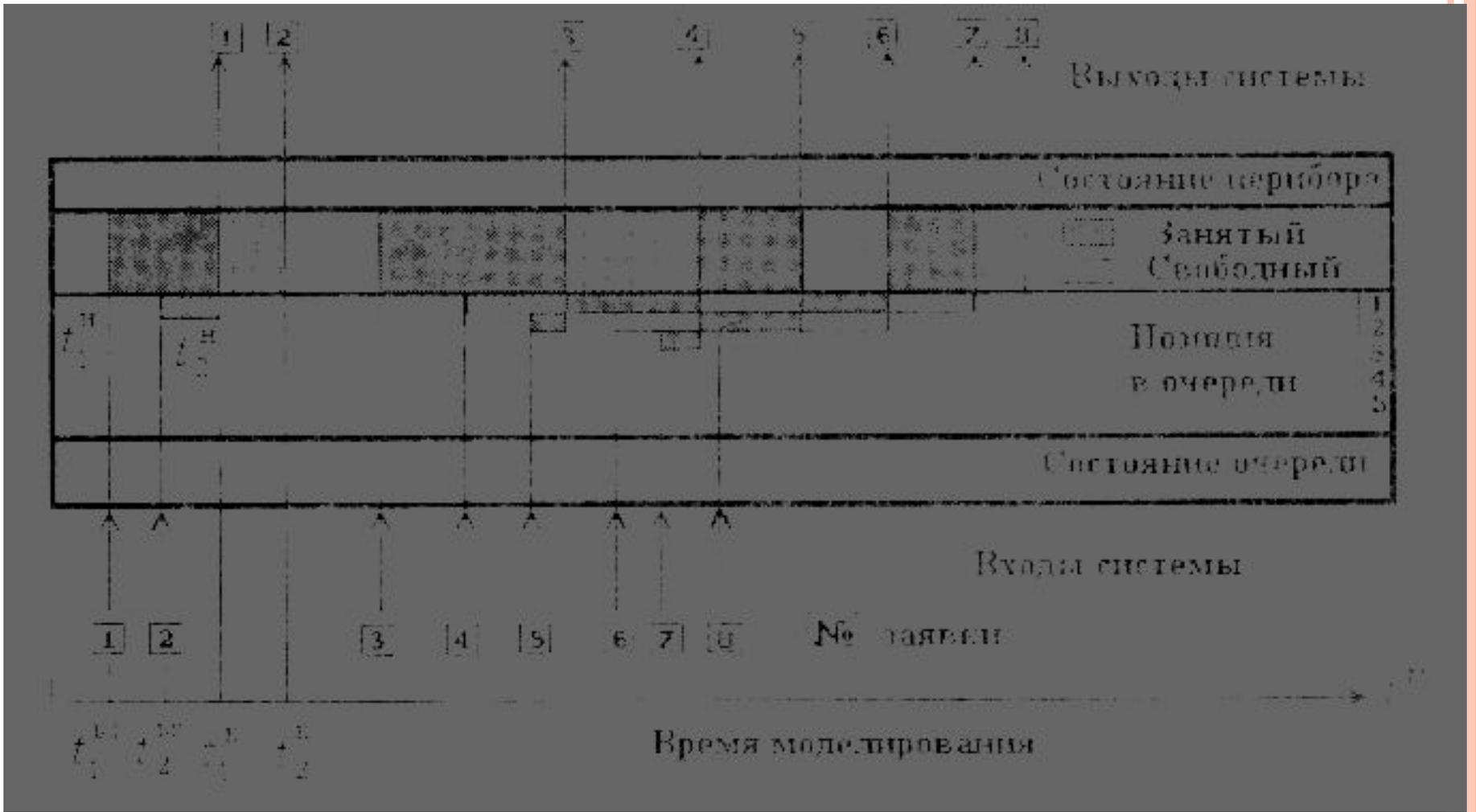


ОСВОБОЖДЕНИЕ



УПРЯМОЖЕНИЕ





ARENA

The screenshot displays the ARENA software interface. A 'Customize' dialog box is open, showing various toolbars and options. The 'Tools' section includes checkboxes for Standard, Draw, Arrange, Integrate, Value, Run, Record Macro, Alternate Toolbar, and Professional. The 'Show Tooltips' checkbox is checked. The 'Large Buttons' checkbox is unchecked. The 'New' and 'Reset' buttons are visible. The 'OK', 'Отмена', and 'Отказ' buttons are at the bottom of the dialog.

Below the dialog box, a process flow diagram is visible, showing entities (Entity 1, Entity 2, Entity 3) and resources (Resource 1, Resource 2, Resource 3). The diagram includes a 'Queue 1' and a 'Server 1'.

Two text boxes with arrows point to specific elements in the interface:

- A box labeled 'Панели' (Panels) points to the 'Tools' section of the 'Customize' dialog.
- A box labeled 'Представления' (Views) points to the process flow diagram.

At the bottom of the interface, a table displays resource information:

	Name	Type	Capacity	Schedule Name	Schedule Rule	Busy Hour	Idle Hour	Pct Use	StateSet Name	Failed	Report Stat
1	Resource 1	Based on Schedule	Unlimited	Schedule 1	Wait	00	00	0.0		0 rows	✔
2	Resource 2	Fixed Capacity	1		Wait	00	00	0.0		0 rows	✔
3	Resource 3	Fixed Capacity	1		Wait	00	00	0.0		0 rows	✔

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

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)

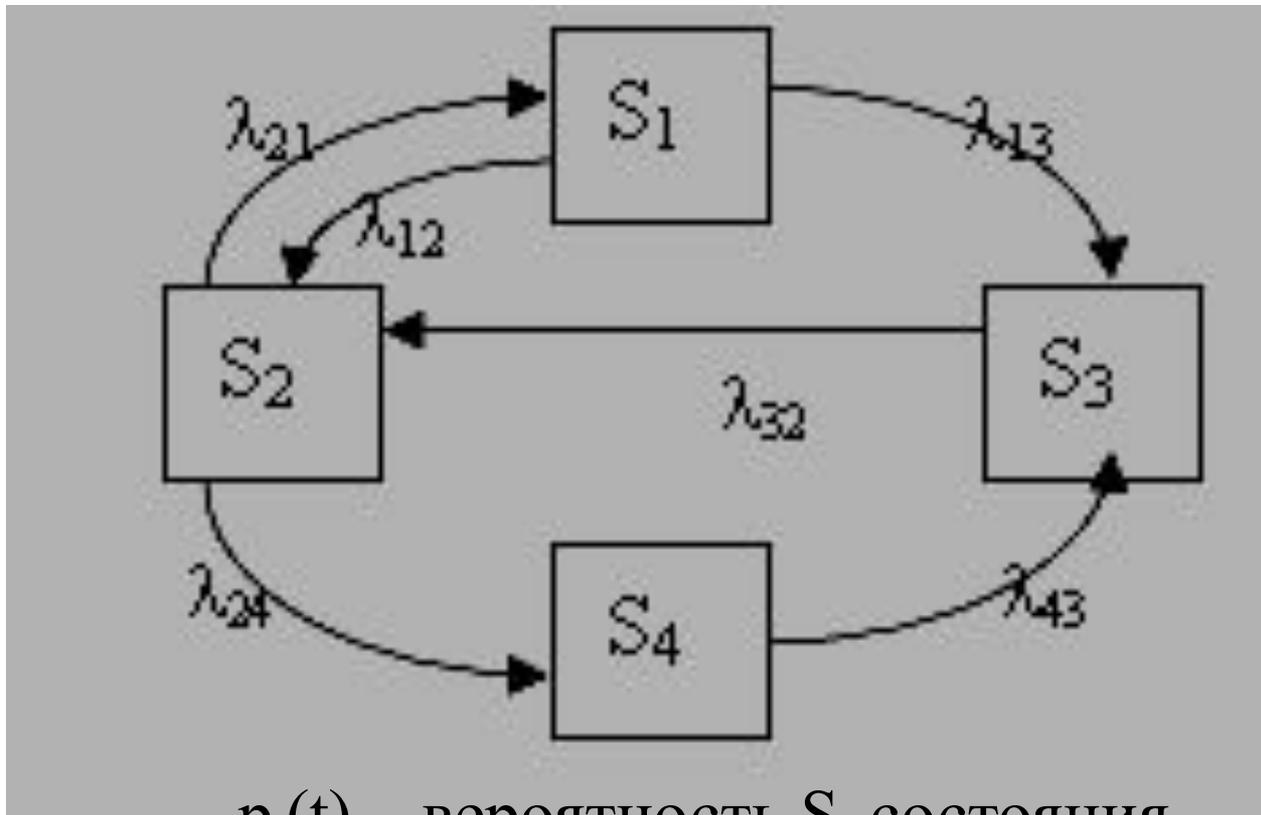
$$\rho = \frac{\lambda}{\mu}$$

- 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 .

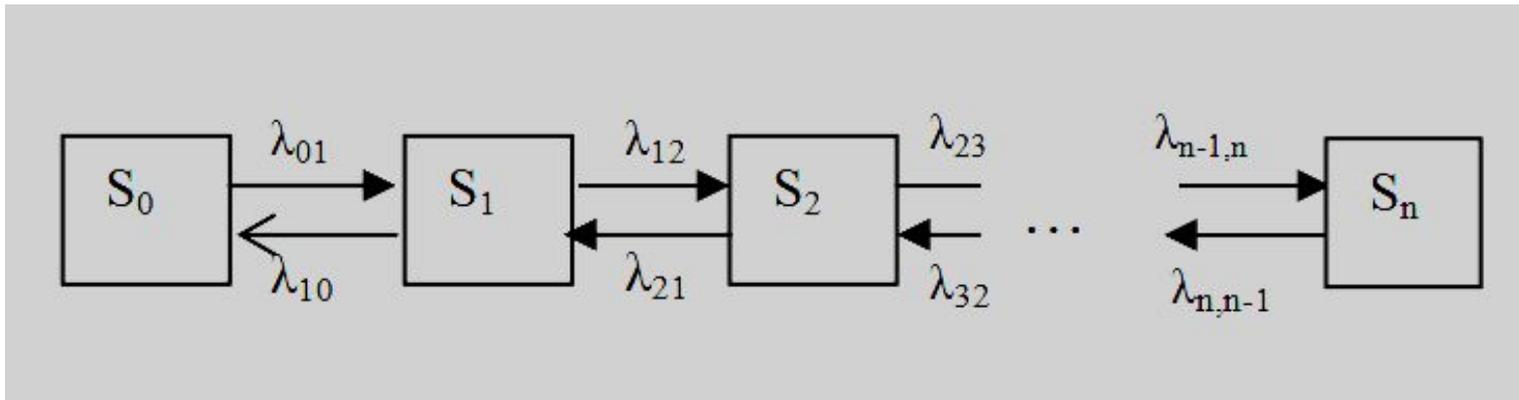


$p_i(t)$ – вероятность S_i состояния.



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.

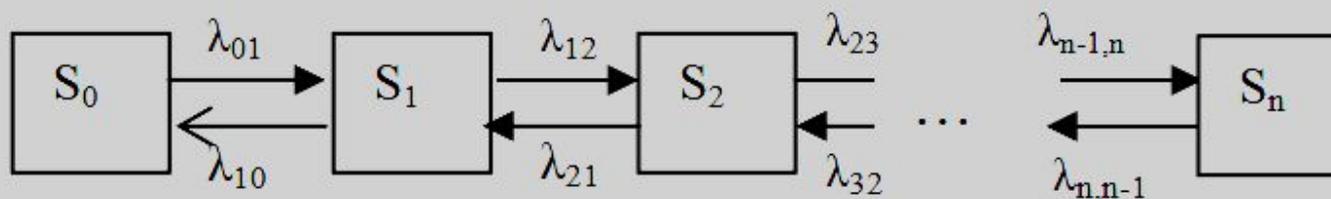


$$\begin{cases} \lambda_{01} p_0 = \lambda_{10} p_1, \\ (\lambda_{12} + \lambda_{10}) p_1 = \lambda_{01} p_0 + \lambda_{21} p_2, \\ \dots, \\ \lambda_{n,n-1} p_n = \lambda_{n-1,n} p_{n-1}. \end{cases}$$



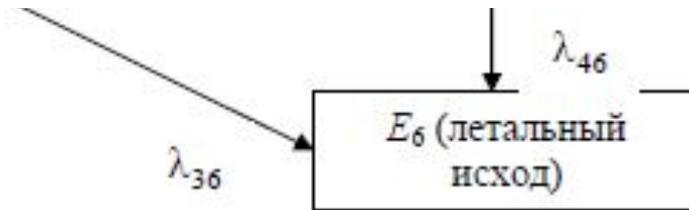
ПРИМЕР СМО

- 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.

