



УДК 004.021,004.421

© 2012 г. **В.В. Воронин**, д-р техн. наук,  
**П.Н. Семченко**,  
**С.В. Шалобанов**, д-р техн. наук  
(Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск)

## МОДЕЛИРОВАНИЕ КЛИЕНТ-СЕРВЕРНОЙ СРЕДЫ ДИНАМИЧЕСКИХ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ

Анализируется математическая модель клиент-серверной среды динамических экспертных систем в виде марковского процесса с непрерывным временем и дискретными состояниями. Данная модель представлена в программном комплексе Mathcad. Приводятся результирующие экранные формы Mathcad. Демонстрируется способ решения записанных в матричном виде дифференциальных уравнений с помощью метода Рунге–Кутты четвертого порядка с фиксированным шагом.

**Ключевые слова:** численное моделирование, марковские процессы, автоматизированное проектирование, искусственный интеллект, экспертные системы, база знаний, база данных, клиент, сервер, трехзвенная архитектура, системы принятия решений.

### Введение

При создании сложных систем перед специалистами часто возникает проблема автоматизации процесса моделирования, которая в первом приближении сводится к задаче построения решения системы уравнений по математической модели некоторого сложного объекта и анализу свойств решения этой системы в зависимости от заданных в определенных диапазонах параметров [1, 2]. Переход от формального описания к дальнейшему анализу сложной системы обычно связывается с численным моделированием, которое позволяет глубже проникнуть в сущность объекта исследования.

В настоящее время существует достаточное количество программных пакетов с возможностями представления имеющейся математической модели в формальном виде на входном языке высокого уровня или же вообще в форме графического языка: MATLAB, Mathematica, Maple, Mathcad.

В работе рассматривается этап численного моделирования в системе с графическим языком Mathcad [3] для сложной динамической системы, в качестве которой взята клиент-серверная среда динамических экспертных систем [4] с имеющейся для этой среды математической моделью на основе марковских процессов с непрерывным временем и дискретными состояниями [5].

## Исходные данные для задачи численного моделирования

В решении задачи по численному моделированию потребуются некоторые данные, которые позволят оценить работу системы [5] в реальных условиях. Так, в качестве примера выберем деятельность Хабаровского научно-технического центра ФГУП «НПП «Гамма», оказывающего спектр услуг, связанных с защитой информации. Рассмотрим работу нескольких отделов центра: информационных технологий, аттестационных работ, специальных проверок и экспертиз, а также лицензирования. В деятельности перечисленных отделов возможно использование ряда экспертных систем.

Учитывая работу экспертов-специалистов, можно предложить следующий перечень экспертных систем.

В *отделе информационных технологий* – три экспертные системы, предназначенные для определения:

класса информационных систем персональных данных заказчика;  
мер защиты информационных систем персональных данных заказчика;

спектра действия электронной цифровой подписи заказчика.

В *отделе аттестационных работ* – две экспертные системы, по определению класса:

автоматизированных систем заказчика;  
средств вычислительной техники заказчика.

В *отделе специальных проверок и экспертиз* – одну экспертную систему, для определения уровней побочных электромагнитных излучений и наводок.

В *отделе лицензирования* – две экспертные системы по определению уровня соответствия заказчика требованиям, предъявляемым для получения лицензий как ФСТЭК, так и ФСБ России.

Следовательно, всего в клиент-серверной среде динамических экспертных систем возможно использование восьми таких систем.

Математическая модель системы [5] представлена в виде уравнений Колмогорова [7] в матричной форме:

$$\frac{dP}{dt} = \Lambda P + B,$$

где

$$\Lambda = \begin{bmatrix} a_{01} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & a_{02} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & a_{11} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & a_{12} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & a_{21} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & a_{22} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & a_{23} \end{bmatrix}, P = \begin{bmatrix} p_{01} \\ p_{02} \\ p_{11} \\ p_{12} \\ p_{21} \\ p_{22} \\ p_{23} \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} I_{01} \\ I_{02} \\ I_{11} \\ I_{12} \\ I_{21} \\ I_{22} \\ I_{23} \end{bmatrix}, a_{ij} = -(m_{ij} + I_{ij}).$$

Данная система уравнений позволяет рассчитать вероятности состояний системы, коэффициенты  $\lambda$  представляют собой интенсивности поступления запросов каждого типа, а коэффициенты  $\mu$  характеризуют интенсивность отказов. Здесь для упрощения расчета принято ограничение о постоянстве параметра интенсивности входящего потока запросов. В реальной ситуации это не всегда выполняется. Предлагается для обеспечения постоянства данной величины выбирать такой временной отрезок исследования системы, на котором интенсивность можно считать постоянной.

Определим типы запросов к клиент-серверной среде динамических экспертных систем (КССДЭС), ориентируясь на специфику деятельности Хабаровского научно-технического центра ФГУП «НПП «Гамма» и количество одновременно существующих в данной среде экспертных систем. Учтем, что каждый инженер по знаниям (эксперт-специалист) будет разрабатывать и отлаживать свою экспертную систему шесть рабочих дней, равномерно распределенных в течение рабочего месяца, сохраняя проделанную работу каждый час на протяжении рабочего дня. Таким образом, каждый инженер по знаниям произведет 48 запросов к системе [5]. Учтем также, что данная организация имеет в месяц 15 клиентов, для которых необходима генерация опросных листов по экспертной системе, при этом специфика работы такова, что для каждого клиента используются в среднем две экспертные системы.

Следовательно, в месяц происходит 30 запросов опросных листов. Разумеется, полученные опросные листы поступают на обработку в клиент-серверную среду динамических экспертных систем, однако половина полученных опросных листов в связи с проведением дополнительных обследований объектов заказчика нуждается в доработке, таким образом, имеются 45 запросов на выдачу результата по предъявленному опросному листу. Тип и количество запросов к КССДЭС представлены в табл. 1.

Таблица 1

Обработка листинга экспертной системы инженером по знаниям (expertsystemlistingprocessing, eslp)	Выдача опросного листа по экспертной системе (questionnaireissuing, qi)	Предъявление опросного листа и получение результатов (questionnaireanalysis, qa)
48	30	50

Исходя из вышеизложенного, легко рассчитать вероятности поступления заявки соответствующего типа:

$$P_{eslp} = P_0 = 0,375; P_{qi} = P_1 = 0,234; P_{qa} = P_2 = 0,391.$$

Функциональная схема работы системы [5], показанная на рис. 1, предполагает независимые каналы работы по типам запросов (т.е. работа каждого канала не зависит от работы других каналов). Таким образом, при численном моделировании весовые коэффициенты  $a_{ij} = -(m_{ij} + I_{ij})$  для расчета нагрузки будут равны соответствующим вероятностям для каждого канала. Смысл этого коэффициента сводится к следующему: при прохождении нагрузки через сеть, равной  $E$  эрланг, нагрузка проходящая через все типы каналов, рассчитывается как произведение  $E$  на вероятность поступления заявки, соответствующей данному каналу.

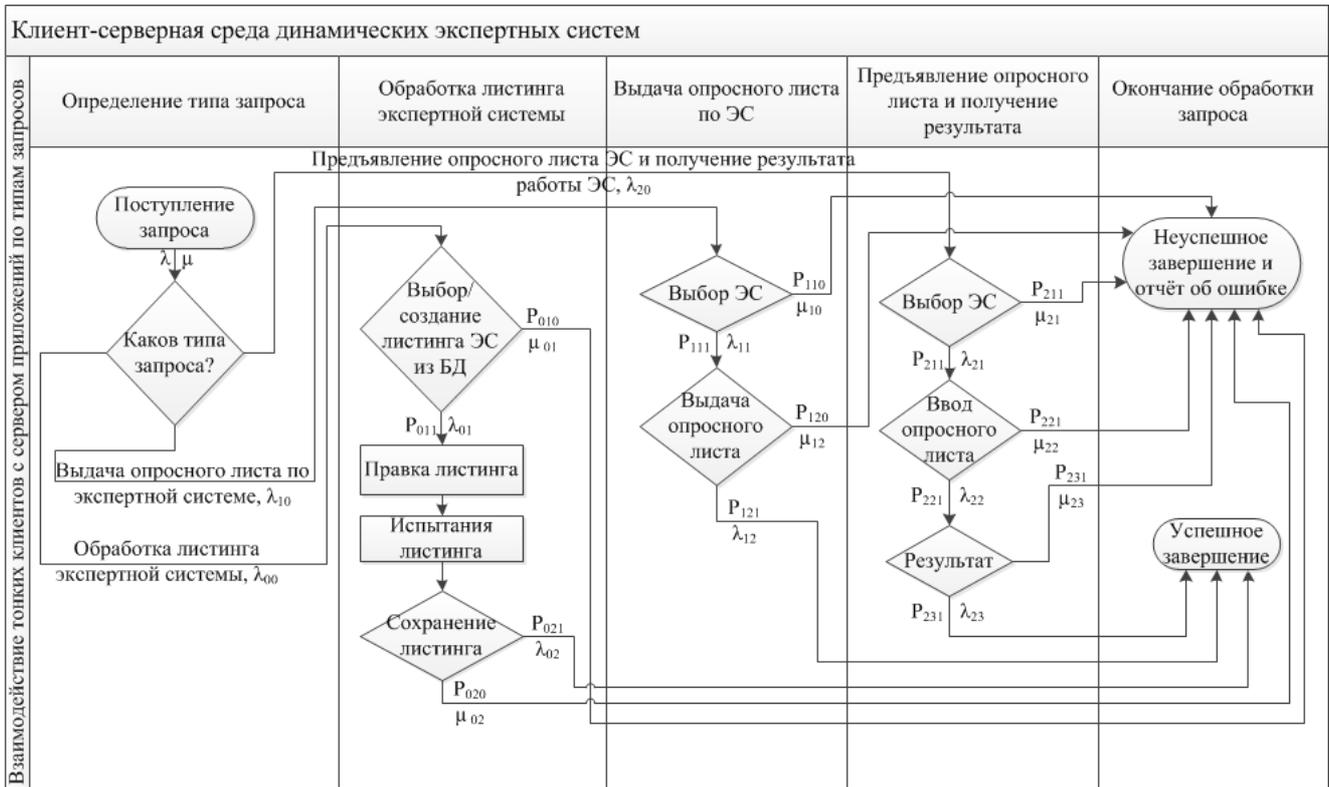


Рис. 1. Функциональная схема порядка взаимодействия тонких клиентов с сервером приложений по типам запросов.

Средняя продолжительность работы по различным типам запросов составляет 18 минут в час. В инфраструктуре рассматриваемой организации планируется использовать шесть ПК с программным обеспечением (ПО) инженера по знаниям, клиентским пользовательским ПО и ПО для сбора информации, а также отказоустойчивые серверы приложений и баз данных с резервируемым транслятором, ядром обработки и базой данных. Таким образом, в соответствии со схемой взаимодействия компонентов среды [4,5] количество каналов для запроса на обработку листинга экспертной системы, количество каналов для запроса на выдачу опросного листа и количество каналов для запроса на предъявление опросного листа и получение результата одинаково и составляет 6.

Используем В-формулу Эрланга [6] для расчета нагрузки, приходящейся на каждый тип канала:

$$P_m = \frac{a^m}{\sum_{k=0}^m \frac{a^k}{k!}},$$

где  $m$  – количество обслуживаемых каналов.

### Расчет нагрузки, приходящейся на каждый тип канала

По исходным данным проведем с помощью системы Mathcad расчет нагрузки на каждый тип канала. Часть экранной формы, с примером введенных данных и расчетными формулами для определения нагрузки на каналы, где  $n$  – коли-

чество запросов в час;  $T$  – выбранный интервал исследования в часах;  $m$  – количество каналов;  $P$  – вероятность поступления заявки соответствующего типа;  $t$  – длительность работы по запросу в часах, приведена на рис. 2.

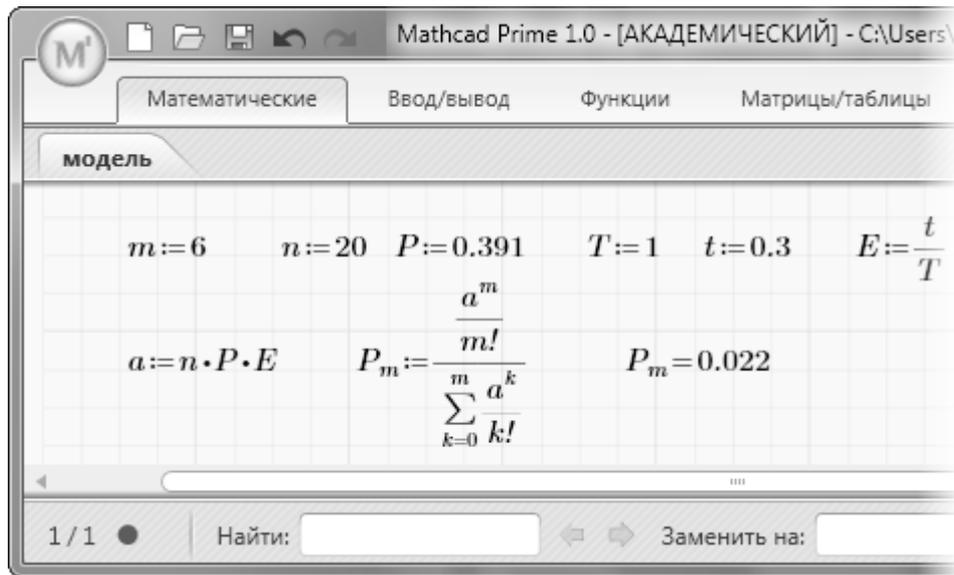


Рис. 2. Часть экранной формы среды Mathcad с расчетными формулами для определения нагрузки на каналы.

Результаты расчета нагрузки по каналам моделируемой системы для диапазона запросов от 1 до 25 в час приведены в табл. 2 (тип и количество запросов к КССДЭС).

Таблица 2

Кол-во запросов в час	Длительность работы по запросу (час)	Нагрузка на систему (Эрланг)	Обработка листинга ЭС		Выдача опросного листа		Предъявление опросного листа и получение результата	
			$\alpha$	$P_m$	$\alpha$	$P_m$	$\alpha$	$P_m$
1	0,3	0,3	0,1125	0	0,0702	0	0,1173	0
2	0,3	0,6	0,225	0	0,1404	0	0,2346	0
3	0,3	0,9	0,3375	0	0,2106	0	0,3519	0
4	0,3	1,2	0,45	0	0,2808	0	0,4692	0
5	0,3	1,5	0,5625	0	0,351	0	0,5865	0
6	0,3	1,8	0,675	0	0,4212	0	0,7038	0
7	0,3	2,1	0,7875	0	0,4914	0	0,8211	0
8	0,3	2,4	0,9	0	0,5616	0	0,9384	0
9	0,3	2,7	1,0125	0	0,6318	0	1,0557	0
10	0,3	3	1,125	0	0,702	0	1,173	0,001
11	0,3	3,3	1,2375	0,001	0,7722	0	1,2903	0,002
12	0,3	3,6	1,35	0,002	0,8424	0	1,4076	0,003
13	0,3	3,9	1,4625	0,003	0,9126	0	1,5249	0,004
14	0,3	4,2	1,575	0,004	0,9828	0	1,6422	0,005
15	0,3	4,5	1,6875	0,006	1,053	0	1,7595	0,007
16	0,3	4,8	1,8	0,008	1,1232	0	1,8768	0,009

17	0,3	5,1	1,9125	0,01	1,1934	0,001	1,9941	0,012
18	0,3	5,4	2,025	0,013	1,2636	0,002	2,1114	0,015
19	0,3	5,7	2,1375	0,016	1,3338	0,002	2,2287	0,018
20	0,3	6	2,25	0,019	1,404	0,003	2,346	0,022
21	0,3	6,3	2,3625	0,023	1,4742	0,003	2,4633	0,027
22	0,3	6,6	2,475	0,027	1,5444	0,004	2,5806	0,032
23	0,3	6,9	2,5875	0,032	1,6146	0,005	2,6979	0,037
24	0,3	7,2	2,7	0,037	1,6848	0,006	2,8152	0,042
25	0,3	7,5	2,8125	0,042	1,755	0,007	2,9325	0,049

Результаты моделирования, приведенные в таблице, достаточно адекватно описывают технологические процессы в деятельности Хабаровского научно-технического центра ФГУП «НПП «Гамма».

### Решение системы уравнений Колмогорова для заданных условий

Задачей численного моделирования в нашем случае является поиск зависимостей от времени для вероятностей поступления запросов каждого вида (на рис. 1 каждый запрос представлен столбцом, объединяющим специфические для него действия). Таким образом, нам необходимо решить систему дифференциальных уравнений первого порядка, записанных в форме Коши, приведенных выше в качестве математической модели рассматриваемой системы. Напомним, что данные уравнения также имеют вид уравнений Колмогорова.

Пакет Mathcad позволяет решать системы дифференциальных уравнений в матричном виде, используя различные методы. Остановимся на классическом методе Рунге–Кутты четвертого порядка с фиксированным шагом. В среде Mathcad для реализации этого метода используется функция  $rkfixed(P_0, t_0, t_1, npoints, D)$ , возвращающая матрицу. Первый столбец этой матрицы содержит точки, в которых получено решение, а остальные столбцы – решения.

Аргументы функции:  $P_0$  – вектор начальных значений;  $t_0$  и  $t_1$  – границы интервала, на котором ищется решение дифференциальных уравнений;  $npoints$  – число точек внутри интервала ( $t_0, t_1$ ), в которых ищется решение;  $rkfixed$  – функция, возвращающая матрицу, состоящую из  $1+npoints$  строк;  $D$  – вектор, который содержит первые производные искомой функции.

Часть экранной формы среды Mathcad с расчетными формулами для проведения численного моделирования показана на рис. 3.

Здесь мы задаем исходную интенсивность поступления запросов в 0,3 эрланг, а интенсивность отказов – в 0,01 эрланг. Учитываются также ранее определенные вероятности поступления заявок определенного типа.

Часть экранной формы среды Mathcad с примером графика по результатам численного моделирования представлена на рис. 4.

Кривая, стремящаяся с течением времени к единице, есть зависимость от времени вероятности обработки запроса выбора (создания) листинга экспертной системы, вторая же кривая – это вероятность отказа от обработки. График демонстрирует тенденцию к устойчивости с течением времени.

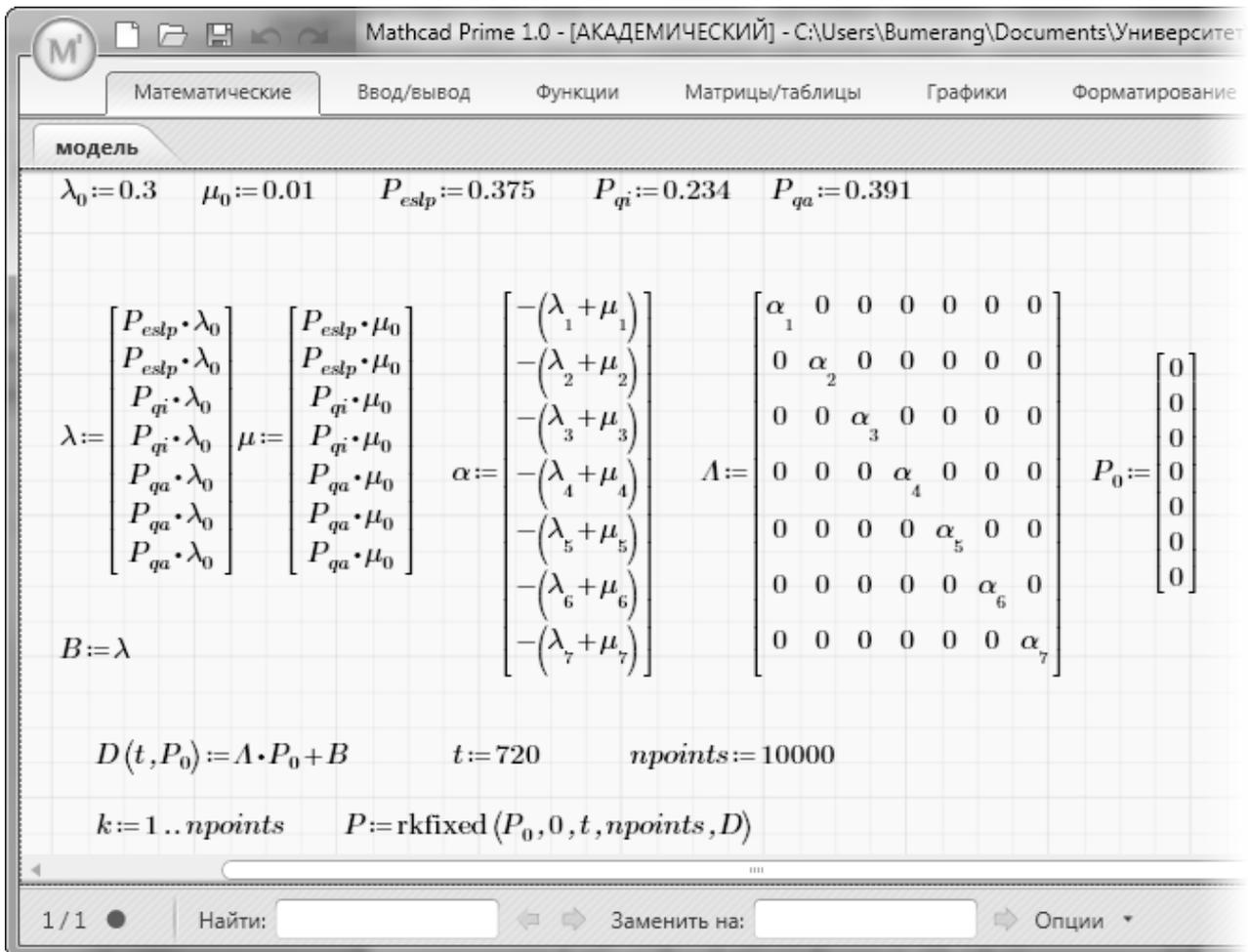


Рис. 3.

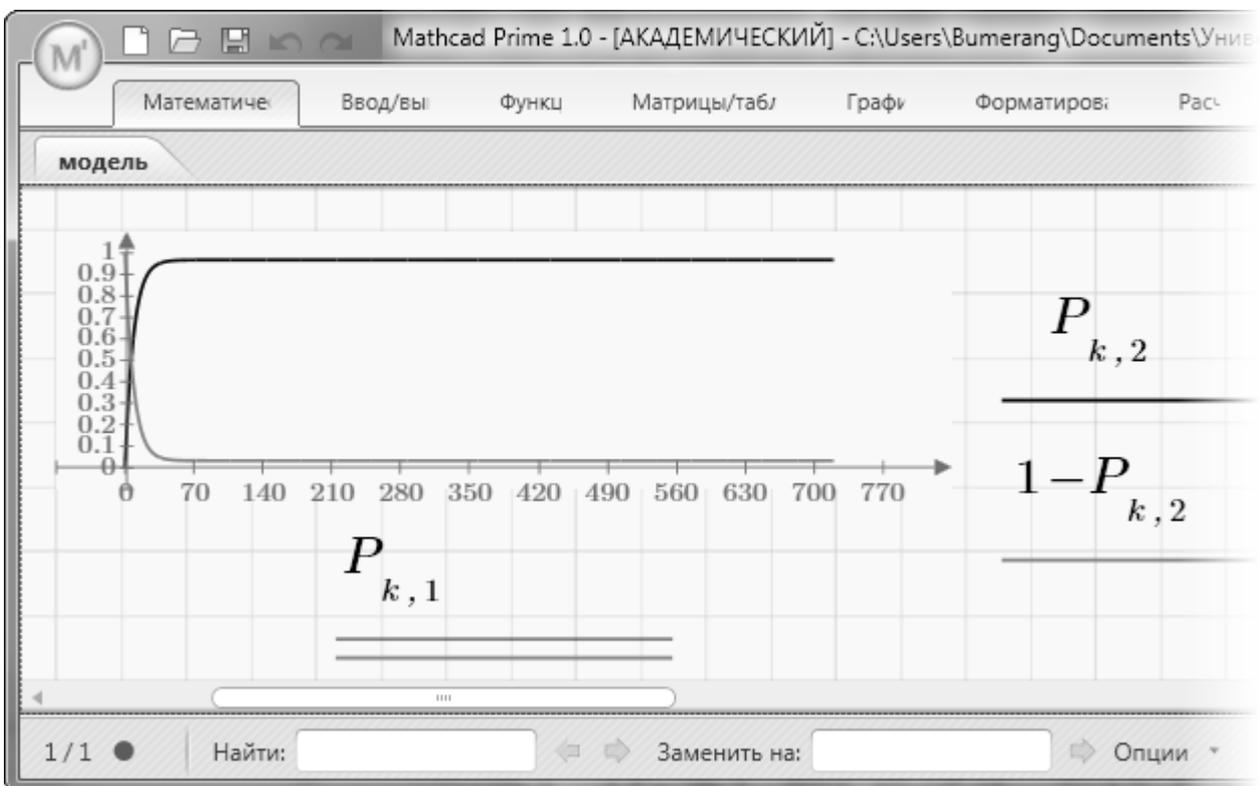


Рис. 4.

Вид зависимости от времени остальных вероятностей для модели рассматриваемой системы [5] аналогичен кривым, приведенным на рисунке. Разработанные в среде Mathcad расчетные формулы для численного моделирования позволяют менять входные параметры и исследовать поведение системы при разных условиях.

### Заключение

Подводя итоги, отметим ряд важных положений. В настоящее время существует несколько автоматизированных систем для решения задач численного моделирования, которые позволяют существенно экономить время при реализации вычислительного эксперимента. Взяв за основу математическую модель клиент-серверной среды экспертных систем [5], без особых временных и финансовых затрат удалось обнаружить адекватность этой модели и при этом выработать такое решение задачи численного моделирования в системе Mathcad, которое позволяет изменять начальные условия и отслеживать поведение реализованной модели. Важно также и представление математической модели на таком языке, который максимально приближен к языку математических формул и понятен широкому кругу специалистов. Результаты вычислительного эксперимента могут быть использованы при проведении имитационного моделирования работы выбранной сложной системы.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Колесов Ю.Б., Сениченков Ю.Б. Моделирование систем. Динамические и гибридные системы. – СПб.: БХВ-«Петербург», 2006.
2. Колесов Ю.Б., Сениченков Ю.Б. Моделирование систем. Объектно-ориентированный подход. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006.
3. Радченко Т.А., Дылевский А.В. Методы анализа систем массового обслуживания: Учебное пособие для вузов. – Воронеж: ЛОП ВГУ, 2007. – С.62-63.
4. Воронин В.В., Семченко П.Н. Концепция клиент-серверной среды динамических экспертных систем // Информатика и системы управления. – 2010. – № 3(25). – С.95-100
5. Voronin V.V., Semchenko P.N. Modeling of the component interaction network on the basis of Markov chains in the client-server environment of dynamic expert systems // Modern materials and technologies 2011: International Russian-Chinese Symposium. Proceedings. – Khabarovsk: Pacific National University, 2011. – P.381-386.
6. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания. – М.: Машиностроение, 1979.
7. Вентцель А.Д. Курс теории случайных процессов. – М.: Наука, 1996.

#### *E-mail:*

Воронин Владимир Викторович – : [voronin@ais.khstu.ru](mailto:voronin@ais.khstu.ru);

Семченко Павел Николаевич – [pavelsemch@mail.ru](mailto:pavelsemch@mail.ru);

Шалобанов Сергей Викторович – [shalabanov@mail.ru](mailto:shalabanov@mail.ru).