

# Системный анализ, управление и автоматизация

УДК 519.584

## **ОБ ИНТЕРПРЕТАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРТИЗЫ, ОЦЕНИВАЮЩЕЙ ПРИОБРЕТАЕМЫЕ КОМПОНЕНТЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ**

***М.Ю. Антонов, А.И. Никонов***

Самарский государственный технический университет  
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244  
E-майл: nikonovai@mail.ru

*Рассмотрено место стоимостной экспертной оценки в совокупности процессов проектирования и эксплуатации технических систем. Указаны признаки формирования функции экспертной оценки, участвующей в интерпретации результатов данной оценки. Выявлены различные варианты взаиморасположения функции экспертной оценки и стоимостных границ, влияющих на приобретение системных компонентов.*

**Ключевые слова:** компонент технической системы, экспертная оценка, функция экспертной оценки, критерий качества, стоимостная граница.

Цель настоящей статьи – выявление сущности действий интерпретационного характера, относящихся к результатам стоимостной экспертной оценки объектов – компонентов технической системы (ТС), и соответствующее обоснование затрат на приобретение данных объектов, данной системы.

Анализ и обобщение научно-технических публикаций [1-3], документации, опыта практической работы, произведенный применительно к проектируемым и эксплуатационным техническим системам, показывает, что и в случаях их проектирования, и в случаях их эксплуатации выполняются аналогичные друг другу действия по комплектации данных систем необходимыми техническими объектами – их компонентами.

Комплектацию ТС сопровождает экспертная оценка (ЭО) стоимости компонентов данных систем, инициируемая заинтересованной организацией-разработчиком или организацией-эксплуатационником, которую в данном аспекте мы будем именовать также организацией-заказчиком ЭО или попросту заказчиком.

На рис. 1 с помощью фреймов [5] иллюстрируется ситуация аналогичного и совокупного протекания процессов проектирования и эксплуатации данной ТС.

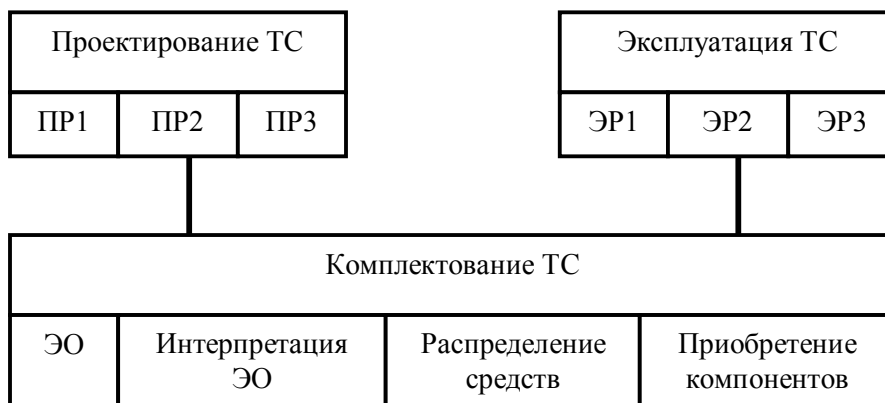
Здесь приняты следующие обозначения: ПР1, ЭР1 – проектные и эксплуатационные работы, предшествующие комплектации ТС; ПР2, ЭР2 – работы по комплектации ТС в процессе проектирования и эксплуатации; ПР3, ЭР3 – проектные и эксплуатационные работы, следующие за комплектацией ТС.

---

*Максим Юрьевич Антонов, аспирант.*

*Александр Иванович Никонов (д.т.н., профессор), профессор кафедры «Электронные системы и информационная безопасность».*

Состав указанных проектных работ ПР1, ПР3 может быть представлен таким образом:



Фреймовая структура совокупности проектирования и эксплуатации ТС

*Фрейм ПР1 (выдача задания на проектирование ТС; предварительное проектирование; принятие концепции разработки ТС; формирование облака и принципа действия ТС).*

*Фрейм ПР3 (разработка сопроводительной документации на ТС; испытание опытной версии ТС, ее подготовка к эксплуатации).*

Состав эксплуатационных работ (вида ЭР1, ЭР3), относящихся к компетенции ответственного за эксплуатацию ТС производственно-технического подразделения, выбирается, в частности, из следующего множества:

*{разработка мероприятий, непосредственно направленных на выполнение производственных заданий; осуществление контроля результативности, качества эксплуатационных операций; ликвидация и расследование возможных аварий; координация работ по составлению заявок на обеспечение данной организации оборудованием, материалами; участие в организации работ по строительству и ремонту объектов производственного назначения; руководство работами по разработке и внедрению новой техники; участие в составлении перспективного финплана данной организации.}*

Отнесение элементов данного множества к слотам ЭР1 или ЭР3, их упорядочение производится при планировании работ указанного производственно-технического подразделения, участвующего в обеспечении эксплуатации ТС.

Требования к результату ЭО предусматривают получение организацией-заказчиком функции ЭО, отражающей стоимость каждого объекта – компонента данной ТС. Аргументами этой функции выступают технический критерий качества данного объекта  $X$  и время  $t \geq 0$ , причем  $X \in D_X = [X_n, \dots, X_n]$ ,  $t \in D_t$ , где  $D_X, D_t$  – заданные диапазоны. Критерию  $X$  придается индекс, указывающий на  $i$ -тый компонент данной ТС.

Диапазон величины  $X_i (i \in I_n = \{1, \dots, n\})$  может быть приведен к отрезку единичной длины согласно известному выражению [5], имеющему такой вид:

$$x_i = (X_i - X_{ni}) / (X_{ei} - X_{ni}); \quad 0 \leq x_i \leq 1.$$

Более конкретно функция ЭО  $i$ -того объекта комплектации ТС формируется следующим образом: задается шкала стоимостных значений, граничные точки делений в которой имеют вид  $lh$ , где  $l$  – номер данной точки (целое число),  $h$  – шаг построения данной равномерной шкалы, причем указанные точки образуют диапазон значений  $D_y^g = [l_n h, \dots, l_h h]$ . При фиксированном  $t = t^*$  задается непрерывная образующая функция  $f_{\sim i}(x_i, t^*)$ , которая отвечает требованию к виду и параметрам оценки рассматриваемого объекта-компонента. Наконец, получаемая функция  $f_{\exists i}(x_i, t^*)$  выражается в форме соответствия

$$x_i \in \begin{cases} [x_{il}, x_{il+1}) \rightarrow f_{\sim il} |_{t^*} = lh : l < (l_g \rightarrow 1); \\ x_{il_g} = 1 \rightarrow f_{\sim il_g} |_{t^*} = l_g h. \end{cases}$$

При этом значение  $f_{\sim i}(x_i, t^*) = f_{\sim il} |_{t^*}$  на интервале  $[x_{il}, x_{il+1})$  сохраняется неизменным. Варьируя величину  $t^*$  в пределах задания диапазона  $D_i$ , можно сформировать семейство функций вида  $f_{\exists i}(x_i, t^*)$ .

Примем естественное допущение о том, что с ростом нормированного критерия качества рассматриваемого  $i$ -того объекта – компонента ТС возрастает и стоимость объекта.

В общем случае, когда нормированные аргументы вида  $x_i (i \in I_n)$  могут быть как равными, так и не равными друг другу, сумма функций ЭО вида  $f_{\exists i}(x_i)$  возрастает по совокупности чередующихся аргументов

$$x_{i_1}, \dots, x_{i_l}, \dots, x_{i_m} \quad (l \leq m \leq n)$$

при любом сочетании фиксированных значений нормированных аргументов вида  $x_{j \neq i_l}$ , находящихся в пределах своих диапазонов.

Исходя из опыта закупок оборудования и материалов и изучения рыночной конъюнктуры организация-заказчик назначает верхнюю и нижнюю оценочные границы для  $i$ -того компонента ТС соответственно вида  $\vartheta_{\exists i}, \vartheta_{\sim i} (i \in I_n)$ . Эти границы обуславливают возможности приобретения организацией указанного  $i$ -того компонента проектируемой или обслуживаемой ТС. В частности, назначение уровня  $\vartheta_{\exists i}$  связывается с оценочной границей приемлемого качества подбираемого компонента ТС, а также сведениями о деловой репутации его производителя.

Вопрос о том, превосходит ли сумма, составленная из  $n$  функций ЭО, заданную верхнюю оценочную границу  $\vartheta_{\exists \Sigma}$  как порог допустимой стоимости или не превосходит такого порога, количественно может быть решен путем сравнения величины указанной суммы функций ЭО, вычисляемой в общей точке нормированных аргументов  $x_i = 0$  и самого значения  $\vartheta_{\exists \Sigma}$ . Во-первых, уровень данной суммы может быть меньшим либо равным  $\vartheta_{\exists \Sigma}$ . Если же данный уровень превосходит  $\vartheta_{\exists \Sigma}$ , то в силу отмеченного выше свойства своего характерного вырастания уже нигде на отрезке  $[0, 1]$  такая суммарная функция ЭО не снизится сравнительно с фиксированным уровнем  $\vartheta_{\exists \Sigma}$ .

Итак, интервалы  $D_x, D_t, D_y^g$  содержат используемые значения величин соответственно

$$X_i, t, y_{oi} = f_{oi}(X_i, t), \quad i \in I_n,$$

причем в диапазоне  $D_y^z$  задаются верхние  $\vartheta_{B_i}$  и нижние  $\vartheta_{H_i}$  оценочные границы, появление значений  $y_{z_i}$  соответственно выше и ниже которых является нежелательным. Теперь в рамках интерпретации результатов ЭО рассмотрим числовые взаимосвязи  $y_{z_i}$  с величинами  $\vartheta_{B_i}$  и  $\vartheta_{H_i}$ . Эти взаимосвязи отражает представленная таблица (величину  $t$  здесь считаем фиксированной).

### Взаимосвязи значений различных функций ЭО и оценочных границ

№ вар.	Расположение уровней вида $y_{z_i}$	Символьные характеристики вариантов расположения	Графическое представление вариантов
1	Ниже границы $\vartheta_{H_i}$	$\forall X_i \in D_x : y_{z_i} < \vartheta_{H_i}$	
2	Частично ниже и частично выше $\vartheta_{H_i}$ , ниже $\vartheta_{B_i}$	$\exists X_i \in D_x : y_{z_i} < \vartheta_{H_i}$ & $\exists X_i \in D_x : \vartheta_{H_i} < y_{z_i} < \vartheta_{B_i}$	
3	Ниже $\vartheta_{B_i}$ и выше $\vartheta_{H_i}$	$\forall X_i \in D_x : \vartheta_{H_i} < y_{z_i} < \vartheta_{B_i}$	
4	Частично выше и частично ниже $\vartheta_{B_i}$ , выше $\vartheta_{H_i}$	$\exists X_i \in D_x : \vartheta_{H_i} < y_{z_i} < \vartheta_{B_i}$ & $\exists X_i \in D_x : y_{z_i} > \vartheta_{B_i}$	

5	Частично ниже и частично выше как $\vartheta_{\pi i}$ , так и $\vartheta_{\varepsilon i}$	$\exists X_i \in D_x : y_{\varepsilon i} < \vartheta_{\pi i}$ & $\exists X_i \in D_x : \vartheta_{\pi i} < y_{\varepsilon i} < \vartheta_{\varepsilon i}$ & $\exists X_i \in D_x : y_{\varepsilon i} > \vartheta_{\varepsilon i}$	
6	Выше границы $\vartheta_{\varepsilon i}$	$\forall X_i \in D_x : y_{\varepsilon i} > \vartheta_{\varepsilon i}$	

Количественное представление указанных в таблице классификационных взаимосвязей показывает, что подынтервалы критериев качества, отвечающих значениям функций ЭО, каждая из которых не выходит за предел  $\vartheta_{\varepsilon i}$ , могут быть выражены следующим образом (индексация  $q$  ведется по номерам вариантов):

$$\Delta_q(x_i) = [0,1] : q = 1,2,3 ;$$

$$\Delta_q(x_i) = [0, f_{\varepsilon i}^{-1}(\vartheta_{\varepsilon i})] : q = 4,5 ;$$

$$\Delta_q(x_i) = 0 : q = 6 .$$

Здесь верхний индекс в записи  $f_{\varepsilon i}^{-1}$  обозначает операцию получения обратной функции.

Соответственно, оцениваемая экспертом приемлемая стоимость  $i$ -того объекта комплектации ТС, согласно выявленным классификационным вариантам взаиморасположения функций ЭО и допустимых стоимостных границ, получает следующее количественное представление:

$$\forall (x_i \in \Delta_q) C_q(x_i) \in [f_{\varepsilon i}(x_i), \vartheta_{\varepsilon i}] ; q = 1, \dots, 5 ;$$

$$\forall (x_i \in [0,1]) (f_{\varepsilon i}(x_i) > \vartheta_{\varepsilon i}) \rightarrow \bar{\exists} C_q : q = 6 .$$

Приведенные выражения позволяют очертить границы допустимых числовых областей критериев качества и расходов на приобретение системных компонентов, то есть выработать интересующую нас интерпретацию результатов оценочной экспертизы. Данная интерпретация включается в комплекс операций комплектования ТС, который выстраивается согласно порядку их следования, предусматриваемого представленной выше схемой.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Быков В.П.* Методическое обеспечение САПР в машиностроении. – Л.: Машиностроение, 1989. – 255 с.

2. Основы проектирования бытовой техники: Учеб. пособие / С.А. Лавров, В.В. Лесников, А.Ф. Романченко. – Уфа: Уфимск. технол. ин-т сервиса, 2000. – 306 с.
3. Управление проектами / М.А. Разу, Т.М. Бронникова, Б.М. Разу и др. – М.: КНОРУС, 2006. – 768 с.
4. Информатика: Учебник / Б.В. Соболев, А.Б. Галин, Ю.В. Панов и др. – Ростов н/Д: Феникс, 2007. – 446 с.
5. Турчак Л.И., Плотников П.В. Основы численных методов: Учеб. пособ. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Физматлит, 2002. – 304 с.

Статья поступила в редакцию 28 марта 2011 г.

## ON THE INTERPRETATION OF THE EXAMINATION RESULTS FOR PURCHASED COMPONENTS OF AN ENGINEERING SYSTEM

***M.Y. Antonov, A.I. Nikonov***

Samara State Technical University  
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100

*The place of cost estimation in the set of designing and operation processes for engineering systems is discussed. The function formation characteristics of the value appraisal involved in interpreting the results of this evaluation are given. A variety of options for the relationship between the function of the value appraisal and cost limits that affect the purchasing of system components is shown.*

***Keywords:*** *components of technical systems, expert evaluation, the function of peer review, quality criteria, the cost limit.*

---

*Maksim Y. Antonov, Postgraduate Student.  
Alexander I. Nikonov (Dr. Sci. (Techn.)), Professor.*

## МЕТОДИКА СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА ДЕСТАБИЛИЗИРУЮЩИХ ПРОГРАММНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

***В.И. Батищев, А.В. Дорфман***

Самарский государственный технический университет  
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244  
E-mail: vib@list.ru

*Проведен анализ базовых методик системного анализа. На их основе разработана новая методика системного анализа дестабилизирующих программных воздействий, в которой выделены этапы моделирования проблемы и выработки решения проблемы, предусмотрена итеративность, обеспечивающая нахождение оптимального решения проблемы.*

***Ключевые слова:*** компьютерные вирусы, дестабилизирующие программные воздействия, методика системного анализа, математическое и системное моделирование.

Для функционирования программных систем управления и обработки информации большую угрозу представляют компьютерные вирусы, троянские программы, другие виды вредоносных программ, а также программные ошибки и уязвимости, которые были объединены авторами под общим термином – дестабилизирующие программные воздействия (ДПВ).

Наибольшие научные и практические результаты достигнуты в области компьютерной вирусологии, занимающейся изучением вредоносных программ и включающей четыре направления: экспериментальные исследования экземпляров вирусов, разработка методов их анализа, разработка средств защиты и теоретические исследования, посвященные созданию математических моделей вирусов и выявлению с их помощью обобщенных свойств вирусов.

В области исследования ошибок и уязвимостей существует ряд методов для их выявления, часть из которых основана на распознавании сигнатур ошибок при анализе исходных текстов, другая часть работает с бинарным кодом без исходных текстов и основана на генерации случайных входов для программной системы с целью вызвать в ней ошибку – фаззинг.

Сообщения об успешных атаках компьютерных вирусов и атаках, основанных на уязвимостях, свидетельствуют о недостаточной эффективности современных средств распознавания ДПВ. Истоки данной неэффективности лежат в ряде проблем, причем основной следует признать отсутствие системных исследований дестабилизирующих программных воздействий.

Поэтому была поставлена задача системного анализа дестабилизирующих программных воздействий [1, 2]. Вследствие отсутствия методик системного анализа в данной предметной области было решено провести анализ базовых, так сказать, пионерских методик системного анализа [3-8], затем выбрать среди них подходящую или синтезировать новую методику системного анализа ДПВ.

---

*Виталий Иванович Батищев (д.т.н., профессор), заведующий кафедрой «Информационные технологии».*

*Антон Владимирович Дорфман (к.т.н., доцент), доцент кафедры «Электронные системы и информационная безопасность».*

В исследовании Э. Квейда [1] предложена методика системного анализа для военных решений (табл. 1). Она содержит пять этапов, изложенных в довольно общих формулировках.

*Таблица 1*

**Методика системного анализа Э. Квейда**

1	Постановка задачи	Определение существа проблемы, выявление целей и определение границ задачи
2	Поиск	Сбор необходимых сведений, определение альтернативных средств достижения поставленных целей
3	Толкование	Построение модели и ее использование для исследования результатов применения альтернативных средств, обычно путем оценки их стоимости и характеристик
4	Рекомендация	Определение предпочтительной альтернативы или курса действий, что может представлять собой сочетание характерных свойств рассмотренных альтернатив или их модификаций, необходимых для учета факторов, не принятых во внимание на ранних этапах исследования
5	Подтверждение	Экспериментальная проверка рекомендации

В этапе 4 методики заложена важная особенность – возможность синтеза собственного решения на основе выгодных свойств альтернатив.

В работе С. Оптнера [4] и вступительной статье С.П. Никанорова «Системный анализ: этап развития методологии решения проблем в США» к этой работе представлены две методики (табл. 2).

Этапы 1, 2, 3 данных методик похожи и, по сути, являются детализацией этапа 1 методики Э. Квейда. Никаноров отдельно выделяет этап 4 – определение критериев и укрупняет этапы 11, 12 С. Оптнера в свой этап 12. В остальном этапы обеих методик практически идентичны, и часть из них является детализацией этапов методики Э. Квейда. Следует отметить первую часть этапа 4 от С. Оптнера – вскрытие структуры системы и этап 13, позволяющий оценить результаты реализации решения.

Работа С. Янга [5] описывает системный анализ как методологию совершенствования организации и представляет методику, состоящую из следующих десяти этапов: определение целей организации, выявление проблем в процессе достижения этих целей, исследование проблем и постановка диагноза, поиск решения проблемы, оценка всех альтернатив и выбор наилучшей из них, согласование решений в организации, утверждение решения, подготовка к вводу решения в действие, управление применением решения, проверка эффективности решения. По данной методике можно сделать вывод, что если не учитывать ее специфику, ее этапы уже встречались в рассмотренных ранее методиках.

В работе Н.П. Федоренко [6] приводится методика, состоящая из восьми этапов: формулирование проблемы, определение целей, сбор информации, разработка максимального количества альтернатив, отбор альтернатив, построение модели в виде уравнений, программ или сценария, оценка затрат, испытание чувствительности решения (параметрическое исследование). Новшеством здесь является последний пункт. Кроме того, необходимо отметить этап построения модели, который встречался только у Квейда.



**Методики системного анализа С. Оптнера и С. П. Никанорова**

<i>По С. Оптнеру</i>	<i>По С.П. Никанорову</i>
Идентификация симптомов	Обнаружение проблемы
Определение актуальности проблемы	Оценка актуальности проблемы
Определение цели	Определение цели и принуждающих связей
Вскрытие структуры системы и ее дефектных элементов	Определение критериев
Определение структуры возможностей	Определение дефектных элементов существующей системы, ограничивающих получение заданного выхода, оценка веса их влияния на определяемые критериями выходы системы
Нахождение альтернатив	Определение структуры для построения набора альтернатив
Оценка альтернатив	Построение набора альтернатив
Выбор альтернативы	Оценка альтернатив
Составление решения	Выбор альтернатив для реализации
Признание решения коллективом исполнителей и руководителей	Определение процесса реализации
Запуск процесса реализации решения	Согласование найденного решения
Управление процессом реализации решения	Реализация решения
Оценка реализации и ее последствий	Оценка результатов реализации решения

В работе [5] представлена методика системного анализа, применяемая при отраслевом планировании и содержащая семь этапов: постановка задачи, исследование, анализ, предварительное суждение, подтверждение, окончательное суждение, реализация принятого решения. Отметим, что в ней появились зачатки итеративности, полезное свойство, которое можно использовать.

В исследовании Ю.И. Черняка [8] обобщены результаты предыдущих работ [3-7] и представлена проработанная и подробная методика системного анализа, применяемая при управлении в экономической отрасли (табл. 3).

Данную методику отличает от предыдущих ее детальная проработка, однако она имеет свою специфичную область применения.

Таблица 3

**Методика системного анализа Ю.И. Черняка**

Анализ проблемы	Существует ли проблема? Точное формулирование проблемы Анализ логической структуры проблемы Развитие проблемы (в прошлом и будущем) Внешние связи проблемы (с другими проблемами) Принципиальная разрешимость проблемы
-----------------	---

Определение системы	<ul style="list-style-type: none"> <li>Спецификация задачи</li> <li>Определение позиции наблюдателя</li> <li>Определение объекта</li> <li>Выделение элементов (определение границ разбиения системы)</li> <li>Определение подсистем</li> <li>Определение среды</li> </ul>
Анализ структуры системы	<ul style="list-style-type: none"> <li>Определение уровней иерархии (в больших системах)</li> <li>Определение аспектов и языков (в сложной системе)</li> <li>Определение процессов-функций (в динамической системе)</li> <li>Определение и спецификация процессов управления и каналов информации (в кибернетических системах)</li> <li>Спецификация подсистем</li> <li>Спецификация процессов (функций) текущей деятельности (рутинных) и развития (целевых)</li> </ul>
Формирование общей цели и критерия системы	<ul style="list-style-type: none"> <li>Определение целей-требований надсистемы</li> <li>Определение целей и ограничений среды</li> <li>Формулирование общей цели</li> <li>Определение критерия</li> <li>Декомпозиция целей и критериев по подсистемам</li> <li>Композиция общего критерия и критериев подсистем</li> </ul>
Декомпозиция цели, выявление потребности в ресурсах и процессах	<ul style="list-style-type: none"> <li>Формулирование целей верхнего ранга</li> <li>Формулирование целей текущих процессов</li> <li>Формулирование целей эффективности</li> <li>Формулирование целей развития</li> <li>Формулирование внешних целей и ограничений</li> <li>Выявление потребностей в ресурсах и процессах</li> </ul>
Выявление ресурсов и процессов, композиция целей	<ul style="list-style-type: none"> <li>Оценка существующей технологии и мощностей</li> <li>Оценка современного состояния ресурсов</li> <li>Оценка реализуемых и запланированных проектов</li> <li>Оценка возможностей взаимодействия с другими системами</li> <li>Оценка социальных факторов</li> <li>Композиция целей</li> </ul>
Прогноз и анализ будущих условий	<ul style="list-style-type: none"> <li>Анализ устойчивых тенденций развития системы</li> <li>Прогноз развития и изменения среды</li> <li>Предсказание появления новых факторов, оказывающих сильное влияние на развитие системы</li> <li>Анализ ресурсов будущего</li> <li>Комплексный анализ взаимодействия факторов будущего развития</li> <li>Анализ возможных сдвигов целей и критериев</li> </ul>
Оценка целей и средств	<ul style="list-style-type: none"> <li>Вычисление оценок по критерию</li> <li>Оценка взаимодействия целей</li> <li>Оценка относительной важности целей</li> <li>Оценка дефицитности и стоимости ресурсов</li> <li>Оценка влияния внешних факторов</li> <li>Вычисление комплексных расчетных оценок</li> </ul>
Отбор вариантов	<ul style="list-style-type: none"> <li>Анализ целей на совместимость и входимость</li> <li>Проверка целей на полноту</li> <li>Отсечение избыточных целей</li> <li>Планирование вариантов достижения отдельных целей</li> <li>Оценка и сравнение вариантов</li> <li>Совмещение комплекса взаимосвязанных вариантов</li> </ul>
Диагноз существующей системы	<ul style="list-style-type: none"> <li>Моделирование технологического и экономического процесса</li> <li>Расчет потенциальной и фактической мощности</li> </ul>

	Анализ потерь мощности Выявление недостатков организации производства и управления Выявление и анализ мероприятий по совершенствованию организации
Построение комплексной программы развития	Формулирование мероприятий, проектов и программ Определение очередности целей и мероприятий по их достижению Распределение сфер деятельности Распределение сфер компетенции Разработка комплексного плана мероприятий в рамках ограничений по ресурсам во времени Распределение по ответственным организациям, руководителям и исполнителям
Проектирование организации для достижения целей	Назначение целей организации Формулирование функций организации Проектирование организационной структуры Проектирование информационных механизмов Проектирование режимов работы Проектирование механизмов материального и морального стимулирования

Анализ базовых методик позволил выявить, что во всех них в той или иной форме представлены этапы выявления проблемы, постановки целей, нахождения альтернатив, оценки и выбора альтернатив, реализации решения. В некоторых также есть этап оценки эффективности решений. Поскольку в методиках не ясна взаимосвязь между этапами, в частности возможность возвращаться к предыдущим этапам, то отсутствует итеративность. Также не является ясным, что делать, если нет альтернатив или существующие альтернативы не устраивают, что имеет место в нашем случае. В целом можно отметить, что ни одна из рассмотренных методик не пригодна для системного анализа ДПВ. Поэтому было решено разработать новую авторскую методику на основе синтеза лучших особенностей проанализированных.

В системном смысле о компьютерных вирусах (вредоносных программах) можно сделать следующие выводы. Вирус является искусственной технической системой, созданной без использования аппарата математического моделирования на основе интуиции и опыта конкретного автора. При этом в нее закладываются некоторые свойства адаптивности, поскольку ее дальнейшее функционирование происходит без какого-либо вмешательства со стороны разработчика.

Разработанная методика системного анализа дестабилизирующих программных воздействий представлена на рисунке.

Преимуществом данной методики является то, что она вобрала в себя все лучшее от проанализированных. Выделены этапы моделирования проблемы и выработки ее решения, существует итеративность, которая гарантирует нахождение оптимального решения. Помимо этого введено экспериментальное исследование, в процессе которого анализируются экземпляры ДПВ с целью выявления закономерностей их функционирования.

В соответствии с предложенной методикой был проведен системный анализ компьютерных вирусов. На этапе 1 в качестве проблемы выбраны компьютерные вирусы и проведен анализ их влияния на программные средства промышленного применения. Целью исследования выбрано создание новой информационной технологии – нового способа распознавания компьютерных вирусов. В соответствии



#### Методика системного анализа дестабилизирующих программных воздействий

с этапом 2 проведено экспериментальное исследование компьютерных вирусов, на основе которого на этапе 3 выявлены компоненты системы, реализованы ее декомпозиция, системная модель состава вируса и функциональная классификация вирусов. Существующие способы распознавания компьютерных вирусов проанализированы на основе декомпозиции системы «компьютерный вирус» на этапе 4, и проведенная оценка альтернатив выявила, что существующие способы распознавания не удовлетворяют поставленной цели. Исходя из выявленных системных свойств вирусов и поставленных задач исследования на этапе 5 сформированы требования к математической модели компьютерного вируса. Далее на этапе 6 проведен анализ существующих моделей вируса и возможного их развития на соответствие данным требованиям, в результате которого выявлено, что ни одна из моделей не удовлетворяет им полностью. На этапе 7 на основе проведенного анализа существующих математических моделей и требований к ним разработана собственная модель системы «компьютерный вирус». В рамках разработанного формализма и моделей на этапе 8 сформировано решение задачи распознавания компьютерных вирусов, которое реализовано в виде программной системы распознавания вирусов на этапе 9. На этапе 10 проведена экспериментальная проверка решения, то есть тестирование способности системы к распознаванию вирусов. Оценка эффективности по сравнению с существующими

антивирусными средствами проведена на этапе 11. В результате выявлено, что решение эффективно и цель исследования достигнута. В случае, если бы этого не произошло, выполнялся бы этап 12, который заключается в доработке модели решения и последующем переходе к этапу 8.

Проведенный системный анализ компьютерных вирусов и полученные результаты свидетельствуют о работоспособности предложенной методики системного анализа дестабилизирующих программных воздействий. Необходимо отметить, что с помощью данной методики возможен системный анализ других классов дестабилизирующих программных воздействий, например троянских программ.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Теоретические основы системного анализа / В.И. Новосельцев и др.; Под ред. В.И. Новосельцева. – М.: Майор, 2006. – 592 с.
2. Теория систем и системный анализ в управлении организациями: Справочник: Учеб. пособие / Под ред. В.Н. Волковой и А.А. Емельянова. – М.: Финансы и статистика, 2006. – 848 с.
3. *Квейд Э.* Анализ сложных систем. Пер. с англ. под ред. И.И. Ануреева, И.М. Верещагина. – М.: Сов. радио, 1969. – 520 с.
4. *Оттнер С.* Системный анализ для решения деловых и промышленных проблем. – М.: Сов. радио, 1969. – 216 с.
5. *Янг С.* Системное управление организацией. – М.: Сов. радио, 1972. – 455 с.
6. *Федоренко Н.П.* О методах социально-экономического прогнозирования // Методология прогнозирования экономического развития СССР. – М.: Экономика, 1971.
7. *Голубков Е.П.* Использование системного анализа в отраслевом планировании. – М.: Экономика, 1977. – 136 с.
8. *Черняк Ю.И.* Системный анализ в управлении экономикой. – М.: Экономика, 1975. – 191 с.

*Статья поступила в редакцию 14 июня 2012 г.*

## A SYSTEMS ANALYSIS METHOD FOR DESTABILIZING PROGRAMMATIC INFLUENCES

***V.I. Batishchev, A.V. Dorfman***

Samara State Technical University  
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100

*Some basic methods of systems analysis are analyzed. A new systems analysis method for destabilizing programmatic influences is developed on their basis, the stages of problem formulating and problem solving being given with iterations, which makes possible finding the best solution of the problem.*

***Keywords:*** *computer viruses, destabilizing programmatic influences, method of analysis of the systems, mathematical and system design.*

---

*Vitaly I. Batishchev (Dr. Sci. (Techn.)), Professor.*  
*Anton V. Dorfman (Ph.D. (Techn.)), Associate Professor.*

## МОДЕЛЬ АУКЦИОНА В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕМ АКТИВНЫХ ПРОГРАММ ПО СХЕМЕ P2P

*А.В. Иващенко<sup>1</sup>, А.М. Леднев<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева  
443086, г. Самара, Московское шоссе, 34

<sup>2</sup> Самарский государственный технический университет  
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

E-mail: andrey.lednev@gmail.com

*Рассматривается одна из возможных моделей организации взаимодействия в P2P-сети предприятия активных программных компонентов. Предлагается построить процесс решения задачи распределения ресурсов по принципу аукциона, дополнив его возможностью управлять временными характеристиками его проведения. Показано, что введение задержек и опережений позволяет повысить эффективность применения аукционной схемы при решении задачи планирования.*

**Ключевые слова:** *интегрированная информационная среда, многоакторная среда, P2P, организация аукциона, управления взаимодействием*

**Введение.** Современные тенденции в области решения проблем управления позволяют рассматривать разнообразные модели организаций [1], например, в последнее время активно применяются матричные структуры управления предприятиями, в которых решения принимаются совместно по результатам согласованного взаимодействия персонала. При построении интегрированной информационной среды такого предприятия с целью автоматизации управления и поддержки принятия решений также необходимо создавать сетевые архитектуры программных комплексов. В частности, широко распространена концепция построения распределенной гетерогенной интегрированной информационной среды с топологией P2P-сети [2], содержащей активные программные компоненты, способные обмениваться сообщениями по принципу «каждый с каждым» [3].

При решении теоретических проблем построения такой среды часто используют принцип аналогии с живыми системами [4], позволяющий рассматривать сообщество ее пользователей и активных программных компонентов как эволюционирующую сложную систему. На практике удается успешно применять эти концепции, например, при разработке и внедрении мультиагентных технологий [5], однако при этом часто возникают проблемы организации управления подобными системами, связанные с невозможностью применять классические методы оптимизации.

Одним из перспективных подходов к построению системы косвенного информационного управления является применение методов и средств управления согласованным взаимодействием в многоакторной интегрированной информационной среде [6], направленных на обеспечение ритмичности событий по обмену сообщениями между участниками процесса взаимодействия, в качестве которых могут выступать как сотрудники предприятия, так и программные агенты. В данной статье предлагается применить этот подход при управлении взаимодействием активных

---

*Антон Владимирович Иващенко, доцент кафедры «Информационные системы и технологии».*

*Андрей Михайлович Леднев, аспирант.*

программных компонентов в P2P-сети по модели аукциона, что может быть полезным разработчикам интеллектуальных автоматизированных систем планирования ресурсов в различных предметных областях.

**Применение модели аукциона в задачах управления взаимодействием по распределению ресурсов.** Рассмотрим актуальную задачу автоматизации распределения мобильных ресурсов в режиме реального времени на примере интеллектуальной системы планирования в транспортной логистике, являющейся распространенным примером реализации многоакторной интегрированной информационной среды. В рамках такой задачи необходимо планировать поступающие в реальном времени заказы на доставку грузов на транспортные средства, обеспечивая выполнение заказов в срок (с минимальным отклонением от требуемого времени доставки) при максимальной загрузке ресурсов (минимум суммарного пустого пробега).

При решении такой задачи бывает полезным вовлечение водителей в процесс принятия решений, что позволяет учитывать специфические критерии назначения каждого заказа. В ответ на такой индивидуальный подход диспетчер рассчитывает на повышение качества выполнения заказов, что сказывается на общем уровне сервиса. Таким образом, диспетчер как бы «продает» заказы водителям, стимулируя лояльность по отношению к компании и повышение качества выполнения работы.

Технически реализовать такое взаимодействие можно с помощью современных информационно-коммуникационных технологий, однако при автоматизированном решении этой задачи в случае, когда предпочтения водителей известны, переговоры о назначении заказа можно перенести в виртуальную среду, образованную P2P-сетью активных программ, моделирующих поведение акторов – лиц, принимающих решения. В качестве одной из моделей такого распределения рассмотрим модель аукциона, в котором каждый заказ выступает в качестве лота, а водители – в качестве участников аукциона. Стратегической целью проведения такого аукциона является дополнительная «загрузка» ресурсов, при этом могут увеличиваться риски невыполнения заказов, а итоговое расписание в общем случае не будет консистентным.

Аукционом будем называть публичную продажу одного лота по заранее установленным правилам, определяемым центром перед началом аукциона. Роль диспетчера играет центр, который в разные интервалы времени выставляет некоторые ресурсы (лоты), интересные акторам в разной степени. Целью центра является обеспечение максимального суммарного выигрыша от реализации всех лотов за некоторый интервал времени. Победителем аукциона становится актер, выигравший аукцион в соответствии с его правилами. Целью актора является приобретение максимального количества лотов наибольшего интереса при минимальных затратах.

При проведении торгов центр может выбирать различные формы аукциона (в зависимости от решаемой задачи). Например, аукцион может быть открытым, когда участники видят ставки всех своих оппонентов, или закрытым, во время проведения которого участники не видят ставки своих оппонентов и не могут изменять свои ставки. При проведении закрытого аукциона заявки подаются «в конвертах» – каждый участник напрямую, не разглашая публично, сообщает центру размер своей ставки. Также выделяют английский, голландский и скандинавский аукционы. Английский аукцион является самым распространенным и предусматривает пошаговое увеличение цены покупателями до того момента, пока не останется единственный победитель. В голландском аукционе торг начинается с максимально высокой цены и ведется с ее понижением, пока не найдется покупатель, согласный купить по объявленной цене. В скандинавском аукционе торги ведутся с фиксированным заранее

определенным шагом повышения цены, возможность сделать ставку является платной, а победителем признается участник, сделавший последнюю ставку до момента окончания торгов.

Для эффективного решения поставленной задачи планирования транспортных ресурсов необходимо аукцион проводить в несколько итераций, или этапов, на каждом из которых центр будет выстраивать взаимодействие с участниками аукциона по схеме Р2Р, сообщая им текущую цену, предложившего ее ожидаемого победителя и интервал времени, в течение которого будут собираться контрпредложения. На каждом этапе может быть выбрана своя модель аукциона, однако для простоты определения правил взаимодействия целесообразно выбрать одну из наиболее простых моделей, например в каждую итерацию проводить закрытый английский аукцион первой цены. В этом случае на каждом этапе каждый участник не видит ставки своих оппонентов и не изменяет свою ставку, но по завершении этапа может повысить цену и инициировать новую итерацию. Аукцион завершается в случае, если контрпредложения перестают поступать.

В таком аукционе центр может управлять лишь временными характеристиками процесса сбора заявок аналогично тому, как при проведении реального аукциона ведущий увеличивает паузы между первым, вторым и третьим ударами молотка. Такое поведение в реальности провоцирует участников аукциона повышать ставки наперегонки, а в многоакторной среде стимулирует информационное взаимодействие. Таким образом, предлагается: 1) при решении задач организации эффективного распределения ресурсов в распределенной многоакторной среде проводить аукцион в несколько этапов / итераций; 2) в качестве основного механизма управления распределением ресурсов в условиях применения выбранной модели аукциона использовать варьирование интервалов времени торгов по каждому лоту.

**Модель итерационного аукциона.** Рассмотрим единичный лот с базовой ценой  $C_0$ , определяемой в начале торгов, который имеет для каждого актора ценность  $v_i, i = 1 \dots N$ , где  $N$  – общее количество акторов, участвующих в аукционе. На каждой итерации актор может предложить стоимость  $c_{i,j}$ , где  $j = 1 \dots M$  – номер итерации.

Обозначим  $\Delta t_j$  – длительность каждой итерации. Итерации в данном случае не определяются жестко: будем считать, что каждая рассылка предложений от центра начинает новую итерацию. По результатам каждой итерации центром объявляется решение (одному или нескольким акторам) о назначении новой стоимости лота  $C_{i,j}$ , которая выбирается равной максимальной среди всех предложенных либо увеличенной на некоторую случайную величину.

Аукцион завершается по истечении времени  $T_A$  после своего начала:

$$T_A = \sum_{j=1}^M \Delta t_j . \quad (1)$$

На каждой итерации центр взаимодействует с акторами по принципу Р2Р: в каждом сообщении от центра содержится вариант с новой или итоговой стоимостью лота на момент времени  $t_{i,j}$ :

$$s_{i,j} = \{C_{i,j}, t_{i,j}\} . \quad (2)$$

В ответ актор может выслать новое предложение:



$$b_{i,j} = \{c_{i,j}, t'_{i,j}\}, \text{ где } c_{i,j} = C_{i,j} + \Delta c_{i,j}. \quad (3)$$

Время обдумывания ставки актором можно определить как  $t'_{i,j} - t_{i,j}$ ,  $t'_{i,j} < t_{i,j+1}$ . Цели центра по проведению серии из  $k = 1..K$  аукционов определим как

$$\sum_{k=1}^K \max_i C_{i,M} \rightarrow \max, \sum_{k=1}^K T_{A,k} \rightarrow \min. \quad (4)$$

Цель каждого актора определим следующим образом:

$$\sum_{k=1}^K v_{i,k} \cdot \theta(c_{i,M,k} - \max_i C_{i,M,k}) \rightarrow \max, \sum_{k=1}^K c_{i,M,k} \cdot \theta(c_{i,M,k} - \max_i C_{i,M,k}) \rightarrow \min, \quad (5)$$

где  $\theta(x) = \begin{cases} 0, & x < 0; \\ 1, & x \geq 0. \end{cases}$  – ступенчатая функция Хэвисайда.

Это означает, что для актора важно обеспечить максимальное удовлетворение от приобретения лотов минимальными средствами; при этом время, за которое этот результат достигается, существенной роли не играет. Для достижения своей цели центр может управлять длительностью итераций и количеством вовлеченных акторов (то есть определять, кому и когда рассылать предложения  $s_{i,j}$ ). Для получения максимальной цены лота от акторов центру необходимо организовать соревновательный процесс между акторами, для чего необходимо разработать план по рассылке предложений. Каждый актор также может управлять размером и временем предложения, обеспечивая, таким образом, интерес к себе со стороны центра. С другой стороны, для обеспечения лояльности и равновесных состояний центру может быть выгодно сообщать акторам свой план. В этом случае можно исследовать зависимости между планом центра и стратегиями игроков.

При практической реализации описанной выше схемы в задачах автоматизации управления распределением ресурсов может быть полезной также модель распродажи. В настоящее время во многих магазинах существует практика проведения распродаж в несколько этапов в соответствии с моделью голландского аукциона. На каждом последующем этапе стоимость товара уменьшается на определенное количество процентов. Таким образом, с одной стороны магазин пытается как можно быстрее избавиться от застаревшего товара, обновив прилавки и при этом получив максимальную прибыль, с другой стороны – покупатели хотят купить товар по меньшей стоимости. Покупатель не может быть уверенным, что нужный ему товар (его размера, цвета и т. д.) не будет куплен кем-то другим в ближайшее время и что данный этап распродажи не является заключительным. Также магазин может вовсе не понижать дальше цену на определенные товары, тем самым сделав выжидательную тактику покупателя бессмысленной.

Таким образом, решается задача проведения множественных итерационных аукционов с единым центром и неопределенным количеством акторов. Существенным упрощением по отношению к рассмотренной выше модели аукциона является отсутствие возможности акторов влиять на стоимость товара, указывая свои предложения. В этом случае время решения становится еще более определяющим фактором: в случае, когда акторы относительно долго не проявляют интереса, центр вынужден сильнее снижать цену на товар, чтобы его стали покупать.

**Результаты экспериментального исследования.** Целью проведенного имитационного эксперимента являлось определение возможности увеличения финальной стоимости лота за счет управления временем итерации. Было проведено два эксперимента в реальном времени с одинаковой длительностью розыгрыша лота, для чего на платформе J2EE была построена программная модель активных компонентов, моделирующая взаимодействие в многоакторной интегрированной информационной среде по схеме P2P.

Во время розыгрыша каждого лота центр давал время, через которое акторы должны были сделать новые ставки. Среди предложенных ставок по итогам итерации выбиралась максимальная, относительно которой акторы снова делали ставки. В условиях, когда ставка будет сделана в любом случае, ставки делали все акторы. В игре принимали участие два актора (с увеличением количества акторов цена лота будет возрастать). Величина ставки каждого актора определялась относительно начальной стоимости лота путем прибавления случайной величины, имеющей усеченный нормальный закон распределения.

В условиях решаемой задачи процедура принятия решений центром может быть формализована следующим образом. При формировании плана по рассылке предложений центр может уменьшать время последующей итерации пропорционально приросту уровня ставки (чем больше была сделана ставка, тем быстрее центр проводил итерации):

$$\Delta t_{j+1} = \Delta t_j \cdot \alpha_k \cdot \frac{\max(\Delta c_{i,j})}{\max(\Delta c_{i,j+1})}. \quad (6)$$

В первом случае (без управления) длительность итераций была одинакова и с учетом реального времени в 41 % лотов было проведено 3 итерации, а в 59 % лотов – 4 итерации (рис. 1). Во втором случае (рис. 2) центр получил возможность управления длительностью итерации (рис. 3). При этом в обоих случаях ни центр, ни игроки не знали времени, отведенного на розыгрыш лота. В результате в среднем за время розыгрыша лота успевало проходить от 5 до 15 итераций. Итоги экспериментов показали, что за счет того, что центр успевает провести больше итераций путем изменения времени каждой итерации, удастся увеличить итоговую стоимость лота. Однако анализ разницы стоимостей лотов показывает, что существуют случаи, когда стоимость лота, полученная в результате торгов без управления, была выше.

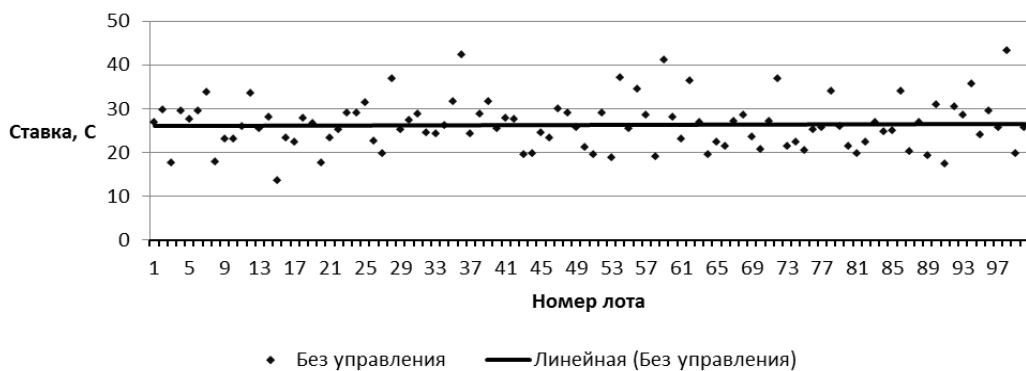


Рис. 1. Ставки по итерациям без управления по времени

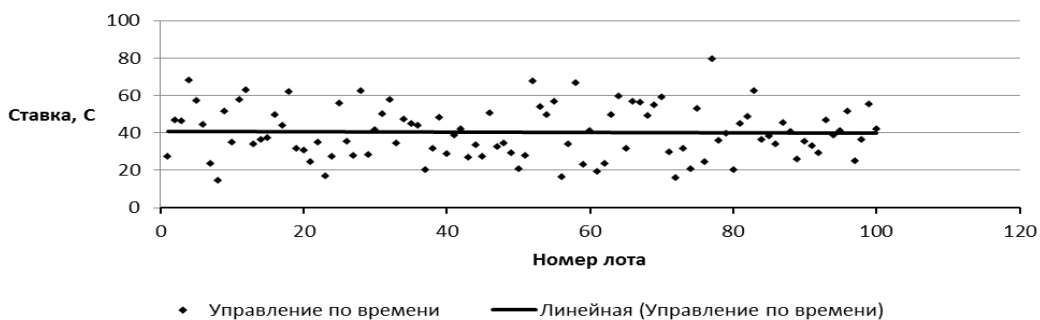


Рис. 2. Ставки по итерациям с управлением по времени

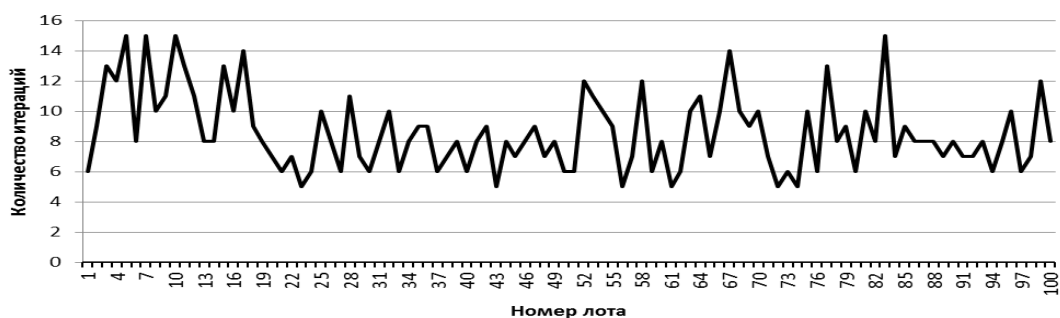


Рис. 3. Количество итераций в эксперименте с управлением по времени

**Заключение.** Проведенные исследования показали возможность применения модели аукциона при решении задач управления распределением ресурсов предприятия в интегрированной информационной среде с топологией P2P-сети. Применение данной модели может быть полезно при построении интеллектуальных систем планирования в транспортной и производственной логистике, а также при решении других проблем поддержки принятия решений в режиме реального времени.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Воронин А.А., Губко М.В., Мишин С.П., Новиков Д.А. Математические модели организаций: Учеб. пособие. – М.: ЛЕНАНД, 2008. – 360 с.
2. Schoder D., Fischbach K. Peer-to-peer prospects / Communications of the ACM, 2003. – vol. 46, no. 2. – pp. 27-29.
3. Lednev A. Mobile P2P taxi service / MSc Dissertation, University of Surrey. – 2010. –75 p.
4. Leitao P. Holonic rationale and self-organization on design of complex evolvable systems. HoloMAS 2009, LNAI 5696, 2009. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg. – pp. 1-12.
5. Андреев М.В., Иващенко А.В., Мартышкин Д.М., Скобелев П.О., Уланова Л.В., Царев А.В. Применение мультиагентных технологий динамического планирования персональных задач при организации коллективного взаимодействия в автоматизированных системах управления распределением ресурсов / Мехатроника. Автоматизация. Управление. – 2010. – № 7. – С. 21-27.
6. Иващенко А.В. Управление согласованным взаимодействием пользователей интегрированной информационной среды предприятия / Самара: Самарский научный центр РАН, 2011. – 100 с.

Статья поступила в редакцию 24 апреля 2012 г.

## **AUCTION MODEL IN THE PROBLEM OF ACTIVE PROGRAMMES MANAGEMENT INTERACTING IN THE FORM OF P2P MODEL**

*A.V. Ivaschenko<sup>1</sup>, A.M. Lednev<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> S.P. Korolyov Samara State Aerospace University  
34, Moskovskoye sh., Samara, 443086

<sup>2</sup> Samara State Technical University  
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100

*The paper describes one of the possible models of interaction management of active software components in the P2P network of the enterprise. It is proposed to study the problem of resource allocation using Auction model enhanced by the opportunity to manage the Auction process changing its dynamical characteristics. The approach shows that the introduction of delays and accelerations allows to increase the efficiency scheduling solutions.*

**Keywords:** *integrated information environment, multi-actor environment, P2P, auction, interaction management.*

## СИНТЕЗ ПРОСТРАНСТВЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ В ЗАДАЧЕ СТАБИЛИЗАЦИИ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ ПРИ ИНДУКЦИОННОМ НАГРЕВЕ

*Г.Н. Рогачев, Д.Н. Тимченко*

Самарский государственный технический университет  
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244  
E-mail: dentimchenko@gmail.com

*Рассматривается синтез кусочно-постоянного пространственного управления мощностью внутреннего тепловыделения в теплотехнически тонком теле. Целью управления является стабилизация температурного поля при наличии постоянных тепловых потерь с торца тела. Искомыми величинами являются количество интервалов постоянства, длины интервалов и уровни управляющего воздействия на каждом из интервалов. Эти величины были найдены симплекс-методом для интегрального среднеквадратичного критерия и минимаксного критерия.*

**Ключевые слова:** оптимальный синтез, индукционный нагрев, стабилизация температурного поля, пространственное управление.

Большинство работ по индукционному нагреву металлов посвящено нагреву материала до заданной температуры с одновременной минимизацией одного из критериев (точности, быстродействия, энергозатрат). Однако существуют и такие технологические процессы, в которых требуется поддержание стационарного температурного поля в течение достаточно длительного времени. Например, при отжиге сплавов, нормализации швов при сварке и других операциях необходимо обеспечить минимальный градиент температуры в объекте во время процесса гомогенизации аустенита. При пайке также необходимо поддерживать определенную температуру в течение продолжительного времени, чтобы гарантировать надежное соединение деталей друг с другом.

В этом случае встает вопрос стабилизации температурного поля на заданном уровне  $T_3(x)$ , что при индукционном способе нагрева реализуется посредством управления мощностью внутреннего тепловыделения. Реальные технологии всегда связаны с существованием определенных допусков на отклонение температурного поля от требуемого. Формализацией этого факта является задание некоторой допустимой погрешности отклонения от  $T_3(x)$ . Наибольшее распространение на практике получила среднеквадратичная оценка такой погрешности, которая при допустимой ее величине, равной  $\beta$ , имеет вид

$$\sqrt{\int_0^x (T(x,t) - T_3(x))^2 dx} \leq \beta. \quad (1)$$

Однако достижение даже весьма малых значений  $\beta$  не гарантирует выполнения технологических требований, которые обычно формулируются в виде допустимого максимума абсолютного отклонения конечной температуры от заданной во всем нагреваемом теле, поскольку минимизация (1) не исключает локальных «выбросов»

---

*Геннадий Николаевич Рогачев (к.т.н., доцент), доцент кафедры «Автоматика и управление в технических системах».*

*Денис Николаевич Тимченко, студент.*

температуры в отдельных точках. Этим требованиям прямо отвечает другой способ оценки допустимой погрешности отклонения температурного поля по величине  $\varepsilon$  ошибки равномерного приближения к заданному температурному состоянию [1]:

$$\max_{x \in [0; X]} |T(x, t) - T_3(x)| \leq \varepsilon. \quad (2)$$

Распределение температур в  $T(x, t)$  в зависимости от пространственной координаты  $x \in [0, X]$  и времени  $t$  при нагреве внутренними источниками тепла с объемной плотностью  $u(x, t)$  мощности тепловыделения описывается уравнением теплопроводности

$$\frac{\partial T(x, t)}{\partial t} = a \frac{\partial^2 T(x, t)}{\partial x^2} + u(x, t), \quad (3)$$

где  $T$  – температура,  $a$  – коэффициент температуропроводности [1, 2].

Уравнением (3) описываются нестационарные температурные поля. В статье рассматривается вопрос стабилизации температуры по длине тела, что дает возможность считать температурное поле стационарным. Из этого следует, что температура является функцией лишь координаты, а выражение (3) принимает следующий вид:

$$a \frac{d^2 T(x)}{dx^2} = -u(x), \quad (4)$$

где  $u(x)$  – пространственное управление мощностью внутреннего тепловыделения.

Тепловые потери на границах тела описываются законом Фурье, определяющим тепловой поток:

$$\lambda \frac{\partial T(x, t)}{\partial x} = -q(t), \quad (5)$$

где  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности и  $q(t)$  – тепловой поток. Так как температурное поле стационарно, то тепловой поток является постоянным. Тогда получим граничные условия второго рода:

$$\begin{cases} dT/dx|_{x=0} = -q(0)/\lambda; \\ dT/dx|_{x=X} = -q(X)/\lambda. \end{cases} \quad (6)$$

Оценки погрешности (1), (2) могут быть использованы в качестве критериев оптимальности:

$$I_1 = \int_0^X (T(x) - T_3)^2 dx \rightarrow \min, \quad (7)$$

$$I_2 = \max_{x \in [0; X]} |T(x) - T_3| \rightarrow \min. \quad (8)$$

Задача состоит в нахождении такого оптимального пространственного управляющего воздействия  $u(x)$ , которое обеспечивает для объекта (4), (6) минимально возможное значение критерия оптимальности (7) или (8). Наиболее технологически приемлемым способом реализации пространственного управляющего воздействия  $u(x)$  является секционирование индуктора. В настоящее время существуют многосекционные индукционные установки, в которых каждая секция может управляться независимо от остальных. Очевидно, что этот вариант позволяет реализовать кусочно-постоянную функцию  $u(x)$  распределения мощности по длине тела. Искомыми

величинами в этом случае будут являться: количество интервалов постоянства функции  $u(x)$ , длины интервалов и уровни управляющего воздействия на каждом из интервалов. Далее (по аналогии с временным) управление будем называть  $n$ -интервальным при  $n$  интервалах постоянства управляющего воздействия. Эта задача оптимального управления успешно решается с помощью симплекс-метода, реализованного в среде MATLAB [3, 4].

Ограничимся рассмотрением симметричного случая, то есть одно граничное условие (6) станет равным нулю. Краевая задача (4), (6) решалась в системе MATLAB решателем bvp4c. В нем используется метод коллокации, так как найти аналитическое решение краевой задачи бывает достаточно сложно. Суть данного метода заключается в нахождении такого приближенного решения, которое бы удовлетворяло уравнению в некоторых заданных точках. При этом вычисляется и ошибка решения, и при слишком большой ее величине задача повторно решается для других точек. Более подробно данный решатель описан в [5].

Простейший вариант управления – одноинтервальное. Параметр оптимизации – мощность тепловыделения. Для этого случая при  $T_2(x)=1000$  °C были получены результаты, представленные на рис. 1, 2.  $T_1(x)$  и  $u_1(x)$  получены при использовании критерия оптимальности (7),  $T_2(x)$  и  $u_2(x)$  – критерия (8). Рассчитанные значения критериев  $I_1=747$  и  $I_2=90$ . Можно сделать вывод, что одноинтервальное управление обеспечивает недостаточную точность, так как отклонение от заданной температуры на концах тела достигает 9 %.

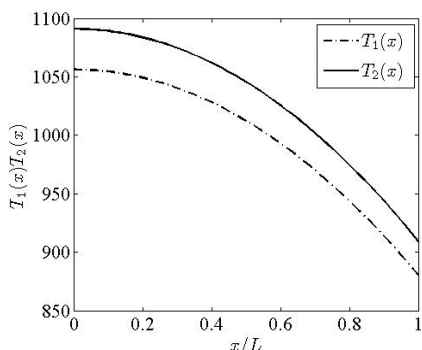


Рис. 1. Графики функций  $T_1(x)$  и  $T_2(x)$  при одном интервале управления

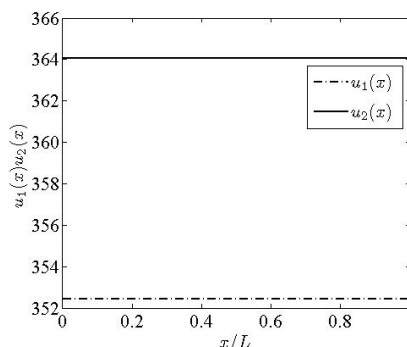


Рис. 2. Графики функций  $u_1(x)$  и  $u_2(x)$  при одном интервале управления

Далее был рассмотрен случай многоинтервального управления, реализуемого в многосекционном индукторе. Сначала исследовался вариант, при котором возможен выбор лишь величины управления каждой из секций индуктора, секции имеют одинаковую длину. Для двухинтервального случая результаты представлены на рис. 3, 4. Обеспечение полученного на первом интервале отрицательного управления с учетом неидеальности теплоизоляции по длине тела считается технически возможным. Полученные значения критериев:  $I_1=168$  и  $I_2=32$ . Таким образом, при увеличении количества интервалов управления до 2 точность увеличилась примерно в 3 раза. Для 3-интервального случая результаты представлены на рис. 5, 6. Полученные значения критериев:  $I_1=91$  и  $I_2=25$ . На рис. 7, 8 представлены графики для случая с пятью равными секциями индуктора. Полученные значения критериев:  $I_1=43$  и  $I_2=13$ . Из приведенных результатов видно, что при увеличении количества интервалов точность повышается. Но при этом увеличивается предельное значение величины управления, что повышает требования к реализующему процесс оборудованию.

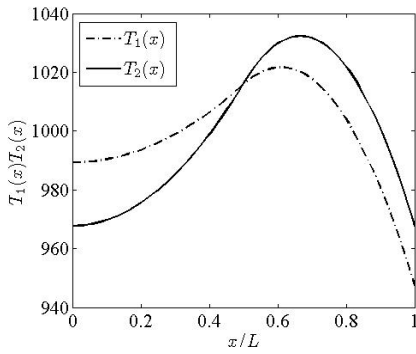


Рис. 3. Графики функций  $T_1(x)$  и  $T_2(x)$  при двух равных интервалах управления

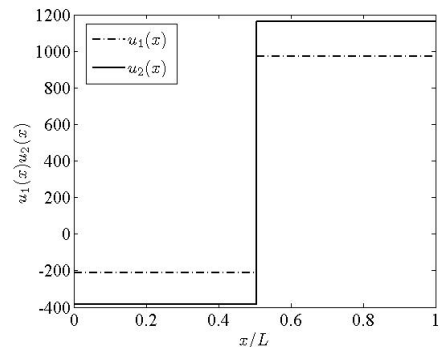


Рис. 4. Графики функций  $u_1(x)$  и  $u_2(x)$  при двух равных интервалах управления

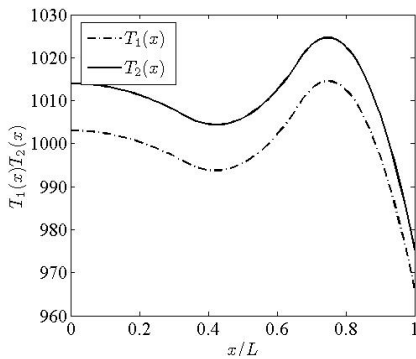


Рис. 5. Графики функций  $T_1(x)$  и  $T_2(x)$  при трех равных интервалах управления

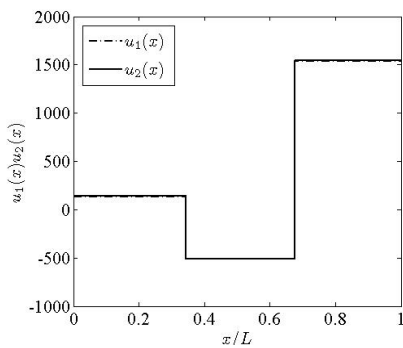


Рис. 6. Графики функций  $u_1(x)$  и  $u_2(x)$  при трех равных интервалах управления

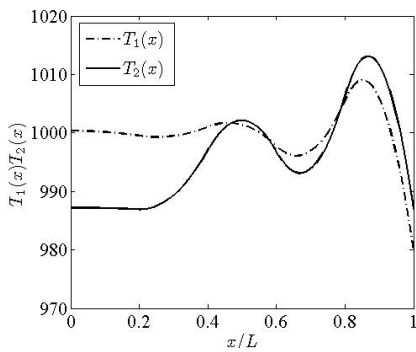


Рис. 7. Графики функций  $T_1(x)$  и  $T_2(x)$  при пяти равных интервалах управления

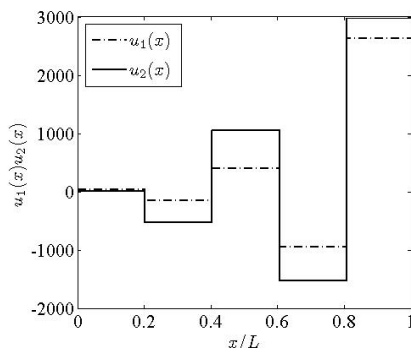


Рис. 8. Графики функций  $u_1(x)$  и  $u_2(x)$  при пяти равных интервалах управления

Рассмотрим далее вариант, при котором определяются не только величина мощности, но и длина каждого из интервалов (длина каждой секции индуктора). На рис. 9, 10 представлены результаты для двухсекционного индуктора. Полученные минимальные значения критериев:  $I_1=180$  и  $I_2=33$ . Для двухинтервального случая, судя по значениям критериев, введение второй степени свободы не дает заметного выигрыша. На рис. 11, 12 изображены результаты для варианта с трехсекционным



индуктором. Полученные значения критериев:  $I_1=73$  и  $I_2=14$ . В данном случае выигрыш от использования двух степеней свободы существенен.

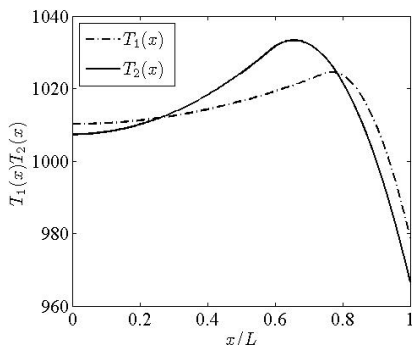


Рис. 9. Графики функций  $T_1(x)$  и  $T_2(x)$  при двух неравных интервалах управления

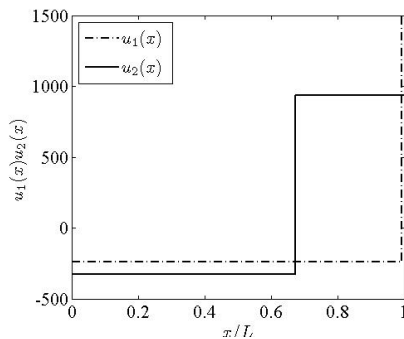


Рис. 10. Графики функций  $u_1(x)$  и  $u_2(x)$  при двух неравных интервалах управления

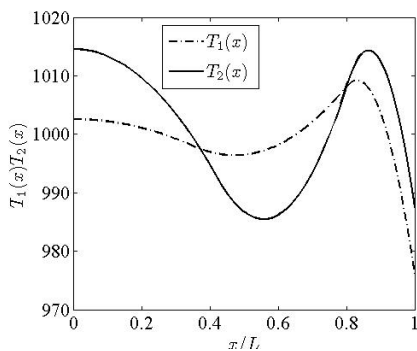


Рис. 11. Графики функций  $T_1(x)$  и  $T_2(x)$  при трех неравных интервалах управления

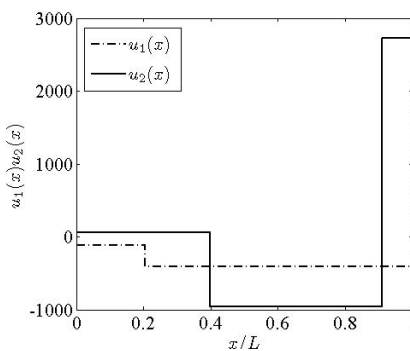


Рис. 12. Графики функций  $u_1(x)$  и  $u_2(x)$  при трех неравных интервалах управления

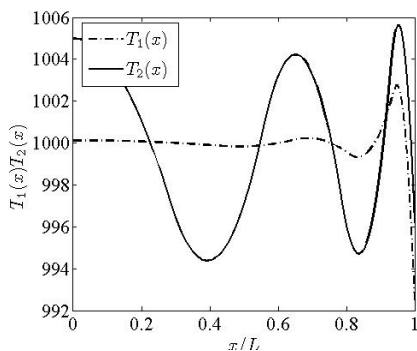


Рис. 13. Графики функций  $T_1(x)$  и  $T_2(x)$  при пяти неравных интервалах управления

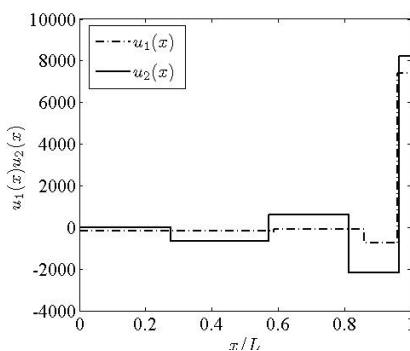


Рис. 14. Графики функций  $u_1(x)$  и  $u_2(x)$  при пяти неравных интервалах управления

Для пятисекционного индуктора графики представлены на рис. 13, 14. Полученные значения критериев:  $I_1=38$  и  $I_2=6$ . Очевидно, что данный случай демонстрирует наилучшие результаты. Характерная особенность всех вариантов с двумя степенями

свободы (длины секций индуктора могут отличаться) заключается в том, что основная мощность прикладывается на последнем коротком интервале управления.

В статье рассматривались вопросы стабилизации стационарного температурного поля при индукционном нагреве теплотехнически тонкого тела. С использованием симплекс-метода было синтезировано оптимальное по среднеквадратичному критерию и критерию максимума отклонения пространственное управление. В качестве параметров оптимизации использовались длины интервалов и величины управляющих воздействий. Было проведено сравнение результатов при различном количестве интервалов управления. Выявлено, что при увеличении числа интервалов качество управления улучшается. Наилучшее качество достигается при наличии двух степеней свободы (выборе одновременно и длин интервалов, и величин управляющих воздействий).

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Panopomt Э.Я.* Структурное моделирование объектов и систем управления с распределенными параметрами. – М.: Высш. шк., 2003. – 299 с.
2. *Лыков А.В.* Теория теплопроводности. – М.: Высш. шк., 1967. – 600 с.
3. *Lagarias J.C., Reeds J.A.* Convergence Properties of the Nelder-Mead Simplex Method in Low Dimensions // *SIAM Journal of Optimization*. – 1998. – Vol. 9. – №1. – PP. 112-147.
4. *Optimization Toolbox. User's Guide, Version 3.0.* – The MathWorks, Inc., 2004.
5. *Kierzenka J., Shampine L.F.* A BVP Solver based on Residual Control and the MATLAB PSE // *ACM TOMS*. – 2001. – Vol. 27. – №3. – PP. 299-316.

*Статья поступила в редакцию 3 мая 2012 г.*

## THREE-DIMENSIONAL CONTROL SYNTHESIS FOR INDUCTION HEATING PROCESS STABILIZATION

***G.N. Rogachev, D. N. Timchenko***

Samara State Technical University  
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100

*This paper concerns a possibility to use piecewise-constant three-dimensional control for the temperature field stabilization in the induction heating process. This control is estimated by using the simplex algorithm for root mean square error criterion, and for minimax criterion.*

***Keywords:*** *optimal synthesis, induction heating process, temperature field stabilization, spatial control.*

## ПЕРЕДАТОЧНЫЕ ФУНКЦИИ УПРАВЛЯЕМОГО ПРОЦЕССА КОСВЕННОГО ПОДОГРЕВА НЕФТЕПРОДУКТОВ В ГАЗОВОЙ ПЕЧИ

*Д.О. Сазонов*

Самарский государственный технический университет  
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244  
Email: sazonovdo@mail.ru

*Путем применения интегрального преобразования Лапласа к уравнениям в частных производных, описывающих температурное поле нефтепродукта, получены в замкнутой форме соотношения для передаточных функций объекта управления.*

**Ключевые слова:** газовая печь, технологический трубопровод, передаточная функция.

Процесс нагрева нефти в установке косвенного нагрева потока нефтепродукта можно в первом приближении можно описать системой дифференциальных уравнений в частных производных вида [1]

$$\frac{\partial \theta_c(y,t)}{\partial t} = a \frac{\partial^2 \theta_c(y,t)}{\partial y^2}, y \in [0,R], t > 0, \quad (1)$$

$$\theta_c(y,0) = \theta_{0c}(y), \theta_{0c}(y) = 0, \quad (2)$$

$$b \frac{\partial \theta_H(x,t)}{\partial t} + bV \frac{\partial \theta_H(x,t)}{\partial x} + \theta_H(x,t) = \theta_c(0,t), x \in [0,L], t > 0 \quad (3)$$

с граничными условиями, учитывающими конвективный характер внешнего теплообмена в печи и теплопередачи между стенкой трубопровода и движущимся потоком нефтепродуктов

$$\lambda \frac{\partial \theta_c(y,t)}{\partial y} \Big|_{y=R} = \alpha_g (\theta_g(t) - \theta_c(R,t)), \quad (4)$$

$$\lambda \frac{\partial \theta_c(y,t)}{\partial y} \Big|_{y=0} = \alpha_H (\theta_H(L,t) - \theta_c(0,t)), \quad (5)$$

$$\theta_H(0,t) = \theta_{0H}(t). \quad (6)$$

Здесь  $\theta_c(y,t)$  – распределение температуры по толщине стенки трубопровода;  $\theta_H(x,t)$  – распределение температуры нефти по длине трубопровода;  $\theta_g(t)$  – температура газовой среды в рабочем пространстве печи, которая считается равномерно распределенной по объему теплообменной камеры за счет интенсивной рециркуляции продуктов сгорания;  $V$  – скорость перемещения нефтепродуктов по трубопроводу;  $a = \frac{\lambda}{c\gamma}$  – коэффициент температуропроводности;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности;  $c, \gamma$  – удельная теплоемкость и плотность материала стенки трубопровода;  $b$  – коэффициент, определяемый геометрическими и теплофизическими характери-

стиками процесса нагрева нефтепродукта;  $R, L$  – толщина стенки и длина трубопровода;  $\alpha_g, \alpha_H$  – коэффициенты конвективной теплопередачи.

Модель (1)-(5) процесса косвенного подогрева нефти в газовой печи пренебрегает: неравномерностью распределения температуры стенки по длине трубопровода ввиду высокой степени равномерности температуры газовой среды на его поверхности; цилиндрической формой поперечного сечения трубопровода ввиду малой толщины стенки по сравнению с его диаметром; неравномерностью радиального распределения температуры по сечению движущегося потока нефтепродуктов ввиду турбулентного характера их перемещения через трубопровод, выполненный в форме продуктового змеевика [1].

Ввиду малого перепада температур потока нефти по длине трубопровода по сравнению с температурой газовой среды в первом приближении принимается, что в граничном условии (5) фигурирует  $\theta_H(L, t)$ .

При структурном моделировании объекта с распределенными параметрами можно использовать различные методы. Одним из таких методов является применение операционного исчисления [2]. Данный метод позволяет найти передаточные функции объекта в замкнутой форме, не требующей вычисления сумм бесконечных рядов по собственным функциям при моделировании объекта управления с помощью представимых в таком виде функций Грина рассматриваемой краевой задачи [1].

Запишем граничные условия (4) и (5) в следующем виде:

$$\lambda \left. \frac{\partial \theta_c(y, t)}{\partial y} \right|_{y=R} = q_g(t); \quad (7)$$

$$\lambda \left. \frac{\partial \theta_c(y, t)}{\partial y} \right|_{y=0} = q_H(t), \quad (8)$$

где

$$q_g(p) = \alpha_g(\theta_g(t) - \theta_c(R, t)); \quad (9)$$

$$q_H(p) = \alpha_H(\theta_H(L, t) - \theta_c(0, t)). \quad (10)$$

В изображениях по Лапласу уравнения (1), (7) и (8) записываются следующим образом:

$$a \frac{d^2 \theta_c(y, p)}{dy^2} - p \theta_c(y, p) = 0, y \in [0, R], \quad (11)$$

$$\lambda \left. \frac{d \theta_c(y, p)}{dy} \right|_{y=R} = q_g(p); \quad (12)$$

$$\lambda \left. \frac{d \theta_c(y, p)}{dy} \right|_{y=0} = q_H(p). \quad (13)$$

Однородное уравнение второго порядка (11) имеет известное решение в виде суммы гиперболических функций [2]:

$$\theta_c(y, p) = D_1(p) \operatorname{sh}(\sqrt{\frac{p}{a}} y) + D_2(p) \operatorname{ch}(\sqrt{\frac{p}{a}} y), y \in [0, R], \quad (14)$$

где  $D_1(p)$ ,  $D_2(p)$  – произвольные интегрирования.

Найдем первую производную выражения (14) для подстановки в граничные условия:

$$\frac{d\theta_c(y,p)}{dy} = D_1(p)\sqrt{\frac{p}{a}}ch\left(\sqrt{\frac{p}{a}}y\right) + D_2(p)\sqrt{\frac{p}{a}}sh\left(\sqrt{\frac{p}{a}}y\right), y \in [0, R]. \quad (15)$$

Подставляя выражение (15) в граничное условие (13) при  $y = 0$ , приводим его к следующему виду:

$$\left. \frac{d\theta_c(y,p)}{dy} \right|_{y=0} = D_1(p)\sqrt{\frac{p}{a}} = \frac{q_H(p)}{\lambda}. \quad (16)$$

Отсюда получаем следующую формулу для определения  $D_1(p)$ :

$$D_1(p) = \frac{q_H(p)}{\lambda} \cdot \frac{1}{\sqrt{\frac{p}{a}}}. \quad (17)$$

Аналогичным образом, подставляя выражение (15) в граничное условие (12) при  $y = R$  с учетом найденного коэффициента  $D_1(p)$  в (17), будем иметь вместо (12)

$$\left. \frac{d\theta_c(y,p)}{dy} \right|_{y=R} = \frac{q_H(p)}{\lambda} \cdot ch\left(\sqrt{\frac{p}{a}} \cdot R\right) + D_2(p)\sqrt{\frac{p}{a}}sh\left(\sqrt{\frac{p}{a}} \cdot R\right) = \frac{q_g(p)}{\lambda}, \quad (18)$$

что позволяет вычислить  $D_2(p)$ :

$$D_2(p) = \frac{\frac{q_g(p)}{\lambda} - \frac{q_H(p)}{\lambda} \cdot ch\left(\sqrt{\frac{p}{a}} \cdot R\right)}{\sqrt{\frac{p}{a}} \cdot sh\left(\sqrt{\frac{p}{a}} \cdot R\right)}. \quad (19)$$

Полученные выражения в (17), (19) подставим в общее выражение для температурного поля стенки (14):

$$\begin{aligned} \theta_c(y,p) &= \frac{q_H(p)}{\lambda} \cdot \frac{1}{\sqrt{\frac{p}{a}}} sh\left(\sqrt{\frac{p}{a}}y\right) + \\ &+ \frac{\frac{q_g(p)}{\lambda} - \frac{q_H(p)}{\lambda} \cdot ch\left(\sqrt{\frac{p}{a}} \cdot R\right)}{\sqrt{\frac{p}{a}} \cdot sh\left(\sqrt{\frac{p}{a}} \cdot R\right)} ch\left(\sqrt{\frac{p}{a}}y\right), y \in [0, R]. \end{aligned} \quad (20)$$

Выражение (20) можно записать в виде

$$\theta_c(y,p) = \frac{ch\left(\sqrt{\frac{p}{a}}y\right)}{\lambda\sqrt{\frac{p}{a}}sh\left(\sqrt{\frac{p}{a}}R\right)} q_g(p) + \frac{ch\left(\sqrt{\frac{p}{a}}(R-y)\right)}{\lambda\sqrt{\frac{p}{a}}sh\left(\sqrt{\frac{p}{a}}R\right)} q_H(p), y \in [0, R]. \quad (21)$$

Множители при  $q_g(p)$ ,  $q_H(p)$  являются заданными в замкнутой форме передаточными функциями объекта (21) по соответствующим тепловым потокам, влияющим на тепловое поле стенки:

$$W_1(y,p) = \frac{\theta_c(y,p)}{q_g(p)} = \frac{ch(\sqrt{\frac{p}{a}}y)}{\lambda\sqrt{\frac{p}{a}}sh(\sqrt{\frac{p}{a}}R)}, y \in [0,R], \quad (22)$$

$$W_2(y,p) = \frac{\theta_c(y,p)}{q_H(p)} = \frac{ch(\sqrt{\frac{p}{a}}(R-y))}{\lambda\sqrt{\frac{p}{a}}sh(\sqrt{\frac{p}{a}}R)} q_H(p), y \in [0,R]. \quad (23)$$

С учетом соотношений (9), (10) получим структурную схему исследуемого объекта управления от входных воздействий по  $\theta_g(p)$  и  $\theta_H(L,p)$  к выходу  $\theta_c(y,p)$  в следующем виде (рис. 1).

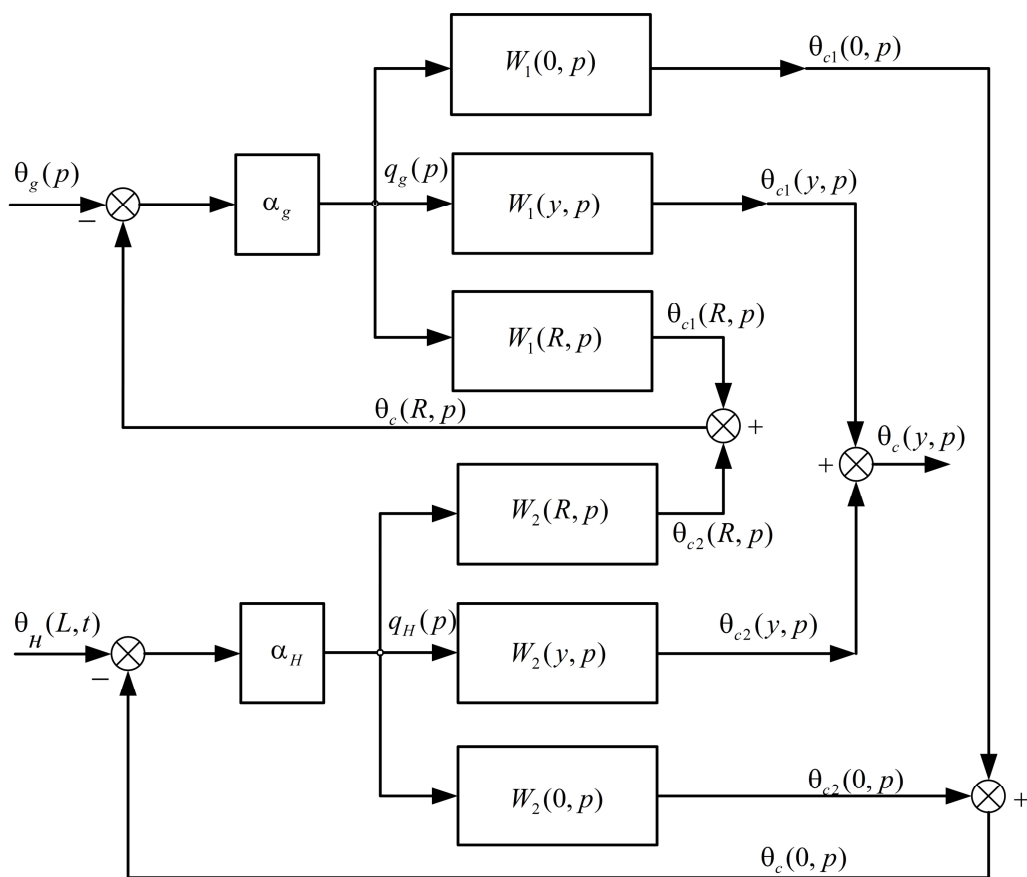


Рис. 1. Структурная схема стенки трубопровода

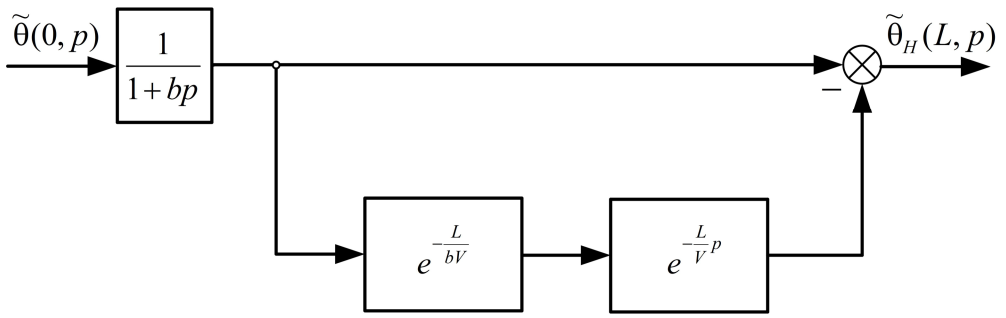


Рис. 2. Структурная схема потока нефтепродукта

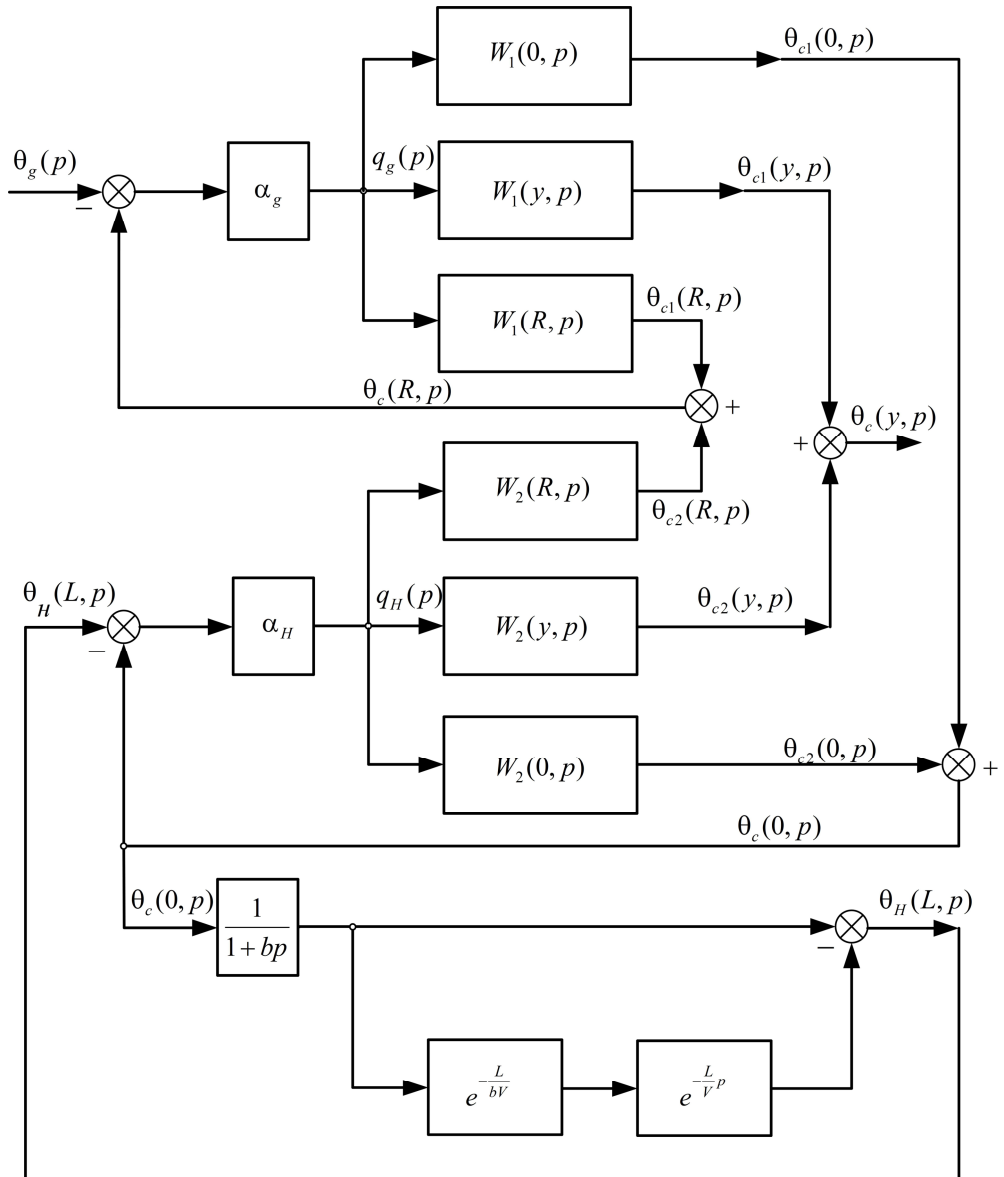


Рис. 3. Структурная схема объекта управления

Исходя из уравнения (3) найдем далее функцию Грина, моделирующую соответственно температурное поле движущегося потока нефтепродуктов [2]:

$$G_H(x, \xi, t) = 1(x - \xi) \frac{1}{bV} \exp\left(-\frac{1}{bV}(x - \xi)\right) \delta\left(t - \frac{x - \xi}{V}\right), \quad (24)$$

здесь  $\delta\left(t - \frac{x - \xi}{V}\right)$  – дельта-функция временного аргумента, сосредоточенная в точке

$$\tau = \frac{x - \xi}{V}.$$

Передаточная функция  $W_H(x, p)$  рассматриваемого объекта управления определяется интегрированием функции Грина по длине трубопровода [2]:

$$\begin{aligned} W_H(x, p) &= \frac{\tilde{\theta}_H(x, p)}{\tilde{\theta}_c(0, p)} \int_0^L W_H(x, \xi, p) d\xi = \int_0^L \tilde{G}_H(x, \xi, p) d\xi = \\ &= \int_0^x \frac{1}{bV} \exp\left(-\frac{1+bp}{bV}(x - \xi)\right) d\xi = \frac{1}{1+bp} \left(1 - e^{-\frac{x}{bV}} \cdot e^{-\frac{px}{V}}\right). \end{aligned} \quad (25)$$

Структурная схема, соответствующая выражению (23), для  $x = L$  приведена на рис. 2.

Объединяя структуры на рис. 1 и 2, получаем общую структурную схему исследуемого объекта управления (рис. 3).

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Рапопорт Э.Я., Сазонов Д.О.* Структурное моделирование процесса технологического нагрева нефтепродукта как объекта управления с распределенными параметрами // Вестник Самарского государственного технического ун-та. Сер. Технические науки. – Самара: СамГТУ, 2012. – Вып. 2 (34). – С. 178-182.
2. *Рапопорт Э.Я.* Структурное моделирование объектов и систем управления с распределенными параметрами. – М.: Высш. шк., 2003.

*Статья поступила в редакцию 4 июня 2012 г.*

## TRANSFER FUNCTIONS FOR OPERATED INDIRECT HEATING OF PETROLEUM PRODUCTS IN A GAS FURNACE

***D.O. Sazonov***

Samara State Technical University  
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100

*By application of Laplas's method of integration to the equations in the partial derivatives describing the temperature field of a petroleum product, the ratios for the transfer functions of the operated object having been obtained.*

***Keywords:*** gas stove, pipe technology, the transfer function.