

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ ИМ. ПРОФ. М.А. БОНЧ-БРУЕВИЧА»  
(СПбГУТ)  
КАФЕДРА ИНФОРМАЦИОННЫХ УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ

**Разработка и исследование модельно-  
аналитического интеллекта информационных  
агентов для активных инфокоммуникационных  
инфраструктур**

д.т.н. профессор Птицына Л.К.

Санкт-Петербург

# Актуальность исследования

- Большинство известных результатов исследований агентных технологий распространяется на случай пассивных инфокоммуникационных сред.
- Предприняты отдельные попытки исследований, предусматривающие учёт ожидаемых воздействий активных инфокоммуникационных инфраструктур. Однако реальный характер поведения активных инфокоммуникационных инфраструктур отличается непредсказуемостью их воздействий.
- Указанные обстоятельства являются основной причиной необходимости совершенствования модельно-аналитического интеллекта информационных агентов для активных инфокоммуникационных инфраструктур.

# Цель и задачи исследования

## Цель:

- Формирование опорного технологического базиса для соблюдения гарантий качества функционирования интеллектуальных мультиагентных систем в активных инфокоммуникационных средах.


## Задачи:

- Систематизация модели и методов определения показателей качества функционирования интеллектуальных информационных агентов.
- Формирование системы моделей, отражающих процесс функционирования интеллектуальных информационных агентов в активных инфокоммуникационных средах.
- Формирование системы методов анализа моделей, отражающих процесс функционирования интеллектуальных информационных агентов в активных инфокоммуникационных средах.

# Цель и задачи исследования

## Задачи:

- Разработка инструментального программного средства для оценки качества функционирования интеллектуальных информационных агентов в активных инфокоммуникационных средах.
- Подтверждение корректности работы созданного инструментального программного средства для оценки качества функционирования интеллектуальных информационных агентов в активных инфокоммуникационных средах.
- Исследование влияния активности инфокоммуникационной среды на качество функционирования интеллектуальных информационных агентов в активных инфокоммуникационных средах.



# Методика определения динамических характеристик многоагентных систем

Преимущества объектно-ориентированного подхода:

- Унификация различных моделей и этапов их разработки для широкого класса систем.
- Обеспечение широким ассортиментом программных инструментов для интеграции с наиболее распространёнными языками и средами программирования.

# Методика определения динамических характеристик многоагентных систем

## Система допущений:

- Процесс функционирования многоагентной системы является процессом смены конечного числа состояний;
- Поведение многоагентной системы после момента времени  $t$  при фиксированном состоянии в этот момент не зависит от её поведения до момента  $t$ , т.е. соблюдается такая закономерность: если в данный момент времени  $t$  многоагентная система находится в состоянии  $i$ , то в последующий момент времени  $s$  многоагентная система будет находиться в состоянии  $j$  с некоторой переходной вероятностью  $p_{ij}(t, s)$  независимо от поведения многоагентной системы до указанного момента времени  $t$ ;
- переходные вероятности  $p_{ij}(t, s)$  зависят лишь от разности  $(s-t)$ ;
- Переходные вероятности  $p_{ij}(t, s)$  зависят лишь от разности  $(s-t)$ ;

$$p_{ij}(t, s) = p_{ij}(s-t); \quad i, j \in \Omega,$$

где  $\Omega$  – конечное множество состояний многоагентной системы;

- Среди конечного множества состояний многоагентной системы присутствует хотя бы одно такое состояние, из которого возможен переход с вероятностью, равной единице, только на самого себя. Подобного типа состояния называются поглощающими, а все другие – невозвратными;
- В каждом состоянии многоагентная система пребывает в течение одной условной единицы времени.

# Методика определения динамических характеристик многоагентных систем

## Определение конкретной формы представления модели:

1. Описание конечного множества состояний, среди которых отмечаются начальное и поглощающее состояние. Начальному состоянию присваивается первый номер, одному из поглощающих состояний – последний номер, а остальным состояниям – различные промежуточные номера. Как правило, каждое поглощающее состояние связывается с последним исполняемым оператором многоагентной системы при определенном сочетании входных данных, а невозвратное состояние – с промежуточными операторами многоагентной системы.
2. Определение стохастической матрицы  $P$  переходных вероятностей:

$$P = \begin{bmatrix} P_{1,1} & P_{1,2} & \dots & P_{1,s-1} & P_{1,s} \\ P_{2,1} & P_{2,2} & \dots & P_{2,s-1} & P_{2,s} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{s-1,1} & P_{s-1,2} & \dots & P_{s-1,s-1} & P_{s-1,s} \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

где первое состояние является начальным, а  $s$ -ое состояние – одним из множества поглощающих состояний или единственным поглощающим состоянием.

# Методика определения динамических характеристик многоагентных систем

Определение конкретной формы представления модели:

Причем

$$\sum_{j=1}^s p_{i,j} = 1, \quad i=1,2,\dots,s;$$
$$0 \leq p_{i,j} \leq 1, \quad i,j=1,2,\dots,s;$$

$$p_{k,k} = 1, \quad k \in W;$$

$$p_{k,i} = 0, \quad i \neq k;$$

где  $W$  – множество поглощающих состояний.

3. Определение статистических характеристик времени функционирования многоагентной системы. При определении используются следующие известные соотношения:

$$\Gamma = (\mathbf{I} - \mathbf{Q})^{-1},$$
$$\mathbf{D} = \Gamma(2\mathbf{T}_0 - \mathbf{I}) - \Gamma^*,$$
$$\Gamma = \Gamma\lambda,$$
$$\mathbf{d} = (2\mathbf{T} - \mathbf{I})\mathbf{t} - \mathbf{t}^*,$$

где  $\mathbf{I}$  –  $(M \times M)$  – единичная матрица;  $\mathbf{Q}$  –  $(M \times M)$  – матрица переходов во множестве невозвратных состояний;  $\mathbf{T}$  –  $(M \times M)$  – матрица, образованная элементами  $T_{i,j}$ ,  $i, j=1,2,\dots,M$ ;  $T_{i,j}$  – математическое ожидание количества пребываний марковской цепи в  $j$ -ом состоянии, если за исходное принять  $i$ -ое состояние;



# Методика определения динамических характеристик многоагентных систем

## Определение конкретной формы представления модели:

$T_0$  –  $(M \times M)$  – матрица, получаемая из квадратной матрицы  $T$  заменой нулями всех элементов, не лежащих на главной диагонали;  $T^*$  – матрица, получаемая из матрицы  $T$  возведением в квадрат каждого элемента;  $t$  –  $(M \times 1)$  – вектор-столбец, состоящий из элементов  $T_{ij}$ ;  $T_i$  – среднее время, затрачиваемое на выполнение функций многоагентной системой при  $i$ -ом исходном состоянии;  $\lambda$  –  $(M \times 1)$  – единичный вектор-столбец,  $D_i$  – дисперсия дискретного времени функционирования многоагентной системы при  $i$ -ом исходном состоянии;  $t^*$  – матрица, получаемая из матрицы  $t$  возведением в квадрат каждого элемента;  $M$  – число невозвратных состояний.

Элементы матрицы  $Q$  находятся посредством перестановки строк и столбцов в матрице переходов  $P$ , соответствующей процессу смены состояний процесса функционирования многоагентной системы при её представлении в следующей канонической форме:

$$P = \begin{bmatrix} Q & R \\ E & N \end{bmatrix}.$$

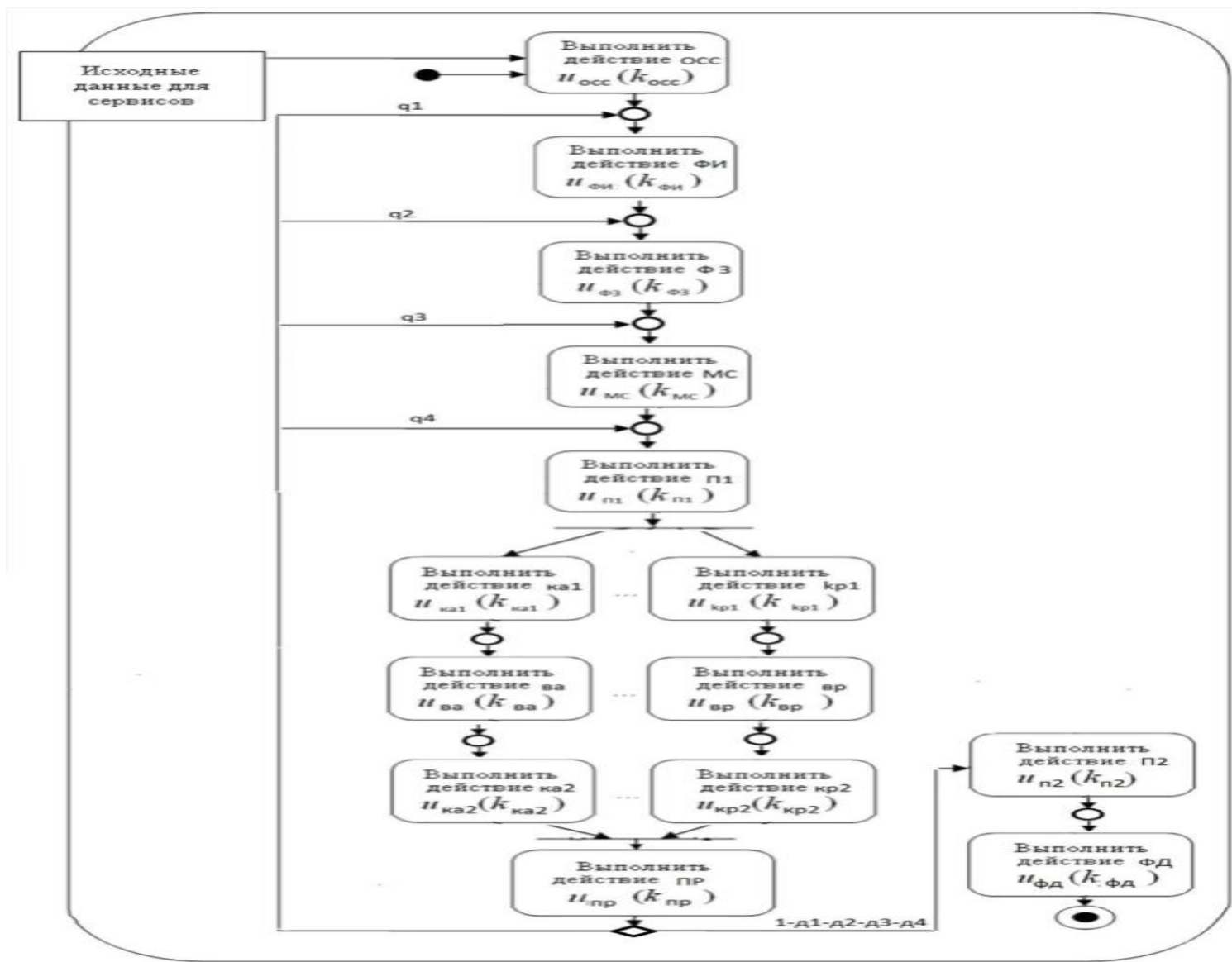
# Методика определения динамических характеристик многоагентных систем

Плотность распределения вероятностей времени функционирования многоагентной системы :

$$u(k) = P_{1,s}^{(k)} - P_{1,s}^{(k-1)},$$
$$k = 1, 2, \dots, K, \dots;$$

- где  $P_{1,s}^{(k)}$  –  $(1, s)$ -ой элемент  $k$ -ой степени матрицы  $\mathbf{P}$ ;
- $( )_{1,ks} P (1, )_{sk}$
- $P_{1,s}^{(k-1)}$  –  $(1, s)$ -ой элемент  $(k-1)$ -ой степени матрицы  $\mathbf{P}$ ;
- $k$  – дискретное время функционирования многоагентной системы.

# Расширенная объектно-ориентированная модель функционирования агента



# Расширенная объектно-ориентированная модель функционирования агента

Математические объекты, фигурирующие в модели, имеют следующий смысл:

- $U_{mc}(K_{mc})$  – плотность распределения вероятностей дискретного времени выполнения действия по моделированию среды;
- $U_{n1}(K_{n1})$  – плотность распределения вероятностей дискретного времени выполнения действия по предварительному планированию;
- $U_{ka1}(K_{a1})$  – плотность распределения вероятностей дискретного времени выполнения действия по установлению связи с другим агентом;
- $U_{va}(K_2)$  – плотность распределения вероятностей дискретного времени выполнения действия по передаче данных, информации или знаний от другого агента;
- $U_{ka2}(K_{ka2})$  – плотность распределения вероятностей дискретного времени выполнения действия по разрыву связи с другим агентом;
- $U_{kr1}(K_{kr1})$  – плотность распределения вероятностей дискретного времени выполнения действия по установлению связи с информационным ресурсом;
- $U_{vr}(K_{vr})$  – плотность распределения вероятностей дискретного времени выполнения действия по передаче данных, информации или знаний от информационного ресурса;
- $U_{kr2}(K_{kr2})$  – плотность распределения вероятностей дискретного времени выполнения действия по разрыву связи с информационным ресурсом;

# Расширенная объектно-ориентированная модель функционирования агента

- $Unp (Knpr)$  – плотность распределения вероятностей дискретного времени принятия решения по уточнению информации или знания или модели среды;
- $Un2 (Kn1)$  – плотность распределения вероятностей дискретного времени выполнения действия по уточнённому планированию;
- $Uфд (Кфд)$  – плотность распределения вероятностей дискретного времени выполнения функционального действия моделируемого агента;
- $q_1$  – вероятность уточнения информации после взаимодействия с информационным ресурсом и другим агентом;
- $q_2$  – вероятность уточнения знания после взаимодействия с информационным ресурсом и другим агентом;
- $q_3$  – вероятность уточнения модели среды после взаимодействия с информационным ресурсом и другим агентом;
- $q_4$  – вероятность уточнения плана после взаимодействия с информационным ресурсом и другим агентом.

## Метод определения динамических характеристик интеллектуальных агентов при выполнении действий с возвратами

**Исходная информация для расширения:** плотность распределения вероятностей дискретного времени выполнения последовательного подпроцесса реализации некоторого обобщённого действия в теле цикла  $f1_i(k_i), k_i = 1, 2, \dots, K_i$

$$\sum_{k_i}^{K_i} f1_i(k_i) = 1,$$

где  $k_i$  – дискретное время выполнения некоторого обобщённого действия;

$K_i$  – верхняя граница дискретного времени выполнения действия;

$p$  – вероятность возврата к исполнению некоторого действия;

$(1-p)$  – вероятность выхода из цикла.

## Метод определения динамических характеристик интеллектуальных агентов при выполнении действий с возвратами

**Матричное описание циклического исполнения запроса:**

$$P_{io} = \begin{bmatrix} 0 & f1_i(N) & f1_i(N-1) & f1_i(N-2) & f1_i(N-3) & \dots & f1_i(1) & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 1 & 0 \\ p & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & (1-p) \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

где  $P_{io}$  – квадратная матрица  $((N+2) \times (N+2))$  переходов во множестве дискретных состояний  $S$ ,  $|S| = N+2$ , где  $(N+2)$ -ое состояние является поглощающим.

# Метод определения динамических характеристик интеллектуальных агентов при выполнении действий с возвратами

Плотность распределения вероятностей времени выполнения некоторого обобщённого действия с вероятным возвратом:

$$u_{io}(k_{io}) = P_{io,1,N+2}^{(k_{io})} - P_{io,1,N+2}^{(k_{io}-1)},$$

$$k_{io} = 1, 2, \dots, N, \dots,$$

где  $P_{io,1,N+2}^{(k_{io})}$  -  $(1, (N+2))$ -ой элемент  $K_{io}$ -ой степени матрицы  $P_{io}$ ;

$P_{io,1,N+2}^{(k_{io}-1)}$  -  $(1, (N+2))$ -ой элемент  $(K_{io}-1)$ -ой степени матрицы  $P_{io}$ ;

$K_{io}$  – дискретное время выполнения некоторого обобщённого действия с вероятным возвратом.

Математическое ожидание дискретного времени выполнения некоторого обобщённого действия с возвратом:  $E[k_{io}]$

Дисперсия дискретного времени выполнения некоторого обобщённого действия с возвратом :  $D[k_{io}]$

$$E[k_{io}] = \sum_{\min k_{io}}^{\max k_{io}} k_{io} u_{io}(k_{io})$$

$$D[k_{io}] = \sum_{\min k_{io}}^{\max k_{io}} (k_{io} - E[k_{io}])^2 u_{io}(k_{io})$$



## Определение показателей качества функционирования агента из состава многоагентной системы

Плотность вероятностей дискретного времени двух последовательных действий: действия по установлению связи с другим агентом и действия по передаче данных, информации или знаний от другого агента:

$$u(k_{кв}) = \sum_{k_{ка1}=1}^{K_{ка1}} u_{ка1}(k_{ка1})u_{ва}(k_{кв} - k_{ка1}),$$
$$k_{кв} = \min(k_{ка1} + k_{ва}), \dots, \max(k_{ка1} + k_{ва})$$

Переопределение плотности вероятностей с учётом действия по разрыву связи с другим агентом:

$$u(k_{квк}) = \sum_{k_{кв}} u_{кв}(k_{кв})u_{ка2}(k_{квк} - k_{кв}),$$
$$k_{квк} = \min(k_{кв} + k_{ка2}), \dots, \max(k_{кв} + k_{ка2})$$

## Определение показателей качества функционирования агента из состава многоагентной системы

Плотность вероятностей дискретного времени двух последовательных действий: действия по установлению связи с информационным ресурсом и действия по передаче данных, информации или знаний от информационного ресурса:

$$u(k_{ps}) = \sum_{k_{kp1}=1}^{K_{kp1}} u_{kp1}(k_{kp1})u_{ep}(k_{ps} - k_{kp1}),$$
$$k_{ps} = \min(k_{kp1} + k_{ep}), \dots, \max(k_{kp1} + k_{ep})$$

Переопределение плотности вероятностей с учётом действия по разрыву связи с информационным ресурсом :

$$u(k_{крк}) = \sum_{k_{ps}} u_{ps}(k_{ps})u_{кр2}(k_{крк} - k_{ps}),$$
$$k_{крк} = \min(k_{ps} + k_{кр2}), \dots, \max(k_{ps} + k_{кр2})$$

## Определение показателей качества функционирования агента из состава многоагентной системы

Плотность вероятностей длительности параллельных действий:

$$u_{\wedge}(k_{\wedge}) = u_{\kappa\delta\kappa}(k_{\kappa\delta\kappa} = k_{\wedge}) \sum_{k_{\kappa\rho\kappa} \leq k_{\wedge}} u_{\kappa\rho\kappa}(k_{\kappa\delta\kappa}) + u_{\kappa\rho\kappa}(k_{\kappa\rho\kappa} = k_{\wedge}) \sum_{k_{\kappa\delta\kappa} < k_{\wedge}} u_{\kappa\delta\kappa}(k_{\kappa\delta\kappa}),$$
$$k_{\wedge} = \max(\min k_{\kappa\delta\kappa}, \min k_{\kappa\rho\kappa}), \dots, \max(\max k_{\kappa\delta\kappa}, \max k_{\kappa\rho\kappa})$$

Переопределение плотности вероятностей с учётом длительности предварительного планирования:

$$u(k_{n\wedge}) = \sum_{k_{n1}} u_{n1}(k_{n1}) u_{\wedge}(k_{n\wedge} - k_{n1}),$$
$$k_{n\wedge} = \min(k_{n1} + k_{\wedge}), \dots, \max(k_{n1} + k_{\wedge})$$

## Определение показателей качества функционирования агента из состава многоагентной системы

Плотность вероятностей дискретного времени выполнения последовательных действий, приводящих к принятию решения по уточнению информации или знания, или модели среды:

$$u(k_p) = \sum_{k_{n\wedge}} u_{n\wedge}(k_{n\wedge}) u_{np}(k_p - k_{n\wedge}),$$
$$k_p = \min(k_{n\wedge} + k_{np}), \dots, \max(k_{n\wedge} + k_{np}).$$

Фиксация исходной плотности распределения вероятностей эквивалентного последовательного процесса:

$$f1_4(k_4) = u(k_p), k_4 = 1, 2, \dots, K_4,$$
$$K_4 = \max(k_{n\wedge} + k_{np}).$$

Причем,  $k_4 < \min(k_{n\wedge} + k_{np}) \quad f1_4(k_4) = 0.$

# Определение показателей качества функционирования агента из состава многоагентной системы

Матричное описание процесса с 4-м вероятным возвратом из-за воздействия инфокоммуникационной среды :

$$P_{4o} = \begin{bmatrix} 0 & f1_4(N) & f1_4(N-1) & f1_4(N-2) & f1_4(N-3) & \dots & f1_4(1) & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 1 & 0 \\ q_4 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & (1-q_4) \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

где  $N = K_4$  .

Плотность распределения вероятностей времени выполнения обобщённого действия с 4-м вероятным возвратом :

$$u_{4o}(k_{4o}) = P_{4o,1,N+2}^{(k_{4o})} - P_{4o,1,N+2}^{(k_{4o}-1)},$$

$$k_{4o} = 1, 2, \dots, N, \dots$$

где  $P_{4o,1,N+2}^{(k_{4o})}$  –  $(1, (N+2))$ -ой элемент  $k_{4o}$ -ой степени матрицы  $P_{4o}$ ;

$P_{4o,1,N+2}^{(k_{4o}-1)}$  –  $(1, (N+2))$ -ой элемент  $(k_{4o}-1)$ -ой степени матрицы  $P_{4o}$ ;

$k_{4o}$  -дискретное время выполнения обобщённого действия с третьим вероятным возвратом.

## Определение показателей качества функционирования агента из состава многоагентной системы

Плотность вероятности времени выполнения обобщённого действия с четвёртым вероятным возвратом :

$$u(k_{M4}) = \sum_{k_{Mc}} u_{Mc}(k_{Mc}) u_{4o}(k_{M4} - k_{Mc}),$$
$$k_{M4} = \min(k_{Mc} + k_{4o}), \dots, \max(k_{Mc} + k_{4o}).$$

Фиксация исходной плотности распределения вероятностей эквивалентного последовательного процесса:

$$f1_3(k_3) = u(k_{M4}), k_3 = 1, 2, \dots, K_3,$$
$$K_3 = \max(k_{Mc} + k_{4o}).$$

Причём,  $k_3 < \min(k_{Mc} + k_{4o}) \quad f1_3(k_3) = 0$ .

# Определение показателей качества функционирования агента из состава многоагентной системы

Матричное описание процесса с 3-м вероятным возвратом из-за воздействия инфокоммуникационной среды :

$$P_{30} = \begin{bmatrix} 0 & f_{1_3}(N) & f_{1_3}(N-1) & f_{1_3}(N-2) & f_{1_3}(N-3) & \dots & f_{1_3}(1) & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 1 & 0 \\ q_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & (1-q_3) \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

где  $N = K_{3_0}$  .

Плотность распределения вероятностей времени выполнения обобщённого действия с 3-м вероятным возвратом :

$$u_{30}(k_{30}) = P_{30,1,N+2}^{(k_{30})} - P_{30,1,N+2}^{(k_{30}-1)},$$

$$k_{30} = 1, 2, \dots, N, \dots$$

где  $P_{30,1,N+2}^{(k_{30})}$  –  $(1, (N+2))$ -ой элемент  $k_{30}$  -ой степени матрицы  $P_{30}$ ;

$P_{30,1,N+2}^{(k_{30}-1)}$  –  $(1, (N+2))$  -ой элемент  $(k_{30}-1)$ -ой степени матрицы  $P_{30}$ ;

$k_{30}$  -дискретное время выполнения обобщённого действия с третьим вероятным возвратом.

## Определение показателей качества функционирования агента из состава многоагентной системы

Плотность вероятности времени выполнения обобщённого действия с 3-м вероятным возвратом :

$$u(k_{\phi_3}) = \sum_{k_{\phi_3}} u_{\phi_3}(k_{\phi_3}) u_{3_0}(k_{\phi_3} - k_{\phi_3}),$$
$$k_{\phi_3} = \min(k_{\phi_3} + k_{3_0}), \dots, \max(k_{\phi_3} + k_{3_0}).$$

Фиксация исходной плотности распределения вероятностей эквивалентного последовательного процесса:

$$f_1(k_2) = u(k_{\phi_3}), k_2 = 1, 2, \dots, K_2,$$

$$K_2 = \max(k_{\phi_3} + k_{3_0}).$$

Причём,  $k_2 < \min(k_{\phi_3} + k_{3_0}) \quad f_1(k_2) = 0$ .



# Определение показателей качества функционирования агента из состава многоагентной системы

Матричное описание процесса со 2-м вероятным возвратом из-за воздействия инфокоммуникационной среды :

$$P_{2o} = \begin{bmatrix} 0 f_{1_2(N)} & f_{1_2(N-1)} & f_{1_2(N-2)} & f_{1_2(N-3)} & \dots & f_{1_2(1)} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 1 & 0 \\ q_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & (1-q_2) \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

где  $N = K_2$ .

Плотность распределения вероятностей времени выполнения обобщённого действия со 2-м вероятным возвратом :

$$u_{2o}(k_{2o}) = P_{2o,1,N+2}^{(k_{2o})} - P_{2o,1,N+2}^{(k_{2o}-1)},$$

$$k_{2o} = 1, 2, \dots, N, \dots$$

где  $P_{2o,1,N+2}^{(k_{2o})}$  –  $(1, (N+2))$ -ой элемент  $k_{2o}$ -ой степени матрицы  $P_{2o}$ ;

$P_{2o,1,N+2}^{(k_{2o}-1)}$  –  $(1, (N+2))$ -ой элемент  $(k_{2o}-1)$ -ой степени матрицы  $P_{2o}$ ;

$k_{2o}$  - дискретное время выполнения обобщённого действия с третьим вероятным возвратом.

## Определение показателей качества функционирования агента из состава многоагентной системы

Плотность вероятности времени выполнения обобщённого действия со 2-м вероятным возвратом :

$$u(k_{\phi 2}) = \sum_{k_{\phi u}} u_{\phi u}(k_{\phi u}) u_{2o}(k_{\phi 2} - k_{\phi u}),$$
$$k_{\phi 2} = \min(k_{\phi u} + k_{2o}), \dots, \max(k_{\phi u} + k_{2o}).$$

Фиксация исходной плотности распределения вероятностей эквивалентного последовательного процесса:

$$f_1(k_1) = u(k_{\phi 2}), k_1 = 1, 2, \dots, K_1,$$
$$K_1 = \max(k_{\phi u} + k_{2o}).$$

Причём,  $k_1 < \min(k_{\phi u} + k_{2o}) \quad f_1(k_1) = 0$ .

## Определение показателей качества функционирования агента из состава многоагентной системы

Матричное описание процесса со 2-м вероятным возвратом из-за воздействия инфокоммуникационной среды :

$$P_{1o} = \begin{bmatrix} 0 & f_{1_1(N)} & f_{1_1(N-1)} & f_{1_1(N-2)} & f_{1_1(N-3)} & \dots & f_{1_1(1)} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 1 & 0 \\ q_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & (1-q_1) \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

где  $N = K_1$ .

Плотность распределения вероятностей времени выполнения обобщённого действия с 1-м вероятным возвратом :

$$u_{1o}(k_{1o}) = P_{1o,1,N+2}^{(k_{1o})} - P_{1o,1,N+2}^{(k_{1o}-1)},$$

$$k_{1o} = 1, 2, \dots, N, \dots$$

где  $P_{1o,1,N+2}^{(k_{1o})}$  –  $(1, (N+2))$ -ой элемент  $k_{1o}$ -ой степени матрицы  $P_{1o}$ ;

$P_{1o,1,N+2}^{(k_{1o}-1)}$  –  $(1, (N+2))$ -ой элемент  $(k_{1o}-1)$ -ой степени матрицы  $P_{1o}$ ;

$k_{1o}$ -дискретное время выполнения обобщённого действия с третьим вероятным возвратом.

## Определение показателей качества функционирования агента из состава многоагентной системы

Плотность вероятностей действия по определению состояния среды:

$$u(k_{\phi 1}) = \sum_{k_{occ}} u_{occ}(k_{occ}) u_{1o}(k_{\phi 1} - k_{occ}),$$
$$k_{\phi 1} = \min(k_{occ} + k_{1o}), \dots, \max(k_{occ} + k_{1o}).$$

Плотность вероятностей действия по уточнённому планированию:

$$u(k_{on}) = \sum_{k_{\phi 1}} u(k_{\phi 1}) u_{n2}(k_{on} - k_{\phi 1}),$$
$$k_{on} = \min(k_{\phi 1} + k_{n2}), \dots, \max(k_{\phi 1} + k_{n2}).$$

Плотность вероятностей времени воздействия информационного агента на окружающую среду, запланированного многоагентной системой:

$$u(k_{o\phi}) = \sum_{k_{on}} u(k_{on}) u_{\phi\delta}(k_{o\phi} - k_{on}),$$
$$k_{o\phi} = \min(k_{on} + k_{\phi\delta}), \dots, \max(k_{on} + k_{\phi\delta}).$$

## Определение показателей качества функционирования агента из состава многоагентной системы

Математическое ожидание :  $E[k_{io}]$

Дисперсия :  $D[k_{io}]$

Риск срыва временного регламента информационного агента из состава многоагентной системы:  $R(k_{o\phi} > C)$

$$E[k_{o\phi}] = \sum_{\min k_{o\phi}}^{\max k_{o\phi}} k_{o\phi} u(k_{o\phi}),$$

$$D[k_{o\phi}] = \sum_{\min k_{o\phi}}^{\max k_{o\phi}} (k_{o\phi} - E[k_{o\phi}])^2 u(k_{o\phi}),$$

$$R(k_{o\phi} > C) = 1 - \sum_{\min k_{o\phi}}^C u(k_{o\phi}),$$

где  $C$  – верхняя граница допустимого времени воздействия агента на внешнюю среду.

## Разработка приложения

- Платформа разработки: Windows7;
- Среда разработки: IntelliJ IDEA 2016.1.2;
- Средства разработки:
  - Язык программирования: Java;
  - Основные библиотеки: JavaFX;
  - Язык разметки: FXML;
  - CSS.

# Формы результатов работы приложения

## Ввод исходных данных

Агент

Ввод исходных данных

Количество дискретных моментов времени:

Максимальный показатель степени матрицы  
Max exponent:

Верхняя граница времени воздействия агента  
C:

Введите плотности распределения вероятности:

U	K1	K2	K3	K4	K5
U <sub>occ</sub>	<input type="text" value="0.1"/>	<input type="text" value="0.1"/>	<input type="text" value="0.3"/>	<input type="text" value="0.2"/>	<input type="text" value="0.3"/>
U <sub>фи</sub>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
U <sub>фз</sub>	<input type="text" value="0.2"/>	<input type="text" value="0.3"/>	<input type="text" value="0.1"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0.4"/>
U <sub>мс</sub>	<input type="text" value="0.1"/>	<input type="text" value="0.3"/>	<input type="text" value="0.2"/>	<input type="text" value="0.2"/>	<input type="text" value="0.2"/>
U <sub>п1</sub>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0.5"/>	<input type="text" value="0.2"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0.3"/>
U <sub>ка1</sub>	<input type="text" value="0.2"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0.8"/>

Агент

Ввод исходных данных

Количество дискретных моментов времени:

Максимальный показатель степени матрицы  
Max exponent:

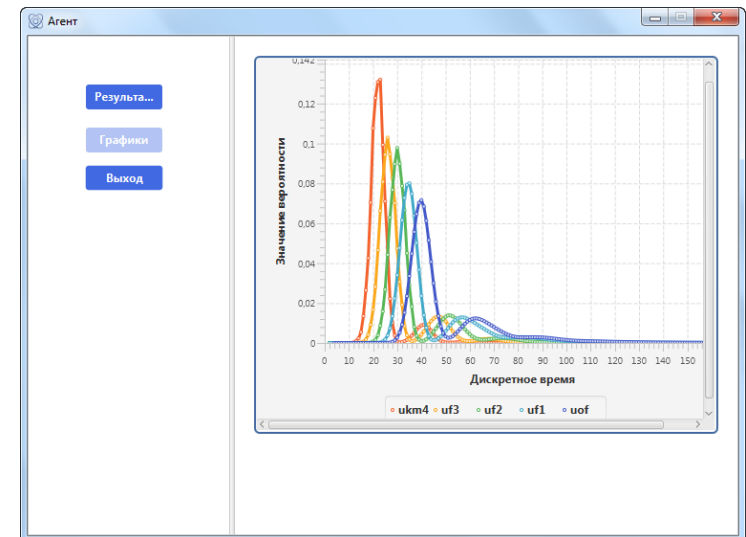
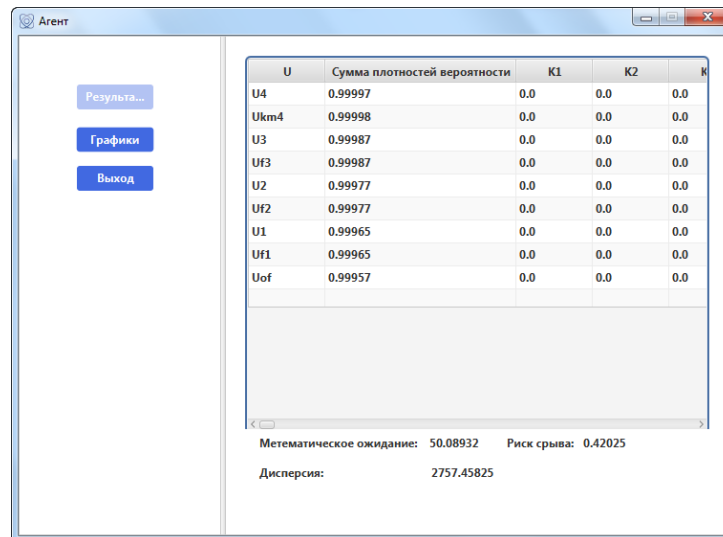
Верхняя граница времени воздействия агента  
C:

Введите вероятности уточнения информации

q1	<input type="text" value="0.91"/>
q2	<input type="text" value="0.95"/>
q3	<input type="text" value="0.89"/>
q4	<input type="text" value="0.91"/>

# Формы результатов работы приложения

## Результаты работы приложения





# Работа приложения



# Работоспособность приложения

- Первый этап проверки: используются детерминированные значения.

U	Сумма плотностей вероятности	K1	K2	K3
4	1.0	0.0	0.0	0.0
km4	1.0	0.0	0.0	0.0
3	1.0	0.0	0.0	0.0
f3	1.0	0.0	0.0	0.0
2	1.0	0.0	0.0	0.0
f2	1.0	0.0	0.0	0.0
1	1.0	0.0	0.0	0.0
f1	1.0	0.0	0.0	0.0
of	1.0	0.0	0.0	0.0

C:\Users\SKHROM~1\AppData\Local\Temp\SNAGHTML7f15a0a.PNG

Математическое ожидание: 15.0

Риск срыва: 1.0

Дисперсия: 0.0

# Работоспособность приложения

- Второй этап проверки: аналитический.

Результаты, полученные аналитическим путем

<b>Uof</b>				0,16655
<b>Мат. Ожидание</b>				6,54682
<b>Дисперсия</b>				247,47841
<b>Риск срыва</b>				1,00000

Результаты, полученные в приложении



The screenshot shows a window with a table containing the following data:

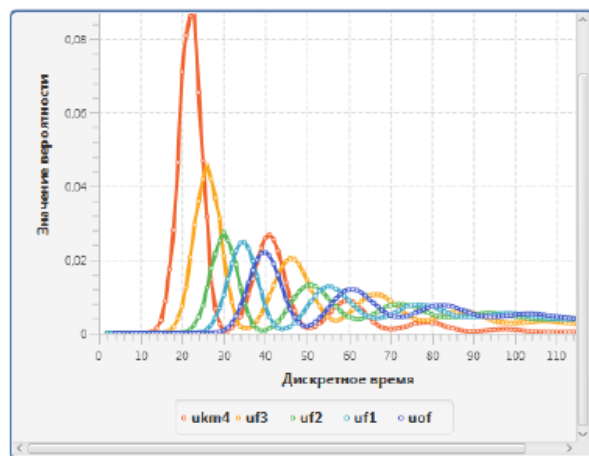
<b>Uof</b>	<b>0.16681</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>
------------	----------------	------------	------------	------------

Метематическое ожидание: 6.55666      Риск срыва: 1.0

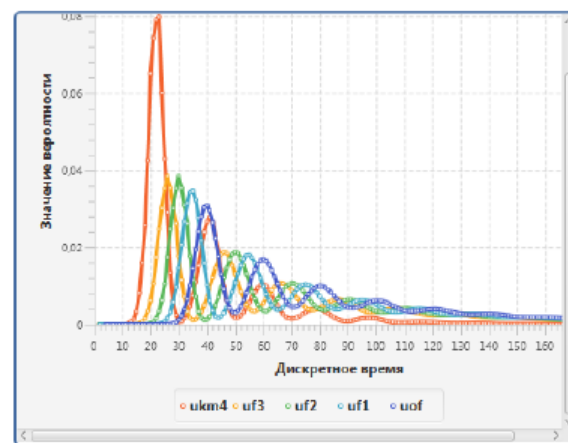
Дисперсия: 247.82829

# Анализ результатов

1. Чем меньше вероятность уточнения после взаимодействия агента с информационным ресурсом и другим агентом, тем больше математическое ожидание и дисперсия. Следовательно, вероятность завершения подпроцесса времени воздействия информационного агента на окружающую среду в наилучший момент времени ниже.



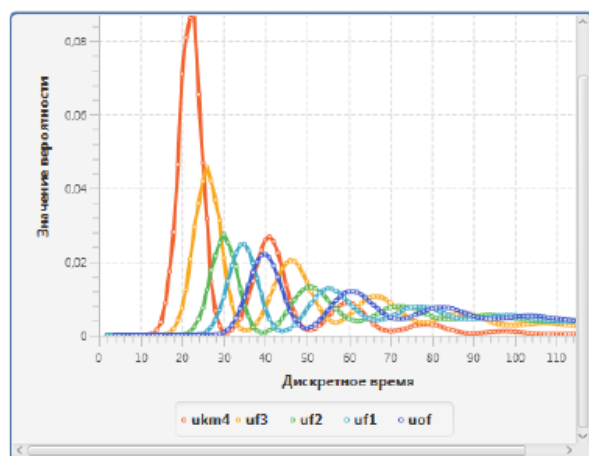
Результат с меньшей вероятностью уточнения



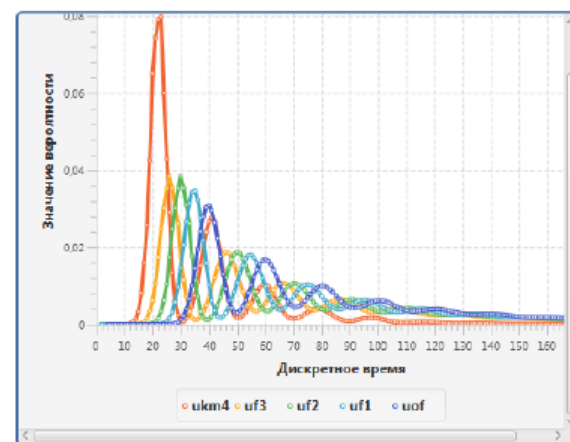
Результат с большей вероятностью уточнения

# Анализ результатов

2. Чем ниже вероятность уточнения, тем ниже пиковое значение вероятности времени воздействия информационного агента на окружающую среду, следовательно, плотность распределения вероятности будет распределена по большему количеству дискретных моментов времени, что приведет к снижению значения вероятности завершения процесса в наилучший



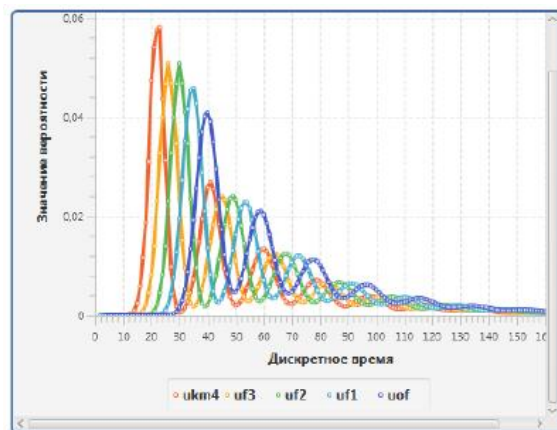
Результат с меньшей вероятностью уточнения



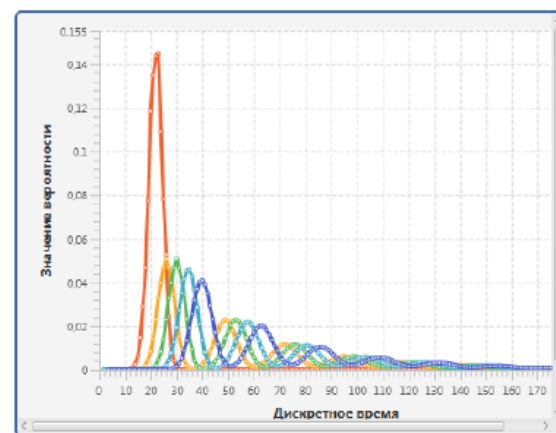
Результат с большей вероятностью уточнения

# Анализ результатов

3. Пиковое значение вероятности времени воздействия информационного агента на окружающую среду не зависит от того, какой из вероятностных возвратов наименьший, то есть если одна из 4-х вероятностей равна 0.4, а остальные равны единице, то пиковое значение вероятности неизменно и равно 0.04.



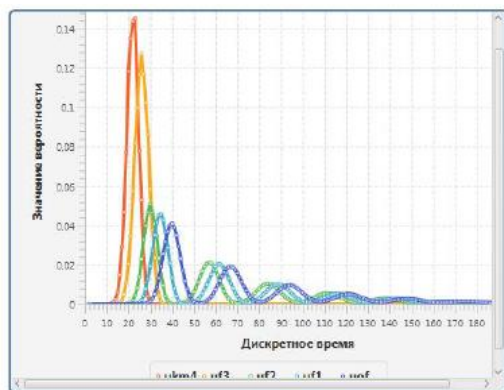
Результат в первом случае



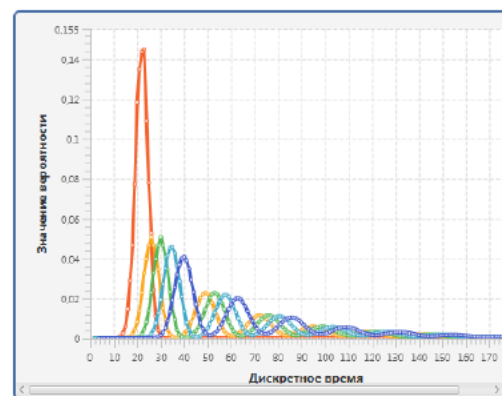
Результат во втором случае

# Анализ результатов

4. График плотности распределения вероятности времени воздействия информационного агента на окружающую среду представляет собой затухающее колебание с постоянным периодом. Причем, период графика плотности распределения вероятности тем больше, чем больше длительность процесса.



Результат в первом случае



Результат во втором случае

# Выводы

- Приведены основания для актуальности исследований поведения интеллектуальных мультиагентных систем в активных средах.
- Представлены взаимосвязи архитектуры интеллектуальных мультиагентных систем и активности окружающих сред.
- Учтены архитектурные особенности интеллектуальных мультиагентных систем при формировании формализаций описаний активных сред.
- Рассмотрены основания для выбора объектно-ориентированного подхода к проектированию информационных агентов.
- Представлен опорный базис для развития методологического обеспечения многоагентных систем.
- Описаны принципы построения модели функционирования агента из состава многоагентной системы.



# Выводы

- Построена расширенная объектно-ориентированная модель функционирования агента из состава многоагентной системы.
- Раскрыты характеристики модели.
- Разработано инструментальное программное средство для оценки качества функционирования интеллектуальных информационных агентов в активных инфокоммуникационных средах.
- Подтверждена корректная работа созданного инструментального программного средства для оценки качества функционирования интеллектуальных информационных агентов в активных инфокоммуникационных средах.
- Исследовано влияние активности инфокоммуникационной среды на качество функционирования интеллектуальных информационных агентов в активных инфокоммуникационных средах.

# Научная новизна результатов

- Формализовано определение динамических характеристик многоагентных систем в активных средах с применением их объектно-ориентированных моделей.
- Построена расширенная объектно-ориентированная модель типового процесса функционирования агента из состава интеллектуальной информационной многоагентной системы в активной среде, предназначенная для анализа качества её функционирования.
- Выполнено аналитическое определение динамических характеристик интеллектуальных информационных агентов из состава многоагентной системы при выполнении действий с возвратами.
- Выведены аналитические определения показателей качества типового процесса функционирования агента из состава многоагентной системы в условиях активной среды.

# Практическая значимость результатов

- Обеспечена возможность получения показателей качества функционирования из состава интеллектуальной информационной многоагентной системы в условиях активной среды;
- Разработан инструментарий для оценки качества функционирования интеллектуальных информационных агентов в активных инфокоммуникационных средах;
- Выявлена существенная зависимость показателей качества функционирования интеллектуального информационного агента от активности инфокоммуникационной среды.

# Апробации

- 70 региональная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых специалистов «Студенческая весна» в СПбГУТ, Санкт-Петербург, 24 мая 2016 г.;
- V –я Международная научно-техническая и научно-методическая конференция «Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании», СПбГУТ, Санкт-Петербург, 10-11 марта 2016 г.;
- VI –я Международная научно-техническая и научно-методическая конференция «Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании», СПбГУТ, Санкт-Петербург, 1-2 марта 2017 г.

# Публикации

- Статья «Планирование действий интеллектуальных информационных агентов с гарантиями качества их функционирования», авторы: Птицына Л. К., Лебедева А. А, Хроменков С. В.
- Статья: «Расширение модельного пространства агентных технологий», авторы Птицына Л. К., Лебедева А. А, Хроменков С. В.
- Статья: «Вариации в формализациях описаний активных сред интеллектуальных мультиагентных систем» », авторы Птицына Л. К., Хроменков С. В.



Спасибо за внимание!