

# Системный анализ, управление и автоматизация

УДК 004.75

*М.И. Бояркин, А.А. Юдашкин*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ ПРИ СПОНТАННОМ ИЗМЕНЕНИИ КОНФИГУРАЦИИ P2P-СЕТИ<sup>1</sup>**

*Рассматривается поведение автоматизированной системы распознавания образов на основе динамически изменяющейся пиринговой сети. Моделирование процесса изменения размерности модели распознавания образов на ЭВМ демонстрирует ее эффективность при спонтанной модификации структуры распознающей распределенной сети.*

В настоящее время широко распространены различные системы сбора и обработки информации. Системы, основанные на классической двухзвенной архитектуре (клиент-сервер), имеют ряд недостатков. Один из главных недостатков – постоянная необходимость в обслуживании данных систем и поддержании связи с сервером, так как на нем сосредоточена вся логика и основная функциональность, что делает централизованный сервер слабым и узким местом системы. Выход из строя сервера или потеря связи с ним означает выход из строя всей системы целиком. Частично проблемы решаются при использовании более новой, трезвенной, архитектуры (тонкий клиент, сервер приложений, сервер), когда работа конечных пользователей в меньшей степени зависит от работы централизованного сервера. Однако и в данном случае сосредоточение функций на ключевых строго определенных узлах сети делает такие системы менее устойчивыми.

В последнее время все большее распространение получают различные децентрализованные модели сетей, т.е. сети без централизованного сервера. Это так называемые пиринговые (peer-to-peer, P2P) сети, работа которых основана на связи между всеми отдельными частями и их вычислительной мощности, а не на относительно малом количестве серверов [1]. Пиринговые сети в чистом виде не имеют клиентов или серверов, а состоят из равнозначных узлов, исполняющих одновременно роли клиентов и серверов для других подобных узлов. Существуют также гибридные пиринговые сети, имеющие вспомогательные серверы, которые в основном хранят информацию об узлах и их состояниях.

Пиринговые сети обладают рядом преимуществ. За счет того, что используются вычислительные ресурсы каждого из узлов, получается, что с ростом системы (появление новых узлов) и ее потребностей одновременно растут и ее возможности, и общая вычислительная мощность, в отличие от классической двухзвенной архитектуры, в которой вычислительная мощность ограничена возможностями центрального сервера. Пиринговые сети также устойчивы по отношению к ошибкам и отключению отдельных узлов, так как формально ни один узел не представляет собой узкое место сети и не является критически важным для ее работы.

Теория пиринговых сетей достаточно обширна [2, 3]: исследуются различные протоколы и алгоритмы работы таких сетей, их структурирования, гибридное использование пиринговой архитектуры с другими архитектурами. Кроме теории существует ряд практических реализаций пиринговых сетей и их применения для решения различных задач [3]: эффективное хранение и обмен информацией, биоинформатика, повышение устойчивости работы серверной части двухзвенной архитектуры (компьютерные кластеры), различные

<sup>1</sup> Работа выполнена в рамках гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых МД-9422.2006.9 и гранта РФФИ по проекту 07-08-00401-а.

распределенные вычислительные задачи. Вообще, пиринговые сети можно использовать для любых задач, в том числе и вычислительных, которые можно разбить на ряд относительно независимых частей. При этом будет использоваться суммарная вычислительная мощность всех узлов, и данная система будет устойчива по отношению к изменению своей структуры. Особенно интересным является исследование работы различных автоматизированных интеллектуальных систем на основе P2P-архитектуры.

В данной статье рассматриваются особенности реализации модели распознавания цифровых графических образов на основе динамически меняющейся распределенной сети. Система распознавания образов построена с помощью модели искусственной синергетической нейронной сети Хакена [4]. Использование моделей на основе нейронных сетей Хакена позволяет произвести редукцию размерности решаемой задачи распознавания с исходной размерности входных векторов до количества запомненных образов в системе, сократив тем самым число настраиваемых параметров. Кроме того, в фазовом пространстве решаемой задачи отсутствуют ложные минимумы [4, 5]. Модель распознавания на основе нейронной сети Хакена представляет собой систему  $M$  нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений ( $M$  – количество запомненных образов системы) относительно мод, каждая из которых отвечает за распознавание отдельного запомненного образа.

Одним из основных критериев возможности развертывания подобных моделей на пиринговых сетях является возможность разбиения вычислительной работы модели на ряд независимых частей, что с очевидностью обеспечивается в рамках используемой модели. Здесь возможна реализация P2P сети на  $M$  узлах.

В предложенной реализации на отдельных узлах будут реализованы отдельные независимые машины распознавания. Динамическое изменение сети в данном случае будет равноценно изменению количества образов, предъявляемых для распознавания. В статье исследуется поведение системы при внезапном изменении размерности  $M$  в процессе распознавания.

### Математическая модель распознавания

В [4] представлены принципы построения моделей распознавания образов на основе нейронной сети Хакена. Предъявляемый к распознаванию образ  $\mathbf{q}(0)$  состоит из  $N$  вещественных чисел. В модели имеется  $M$  образов-прототипов  $\mathbf{v}_i$  ( $i = \overline{1, M}$ ), имеющих такую же структуру. В процессе распознавания образ может быть представлен в виде линейной комбинации запомненных образов  $\mathbf{v}_i$  с коэффициентами  $d_i$  мод и некоторого остатка

$$\mathbf{q}(t) = \sum_{i=1}^M d_i(t) \mathbf{v}_i + \boldsymbol{\xi}(t) . \quad (1)$$

Данное представление распознаваемого образа позволяет свести распознавание к конкуренции мод, значения которых изменяются во времени, и рассматривать задачу не в фазовом пространстве размерности  $N$  компонент вектора  $\mathbf{q}$ , а в пространстве мод размерности  $M$ . После предъявления образа система со временем эволюционирует в одно из устойчивых состояний – узлов в фазовом пространстве мод, соответствующее одному из запомненных образов системы. В окрестности этой стационарной точки только одна мода стремится к ненулевому значению в отличие от остальных мод, стремящихся к нулю. Победившая ненулевая мода указывает на наиболее похожий запомненный образ. Динамику распознавания можно представить в виде системы  $M$  нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений относительно  $M$  мод  $d_i$ :

$$\dot{d}_i = \lambda_i d_i - B \sum_{j \neq i}^M d_j d_i \left( \sum_{k=1}^M g_{jk} d_k \right) - C \sum_{j=1}^M d_i d_j \left( \sum_{k=i}^M g_{jk} d_k \right) , \quad (2)$$

начальные условия определяются соотношениями:

$$\mathbf{d}(0) = \mathbf{A} \mathbf{V}' \mathbf{q}(0), \quad (3)$$

где

$$\begin{aligned} \mathbf{A} &= \mathbf{G}^{-1}, \\ \mathbf{G} &= \mathbf{V}' \mathbf{V}, \end{aligned} \quad (4)$$

где  $\mathbf{V}$  – матрица  $N \times M$ , составленная из векторов  $\mathbf{v}_i$ .

## Динамическое изменение размерности системы

Ввиду сложности и многомерности системы уравнений (2) она решается численно для данных начальных условий. При распознавании важно лишь установить, какая мода стремится к ненулевому значению, что можно однозначно определить при достаточном количестве шагов численного интегрирования системы.

Численное интегрирование, особенно при больших размерностях задачи, из-за конкуренции мод занимает достаточное время. При работе данной модели на основе динамически меняющейся сети возможна такая ситуация: количество распознаваемых образов изменилось, однако процесс распознавания с уже имеющимися эталонными образцами и сформированной по ним матрицей  $G$  не закончен. Если каждый раз при этом ожидать окончания процесса распознавания, а после этого менять ее размерность, пересчитывая матрицу  $G$ , это будет причиной низкой производительности системы и в худшем случае приведет к непрекращающемуся пересчету данных.

Для решения данной проблемы в большинстве практических приложений предлагается следующий подход. Есть модель  $R_1$  распознавания (2) с размерностью  $M_{R_1} = n$ , т.е. с  $n$  эталонными векторами, матрица  $G_{R_1}$  размерности  $n$ , вычисленная по формуле (4), с вектором  $q(0)$ , подаваемым на распознавание посредством начальных условий  $d^{R_1}(0)$ , вычисляемых по формуле (3):

$$d^{R_1}(0) = G_{R_1}^{-1} V' q(0). \quad (5)$$

Допустим, в данном случае получаем ответ  $a_{R_1}$ , равный номеру распознанного вектора, т.е. мода  $d_{a_{R_1}}$  в процессе численного интегрирования системы (2) с количеством шагов  $t_K$  в отличие от остальных мод достигла некоторого ненулевого значения.

Также имеется модель  $R_2$  с размерностью  $M_{R_2} = n+1$ , с  $n$  эталонными векторами из модели  $R_1$  и еще одним новым эталонным вектором, например, хранящимся на вновь подключившемся узле сети. Матрица  $G_{R_2}$  размерности  $n+1$  и вектор  $d^{R_2}(0)$  подсчитаны по формулам (3) и (4) с учетом новой размерности и нового эталонного вектора  $v_{n+1}$ . В данном случае после численного интегрирования с тем же с количеством шагов  $t_K$  получаем ответ  $a_{R_2}$ , не обязательно равным  $a_{R_1}$  в общем случае. Таким образом, в данном случае имеется динамическое изменение размерности системы, заключающееся в появлении нового эталонного вектора или нового узла пиринговой сети. Тогда пусть  $R_1$  – это состояние модели до динамического изменения,  $R_2$  – состояние после него.

Модификацию модели можно производить следующим образом: на некотором шаге численного интегрирования  $t_{\text{мут}}$  (на котором предположительно к пиринговой сети подключается новый узел) численное интегрирование модели  $R_1$  останавливается, матрица  $G$  пересчитывается (соответственно, становится равной  $G_{R_2}$ ). Вектор значений дифференцируемых переменных мод  $d_i$  на шаге  $t_{\text{мут}}$  вычисляется следующим образом:

$$d(t_{\text{мут}}) = (d_1(t_{\text{мут}}) \dots d_n(t_{\text{мут}}), d_{n+1}^{R_2}(0))^T, \quad (6)$$

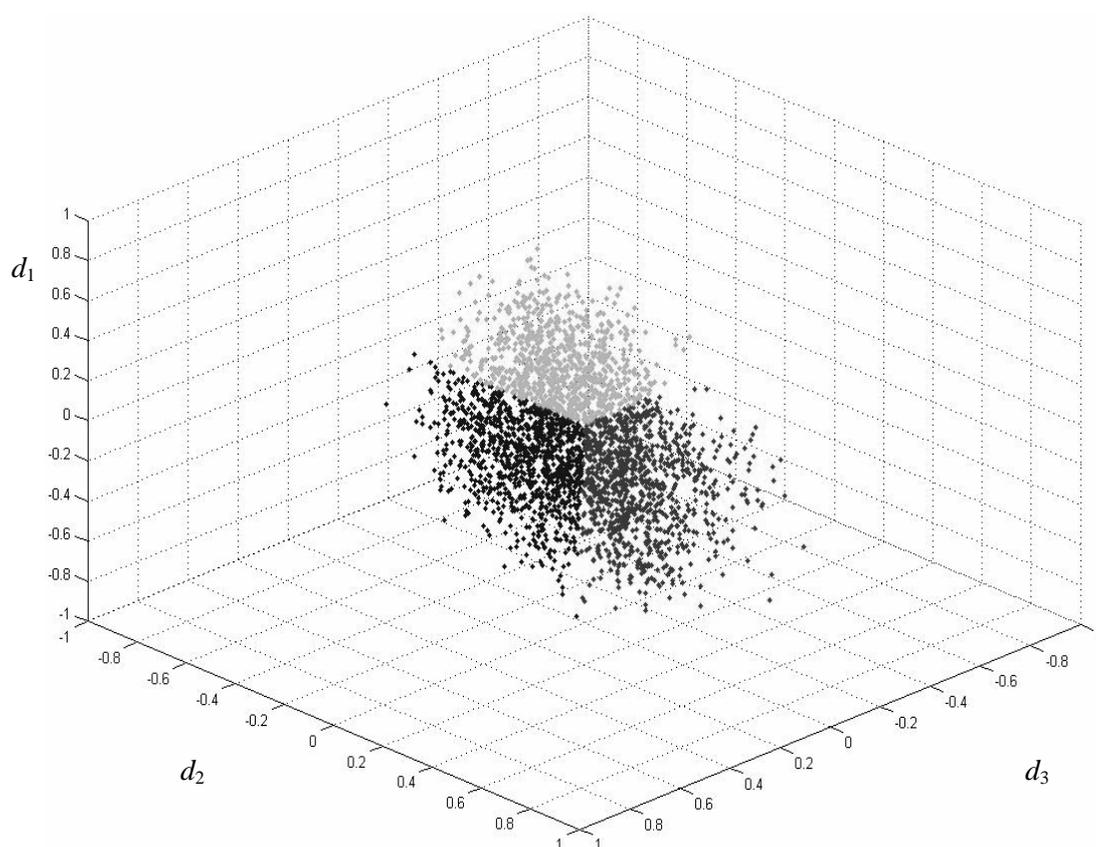
где  $d_1(t_{\text{мут}}) \dots d_n(t_{\text{мут}})$  – значения мод  $d_i$ , полученные при численном интегрировании модели  $R_1$  на момент  $t_{\text{мут}}$ ,  $d_{n+1}^{R_2}(0)$  –  $(n+1)$ -й элемент вектора начальных условий  $d^{R_2}(0)$ . После этого производится численное интегрирование с вектором  $d(t_{\text{мут}})$  в качестве начальных условий и с количеством шагов  $t = t_K - t_{\text{мут}}$ . Таким образом, общее время интегрирования не меняется и в конечном итоге получается некоторый ответ  $a_{\text{мут}}$ .

Введем *предположение*: существует некоторое  $t_{\text{крит}}$ , такое, что для  $1 < \forall t_{\text{мут}} < t_{\text{крит}}$

модель  $R_1$ , подвергаясь модификации, в большинстве случаев будет давать ответ  $a_{\text{муг}} = a_{R_2}$ , т.е. ответ будет таким же, как если бы распознавание в целом велось в модели  $R_2$ .

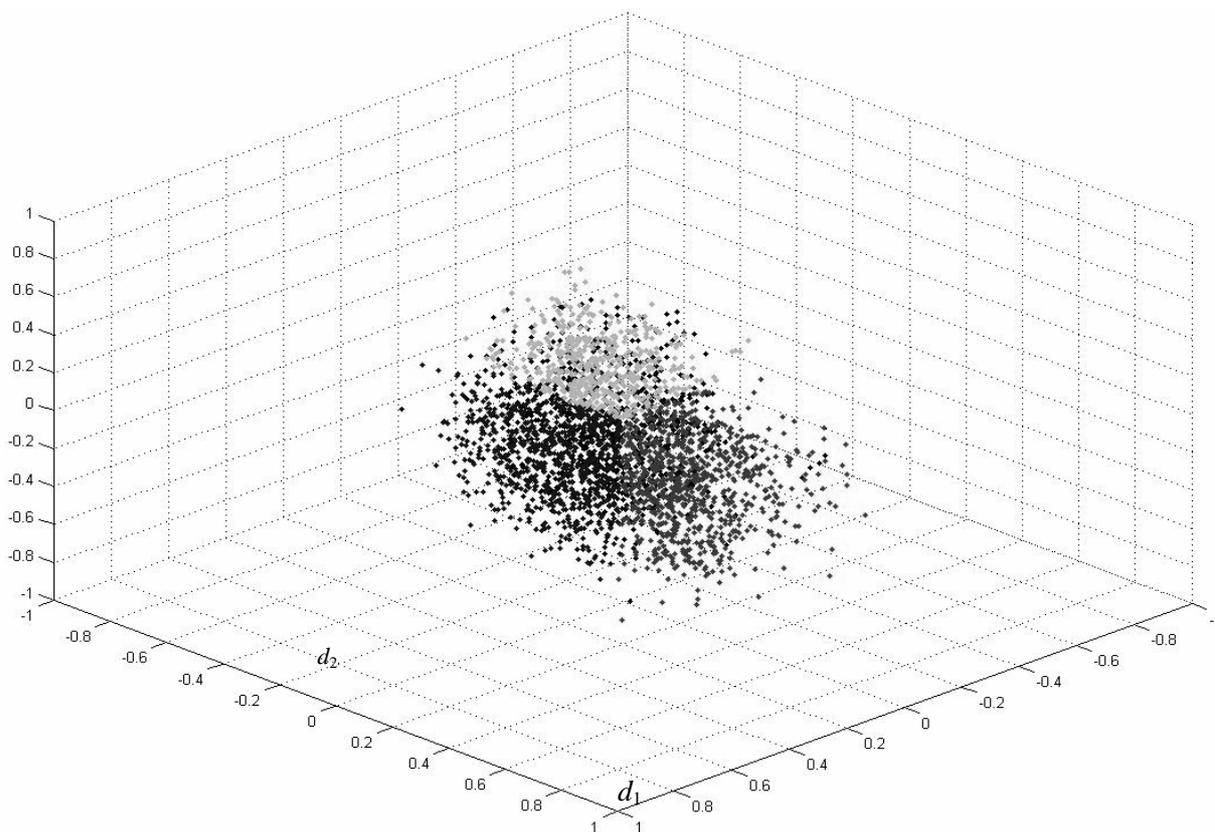
### Численное моделирование

Для первичной оценки такой возможности проведем простой эксперимент. В модель с тремя эталонными образами (т.е.  $n = 3$ ) для распознавания последовательно подается на вход выборка из 3000 векторов. Эталонные образы и образы для распознавания являются в данном случае реальными изображениями лиц. В данном фазовом пространстве системы образ для распознавания можно обозначить точкой с координатами, равными начальным условиям  $d(0)$ . Так как структура реальных векторов и распределение компонент в них отличаются от равномерно распределенного по всему фазовому пространству белого шума, то точки, соответствующие реальным векторам, покрывают равномерно не все доступное пространство, а только некоторый сектор, напоминающий по форме облако. Количество образов, подаваемых на вход модели, выбрано таким, чтобы достаточно плотно и равномерно заполнить область реальных векторов. После распознавания точка окрашивается цветом, зависящим от того, какой образ выбран в данном случае. В результате получается картина с закрасненными областями притяжения аттракторов, соответствующих запомненным эталонным образам (рис. 1).



Р и с. 1. Распределение областей притяжения в модели с тремя эталонными образами. Каждая точка – начальные условия образов для распознавания, оттенок точки показывает, какой образ выбран

Из рис. 1 видно, что области притяжения аттракторов имеют пирамидальную форму с достаточно ровными гранями. После этого к той же модели добавляется 4-й эталонный образ и на вход подаются те же 3000 векторов. Так как невозможно показать визуально 4-мерное фазовое пространство, то на рис. 2 будет приведено точно такое же распределение по первым трем эталонным образам (точки, соответствующие образам, распознающимся как четвертый, выделяются черным).



Р и с. 2. Распределение распознавания в модели с четырьмя эталонными образами в пространстве 3-х первых мод

Из рис. 2 видно, что структура областей притяжения аттракторов существенно не изменилась, несмотря на то, что 4-й образ также имеет довольно большую область притяжения, судя по проценту распознанных образов.

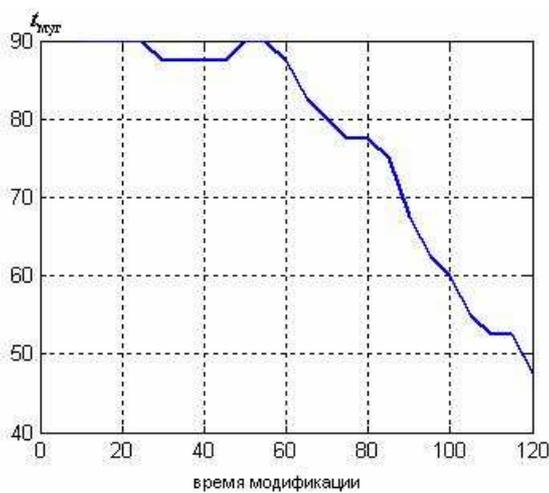
Данную иллюстрацию можно считать косвенным подтверждением предположения, высказанного в предыдущем разделе. В данном случае поведение системы можно спрогнозировать таким образом: если  $\mathbf{a}_{R_1} = \mathbf{a}_{R_2}$ , тогда точка, соответствующая текущим значениям мод при модификации (т.е. параллельном переносе точки на значение нового начального условия по новому эталонному вектору), не выйдет за пределы области притяжения аттрактора, соответствующего правильному ответу, и модель в конечном итоге выдаст правильный ответ. Отличаться будет лишь траектория точки с координатами мод. При  $\mathbf{a}_{R_1} \neq \mathbf{a}_{R_2}$  в случае, если модификация произошла до некоторого критического шага  $t_{\text{крит}}$  (точка не успела достаточно близко притянуться к аттрактору, соответствующему некорректному ответу), описанный выше параллельный перенос точки обеспечивает ее перемещение в корректную область притяжения, и в конечном итоге модель даст корректный ответ  $\mathbf{a}_{R_2}$ .

С целью практического подтверждения высказанной гипотезы далее моделируется модификация системы. В данном случае используется модель, в которой образы – это цифровые изображения лиц.

Для модели  $R_1: M_{R_1} = 203, R_2: M_{R_2} = 204, t_K = 125$ . Тестирование производилось на двух выборках входных векторов  $\mathbf{q}(0)$  по 20 векторов в каждой. Первая выборка состояла из векторов, которые не распознаются как  $\mathbf{v}_{204}$  в модели  $R_2$ . Вторая выборка состояла из векторов, которые распознаются как  $\mathbf{v}_{204}$  в модели  $R_2$ . Соответственно,  $t_{\text{мут}}$  менялось от 10 до  $t_2 = t_K - 5 = 120$ . Ниже приведена таблица с результатами эксперимента (значения  $\mathbf{a}_{\text{мут}}$  в зависимости от  $t_{\text{мут}}$ ), а также график зависимости количества правильных ответов системы от времени  $t_{\text{мут}}$  (рис. 3).

Значения  $a_{\text{мут}}$  в зависимости от  $t_{\text{мут}}$  и номера вектора при тестировании на некоторых образах. Последний столбец – корректные ответы модели  $R_2$

$\text{№}$ \ $t_{\text{мут}}$	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	$a_{R_2}$
1	113	113	113	113	204	204	204	204	113	113	113	113	113	113	113	113	113	113	113	113	113	113	113	113
2	149	149	149	149	149	149	149	149	149	149	149	149	149	149	149	149	149	149	149	149	149	149	149	149
3	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43
4	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110
5	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62
1	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	204
2	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	74	74	74	74	74	74	204
3	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	32	32	32	32	204
4	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	32	204
5	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	113	113	113	113	113	113	113	113	113	113	113	113	204



Р и с. 3. Зависимость числа корректных ответов от времени модификации

Так как фазовое пространство распознавания имеет сложную структуру и система (2) интегрируется численно, крайне сложно аналитически вычислить точное значение и зависящую от него вероятность корректного ответа изменившейся системы. В данном случае при  $t_{\text{крит}} = \frac{t_{\text{к}}}{2}$  модель дает корректный ответ в 87,5% случаев (80% случаев в первой выборке и в 95% случаев – во второй), что можно считать вполне успешным результатом и экспериментальным подтверждением относительной эффективности предложенного механизма реализации модели распознавания образов на основе сети P2P.

### Выводы

У современной пиринговой архитектуры построения компьютерных сетей большой потенциал. Такие сети удобны для решения задач обмена информацией и ее интеллектуальной обработки, так как их общая вычислительная мощность повышается с ростом количества узлов; они также устойчивы к динамическому изменению своей структуры и отключению от сети отдельных узлов, так как не имеют централизованных серверов.

В статье для имитации работы сети P2P используется механизм модификации модели распознавания образов, заключающийся в подготовке начальных условий  $d(0)$  для модели с новой размерностью с учетом уже вычисленных к данному моменту в результате некоторого количества шагов  $t_{\text{мут}}$  и повторном численном интегрировании системы дифференциальных уравнений новой размерности на оставшемся количестве шагов. Высказано предположение о том, что существует некоторый момент в процедуре численного интегрирования, до которого модификация не вызывает существенного снижения эффективности распознавания, и изменившаяся модель дает адекватный ответ. Под адекватным ответом понимается результат, который был бы дан, если бы система имела увеличенную размерность с самого начала процесса распознавания.

В результате эксперимента, моделирующего предложенный механизм модификации модели распознавания образов – реальных изображений лиц – установлено, что упомянутый выше критический момент приблизительно равен  $t_{\text{крит}} = \frac{t_K}{2}$ ,  $t_K$  – общее число шагов численного интегрирования. При модификации до этого момента система дает правильный ответ в 80% и более случаев.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Agre P.E.* P2P and the promise of internet equality / Communications of the ACM, Vol. 46(2), 2003, pp.39-42.
2. Stephanos Androutsellis-Theotokis and Diomidis Spinellis. A survey of peer-to-peer content distribution technologies. ACM Computing Surveys, 36(4):335-371, December, 2004.
3. *Ralf Steinmetz, Klaus Wehrle* (Eds). Peer-to-Peer Systems and Applications. ISBN 3-540-29192-X, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 3485, Sep. 2005.
4. *Haken H.* Synergetic computers and cognition: A top-down approach to neural nets. Berlin: Springer-Verlag, 1991.
5. *Юдашкин А.А.* Бифуркации стационарных решений в синергетической нейронной сети и управление распознаванием образов // Автоматика и Телемеханика, 1996. № 11. С. 139-147.

*Статья поступила в редакцию 3 октября 2007 г.*

УДК 681.51, 629.78

**С.А. Бутырин**

### **ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ РАСЧЕТА И ВИЗУАЛИЗАЦИИ МАРШРУТОВ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ СЪЕМКИ ЗЕМЛИ<sup>1</sup>**

*Описывается комплекс программ для расчета и визуализации различных вариантов съемки поверхности Земли из космоса. Комплекс позволяет выполнить расчеты параметров поступательного и углового движения космического аппарата при объектовой съемке, съемке площадок и стереосъемке с отображением маршрутов на карте.*

Программный комплекс GeoPlan позволяет выполнить расчеты параметров поступательного и углового движения космического аппарата (КА), оснащенного орбитальным телескопом (ОТ) при оптико-электронной съемке поверхности Земли с отображением маршрутов съемки на картографической основе. Методологическая основа расчетов приведена в [1, 2], где рассмотрены три практически применяемых варианта построения маршрутов съемки: “с выравниванием”; “по геодезической линии”; “с постоянной ориентацией в ОСК”.

Метод “с выравниванием” дает приближенно постоянное значение продольной составляющей скорости движения изображения (СДИ) в фокальной плоскости (ФП) орбитального телескопа и применяется для получения изображения с высоким качеством. Недостатком этого метода является отклонение линии маршрута от первоначально заданного направления сканирования, причем скорость такого отклонения увеличивается пропорционально угловому расстоянию от трассы полета. Метод съемки “по геодезической линии” обеспечивает прохождение следа линии визирования орбитального телескопа на поверхности Земли по линии, образованной сечением общеземного эллипсоида с плоскостью, проходящей через заданные начальную и конечную точки поверхности и центр Земли. Он имеет практическое преимущество, связанное с прохождением маршрута через заданные объекты на поверхности Земли. Метод съемки “с постоянной ориентацией в ОСК” выполняется при постоянстве ориентации ЛВ в орбитальной системе координат (ОСК). Этот метод не требует существенных угловых эволюций КА, но маршруты съемки не могут отклоняться от направления трассы полета. Движение КА между маршрутами съемки (на межмаршрутных интервалах) представляется как результат сложения трех одновременно происходящих элементарных плоских поворотов,

<sup>1</sup>Работа поддержана РФФИ (04-01-96501, 07-08-97611), Президиумом РАН (программа фундаментальных исследований 22) и Отделением энергетики, механики, машиностроения и процессов управления РАН (программа 15).

параметризованных полиномами 5-й и 6-й степени, коэффициенты которых определяется из краевых условий исходной пространственной задачи [3].

Программный комплекс GeoPlan может быть использован при проектировании новых КА дистанционного зондирования Земли на основе сравнения результатов расчета для различных вариантов облика КА по критериям производительности, качества съемки и выполнения функциональных требований по его назначению. Для существующих КА комплекс можно использовать для предварительного планирования, анализа случаев невыполнения требований, нештатных ситуаций и при коррекции бортовых алгоритмов планирования маршрутов съемки.

Исходными данными для работы комплекса являются: параметры корпуса КА, орбитальные данные, данные оптического тракта ОТ, корпуса КА и силовых гиросилов (ГД). Выход представлен сценами маршрутов съемки на картографической основе, таблицами и графиками изменения параметров движения корпуса КА и силовых гиросилов в функции времени, характеристик движения изображения в фокальной плоскости ОТ.

Вид основного окна диалоговой среды комплекса GeoPlan приведен на рис. 1, где показано верхнее меню, географическая карта, трасса полета, границы обзора КА, света и тени. Диалог с пользователем осуществляется через всплывающие окна. Для каждого КА выполняется ввод данных и настроек среды, которые запоминаются в файл статуса (меню “Сохранить статус” на рис. 1). В дальнейшем можно загрузить данные КА и окружающей обстановки, просто выбрав нужный файл статуса.

**Меню “КА”** предназначено для ввода характеристик КА с гиросиловым управлением. В частности вводятся данные: тензор инерции корпуса КА; ограничения на скорость и ускорение корпуса; число гиросилов (ГД); схема установки ГД в силовом гиросиловом комплексе (СГК), кинетический момент отдельного ГД и ограничение на скорость его прецессии. Опция “корпус КА” позволяет выполнить расчет без учета СГК. Также вводятся данные оптического тракта ОТ: фокусное расстояние и геометрия расположения оптико-электронных преобразователей в фокальной плоскости.

**Меню “Карта”** предназначено для настройки карты, включая конкретный вид цилиндрической, конической или азимутальной проекции, географической точки, через которую проходит направление взгляда, и расстояния над поверхностью Земли. Также можно настроить раскраску карты, отобразить на ней береговую линию, реки и озера, границы государств, положение центров крупных городов и др.

**Меню “Орбита”** позволяет выполнить расчет орбитального движения КА или загрузить ранее рассчитанную орбиту. Расчет выполняется с заданным шагом по времени на требуемое число витков. Начальные условия могут задаваться как в координатной форме, так и в оскулирующих элементах орбиты с учетом заданного числа гармоник геопотенциала. Результатом расчета является таблица значений координат и скоростей движения центра масс КА в функции времени на заданном числе витков с заданной дискретностью, которая записывается в файл.

Параметры орбиты: фокальный параметр, период обращения, долгота восходящего узла для каждого витка и другие, выводятся в всплывающее окно. При загрузке орбиты на карте рисуется трасса КА и границы обзора, определенные при вводе данных в виде ограничения на отклонение линии визирования. Трасса есть геометрическое место точек пересечения поверхности общеземного эллипсоида и линии, соединяющей центр масс КА с центром Земли на рассматриваемом интервале времени.

Условия маршрутов съемки вводятся в меню “Данные”, при активации которого появляется таблица, пример заполнения которой показан на рис. 2.

После ввода данных, приведенных на рис. 2, сформированная таблица записывается в файл. Предусмотрена возможность ввода данных, определяющих положение маршрутов съемки на поверхности Земли, как в терминах геодезических координат, так и в виде углов ориентации КА относительно орбитальной системы координат (ОСК), для чего предназначена кнопка “Расч. геокоординат”, при нажатии которой появляется всплывающее окно, позволяющее вычислить геодезические координаты по заданным углам (или кватерниону) ориентации КА в ОСК.

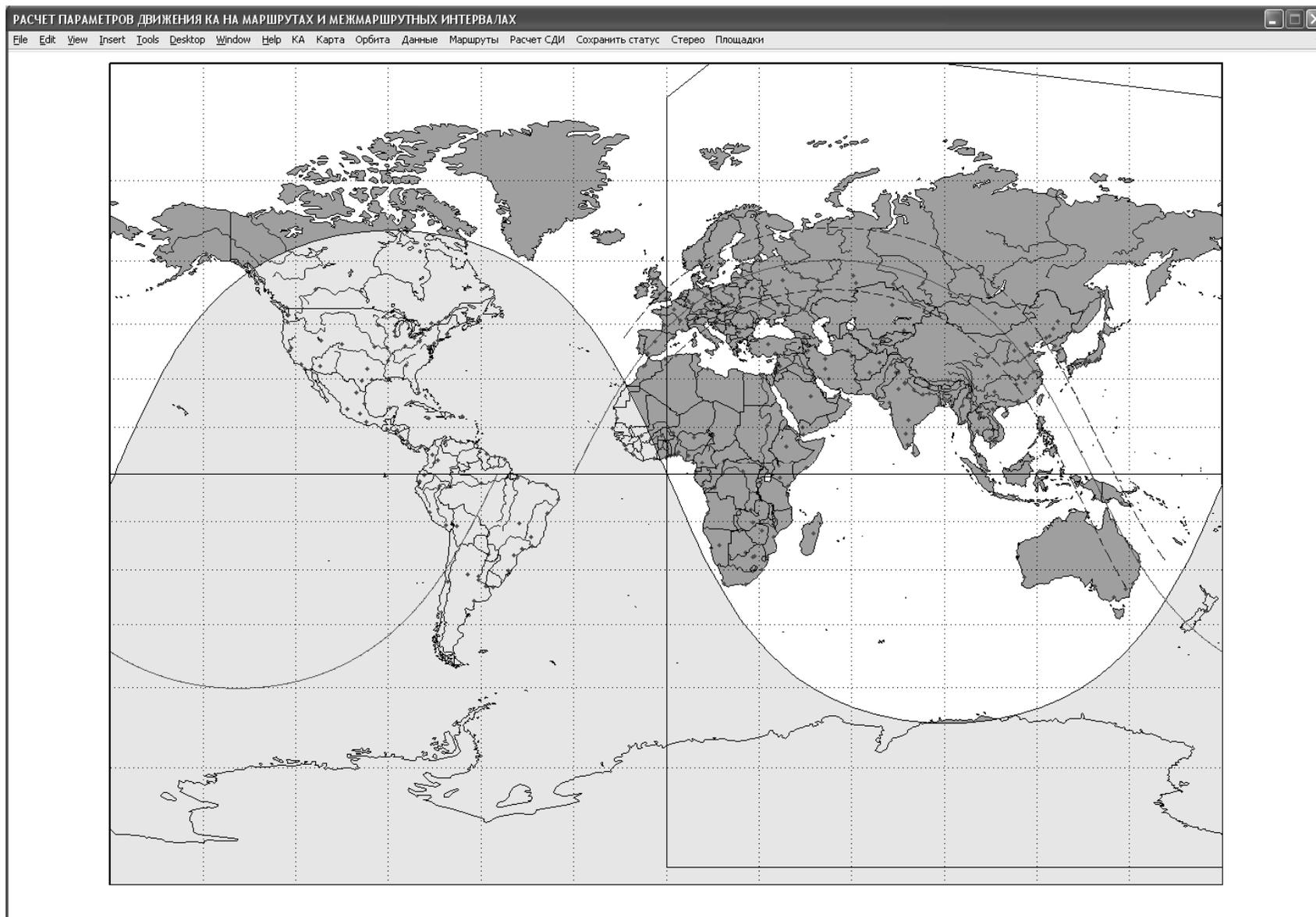


Рис. 1

Ввод данных маршрутов съемки

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Код варианта k	3	1	2	*	*	*	*	*	*	*
Нач.широта Вп [гр.]	37.5756	40	45	*	*	*	*	*	*	*
Нач.долгота Ln [гр.]	-10.3145	-4	3.5	*	*	*	*	*	*	*
Превышение [м]	0	0	0	*	*	*	*	*	*	*
Кон.широта Вк [гр.] (k=2)	*	*	46	*	*	*	*	*	*	*
Кон.долгота Lk [гр.] (k=2)	*	*	5	*	*	*	*	*	*	*
Момент начала съемки [с]	700	790	950	*	*	*	*	*	*	*
Длительность [с]	40	120	*	*	*	*	*	*	*	*
Треб.СДИ [мм/с] (k=1,2)	*	30	30	*	*	*	*	*	*	*
Азимут [гр] (k=1)	*	45	*	*	*	*	*	*	*	*

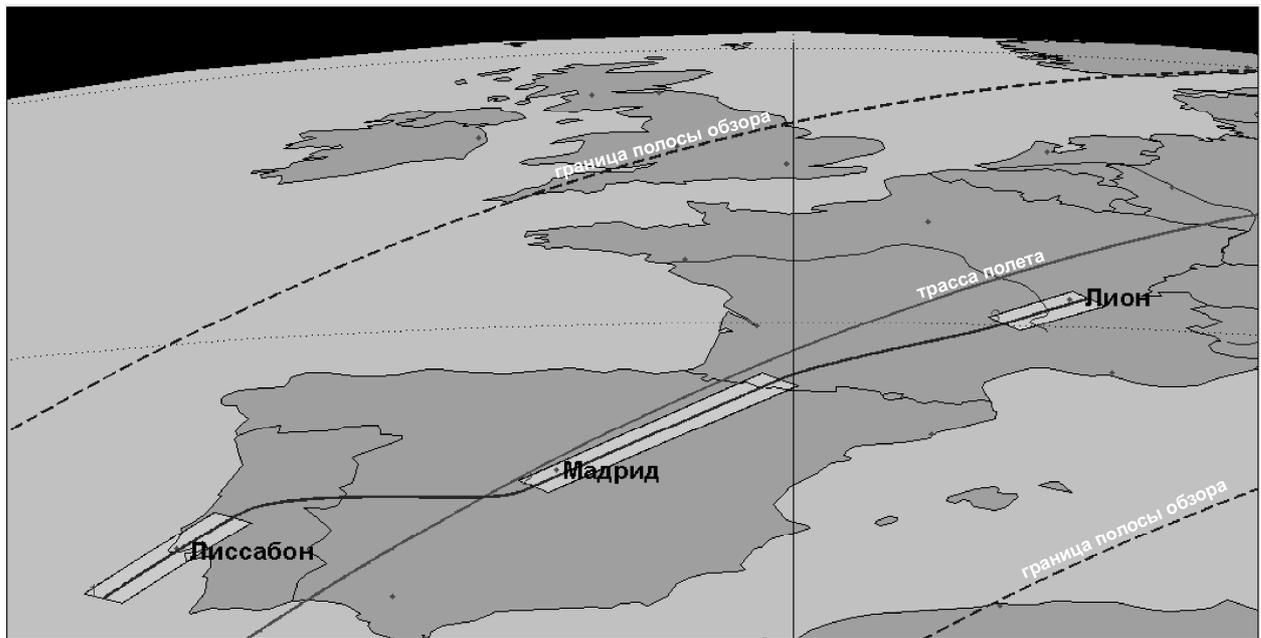
Код варианта: 1 - с выравниванием продольной СДИ; 2 - по геодезической линии; 3 - с постоянным креном и тангажом  
 Орбита:abstract.orb

Расч.геокоординат      <      >      Запись в файл

Р и с. 2

Меню “Маршруты” предназначено для расчета параметров и отображения на карте маршрутов съемки и следа линии визирования на земной поверхности. Если запланированные маршруты не могут быть реализованы из-за имеющихся ограничений, пользователю выдаются соответствующие диагностические сообщения.

Пример отображения сцены съемки для КА, движущегося по круговой орбите высотой 680 км с наклоном  $60^\circ$ , и данных маршрутов съемки рис. 2 приведен на рис. 3.



Р и с. 3

В приведенном примере маршруты съемки проходят через крупные города: Лиссабон, Мадрид и Лион. Маршрут 1, проходящий через Лиссабон, длительностью 40 с, выполнен с использованием метода с постоянной ориентацией визирной оси телескопа в ОСК, определяемом углами  $\alpha = 0^\circ, \beta = 20^\circ$  [2]. Маршрут 2, проходящий через Мадрид, длительностью 120 с, использует метод с выравниванием продольной СДИ с азимутом  $45^\circ$  [1]. Для маршрута 3, проходящего через Лион, применен метод съемки по геодезической линии [2]. Координаты начальной точки маршрута:  $45^\circ$  с.ш. и  $3^\circ.5$  в.д., конечной точки:  $46^\circ$  с.ш. и  $5^\circ$  в.д. Фокусное расстояние ОТ принято равным 6 м, длина линейки оптико-электронных преобразователей – 0.5 м, требуемая скорость движения изображения – 30 мм/с.

В функции времени вычисляются следующие кинематические параметры углового движения КА: ориентация КА относительно инерциальной системы координат (ИСК)  $\Lambda_I^b(t)$  в

кватернионах, ориентация КА относительно  $v$  углах Эйлера-Крылова  $\alpha(t) = \{\gamma, \psi, \vartheta\}$ ; абсолютная угловая скорость  $\omega(t)$ , ускорение  $\epsilon(t)$  и производная ускорения  $\dot{\epsilon}(t)$  КА в проекции на связанные оси. Также вычисляются: геодезические координаты следа линии визирования на поверхности Земли; контуры площадок покрытия, длины маршрутов, площадь снимаемой поверхности и другие характеристики. Для варианта наличия СГК также вычисляются углы  $\beta(t)$  и скорости  $\dot{\beta}(t)$  прецессии ГД, вектор суммарного кинетического момента (КМ) СГК, расстояние от конца вектора КМ СГК до границ области его вариации.

Если запланированные маршруты не могут быть реализованы из-за имеющихся ограничений, пользователю выдаются соответствующие диагностические сообщения.

Расчетные параметры углового движения КА и ГД при обработке маршрутов рис. 3 приведены на рис. 4. При расчетах приняты: число ГД = 4; схема СКГ – “2 SPE”; кинетический момент отдельного ГД  $h = 150$  Нмс; тензор инерции диагональный с моментами инерции по осям связанной системы координат  $J_x = 8750$ ;  $J_y = 3800$ ;  $J_z = 9000$  кгм<sup>2</sup>.

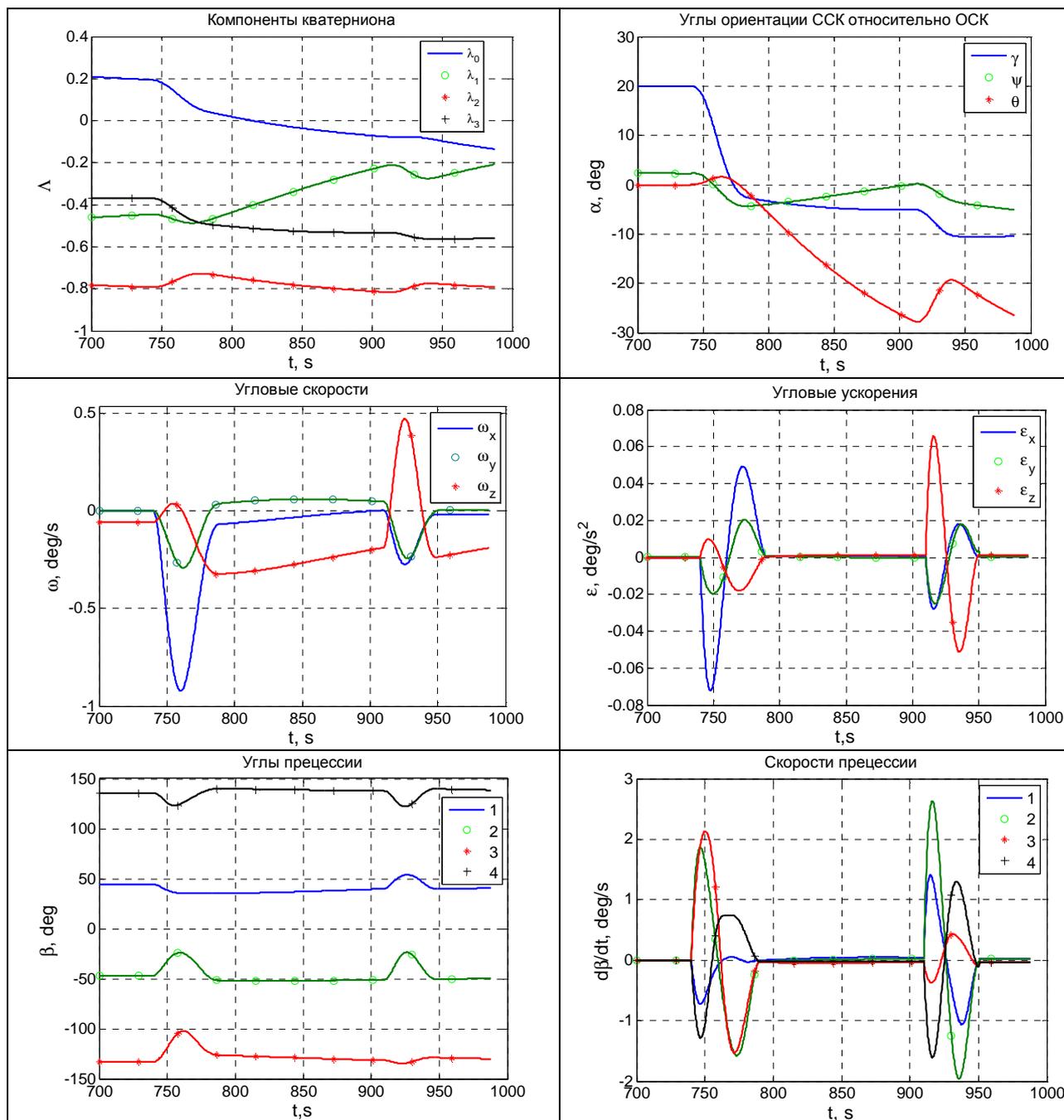
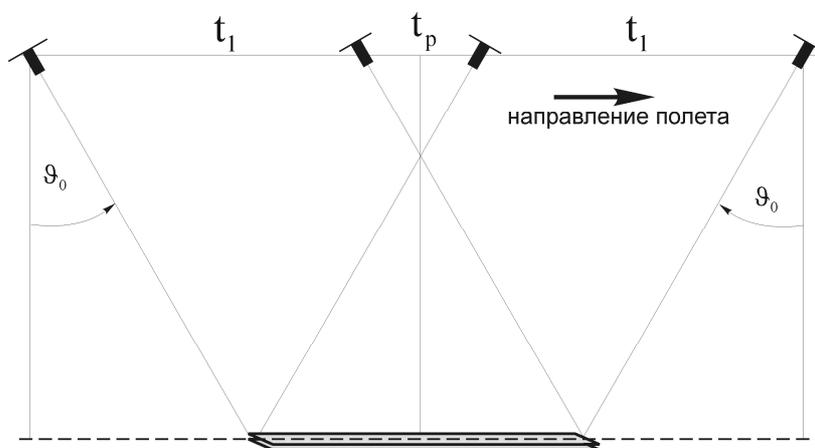


Рис. 4

**Меню “Расчет СДИ”** позволяет вычислить скорости движения точек изображения в фокальной плоскости телескопа, оценить величину смаза изображения и определить достигнутое разрешение каждой точки снимка. Активизация этого меню вызывает появления выплывающих окон для ввода данных, просмотра результатов в табличной и графической формах и записи их в файл.

**Меню “Стереос”** предназначено для планирования стереосъемки. Активизация этого меню вызывает появления выплывающего окна для определения угловой величины стереобазы  $\vartheta_0$  (рис. 5) и метода стереосъемки. Длительность съемки одной полосы стереомаршрута  $t_1 = 2(\beta/\omega_0 - \vartheta_0/\omega^*)$ , где  $\omega_0$  – орбитальная угловая скорость КА,  $\beta = \arcsin(R_s \sin \vartheta_0 / R_\oplus) - \vartheta_0$ , а  $R_s, R_\oplus$  – радиус вектора центра масс КА и радиус Земли соответственно,  $\omega^*$  – ограничение на величину угловой скорости программного поворота КА. Если  $t_1 \leq 0$ , то выдается сообщение “Стереосъемка невозможна”, иначе выполняется расчет параметров стереомаршрута по методу съемки “с постоянной ориентацией в ОСК” [2], обеспечивающий наилучшее совпадение полос покрытия. Для коротких стереомаршрутов пользователь может выбрать метод “с выравниванием” [1].



Р и с. 5

**Меню “Площадки”** позволяет планировать съемку площадок на поверхности Земли. Данными для расчета являются число сканов, образующих площадку, их ориентация (вдоль или поперек трассы) и длина каждого скана. При этом используется метод съемки “по геодезической линии” [2]. Если съемка запланированной площадки нереализуема из-за имеющихся ограничений, пользователю выдаются соответствующие диагностические сообщения. Пример построения маршрутов съемки площадки из 4-х сканов поперек трассы приведен на рис. 6.



Р и с. 6

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Бутырин С.А.* Синтез маршрута космического аппарата наблюдения Земли с выравниванием продольной составляющей скорости движения изображения // Вестник СамГТУ. Сер. «Технические науки». Самара: СамГТУ, 2005. Вып. 37. С. 128-134.
2. *Бутырин С.А.* Синтез маршрутного движения космического аппарата при оптико-электронной съемке Земли с перемещением по геодезической линии // Вестник СамГТУ. Сер. «Технические науки». Самара: СамГТУ, 2007. Вып. 1(19). С. 12-16.
3. *Сомов Е.И., Бутырин С.А.* Аналитический синтез программного движения космического аппарата наблюдения // Изв. Самар. науч. центра РАН. 2004. Т. 6. №1. С. 168-179.

*Статья поступила в редакцию 20 сентября 2007 г.*

УДК 681.5

*Г.М. Гасанов, А.В. Тарасов, А.В. Чернецов*

### **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ РЕГИОНАЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ УЧАСТНИКОВ РЫНКА ЦЕННЫХ БУМАГ НА ОСНОВЕ ВНЕДРЕНИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ ИННОВАЦИЙ**

*Проанализирована проблема повышения эффективности работы региональных организаций на основе внедрения управленческих инноваций. Предложен механизм формирования инновационных направлений в управлении региональных организаций на основе использования аутсорсинга, ориентированный на современные информационно-коммуникационные технологии.*

Управленческие инновации находятся в сфере менеджмента хозяйствующего субъекта и способствуют введению современных и конкурентоспособных методов организации работы предприятий, принадлежащих различным сферам экономики. В настоящий момент в современном менеджменте основные акценты делаются на создании сильных корпоративных связей, близости к потребителям, повышении производительности и конкурентоспособности. Поэтому предприятие вынуждено сосредоточить свое внимание на увеличении добавочной стоимости в основных, характерных для данного предприятия видах деятельности, чтобы найти наиболее благоприятные условия для выживания в конкурентной среде. В связи с этим актуальным является не только совершенствование производства и предоставления услуг, но и внедрение новых методов расширения кооперативных связей предприятий, например, с использованием аутсорсинга – компенсации нехватки или замены внутреннего ресурса предприятия привлеченным внешним ресурсом подрядчика для выполнения определенных работ.

Многие основные стандарты по обеспечению качества корпоративного управления ориентированы на бизнес-процессы организации. Преимуществами процессно-ориентированной организации являются:

- объединение отдельных подразделений в единую цепочку;
- делегирование полномочий по отдельным задачам;
- разделение обязанностей с целью минимизации риска зависимости от отдельного исполнителя;
- возможность стандартизации требований к исполнителям и операциям, которые они выполняют, путем определения порядка взаимодействия исполнителя в процессе, за счет чего снижается риск зависимости от конкретной личности исполнителя, а не от его навыков и способностей;
- возможность более гибкого реагирования на изменение условий внешней среды, в которой функционирует организация.

Выявление различных бизнес-процессов предприятия как потенциального объекта для аутсорсинга, а затем разложение их на компоненты позволяет его руководителям определять, какие виды деятельности следует оставить внутри предприятия, поскольку они являются стратегическими, обеспечивающими предприятию существенные, невоспроизводимые конкурентные преимущества, а какие можно приобретать на стороне подобно различным товарам.

Внедрение и использование аутсорсинга позволяет снизить издержки производства, обеспечивает концентрацию персонала на основном бизнесе предприятия, влияет на качество продукции и предоставляемых услуг, способствует внедрению новых передовых технологий в

деятельность предприятия и т.д. Однако существуют и негативные факты его применения, которые выражаются в виде опасности передачи многих важных функций предприятия другим хозяйствующим субъектам, в результате чего возникает зависимость от конкретного источника снабжения и т.д. Таким образом, аутсорсинг является инструментом, позволяющим оптимизировать бизнес-систему предприятия исходя из компромисса между издержками, качеством продукции или (и) услуг компании и желанием владельцев обладать производственными активами.

В зависимости от видов бизнес-процессов, приобретаемых предприятием, аутсорсинг подразделяется на следующие виды:

- IT-аутсорсинг, который предполагает передачу функций по программированию, тестированию программного обеспечения, продвижению продукции посредством электронных коммуникационных сетей и т.п.;
- аутсорсинг функций управления, обеспечивающий выполнение функций предприятия в области бухгалтерского учета и финансов, управления персоналом, маркетинга, рекламы и логистики;
- аутсорсинг в сфере услуг, предполагающий реализацию на стороне торговых услуг, транспортных услуг, социальных услуг, деловых услуг различного характера (охрана помещений, строительные услуги и т.п.);
- производственный аутсорсинг, включающий в себя аутсорсинг в сфере основного производства и аутсорсинг в сфере вспомогательного производства.

Широкое распространение Интернет-технологий, внедрение современных средств связи и вычислительной техники в работу организаторов торгов позволило выйти на рынок огромному числу инвесторов. Многие биржи начали осуществлять процессы слияния, в ходе которых частный инвестор получил возможность глобального инвестирования в рамках одного посредника. Появились альтернативные системы торговли на базе крупных брокеров, заметно снизились транзакционные издержки для инвестора.

Развитие информационных технологий, высокая конкуренция и концентрация профессиональных участников в сфере предоставления брокерских услуг на отечественном рынке ценных бумаг обусловили целесообразность построения процессно-ориентированных брокерских компаний. При этом перспективы дальнейшего развития небольших и средних брокеров связаны с передачей определенного объема работ на аутсорсинг крупным или специализированным операторам рынка.

Перечислим основные бизнес-процессы, возникающие при брокерском обслуживании на фондовом рынке:

- привлечение клиентов и их обучение;
- проектирование и юридическая поддержка новых продуктов и услуг, возникающих в процессе брокерского обслуживания;
- подписание документов с клиентами, ведение и обновление информационной клиентской базы;
- обеспечение клиентов каналами передачи поручений брокеру и поддержка их бесперебойного функционирования;
- создание системы обработки поручений клиентов в зависимости от их содержания и поддержание работоспособности данной системы;
- создание системы учета денежных средств и ценных бумаг клиентов;
- разработка для клиентов системы мониторинга своих портфелей;
- создание аналитическо-информационных продуктов и определение способов их доставки клиентам;
- минимизация рисков потери имущества клиента в процессе выполнения его поручений;
- быстрое и в необходимом объеме обеспечение клиентов дополнительными ресурсами, а также минимизация потери собственных средств брокера в процессе предоставления кредитных услуг на рынке ценных бумаг путем создания системы маржинального кредитования клиентов;
- обеспечение электронного документооборота в организации;
- сопровождение информационных систем предприятия;
- сопровождение информационных порталов предприятия.

При этом многие перечисленные выше бизнес-процессы могут быть переданы на аутсорсинг сторонним организациям. В последние годы в сфере брокерских услуг произошли существенные изменения, связанные с появлением Интернет-трейдинга, который предполагает покупку-продажу ценных бумаг инвесторами с использованием информационно-коммуникационной сети Интернет. Многие брокеры самостоятельно начали оказывать услуги по Интернет-трейдингу своим клиентам, разработав или купив соответствующее программное обеспечение. Тем самым они сосредоточили значительные усилия на непрофильном для них направлении – информационных технологиях. Развитие Интернет-трейдинга привело к тому, что в брокерском бизнесе на отечественном фондовом рынке произошло существенное снижение себестоимости обслуживания одного клиента за счет создания сквозной системы обработки клиентских заявок, у брокерских компаний увеличилось количество территориально удаленных клиентов, усилился захват доли рынка брокерских услуг крупными инвестиционными компаниями. Невозможно стало привлекать новых инвесторов, не предлагая им новые информационные услуги или сервис, а это, в свою очередь, привело к росту капиталовложений и затрат по реализации услуг брокерского обслуживания на фондовом рынке. На отечественном фондовом рынке ценовой демпинг в сфере брокерских услуг стал основой конкурентной борьбы, и в настоящее время он направлен исключительно на захват доли рынка. Развитие Интернет-трейдинга привело к тому, что сегодня доступные для средних и мелких профессиональных участников рынка ценных бумаг технические и технологические пути расширения брокерского бизнеса уже пройдены. В настоящий момент конкуренция между брокерами идет, прежде всего, в отношении:

- спектра предоставляемых услуг (информационные сервисы);
- гибкости и оптимизации технологии обслуживания;
- уровня автоматизации;
- дополнительных сервисов (неторговые сервисы);
- наиболее удобного и полностью автоматического риск-менеджмента;
- дополнительного предоставления дистанционного доступа к услугам по управлению инвестиционным денежным счетом и счетом депо;
- безопасности работы через системы Интернет-трейдинга.

При этом конкуренция требует от брокерской компании внедрения новейших средств автоматизации подразделений, участвующих в обслуживании клиента: фронт- и бэк-офиса, депозитария, подразделения по управлению рисками и т.д. Это выражается в необходимости изменения структуры организации и кадрового состава ее подразделений; внутренних технологических режимов брокерской компании; договорной базы и т.д. Поэтому многие Интернет-брокеры, не имеющие возможностей для существенного инвестирования в поддержание собственной конкурентоспособности, вынуждены пересматривать стратегию своего развития. Выходом из данной ситуации для многих региональных брокеров является либо слияние с другими игроками данного рынка, либо использование аутсорсинга. На российском фондовом рынке получил распространение аутсорсинг в виде субброкерского обслуживания, когда мелкие брокеры являются оптовыми клиентами крупных.

Субброкерская схема имеет также и свои недостатки, поскольку субброкеры не застрахованы от перехода клиентов на обслуживание непосредственно к крупному брокеру. Также субброкеры несут все риски обслуживающего их брокера, который в любой момент может оказаться финансово неустойчивым. Подобные проблемы решаются путем применения расчетного аутсорсинга, когда специальный расчетный брокер обслуживает исключительно профессиональных участников и не ведет никаких собственных операций на фондовом рынке. Расчетный брокер, не имея собственных позиций на рынке, заинтересован только в улучшении качества брокерского и IT обслуживания в форме предоставления услуг фронт-, бэк- и мидл-офиса профессиональным участникам. Клиенты брокера имеют доступ к следующим функциям бэк-офиса и мидл-офиса расчетного субброкера:

- онлайн-учет заявок, сделок и позиций клиентов;
- онлайн-учет комиссионных в сделках;
- расчет средневзвешенной цены покупки и на ее основании расчет прибыли и убытка от операций клиента;
- архив заявок, сделок, портфелей, внутренних и внешних проводок на любую дату;
- оформление онлайн-проводок внутри системы расчетного брокера;

- учет ордеров и позиций клиентов в разрезе каждого и всей совокупности позиций;
- генерация готовых к подписанию отчетов;
- статический и онлайн-экспорт в брокерские бэк-офисные и бухгалтерские приложения;
- расчет чистой цены (net-price) в результатах сделки с учетом всех комиссий – онлайн-расчет средневзвешенной цены покупки актива в длинной и короткой позициях.

Другой интересной возможностью, которая возникает в рамках расчетного аутсорсинга, является перекрестное кредитование, позволяющее более эффективно размещать кредитные ресурсы [1]. Такая система предоставляет возможность клиентам одного профессионального участника в автоматическом режиме получить займы активы у другого профессионального участника при наличии соответствующих лимитов между профессиональными участниками. Схема позволяет предложить клиентам удобный, технологичный и дешевый способ размещения собственных и привлечения сторонних заемных ресурсов.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Д. Огуряев, Д. Оленьков. Вестник НАУФОР. 22.05.2003. №5. С. 35–37.

*Статья поступила в редакцию 17 октября 2007 г.*

УДК 334.02

***В.Ф. Ключников, В.Н. Родионов, Т.В. Попова***

### **ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЕМ В КАБЕЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

*Рассматриваются вопросы совершенствования существующих и внедрения новых методов управления предприятиями кабельной промышленности, в том числе методов бережливого производства, а также инструментов качества, применяемых в автомобильной промышленности.*

В 1990 г. кабельная промышленность СССР занимала второе место в мире по объемам производства кабелей и проводов. За первые годы реформ (1991-1998 гг.) в связи с экономическим кризисом, охватившим отечественную промышленность после распада страны, выпуск кабелей и проводов значительно снизился и в 1998 г. составлял всего 25% от уровня производства 1990 г. [1]. Однако затем началось интенсивное восстановление объемов производства. В настоящее время предприятия кабельной промышленности России представляют одну из наиболее динамично развивающихся и инвестиционно привлекательных отраслей машиностроения. Ряд кабельных заводов реализовал серьезные инвестиционные программы.

Одним из факторов, позволивших в определенных формах сохранить кабельную промышленность, явилось объединение производителей кабельной продукции в составе Ассоциации "Электрокабель" и наличие в ней единого научно-технического центра кабельной промышленности – ОАО "ВНИИКП". В настоящее время Ассоциация "Электрокабель" объединяет около 90 предприятий, организаций и фирм России и стран СНГ. Целью Ассоциации является содействие развитию и совершенствованию производства кабельной продукции, кабельного технологического оборудования и материалов для производства кабелей и проводов.

Для большинства предприятий и в целом для всей кабельной промышленности 2006 г. был удачным. Объем производства кабельных изделий по сравнению с 2005 г. увеличился по показателю "кабельные изделия по весу меди" на 10,9%; по показателю "кабельные изделия по весу металла" – на 8,7% [2].

Основной причиной темпов роста производства кабельной продукции является стабильное повышение экономических показателей России. Так, в России в 2006 г. по сравнению с 2005 г. объем валового внутреннего продукта (ВВП) увеличился на 6,8%, производство промышленной продукции выросло на 4,1%, а объем инвестиций в основной капитал – на 13,2%. В структуре инвестиций в основной капитал инвестиции, прежде всего, направлялись в транспорт и связь (26%), добычу полезных ископаемых (19,1%), в обрабатывающие производства (17,5%) [2].

При этом в структуре ВВП опережающими темпами продолжают увеличиваться объемы торговли (на 12,8%) и строительства (на 14,2%). Необходимо также отметить опережающий темп роста выпуска продукции обрабатывающих отраслей промышленности, в первую очередь за счет увеличения выпуска продукции металлургического производства. В то же время, по данным Росстата, прирост производства электрических машин и электрооборудования за весь год составил 14,2%, при этом выпуск электродвигателей переменного тока с высотой оси вращения 63-355 мм увеличился на 22,4%, электромашин крупных – на 10,1%, силовых трансформаторов – на 27,8%. Производство тракторов на колесном и гусеничном ходу возросло соответственно на 23,9% и 30,1%, легковых автомобилей – на 9,9% и грузовых машин – на 19,5%. Производство центробежных скважинных насосов увеличилось на 16,7%. В 2006 г. во всех государствах СНГ наблюдался рост производства кабельных изделий (табл. 1.5), однако, как и ранее, общий темп роста определяли российские кабельные заводы, доля которых в общем выпуске достигла почти 82%. Самый низкий темп прироста отмечен в кабельной промышленности Украины (1,5%), самый высокий – у предприятий кабельной промышленности Белоруссии [2].

Т а б л и ц а 1

**Динамика изменения объемов производства кабельных изделий  
по предприятиям стран СНГ в 2006 г.**

	Объем выпуска в 2006 г., тыс. т	Темп роста к 2005 г., %	Удельный вес в общем объеме выпуска, %	
			2006 г.	2005 г.
Кабельные изделия по весу меди – всего:	597,3	110,9	100	100
в т.ч. на предприятиях:				
России	489,0	111,3	81,9	81,6
Украины	54,8	101,5	9,2	10,0
Белоруссии	30,2	118,2	5,0	4,7
Узбекистана	14,2	108,5	2,4	2,2
Армении	1,13	106,9	0,2	0,2
Казахстана	8,0	117,5	1,3	1,3
Киргизии	0	0	0	0,05

По прогнозам аналитиков PriceWaterhouseCoopers и международной ассоциации производителей автомобилей (OIGA), в ближайшие годы центром развития мирового автопрома станут Бразилия, Россия, Индия, Китай [3]. Темпы роста рынка в этих государствах (10-30% в год) заметно превышают показатели Западной Европы и США. Мировые автогиганты, продажи которых стагнируют во многих развитых странах, все большее внимание уделяют перспективным рынкам, где прирост реализации по отдельным маркам составляет 100-300%. Например, доля отечественных брендов в России сокращается (Lada в 2005 г. занимала 49% российского рынка, в 2006 – уже 37%), продажи иномарок за 2006 г. выросли на 63%, за первый квартал 2007-го, по сравнению с аналогичным периодом прошлого года, – на 74%. Запускаются проекты по сборке автомобилей внутри страны, и к 2010 г. как минимум 12 таких производств будут работать в режиме промышленной сборки [3].

Следующим этапом интеграции российского автопрома в мировую индустрию стал приход иностранных производителей автокомпонентов. В потенциал этого рынка на ближайшие два-три года оценивается в 1-1,5 млн комплектов в год, а через пять лет прогнозируется рост в 30 раз ("российские иномарки" и перспективные модели Lada) [3]. Такие показатели уже могут заинтересовать мировых лидеров автопрома. Они идут в Россию для работы с автопроизводителями в рамках глобальных контрактов, а также рассчитывают на сотрудничество с местными автозаводами.

Сейчас всю сферу производства автомобилей ожидает революционный этап развития. Переход от системы вертикальной сверхинтеграции к принятой во всем мире узкой специализации означает, что поволжские компании (в частности АвтоВАЗ и ГАЗ, уже сделавшие заявление на эту тему) откажутся от непрофильных производств, сократят до минимума прямых поставщиков и сосредоточатся на сварке, сборке и окраске машин, а также оставят за собой маркетинг и стратегическое развитие. Все остальное ляжет на плечи поставщиков. Это дает

шанс отечественному автопрому пойти по пути цивилизованных стран и создать современную конкурентоспособную отрасль. Повод для оптимизма есть. Во-первых, зарубежные компании, открывающие производство в России, заинтересованы в поиске субпоставщиков внутри страны. Во-вторых, многие из них не создают собственные предприятия, предпочитая открывать СП с местными производителями, чтобы сэкономить на капитальных вложениях. Времена меняются, а с ними и подходы к ведению бизнеса. Поволжские автозаводы уже не могут работать по старинке, а значит, не остается такой возможности и у поставщиков. Вице-президент группы "АвтоВАЗ" по производству и техническому развитию Владислав Капустин заявил: "У нас два главных вопроса: современные технологии и высокое качество продукции. Все остальное вторично. Если не будет прорыва здесь, то прогноз Швецова оправдается" (Вадим Швецов, Генеральный директор ОАО "Северсталь-Авто", два года назад предрек традиционному российскому автопрому забвение и уход с рынка) [3].

Анализ существующего положения дел в отрасли позволяет утверждать, что российские производители кабельно-проводниковой продукции сегодня находятся в жестких финансовых рамках: с одной стороны, происходит постоянный рост затрат на материалы (обусловленный, прежде всего, конъюнктурой мирового рынка), с другой стороны, жесткая ценовая конкуренция приводит к снижению маржи компаний-изготовителей кабельно-проводниковой продукции. В данных условиях "победит тот, у кого лучший рецепт". Компании, которые "превзойдут всех и каждого в выработке инновационных концепций и идей по вопросам смешивания или скрещивания ингредиентов, будут наиболее успешными..." [4]. Сейчас вопросы совершенствования существующих и внедрения новых технологий и продуктов для российской кабельной промышленности выходят на первый план.

Потребность в инновациях еще больше обостряется в контексте глобализации: отечественная кабельная продукция имеет низкий экспортный потенциал, она несопоставима по качеству с импортными аналогами, в результате чего экспорт кабельно-проводниковой продукции в страны дальнего зарубежья отрицателен и имеет тенденцию к падению [5]. Кабельная промышленность РФ развивается в основном за счет роста потребления кабельно-проводниковой продукции в странах СНГ [6, 7].

Таким образом, в настоящее время единственно верным для кабельной отрасли является инновационный путь развития. Инновации играют все большую роль в обеспечении конкурентоспособности предприятий, устойчивого экономического роста, повышая производительность труда и качество жизни, создавая новые рабочие места и разрешая другие экономические проблемы.

На фоне развития кабельной отрасли также совершенствуются и развиваются системы менеджмента кабельных заводов. По оценкам специалистов ОАО "ВНИИКП", системы менеджмента кабельных заводов становятся все более интегрированными и содержательными. Основными тенденциями их развития в 2006 г. были: внедрение стандарта ИСО 14001, совершенствование логистики, внедрение различных методов бережливого производства. На ряде заводов проведено массовое обучение методам бережливого производства.

Согласно информации ВНИИКП, в течение 2006 г. продемонстрирована дальнейшая тенденция увеличения числа кабельных заводов, системы менеджмента качества которых сертифицированы по стандарту ИСО 9001 и другим международным стандартам. Это увеличение произошло за счет получения сертификатов сравнительно молодыми кабельными заводами. По итогам 2006 г.: 13 заводов имеют одновременно национальные и зарубежные сертификаты соответствия стандарту ИСО 9001; 8 заводов имеют сертификат соответствия стандарту ИСО 14001; Самарская кабельная компания – единственное предприятие в ассоциации "Электрокабель", имеющее сертификат соответствия автомобильному стандарту ИСО/ТУ 16949.

Среди предприятий, внедряющих технологии бережливого производства, – "Группа ГАЗ", "Русал", КамАЗ, "Северсталь-Авто", "Уралмаш", РЖД, "Заволжский моторный завод" [8, 9], ОАО "Автоприбор" [10]; среди кабельных предприятий – ЗАО "Самарская кабельная компания", "Саранскабель", ОАО "Иркутскабель".

Сегодня в России нет, пожалуй, ни одной компании, руководство которой не согласилось бы с тем, что бережливое производство – вещь полезная и нужная. Одна из основных проблем при внедрении технологий бережливого производства – отсутствие грамотных специалистов, способных применять технологии бережливого производства на практике. Эта проблема обсуждалась на Втором всероссийском лин-форуме в Екатеринбурге [9, 11]. Еще одна проблема заключается в самой технологии японской модели менеджмента: чтобы стратегия "кайдзен"

заработала в российских компаниях, необходимо выстроить качественно новую систему менеджмента на предприятии и включить в нее всех сотрудников – от генерального директора до уборщицы.

Уже на первых этапах внедрения технологий бережливого производства компании получают реальные результаты, выражающиеся в повышении рентабельности, сокращении затрат, снижении себестоимости продукции. Однако далеко не все компании настолько успешно осваивают технологии бережливого производства. Да и те, кому есть чем похвастать, признают: значительные результаты, скорее, показывают, насколько сегодня неэффективна российская промышленность [11].

На Втором всероссийском лин-форуме в Екатеринбурге говорилось об обучении управленцев, чтобы в дальнейшем они становились проводниками системы японского менеджмента на своих предприятиях [11]. А чтобы включить в работу весь персонал (без чего система не работает), нужна четкая программа мотивации и стимулирования плюс постоянная просветительская работа и преодоление сопротивления работников.

Многие компании сейчас считают разработку систем мотивации участия сотрудников в преобразовании производственного процесса ключевым аспектом внедрения "кайдзен". Собственные программы разрабатываются в ОАО "Иркутскабель", ОАО "Северсталь-Метиз" [11].

Подтверждением эффективности подобной программы может служить пример Волжской текстильной компании (Чувашская республика). С 2005 г. здесь внедряется система бережливого производства, однако долгое время темпы ее реализации не устраивали акционеров компании. Среднее количество проектов в месяц составляло не более двух. В компании была разработана программа информирования и мотивации персонала. В результате темпы реорганизации производства на основе концепции "кайдзен" резко возросли. Сейчас ежемесячно реализуется 15 проектов, время их согласования сократилось с 2 месяцев до дней. Экономический эффект за 1 квартал 2007 г. составил 16 млн рублей против 7 млн. рублей за весь 2006 г. [12].

Мнения специалистов, участвовавших во Втором всероссийском лин-форуме в Екатеринбурге, резюмирует Григорий Фидельман, член генсовета общественной организации "Деловая Россия", практикующий бизнес-консультант: "Необходимо перенести акцент с процесса на человека. Ведь именно работники создают продукт. Нужно понять, что если система работает плохо, то виноват не сотрудник, а она сама. Нужно развивать персонал, мотивировать, поощрять его. Только человек, работающий в комфортных условиях и понимающий, что, как и зачем он делает, может быть эффективным. Когда руководство компаний начнет видеть в людях не просто рабочую силу, а главный свой актив, внедрение лин-технологий станет эффективным, а следовательно, повысится рентабельность и конкурентоспособность бизнеса в целом".

Исследования по данной теме проведены авторами на примере ЗАО "Самарская кабельная компания".

ЗАО Самарская кабельная компания образована в начале 50-х годов в центре России на пересечении важнейших транспортных магистралей в крупном научном и культурном центре страны – городе Куйбышев.

ЗАО "Самарская кабельная компания", преемник Куйбышевского завода кабелей связи, – современное предприятие, крупнейший производитель кабельно-проводниковой продукции в России.

Наряду с традиционными видами телефонных кабелей связи (городской, магистральной и зоновой связи) компания производит силовые кабели с алюминиевыми и медными жилами, сигнально-блокировочные кабели, провода для ЛЭП, разнообразные провода и шнуры бытового назначения.

ЗАО "Самарская кабельная компания" (СКК) – один из крупнейших производителей автопроводов в СНГ. Доля СКК на рынке автопроводов в настоящее время составляет около 53% от общего объема рынка СНГ.

Производство автопроводов в СКК начиналось в 1993 г. Причиной тому была близость Волжского автомобильного завода в г. Тольятти. В 1995 г. совместно с американской корпорацией "Дженерал Моторс" создано предприятие Паккард Электрик Системз/Самарская кабельная компания (ПЭС/СКК) по производству автомобильных жгутов проводов. ПЭС/СКК

является ведущим поставщиком этой продукции для АвтоВАЗа. Автомобили семейства "Шевроле-НИВА" на 100% комплектуются жгутами проводов, изготовленными ПЭС/СКК.

В результате в настоящее время основными потребителями автопроводов, изготавливаемых СКК, являются ПЭС/СКК и АвтоВАЗ, а также КамАЗ и УАЗ. Объем производства автопроводов в 2005 г. в СКК составил 250 тыс. км, за 11 месяцев 2006 г. – около 300 тыс. км. На фоне выпуска другой продукции СКК это небольшая цифра. Но производство автопроводов – одно из самых динамично развивающихся и имеющих хорошие перспективы производств, так как рост российского автомобильного рынка составляет в настоящее время около 10% в год в связи с организацией в России автосборочных производств [13].

Среди всех сертификатов соответствия системы менеджмента качества (СМК) требованиям российских и международных стандартов, полученных компанией, один занимает особое место. Это – сертификат соответствия СМК требованиям международного стандарта автомобильной промышленности ИСО/ТУ 16949:2002 "Особые требования по применению стандарта ИСО 9001:2000 в автомобилестроении и организациях, поставляющих соответствующие запасные части". Сертификационная проверка на соответствие требованиям стандарта ИСО/ТУ 16949 прошла в ноябре 2005 г. Сертификат получен в системе сертификации КЕ-МА, Нидерланды.

Получение этого сертификата соответствия – очередной этап совершенствования СМК, ориентированной на требования потребителей и других заинтересованных сторон.

Определение международной организации по стандартизации: ИСО/ТУ 16949 представляет собой каталог общих требований автомобилестроения к системам качества, основанный на ИСО 9001:2000 и автомобильных каталогах AVSQ (Италия), EAQF (Франция), QS-9000 (США) и VDA 6.1 (Германия) [14].

Приложениями к стандарту являются пять справочных руководств, в которых стандартизованы инструменты качества для применения в автомобильной промышленности:

- 1) *FMEA* "Анализ видов и последствий потенциальных отказов";
- 2) *SPS* "Статистическое управление процессами";
- 3) *MSA* "Анализ измерительных систем";
- 4) *APQP* "Перспективное планирование качества продукции и план управления";
- 5) *PPAP* "Процесс одобрения производства части".

Впервые о стандарте ИСО/ТУ 16949 в компании заговорили в 1999 г. К этому времени производство автопроводов было уже серийным, и наши потребители (ПЭС/СКК) впервые предъявили нам требование по внедрению стандарта автомобильной промышленности, не определяя на тот момент сроков получения сертификата соответствия.

Перед координационной рабочей группой по качеству, уже действующей в компании, были поставлены новые задачи: координация работ по внедрению требований стандарта ИСО/ТУ 16949.

В рамках реструктуризации компании, проведенной в 2003 г., в структуре службы качества был образован отдел развития систем управления, основные направления деятельности которого – совершенствование системы управления СКК, внедрение процессного подхода, поддержание функционирования СМК и системы управления охраной окружающей среды. Отделу развития систем управления также была поручена работа по организации внедрения требований стандарта ИСО/ТУ 16949.

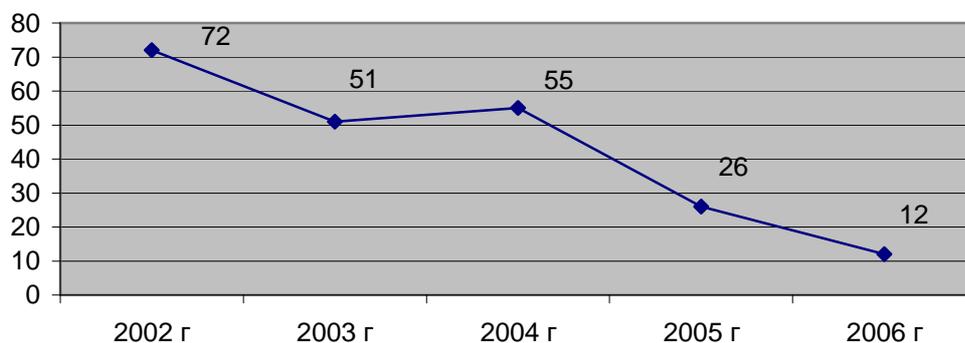
В начале 2003 г. была разработана и утверждена генеральным директором программа совершенствования СМК в соответствии с требованиями стандарта ИСО/ТУ 16949. К этому времени нашими потребителями был определен срок сертификации СМК на соответствие требованиям автомобильного стандарта – 2005 г.

Началом реализации программы стало поэтапное обучение специалистов, задействованных в производстве автопроводов, требованиям стандарта ИСО/ТУ 16949 и справочных руководств.

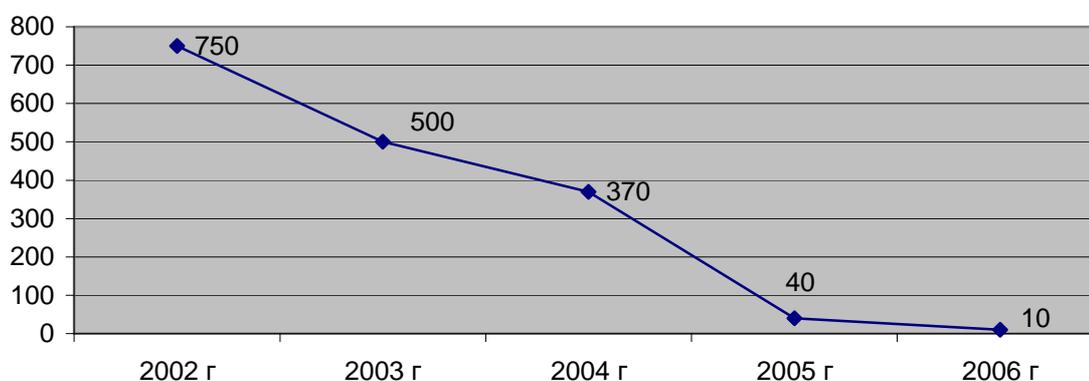
После проведенного обучения приказом генерального директора создана FMEA – команда (межфункциональная команда). В команду вошли: главные специалисты, представители службы качества, технического отдела, службы маркетинга и сбыта, службы закупок, цеха по производству автопроводов, службы централизованного ремонта и обслуживания оборудования.

Некоторые итоги работы, проведенной в рамках внедрения требований ИСО/ТУ 16949 применительно к производству автопроводов марки ПВАМ и подготовки СМК к сертификации, показаны на рис. 1, 2.

Для дальнейшего повышения эффективности работы компании и сокращения затрат генеральным директором компании принято решение о внедрении стратегии "кайдзен".



Р и с. 1. Динамика снижения претензий от ПЭС/СКК (количество)



Р и с. 2. Динамика снижения PPM\*

PPM\* – количество дефектной продукции (км) на миллион км предъявленной

В 2006 г. в Самарской кабельной компании началось внедрение стратегии "кайдзен". Началом внедрения "кайдзен" явилась политика руководства ЗАО СКК в области "кайдзен". Политика руководства ЗАО СКК в области "кайдзен" отражена в следующих положениях.

1. Цель до конца 2006 г. – снижение затрат.

1.1. Снизить не менее чем на 20% уровень несоответствующей продукции по отношению к 2005 г.

1.2. Добиться устранения сверхнормативных отходов во 2-м полугодии 2006 г.

1.3. Увеличить не менее чем на 15% экономический эффект в соответствии с планом мероприятий по снижению себестоимости.

1.4. Снизить косвенные затраты, связанные с деятельностью служб, не менее чем на 15% по каждой службе.

2. Основные средства достижения указанной цели.

2.1. Упорядочение функциональных обязанностей.

2.2. Применение инструментов "кайдзен" согласно "Плану организационных мероприятий по внедрению стратегии "кайдзен" в ЗАО СКК":

- принципы "тянущего производства";
- система ТРМ в производственных подразделениях;
- система развертывания политики;
- система подачи предложений;
- работа кружков качества.

- 2.3. Внедрение системы КАНБАН в процессе "Производство автопроводов".  
 2.4. Упорядочение оборудования в цехе 10.  
 2.5. Изменение структуры цеха 4 – выделение производства силовых кабелей.  
 2.6. Обучение персонала.

В компании были созданы команды "кайдзен" и команды рабочих групп по внедрению стратегии "кайдзен" (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

**Структура и состав кайдзен-команд**

Структура команды	Состав кайдзен-команд
Кайдзен-команда ЗАО СКК	Заместители директоров по направлениям, начальники отделов, начальники цехов
Кайдзен-команды служб предприятия	Начальники отделов, главные специалисты, начальники лабораторий
Кайдзен-команды производственных цехов	Начальники участков, представители ведущих отделов, технологи, представители обеспечивающих подразделений
Кайдзен-команды участков	Производственные мастера – бригадиры, технологи, рабочие, наладчики
Кайдзен-команды проектов	Состав определяется в зависимости от конкретного проекта

В рамках реализации политики в области "кайдзен" созданы следующие проекты.

1. Проект по выделению производства силовых кабелей.

Цель проекта: оптимизация управления производством силовых кабелей для увеличения объема продаж силовых кабелей и удовлетворения запросов потребителей.

Результат работы команды проекта:

- в отчете о работе команды обосновывается выделение в отдельный цех производства силовых кабелей;
- отчет с обоснованием о выделении производства силовых кабелей утвержден;
- принято решение организовать отдельный цех №14 по производству силовых кабелей;
- разработана структурная схема управления цехом силовых кабелей.

2. Проект по оптимизации упорядочения оборудования в цехе по производству кабелей связи телефонных.

Цель проекта: оптимизация упорядочения оборудования.

Результат работы команды проекта:

- предложено три варианта упорядочения оборудования;
- в Отчете обоснован оптимальный вариант упорядочения оборудования;
- принято решение о реализации варианта №3;
- усовершенствована структурная схема управления цехом.

В рамках реализации политики руководства ЗАО СКК в области "кайдзен" и применения инструментов "кайдзен" согласно "Плану организационных мероприятий по внедрению стратегии "кайдзен" в ЗАО СКК" в каждом подразделении компании разработаны планы мероприятий по внедрению системы 5S.

Наиболее существенны результаты внедрения системы 5S в цехе по производству автопроводов. Реализация мероприятий, разработанных цехом на 2006 г., дала экономию 254 600 руб./месяц (за период с сентября по декабрь 2006 г.), всего 1 018,4 тыс. рублей.

Общие итоги реализации политики руководства ЗАО СКК в области "кайдзен" за период с августа по декабрь 2006 г.:

- Цех 1: сэкономлено 1 018,4 тыс. рублей.
- Цех 4: уровень несоответствующей продукции снижен на 20,8%.
- Цех 10: уровень несоответствующей продукции снижен на 2,1%.
- Служба закупок, маркетинга и сбыта: фактически сэкономлено 2 210 098 рублей (планировалось 1 542 284 рублей).
- Служба качества: фактический экономический эффект после внедрения мероприятий по снижению себестоимости составил 1 497 тыс. рублей (планируемый – 1 182 тыс. рублей).

Политика руководства в области "кайдзен" не была реализована полностью. Анализ проведенной работы выявил следующие причины:

- не весь персонал охвачен обучением принципам "кайдзен";
- отсутствует заинтересованность персонала в реализации стратегии "кайдзен";
- отсутствует система мотивации к внедрению принципов "кайдзен".

В результате проведенного анализа можно сделать следующие выводы.

1. В настоящее время предприятия кабельной промышленности России представляют одну из наиболее динамично развивающихся и инвестиционно привлекательных отраслей промышленности.

2. Рост российского автомобильного рынка составляет в настоящее время около 10% в год в связи с появлением на нем автосборочных производств иностранных компаний.

3. В кабельной промышленности происходит постоянное увеличение затрат на материалы, обусловленное, прежде всего, конъюнктурой мирового рынка.

4. На кабельных заводах недостаточно освоен процессный подход к управлению, в частности не разработаны критерии и методы оценки результативности процессов.

5. Иностранные компании, входящие на российский рынок, имеют высокоэффективные системы управления.

6. Имеет место недостаточное количество работ (диссертаций, статей и т.п.) по разработке и внедрению современных подходов к управлению в кабельной промышленности.

7. На примере Самарской кабельной компании выявлены следующие особенности:

- основными причинами потерь от несоответствующей продукции являются поломки оборудования и несовершенство организации производства;
- имеет место рост уровня незавершенного производства и простоев оборудования;
- отсутствует эффективная система мотивации персонала.

Таким образом, в настоящее время для кабельной отрасли основным направлением развития является инновационный путь: совершенствование существующих и внедрение новых технологий, продуктов, методов управления, в том числе методов бережливого производства, а также инструментов качества, применяемых в автомобильной промышленности.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Пешков И.Б., Уваров Е.И.* Кабельной промышленности России 125 лет: этапы пути, становление, современное состояние // Кабели и провода. 2004. №4. С.3-8.
2. *Пешков И.Б., Уваров Е.И.* Кабельная промышленность России и стран СНГ: итоги 2006 года // Кабели и провода. 2007. №2. С.3-6.
3. *Квасов Д.* Не все гладко // Эксперт Волга. 2007. №17. С. 6.
4. *Нордстрем К., Риддерстрале.* Бизнес в стиле фанк. СПб.: Стокгольмская школа экономики, 2000.
5. *Логунов В.В., Савченко В.Г., Науменко О.Е.* Современный подход к управлению инновационным процессом в кабельной промышленности // Кабели и провода. 2007. №1. С. 22-25.
6. *Уваров Е.И.* Динамика объемов экспорта-импорта кабельных изделий в России в 2003 году // Кабели и провода. 2004. №3. С. 3-7.
7. *Уваров Е.И.* Динамика объемов экспорта-импорта кабельных изделий в России в 2004 году // Кабели и провода. 2005. №4. С. 3-7.
8. *Быстров А.С.* Бережливое обслуживание, обеспечение и бережливое производство. Точки соприкосновения // Менеджмент и бизнес: лучшие модели и успешный опыт: Матер. 19-й конференции. Н.Новгород: ООО СМЦ "Приоритет", 2007. 157 с.
9. *Баранов А.В.* Четыре года Лиин в России: пора ли собирать камни? // Матер. II Российского Лиин Форума. Екатеринбург: Центр ОргПром, 2007. 48 с.
10. *Райтер Э.Г.* Преобразование ОАО "Завод "Автоприбор" на основе стандартов ИСО и принципов бережливого производства // Системы качества в автомобилестроении: Матер. 10-й конф. Н.Новгород: ООО СМЦ "Приоритет", 2007. 149 с.
11. <http://orgprom.ru>
12. *Литти С.П.* Постановка системы управления проектами по повышению эффективности производства в Волжской текстильной компании // Матер. II Российского Лиин Форума. Екатеринбург: Центр ОргПром, 2007. 48 с.
13. *Виньков А.* Немецкий десант в Калуге // Эксперт. 2006. №41. С. 34.
14. *Родрик А. Монро.* Карманное руководство внутреннего аудитора предприятий автомобильной промышленности. Процессный аудит по ИСО/ТУ 16949:2002 / Пер. с англ. И.Н. Рыбакова; Под ред. Е.Г. Воиновой, Е.М. Лазаревой. Н.Новгород: ООО СМЦ "Приоритет". 2005. С. 6-7.

Статья поступила в редакцию 16 октября 2007 г.

*А.Ю. Кручинин, Т.З. Аралбаев*

## **ОПТИМИЗАЦИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ СКВАЖИН НА ОСНОВЕ МНОГОФАКТОРНОЙ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ**

*Определен подход к повышению эффективности геофизических исследований скважин на основе динамической оптимизации режимов работы оборудования и аппаратуры каротажной станции. Представлена структурная схема имитационной модели и алгоритм выбора скорости перемещения скважинного прибора, параметров подсистем сбора, регистрации и интерпретации данных непосредственно при проведении исследований.*

Геофизические исследования скважин (ГИС) при определении их состояния являются одним из важных и ответственных этапов, требующих больших материальных и временных затрат. Вопросам автоматизации ГИС и интерпретации результатов посвящен обширный перечень работ, к которым относятся научные труды А.Х. Мираджанзаде, Т.М. Алиева, А.С. Деркача, А.В. Давыдова, Д.А. Кожевникова, Я.И. Хургина, Э.Г. Урманова и других ученых. Однако вопросы построения средств автоматизации ГИС с использованием интегрированных систем обработки данных, обладающих высокими интеллектуальными возможностями, адаптивными к особенностям скважин, и позволяющих динамически, непосредственно в процессе каротажных работ, корректировать режимы сбора и регистрации данных с учетом специфики каждой скважины, освещены недостаточно.

Целью оптимизации ГИС является обеспечение режимов работы оборудования и аппаратуры каротажной станции, при которых достигается заданная достоверная оценка технологического состояния скважины при минимальных стоимостных затратах на исследования. Анализ затрат на проведение ГИС показал, что они определяются заработной платой персонала, износом оборудования, расходом горюче-смазочных материалов и другими факторами. В связи с этим целевая функция исследований имеет следующий обобщенный вид:

$$Z(t) = Z_0 + Z_1 t + Z_2(1 - D(t)), \quad (1)$$

где  $t$  – время проведения ГИС;  $D(t)$  – достоверность оценки состояния скважины;  $Z_0$  – затраты, не зависящие от времени;  $Z_1$  – затраты в единицу времени на зарплату персонала, износ оборудования, расход топлива и электроэнергии;  $Z_2$  – ущерб от недостоверности результатов ГИС.

Как видно из (1), величина затрат определяется временем проведения ГИС и достоверностью оценки состояния скважины, которая также является временной функцией. Анализ целевой функции позволил в роли обобщенного критерия оценки качества ГИС выбрать критерий минимальных стоимостных затрат на проведение исследований скважины:

$$Z = \min Z(P, D); \quad (2)$$

$$Z \leq Z_3, P \geq P_3, D \geq D_3,$$

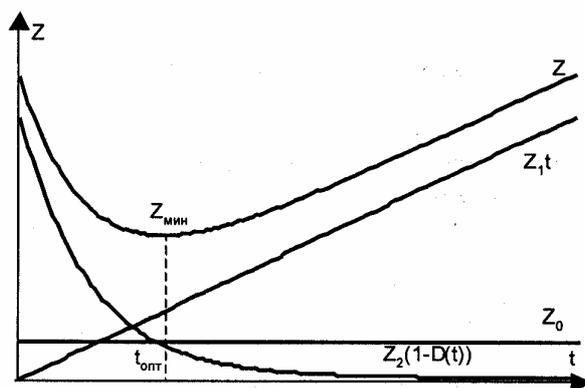
где  $Z_3$  и  $Z$  – заданные и фактические затраты на ГИС,  $P_3$  и  $P$  – заданная и фактическая производительность ГИС,  $D_3$  и  $D$  – заданная и фактическая достоверность оценки состояния скважины.

Выбор и поддержание требуемых параметров по производительности и достоверности согласно основной гипотезе, принятой в данной работе, позволяет получить время проведения ГИС ( $t_{opt}$ ), соответствующее минимальным затратам ( $Z_{min}$ ) (рис. 1).

Как правило, время проведения ГИС регламентируется соответствующими технологическими инструкциями [1], которые не всегда учитывают специфику состояния конкретных скважин, определяемую глубиной, характеристиками и расположением геологических пластов, радиационным фоном, степенью загазованности, увлажнения и т.д. В связи с этим для обеспечения минимальных затрат в соответствии с выражением (1) необходимо определение в процессе ГИС временных режимов работы оборудования и аппаратуры, в частности скважинного прибора и средств сбора и обработки данных.

Буровая скважина представляет собой протяженный в пространстве объект, состоящий из отдельных участков (пластов), которые отличаются друг от друга значениями параметров, соответствующих ядерно-физическим, электромагнитным, термическим, акустическим и дру-

гим признакам. Характерной особенностью скважины является то, что ее длина на несколько порядков больше области текущего контроля, охватываемой скважинным прибором. Основной задачей оценки состояния скважины является идентификация каждого участка скважины. При этом актуальным является выбор основных технологических параметров режима исследования: скорости перемещения скважинного прибора, характеристик регистрации сигналов от объекта и методов идентификации каждого участка. Для достижения поставленной цели была разработана модель системы многофакторной динамической оптимизации режимов регистрации и идентификации состояния объекта [2], структурная схема которой приведена на рис. 2. На этом же рисунке представлены характеристики четырех подсистем, которые включает в себя модель. Особенностью подсистемы регистрации является то, что она состоит из двух частей: подземной, размещаемой в скважинном приборе (зонде), и надземной, устанавливаемой обычно на мобильных транспортных средствах у устья скважины.



Р и с. 1. Графики материальных затрат на проведение ГИС

Входными параметрами модели являются: минимальная допустимая достоверность оценки состояния объекта ( $D_3$ ), требуемая производительность работ ( $P_3$ ), максимально возможные стоимостные затраты ( $Z_3$ ) на проведение работ и минимальная длина регистрируемого участка ( $h_{min}$ ). Выход модели представляет собой вектор параметров режима ГИС  $U = \{V, R_r, M\}$ , элементами которого являются: скорость  $V$  движения зонда, вектор параметров регистрации данных  $R_r$ , метод идентификации  $M$ . Вектор  $R_r$ , в свою очередь, содержит дискретность регистрации сигналов  $\Delta t$ , общее время сбора данных  $T$ , число измерительных каналов  $k$ , количество данных, необходимых для идентификации,  $N$  и шаг обработки данных  $\Delta N$ .

На рис. 2 вектор  $X$  определяет перечень регистрируемых параметров объекта. Поток измерительной информации  $\lambda$  с блока измерения определяется количеством и характеристиками датчиков, а также режимами работы средств регистрации данных зонда. Блок сбора и обработки данных формирует производный информационный пакет файлов  $F$  для подсистемы идентификации состояния объекта и оценки сложности идентификации. В основе работы подсистемы лежит один из методов распознавания образов  $M$ . На выход данной подсистемы поступают параметры результата идентификации участков скважины  $S^*$  и достоверности оценки состояния  $D_{oc}$ . Вектор состояния содержит множество значений параметров:

$$S^* = \{s_1, s_2, \dots, s_i, \dots, s_n\}, \quad (3)$$

где  $s_i$  — числовое значение или качественная характеристика  $i$ -того параметра участка скважины ( $i=1, n$ );  $n$  — общее число параметров, среди которых — вид пласта, границы участка, геометрические характеристики скважины, радиоактивность, температура и т.д.

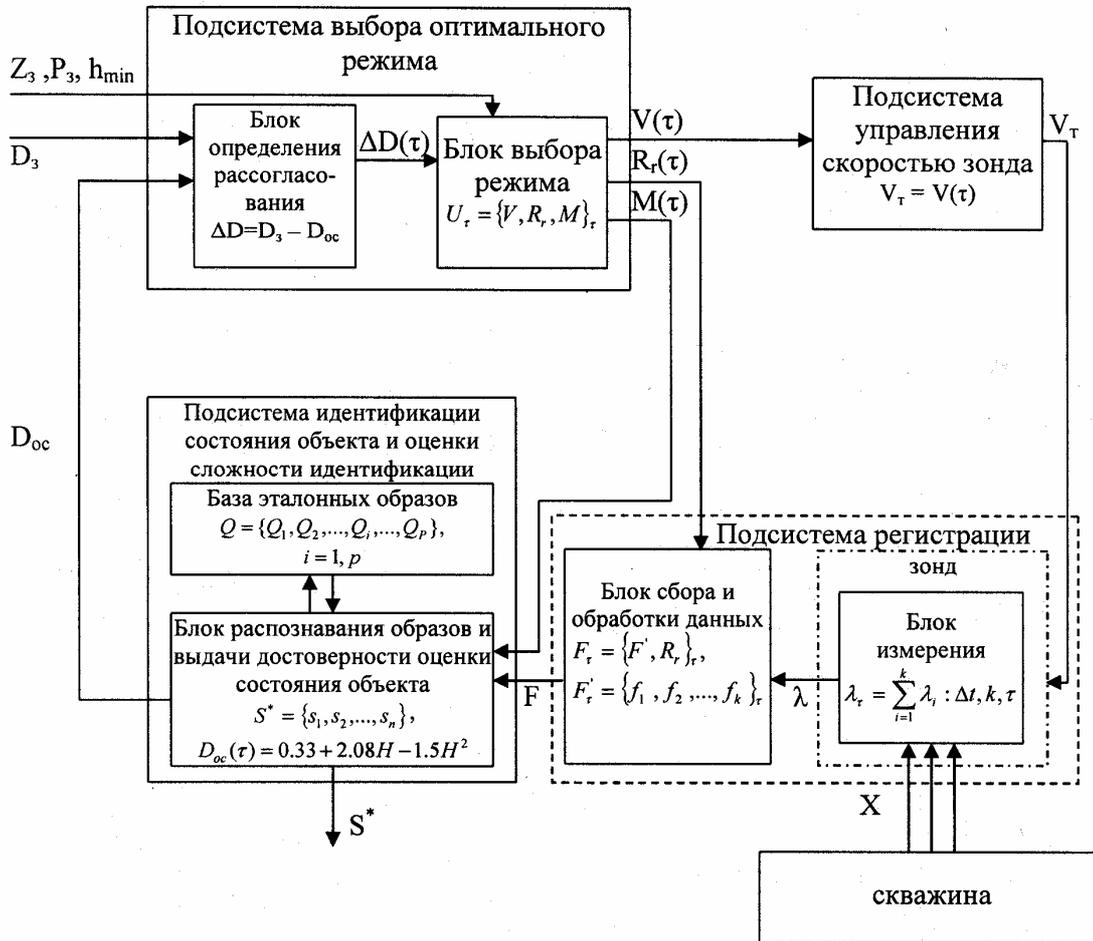
В блоке выбора режима с использованием целевой функции, ограничений и правил выбора решений определяется оптимальный режим работы подсистем на следующий интервал времени  $\tau$  в виде значений параметров следующего вектора:

$$R^*(\tau) = \{v^*(\tau), R_r^*(\tau), M^*(\tau)\}, R^*(\tau) \in R^o(\tau), \quad (4)$$

где  $R_r(\tau) = \{\Delta t(\tau), k(\tau), T(\tau), N(\tau), \Delta N(\tau)\}$ ;  $R^o(\tau)$  — множество возможных режимов ГИС, определяемое, в свою очередь, множествами регламентированных значений скорости  $m_v$ , числом вариантов режимов регистрации данных  $m_R$ , множеством методов интерпретации (распознавания) данных  $m_M$ . Мощность  $R^o(\tau)$  определяется как

$$M_R = m_v \cdot m_R \cdot m_M \cdot \quad (5)$$

При отсутствии средств автоматизации выбора оптимального режима ГИС размер  $M_R$  определяется, как правило, двумя скоростями перемещения зонда, одним режимом регистрации данных и некоторой совокупностью методов интерпретации результатов исследований. При обеспечении автоматической настройки режимов размер  $M_R$  зависит от возможности перебора всех вариантов в реальном времени при движении зонда в скважине по пласту конечной протяженности.



Р и с. 2. Структурная схема модели

Анализ параметров модели показал, что все параметры ее за исключением  $D_{oc}(\tau)$  формулируемы и имеют конкретную оценку.

Оценка достоверности метода распознавания в общем случае производится на представительной выборке результатов исследований и носит среднестатистический характер. Определение оценки  $D_{oc}$  для конкретного частного случая распознавания сопряжено с решением задачи самооценки своего результата средствами идентификации системы. При этом в качестве исходных данных могут быть использованы результаты сходства характеристик исследуемого образа  $Q^x$  с имеющимися в базе образцами-эталоны. В качестве меры сходства  $H_{xy}$  (или меры близости  $Q^x$  к одному из образов эталонов  $Q^y$ ) можно рассматривать вероятностные оценки, применяемые для распознавания в методе Байеса, а также величины коэффициентов парной корреляции между характеристиками  $Q^x$  и других образцов-эталон. Причем, чем выше параметр  $H_{xy}$ , тем выше достоверность принятия решения, а учет параметров  $H_{xy}$  производится лишь после превышения их величинами некоторого порогового уровня  $H_{xy}^k$ , например 0.8 для коэффициента парной корреляции. Однако при решении задачи распознавания образов с использованием ряда эталонов возникают ситуации, когда разница в мерах близости для двух и более образов, например  $H_{xy1}$  и  $H_{xy2}$ , незначительна, что вносит неопределенность в принятие окончательного решения даже при превышении величинами  $H_{xy}$  порогового уровня.

Достижение максимальной разницы  $\Delta H_{xy}$  между двумя ближайшими максимальными оценками  $H_{xy}$ , например  $H_{xy1}$  и  $H_{xy2}$ , на этапе построения разделяющей функции метода идентификации производится за счет оптимального выбора информативных признаков, полученных в процессе тщательно спланированного и реализованного эксперимента по сбору исходных данных. Величина  $\Delta H_{xy}$  в данном случае является критерием надежности системы распознавания, гарантирующим получаемую достоверность при условии, что величины  $H_{xy1}$  и  $H_{xy2}$  значимы и превышают уровень порога  $H_{xy}^k$ . Для оценки значимости  $H_{xy1}$  и  $H_{xy2}$  в работе использована их средняя величина  $H_{xy}^k$ .

Таким образом, достоверность идентификации состояния скважины прямо пропорциональна величинам  $H_{xy}^k$  и  $\Delta H_{xy}$  и может быть представлена косвенной оценкой  $H$ :

$$H = H_{xy}^m \cdot \Delta H_{xy}, \quad (6)$$

где  $H_{xy}^m = \frac{H_{xy1} + H_{xy2}}{2}$ ,  $\Delta H = |H_{xy1} - H_{xy2}|$ .

Для перехода от параметра  $H$  к оценке достоверности идентификации состояния скважины на основе метода наименьших квадратов построена регрессионная зависимость  $D_{oc} = f(H)$  для метода Байеса:

$$D_{oc} = 0.33 + 2.08H - 1.5H^2. \quad (7)$$

При построении модели (7) использовались результатные данные распознавания десяти различных пластов скважины. Исследование модели показало, что в области реальных значений  $H$  от 0.0 до 0.275 эта зависимость близка к линейной и может применяться при вычислении параметра обратной связи по достоверности оценки распознавания.

Исследование модели проводилось также с использованием имитационных данных от скважины с различными вероятностными распределениями и уровнем зашумления, данных временного ряда солнечной активности с применением различных методов распознавания, в частности метода Байеса, корреляционного и дихотомического методов. В результате исследований для выбора оптимального режима работы оборудования и аппаратуры каротажных станций в соответствии с выражениями (2) и (4) был разработан алгоритм многофакторной динамической оптимизации, представленный на рис. 3. Алгоритм позволяет управлять тремя факторами: скоростью движения зонда  $v$ , дискретностью сигналов  $\Delta t$ , выбором метода идентификации  $M$ . Изменение первых двух факторов задает репрезентативность исходных данных, определяемую общим числом замеров  $N$ :

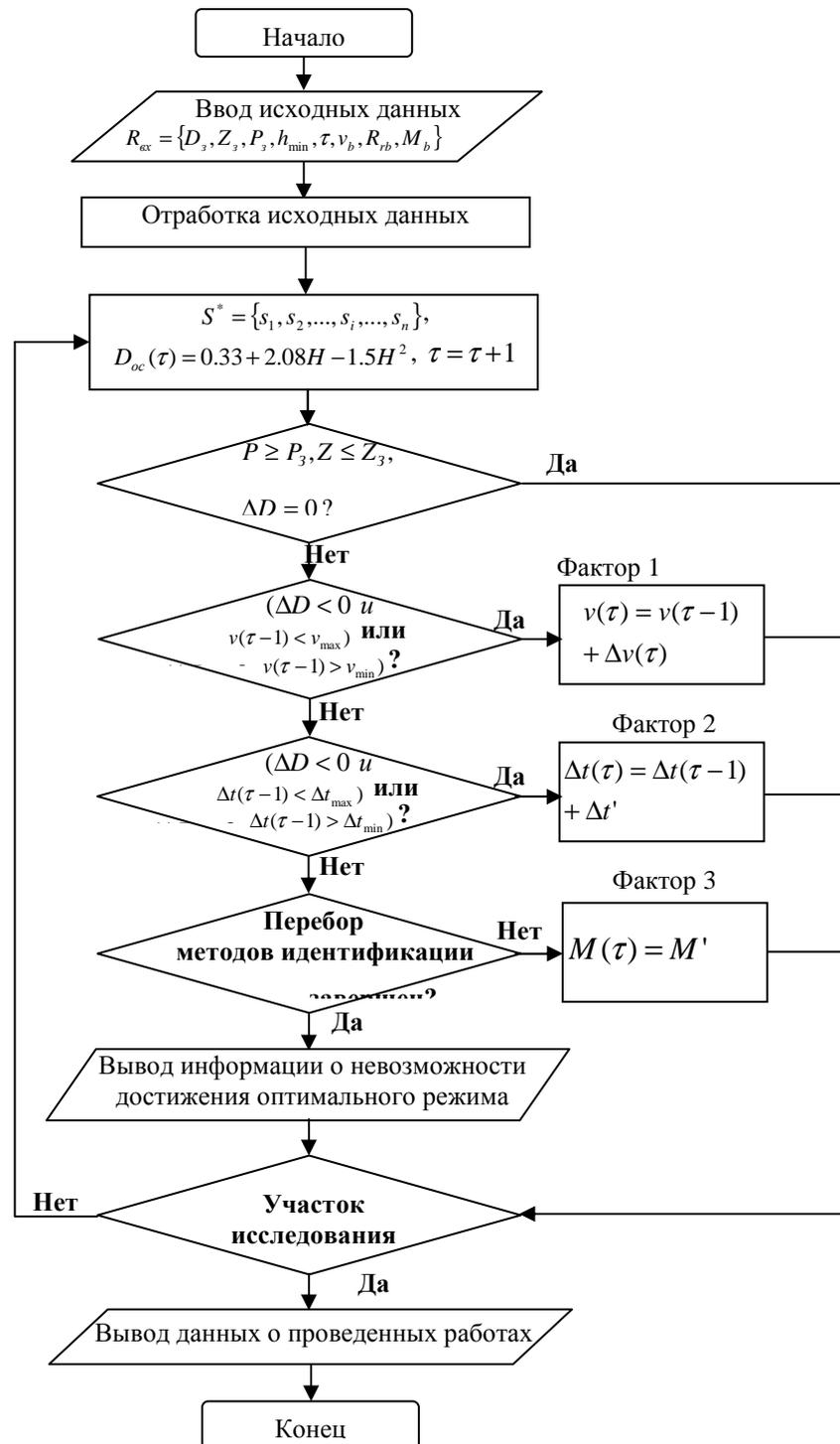
$$N = \text{int} \left( \frac{h_{\min}}{v\Delta t} \right). \quad (8)$$

Вектор исходных данных  $R_{ex}$  содержит задающие воздействия и начальные значения параметров режима ГИС  $U = \{v_b, R_{rb}, M_b\}$ , по которым определяются вектор состояния начального участка скважины (3) и оценка достоверности результата идентификации согласно выражению (7). Далее проверяется, удовлетворяет ли текущий режим задающим воздействиям и ограничениям, т.е. является ли режим оптимальным. При невыполнении задающих условий осуществляется изменение скорости движения зонда.

В соответствии с технологическими инструкциями [1] при проведении ГИС рекомендуется определенный диапазон возможных скоростей движения скважинного прибора  $[v_{\min}, v_{\max}]$ , которому соответствует интервал объема данных для последующей обработки и интерпретации  $[N_{\min}, N_{\max}]$ . В процессе исследования модели были построены аналитические зависимости достоверности идентификации от размера выборки  $N$ . Анализ этих зависимостей показал, что коэффициент передаточной функции между  $\Delta D$  и разности в размерах выборки данных  $\Delta N'$  различен при идентификации различных состояний скважины, в частности различных пластов, и не может быть априори точно задан. Поэтому было принято решение о применении метода последовательного приближения, позволяющего в зависимости от знака отклонения оценки достоверности  $\Delta D$  изменять скорость зонда на величину  $\Delta v$ , определяемую с учетом следующего выражения:

$$\Delta v = \frac{h_{\min} \Delta N'}{N_2 N_1 \Delta t}, \quad (9)$$

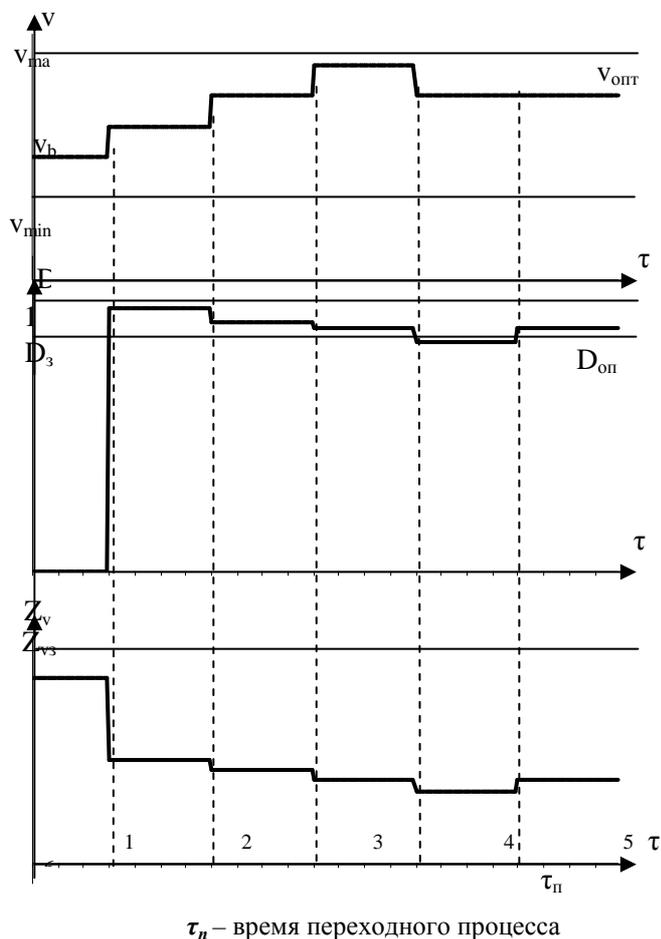
где  $N_1$ ,  $N_2$  и  $\Delta N'$  – соответственно начальный, конечный размер выборки данных, достаточных для идентификации состояния, и разность в размерах выборки данных на двух последовательных шагах регулирования.



Р и с. 3. Схема алгоритма выбора оптимального режима

В выражении (9)  $\Delta N'$  выбирается с учетом входных ограничений и требуемой точности поддержания  $D_3$ . В результате исследования выявлено, что для получения быстрого выхода на оптимальный режим целесообразно задать значение  $\Delta N'$  равным 10% от значения  $N_{max} - N_{min}$ . При этом возможно применение  $N_{max} - N_{min} / \Delta N'$  ступеней скорости, переход между которыми осуществляется последовательно по знаку рассогласования достоверностей. Если  $\Delta D > 0$ , то  $\Delta v < 0$ . Если  $\Delta D < 0$ , то  $\Delta v > 0$ . Начальная скорость движения зонда определяется как среднее значение между  $v_{min}$  и  $v_{max}$ .

Если изменения скорости зонда не приводят к выполнению входных заданий, система оптимизации производит поиск требуемого режима за счет изменения параметров регистрации данных, в частности за счет параметра  $\Delta t$ . Далее процесс выбора оптимального режима осуществляется за счет выбора другого метода идентификации состояния  $M'$  из множества методов  $M$ . Вывод информации о невозможности достижения оптимального режима производится в том случае, когда при всех возможных значениях трех факторов режим, удовлетворяющий задающим воздействиям, не достигнут.



Р и с. 4. Временные диаграммы работы модели

На рис. 4 представлены временные диаграммы работы алгоритма и программы оптимизации для идентификации геологических пластов буровой скважины [3, 4], полученные на основе реальных данных. Как видно из рисунка, при изменении скорости движения зонда оптимальное значение достоверности оценки состояния скважины с минимальным уровнем затрат устанавливается за 5 шагов. При этом конечное значение  $\Delta D$  составило менее 2% от  $D_3=0.9$ .

Описанный подход позволяет сократить общее время спуско-подъемных операций более чем на 20%, при этом экономическая эффективность ГИС увеличивается за счет уменьшения сроков каротажных работ.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Техническая инструкция по проведению геофизических исследований и работ приборами на кабеле в нефтяных и газовых скважинах. М.: Министерство энергетики Российской Федерации, 2001.
2. Кручинин А.Ю., Аралбаев Т.З. Модель динамической оптимизации режимов мониторинга и диагностирования буровой скважины // Информационные технологии в науке, образовании и производстве (ИТНОП): Матер. междунар. науч.-техн. конф. 25-26 мая 2006 г. Орел: ОрелГТУ, 2006. Т 2. 260 с.
3. Аралбаев Т.З., Кручинин А.Ю. Recognition – адаптивный программный комплекс, предназначенный для распознавания пластов пород по результатам каротажных работ в буровых скважинах. М.: ВНИИЦ, 2006. №50200601322.
4. Кручинин А.Ю. Особенности применения метода Байеса для идентификации пластов в буровой скважине // П-26 Перспектива: Сб. статей молодых ученых. №8. Оренбург: ГОУ ОГУ. 2006. С.169-173.

Статья поступила в редакцию 20 сентября 2007 г.

*В.Н. Митрошин***ВЫБОР РЕЖИМА ОХЛАЖДЕНИЯ ПОЛИМЕРНОЙ КАБЕЛЬНОЙ ИЗОЛЯЦИИ ПРИ ЕЕ НАЛОЖЕНИИ НА ЭКСТРУЗИОННОЙ ЛИНИИ\***

*На основе численного моделирования проведен анализ различных режимов охлаждения полимерной кабельной изоляции при её наложении на экструзионной линии. Предложены алгоритмы и технические решения, обеспечивающие в условиях имеющихся ограничений достижение требуемой точности приближения к заданному конечному распределению температуры изоляции и дающие значительную экономию энергозатрат и позволяющие существенно уменьшить длину ванн охлаждения.*

Охлаждение наложенной методом экструзии расплавленной пластмассовой изоляции происходит в процессе непрерывного движения кабельной жилы через многозонные водяные ванны охлаждения с постоянной скоростью. Требуемая температура охлаждающей воды в каждой ванне поддерживается локальной системой регулирования. Выбор режима охлаждения во многом определяет последующие эксплуатационные свойства изготавливаемого кабеля. Необходимо обеспечить стабильность его электрических характеристик при старении изоляции в процессе последующей длительной эксплуатации кабеля в качестве линии связи. Несоблюдение оптимальных температурных режимов охлаждения кабельной изоляции может привести к возникновению внутренних напряжений в изоляции, ее ускоренному старению и даже к механическому растрескиванию, что приводит к выходу кабеля из строя.

Важнейшее технологическое ограничение на величину радиального температурного градиента охлаждаемой в водяных ваннах изолированной кабельной жилы может быть учтено только с помощью моделей процесса охлаждения, учитывающих пространственную неравномерность температуры по объему формируемой изоляции.

Математическая модель процесса охлаждения изолированной кабельной жилы в водяных ваннах экструзионных линий приведена в [1].

На основе полученной аналитической модели процесса охлаждения кабельной изоляции при её изготовлении были разработаны алгоритмы оптимального управления процессом охлаждения изолированной кабельной жилы в водяных ваннах на заключительной стадии технологического цикла производства кабелей связи [2]. При этом задача оптимального управления рассматривается в следующей постановке. Необходимо найти такое пространственное температурное распределение охлаждающей среды, которое обеспечивает заданную точность распределения температуры охлаждаемой изолированной жилы по радиусу кабеля в ванне минимальной длины.

Под управляющим воздействием понимается стационарное температурное распределение охлаждающей воды по длине ванны. По существу, это принципиальное расширение задач на сферу проектирования агрегатов, но решаемое методами теории оптимального управления.

С помощью впервые полученного структурного представления модели охлаждаемой неоднородной системы [3] использовано модальное описание объекта с распределенными параметрами применительно к стандартной форме моделирования объектов в пространстве состояний в задаче оптимального управления в форме бесконечномерной системы уравнений относительно мод разложения температур изоляции и медного проводника в ряд по собственным функциям объекта.

Показано, что применительно к поставленным целям может быть использован принцип максимума Понтрягина. Из него следует, что в задачах без учета фазовых ограничений оптимальное управление должно иметь вид релейной функции пространственной координаты, число интервалов постоянства которой однозначно зависит от требуемой точности приближения температуры изолированной жилы к заданному значению [2, 4].

В противовес известным методикам задача решается алгоритмически точным альтернативным методом [5] без конечномерного усечения объекта, позволяющим получить замкнутую систему уравнений для конечных температур относительно всех искомым параметров оптимальной программы. Показано, что применительно к стандартным технологическим тре-

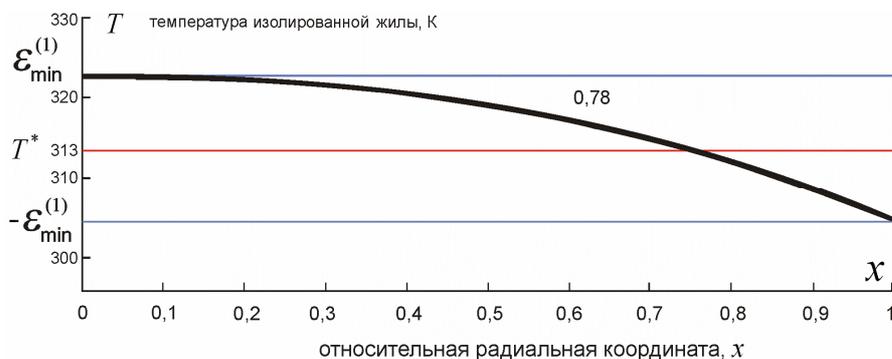
---

\* Работа поддержана грантом РФФИ (проект 06-08-00041-а).

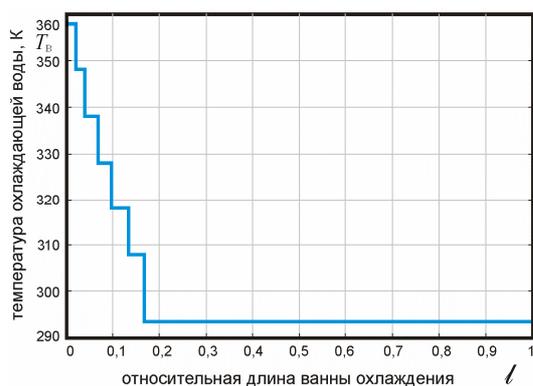
бованиям для определенной номенклатуры продукции оказывается достаточной реализация простейшего одноинтервального управления, означающего необходимость поддержания минимальной температуры охлаждающей воды на всей длине ванны.

Результаты расчета альтернансным методом свидетельствуют о превышении фазового ограничения на начальном участке охлаждения при постановке задачи оптимизации без его предварительного учета. Это приводит к необходимости перехода к более сложному закону управления с двухэтапным построением системы охлаждения. На первом этапе поддерживается предельно допустимое максимальное значение температурного градиента, а на втором охлаждение осуществляется при минимальной температуре охлаждающей воды.

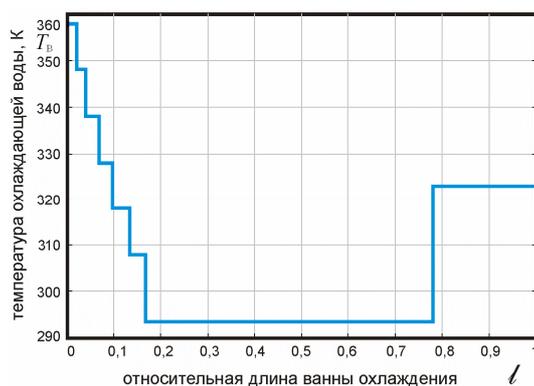
На рис. 1 показано рассчитанное с использованием пакета *Femlab 2.3* радиальное распределение температуры сплошной изоляции (радиус медного проводника  $r_o = 0,7$  мм; радиус изоляции  $R_{из} = 2$  мм) на выходе ванны охлаждения минимальной длины (0,78 от длины существующих ванн) при оптимальном одноинтервальном пространственном управлении вида, представленного на рис. 2, с учетом фазовых ограничений. На рис. 1 величина  $T^*$  – заданная температура изоляции после охлаждения,  $\varepsilon_{min}^{(1)}$  – минимально достижимое значение точности приближения к требуемой температуре (величина минимакса) в классе одноинтервальных управлений вида, показанного на рис. 2. Предельно допустимое отклонение конечной температуры от заданной, равное  $\varepsilon_{min}^{(1)}$ , достигается согласно альтернансному методу в двух точках по радиусу жилы, которыми оказываются центр жилы ( $x = 0$ ) и ее поверхность ( $x = 1$ ), где создаются соответственно максимальная и минимальная температуры.



Р и с. 1. Радиальное распределение температуры кабельной жилы на выходе ванны охлаждения при оптимальном (одноинтервальном) пространственном управлении



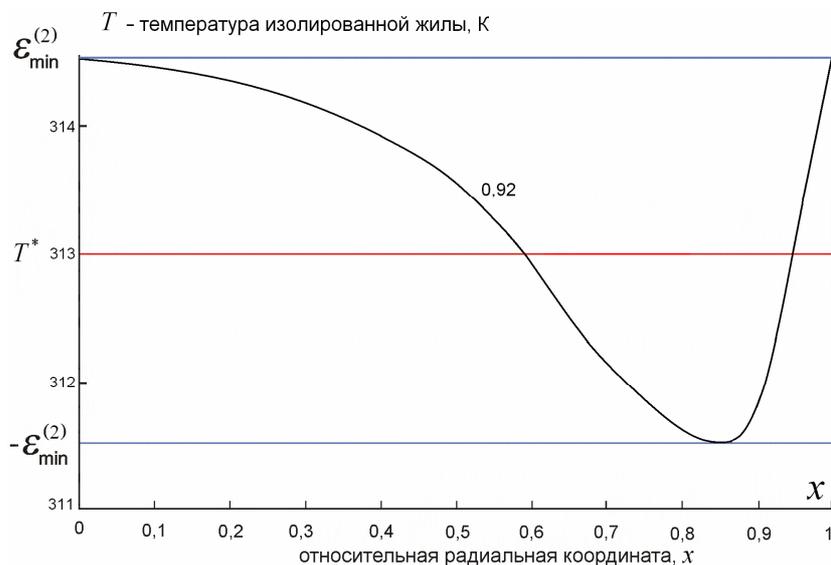
Р и с. 2. Оптимальное одноинтервальное управление охлаждением кабельной жилы с учетом фазовых ограничений



Р и с. 3. Оптимальное двухинтервальное управление охлаждением кабельной жилы с учетом фазовых ограничений

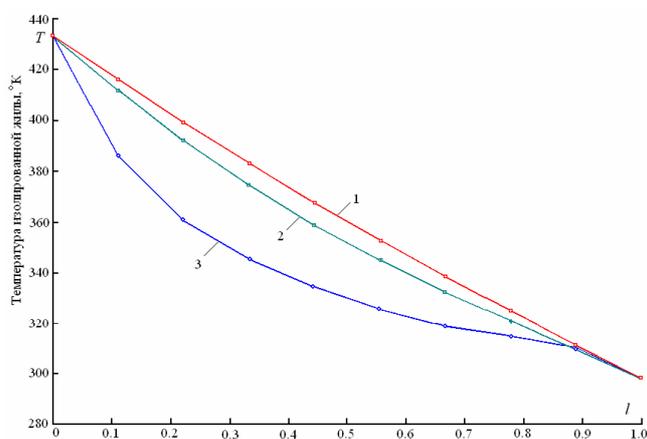
Если найденная величина  $\varepsilon_{min}^{(1)}$  отвечает технологическим требованиям по точности приближения температуры изоляции к заданной величине  $T^*$ , то тем самым найденное решение является решением исходной задачи.

В противном случае согласно альтернативному методу можно обеспечить большую точность путем перехода к релейным уравнениям с большим числом интервалов постоянства (рис. 3). На рис. 4 показано рассчитанное радиальное распределение температуры изоляции на выходе ванны охлаждения минимальной длины (0,92 от длины существующих ванн) при оптимальном двухинтервальном пространственном управлении вида, показанного на рис. 3, с учетом фазовых ограничений.



Р и с. 4. Радиальное распределение температуры кабельной жилы на выходе из ванны охлаждения при оптимальном двухинтервальном управлении

На рис. 5 представлено рассчитанное распределение температуры в изоляции (1 – на границе контакта с металлическим проводником, 2 – в центре, 3 – на внешней поверхности изоляции) при оптимальном двухинтервальном пространственном управлении ее охлаждением с учетом фазовых ограничений.



Р и с. 5. Распределение температуры в изоляции при оптимальном (двухинтервальном) пространственном управлении ее охлаждением

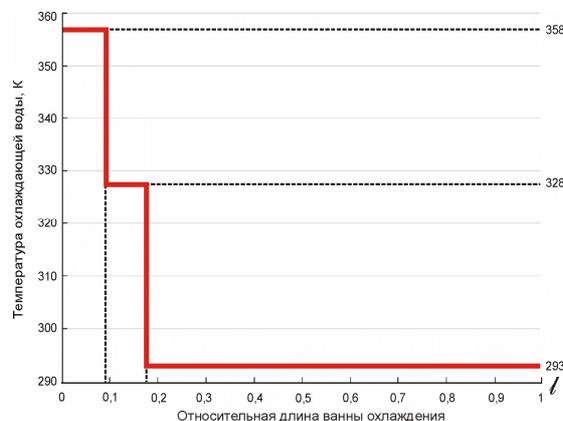


Рис. 6. Квазиоптимальное управление охлаждением кабельной жилы с учетом фазовых ограничений

Расчет параметров процесса с численным определением необходимого распределения температур охлаждающей воды в ваннах применительно к стандартным инженерным конструкциям приводит к проектированию ванн охлаждения в трехзонном исполнении (рис. 6).

Использование предложенной методики дает возможность получить требуемое распределение температуры изоляции на выходе из участка охлаждения; при этом длина ванны может быть уменьшена до 20% по сравнению с типовыми техническими решениями и в 2,7 раза сокращен объем нагреваемой воды.

Полученные результаты распространяются на подобные ситуации с ограниченной неопределенностью параметров объекта, что позволяет в условиях известного диапазона неопре-

деленности обеспечить охлаждение с гарантированной точностью, решить тем же способом задачи быстрого охлаждения жилы в ванне фиксированной длины с заданной точностью и т.д.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Митрошин В.Н. Математическое моделирование процессов теплопереноса при охлаждении экструдированной кабельной жилы с учетом фазовых превращений полимерной изоляции // Вестн. Самар. гос. техн. ун-та. Сер. "Технические науки". 2005. Вып. 32. С. 182-186.
2. Рапопорт Э.Я., Митрошин В.Н., Кретов Д.И. Оптимальное управление процессом охлаждения полимерной кабельной изоляции при ее наложении на экструзионной линии // Вестн. Самар. гос. техн. ун-та. Сер. "Физико-математические науки". 2006. Вып. 43. С. 146-153.
3. Митрошин В.Н. Структурное моделирование процесса охлаждения изолированной кабельной жилы при ее изготовлении на экструзионной линии // Вестн. Самар. гос. техн. ун-та. Сер. "Технические науки". 2006. Вып. 40. С. 22-33.
4. Рапопорт Э.Я. Структурное моделирование объектов и систем управления с распределенными параметрами. М.: Высш. шк., 2003. 299 с.
5. Рапопорт Э.Я. Альтернативный метод в прикладных задачах оптимизации. М.: Наука, 2000. 336 с.

Статья поступила в редакцию 30 октября 2007 г.

УДК 681.5:681.3

**В.К. Тяп**

### РЕШЕНИЕ ОБРАТНЫХ ЗАДАЧ ПРИ СИНТЕЗЕ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ С НЕМИНИМАЛЬНО ФАЗОВЫМ ОБЪЕКТОМ

*Введено понятие обратного устойчивого оператора неминимально фазового объекта и решена проблема синтеза автономных и компенсационных многомерных систем автоматического управления с неминимально фазовым объектом.*

Проблема решения обратных задач связана с решением линейного операторного уравнения, имеющего вид [1-3]

$$\begin{aligned} Az &= u; \\ u &\in U, z \in F, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $U, F$  – метрические пространства с соответствующими метриками  $\rho_u(u_1, u_2)$  и  $\rho_F(z_1, z_2)$ ,  $A$  – некоторый непрерывный оператор.

Приведем некоторые известные базовые понятия.

Под решением операторного уравнения (1) понимается, что каждому элементу  $u \in U$  соответствует  $z \in F$ . Понятие «устойчивости» решения  $z \in F$  на паре пространств  $(F, U)$  подразумевает выполнение критерия Коши [4], т.е. для всякого числа  $\varepsilon > 0$  найдется  $\delta(\varepsilon) > 0$ , такое, что из неравенства

$$\rho_u(u_1, u_2) < \delta(\varepsilon) \quad (2)$$

следует

$$\rho_F(z_1, z_2) < \varepsilon, \quad (3)$$

где величины

$$z_1 = R(u_1), \quad z_2 = R(u_2) \quad (4)$$

определяются по исходным данным  $u$ .

Таким образом, понятие обратной задачи применимо к объектам с причинно-следственными связями. Фактически под решением понимается определение причины по ее проявлению, т.е. следствию. Из общих соображений ясно, что если в следствии присутствует компонента, не обусловленная причинно-следственными связями, например, помехи в выходном сигнале, то решения не существует в определенном выше смысле. Это важный прак-

тический случай и, естественно, ему было уделено много внимания. Приведем несколько понятий решения операторного уравнения (1).

Задача определения решения уравнения (1) в указанном выше смысле называется корректно поставленной по Ж. Адамару, если выполняются следующие условия [1].

1. Для всякого  $u \in U$  существует и однозначно определяется решение  $z \in F$ .
2. Определяемые решения являются устойчивыми на паре пространств  $(F, U)$ .

подавляющее большинство практических обратных задач не удовлетворяют условиям 1, 2 и, следовательно, не могут решены в корректной постановке по Адамару.

Дальнейшим шагом в решении операторного уравнения 1, не удовлетворяющего условиям Адамара, является условно-корректная постановка по А.Н. Тихонову, позволившая решить ряд важных практических задач и положившая начало фундаментальному научному направлению [1-3]. В постановке А.Н. Тихонова приближенное решение минимизирует функционал вида

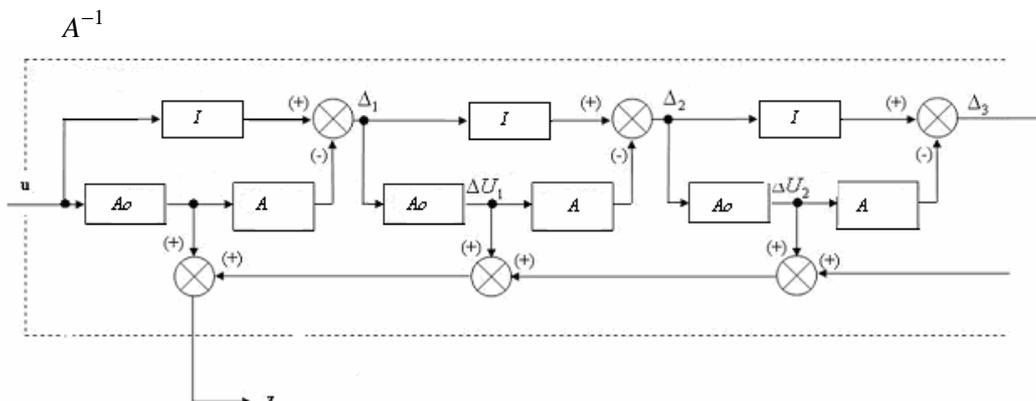
$$\rho_u(Az, u) = \inf_{z \in M} \rho_u(Az, u) ; \quad (5)$$

Во многих работах, в том числе и работах учеников А.Н. Тихонова, например в [2], отмечается, что характерным признаком обратных задач является их физическая нереализуемость. В задачах синтеза систем управления, функционирующих в реальном темпе времени, требуется физическая реализация решений обратных задач. Например, решение обратных задач, связанных с синтезом автономных и компенсационных систем управления, связано с рядом следующих принципиальных проблем:

- 1) физическая реализуемость решения обратных задач, т.е. нахождение обратного оператора, функционирующего в реальном масштабе времени;
- 2) устойчивость обратных операторов в задачах синтеза систем управления.

Вопросы физической реализуемости и устойчивости обратных операторов в случае многомерных линейных минимально фазовых объектов управления рассмотрены в [2]. С особенной остротой вопрос устойчивости возникает при синтезе компенсационных систем с неминимально фазовым объектом управления. В этом случае обратный оператор (1), описывающий неминимально фазовый объект, является принципиально неустойчивым. Решение проблем устойчивости и физической реализуемости для неминимально фазовых объектов базируется на полученных в [5, 6] результатах. Приведем их краткое содержание, основные определения и результаты.

В [5] предлагается алгоритм решения обратных задач, базирующийся на структурном представлении обратных операторов в виде периодической структуры следующего вида (см. рис. 1).



Р и с. 1. Структурное представление обратного оператора  $A^{-1}$

Здесь  $I$  – тождественный оператор,  $A$  – некоторый непрерывный оператор, отображающий множество  $F$  в  $U$ .

Введем следующие понятия.

### Определение 1

Оператор  $A_0$  называется стабилизирующим оператором, если для заданного прямого оператора  $A$  выполняется условие

$$\|I - AA_0\| < 1, \quad (6)$$

где  $I$  – тождественный оператор.

Норма (6) определяется в каждом случае конкретно.

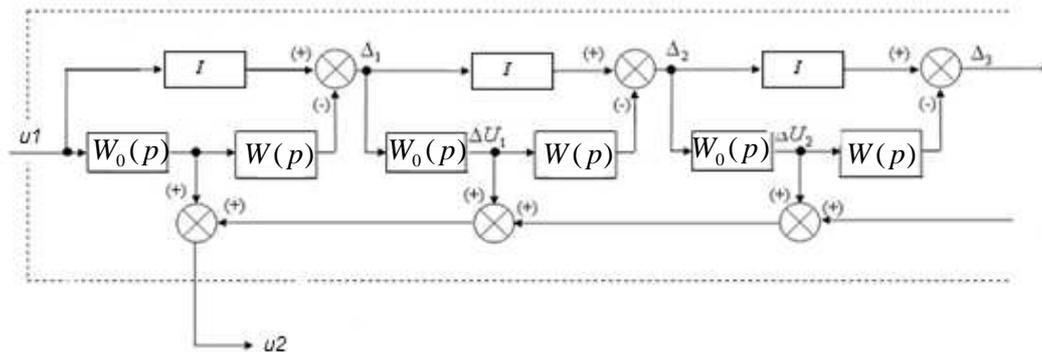
### Определение 2

Структура, представленная на рис. 1, называется фундаментальной, если последовательность операторов, описывающая данную структуру, при неограниченном увеличении количества периодических ячеек данной структуры является фундаментальной последовательностью в соответствующем пространстве.

Пусть в (1)  $U, F$  – банаховы пространства.

### Лемма

Для того чтобы представленная на рис. 1 периодическая структура была фундаментальной, необходимо и достаточно, чтобы оператор  $A_0$  являлся стабилизирующим оператором. Приведенная на рис. 1 фундаментальная периодическая структура и математические понятия представляют общифункциональный подход для развития теории синтеза комбинированных многомерных систем управления.



Р и с. 2. Структурное представление обратной передаточной матрицы

На базе общифункционального подхода была разработана теория периодических структур, позволяющая проводить синтез компенсационных систем с заданной инвариантностью [6]. На рис. 2 представлена периодическая структура, физически реализующая обратную передаточную функцию многомерного линейного минимально фазового объекта управления и построенная по аналогии со структурным представлением обратного линейного оператора в банаховом пространстве.

В соответствии с общифункциональным подходом приведем некоторые понятия применительно к теории автоматического управления [6].

### Определение

Назовем передаточную матрицу  $W_0(p)$  стабилизирующей матрицей, функционал  $\|I - W(p)W_0(p)\|$  – стабилизирующим функционалом, а представленную на рис. 2 передаточную матричную структуру фундаментальной, если последовательность периодических структур передаточных матриц при неограниченном увеличении количества периодических ячеек данной структуры описывается фундаментальной последовательностью передаточных матриц.

В выражении функционала  $W(p)$  – передаточная матрица объекта управления.

### Лемма

Для того чтобы представленная на рис. 2 периодическая передаточная матричная структура была фундаментальной, необходимо и достаточно, чтобы стабилизирующий функционал удовлетворял условию

$$\|I - W(p)W_0(p)\| < 1. \quad (7)$$

### Теорема

При выполнении условия фундаментальности периодической структуры при неограниченном увеличении числа периодических ячеек фундаментальная структура является ограниченной, непрерывной и сходится к обратной передаточной матрице модели линейного минимально фазового объекта управления.

Из вышесказанного очевидны аналогии в определениях и теоремах, изложенных для абстрактного банахового пространства и для пространства линейных передаточных функций. Более точно теория периодических структур следует из теории структурного представления обратного оператора в линейном пространстве.

Таким образом, определение обратной матрицы передаточной функции линейного минимально фазового объекта по аналогии с определением обратного оператора линейного пространства, имеющего вид

$$AA^{-1} \equiv I, \quad (8)$$

где  $I$  – тождественный оператор, представляется в виде

$$W(p)W^{-1}(p) \equiv I, \quad (9)$$

где  $I$  – единичная матрица.

В контексте излагаемой теории вышеприведенные определения имеют вид

$$\lim_{k \rightarrow \infty} A_k A = I; \quad (10)$$

$$\lim_{k \rightarrow \infty} W_k(p)W(p) = I. \quad (11)$$

Индексом  $k$  обозначено количество ячеек,  $A_k$ ,  $W_k(p)$  – оператор и передаточная матрица, описывающие соответствующие фундаментальные структуры длиной  $k$ .

Решение задач синтеза компенсационных систем с неминимально фазовым объектом с использованием вышеприведенных определений обратных операторов и обратных передаточных функций сталкивается с принципиальными проблемами, связанными с физической реализуемостью, о которой говорилось выше, и с проблемой устойчивости, обусловленной неустойчивостью обратной передаточной матрицы неминимально фазовых объектов управления. Для решения задачи синтеза компенсационных систем управления с неминимально фазовым объектом управления введем следующее определение обратной передаточной матрицы неминимально фазового объекта управления.

### Определение 1

Фундаментальная структура реализует обратную передаточную функцию неминимально фазового объекта управления, если их последовательное соединение описывается соотношением

$$\lim_{k \rightarrow \infty} W_k(p)W(p) = -I. \quad (12)$$

Правомерность введения данного определения базируется на нижеследующей теореме и, как это будет показано ниже, позволяет использовать теорию периодических структур представления обратных операторов для синтеза компенсационных и автономных многомерных систем с неминимально фазовым объектом управления.

### Определение 2

Фундаментальную периодическую структуру с замененными в звеньях периодической структуры неустойчивыми нулями на устойчивые вещественно сопряженные нули назовем вещественно сопряженной фундаментальной структурой.

### Теорема

Вещественно сопряженная фундаментальная структура устойчива и равна обратной передаточной функции неминимально фазового объекта в смысле определения 1.

### Доказательство

Рассмотрим одномерный неминимально фазовый объект управления. Для него вещественно сопряженная фундаментальная структура имеет предел вида [6]:

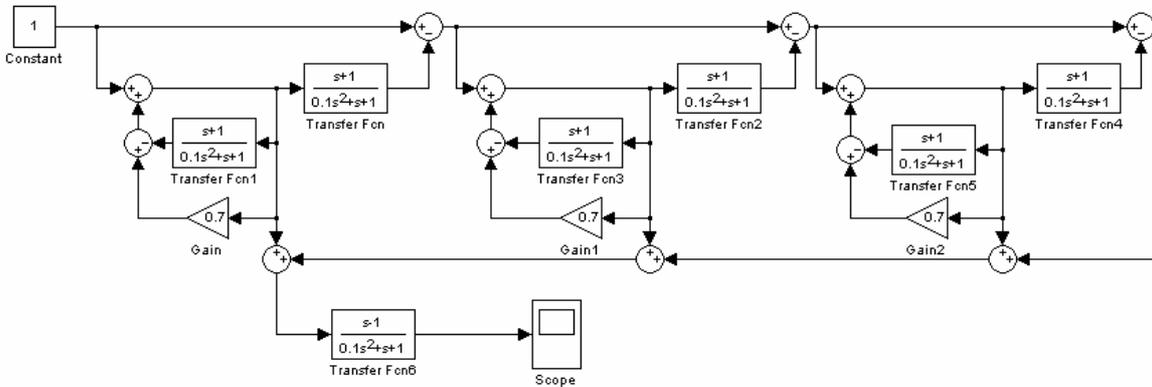
$$\lim_{k \rightarrow \infty} W_k(p) = W_{mf}^{-1}(p), \quad (13)$$

где  $W_{mf}(p)$  – передаточная функция соответствующего минимально фазового объекта управления, получаемого путем замены неустойчивых нулей в неминимально фазовом объекте с передаточной функцией  $W(p)$ , расположенных в правой полуплоскости, на симметричные относительно мнимой оси устойчивые нули. Тогда

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \left| W_k(i\omega) W(i\omega) \right| = 1; \quad (14)$$

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \arg\{W_k(i\omega) W(i\omega)\} = -\pi. \quad (15)$$

Полученные выражения (14) и (15) эквивалентны введенному определению (12). Теорема доказана.



Р и с. 3. Вещественно сопряженная фундаментальная структура с неминимально фазовым объектом управления

Верификация полученных теоретических результатов была проведена в среде Matlab. Рассмотрим одномерный неминимально фазовый объект, описываемый следующей передаточной функцией:

$$W_{of}(p) = \frac{p-1}{0.1p^2+p+1}. \quad (16)$$

На рис. 3 представлена вещественно сопряженная фундаментальная структура с последовательно соединенным неминимально фазовым объектом управления.

На рис. 4 показана переходная характеристика  $h_1(t)$  вещественно сопряженной фундаментальной структуры, последовательно соединенной с неминимально фазовым объектом управления. Как следует из рис. 4, установившееся значение переходной характеристики равно минус единице. Таким образом, получена устойчивая обратная передаточная функция неминимально фазового объекта управления в смысле определения 1.

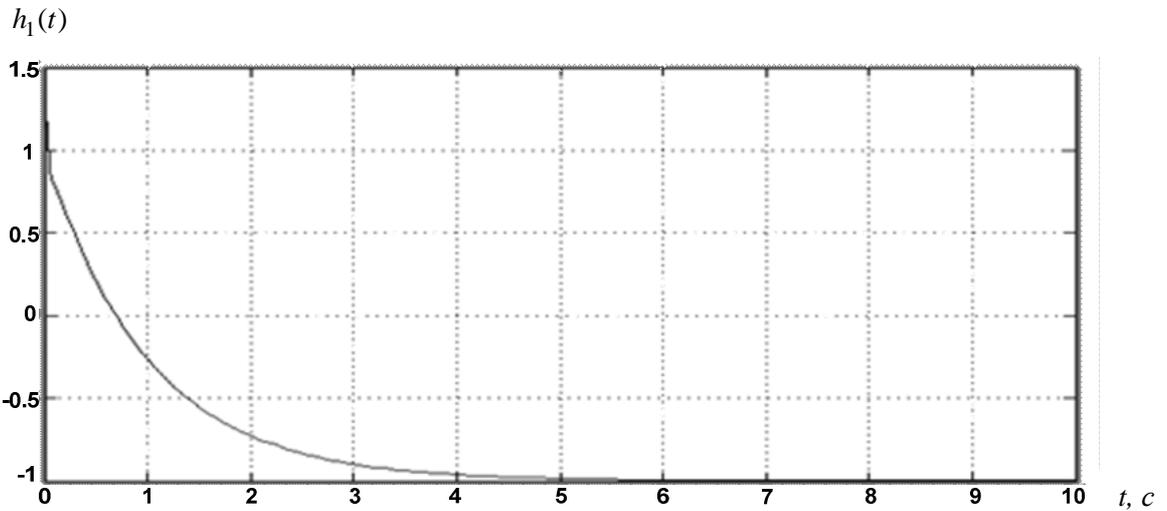
Ниже приведен анализ частотных характеристик рассматриваемой структуры в среде MathCAD. Параметры вещественно сопряженной фундаментальной структуры:  $n = 4$ ,  $C = 0.7$ , где  $n$  – количество периодических ячеек,  $C$  – параметр регуляризирующего звена [5, 6]. Логарифмическая амплитудно-частотная характеристика (ЛАЧХ) рассматриваемой структуры определяется следующим выражением:

$$p \text{ substitute } , p = i \cdot \omega ; \quad A(\omega) = 20 \log(|W_{m1}(i\omega) W_{kom}(i\omega)|), \quad (17)$$

где

$$W_m(p) = \frac{p+1}{0.1p^2 + p + 1}; W_k(p) = (1 - C + W_m(p))^{-1}; W_{m1}(p) = \frac{p-1}{0.1p^2 + p + 1};$$

$$W_{kom}(p) = \left[ 1 + \sum_{i=1}^n (1 - W_m(p)W_k(p))^{-1} \right] W_k(p).$$
(18)

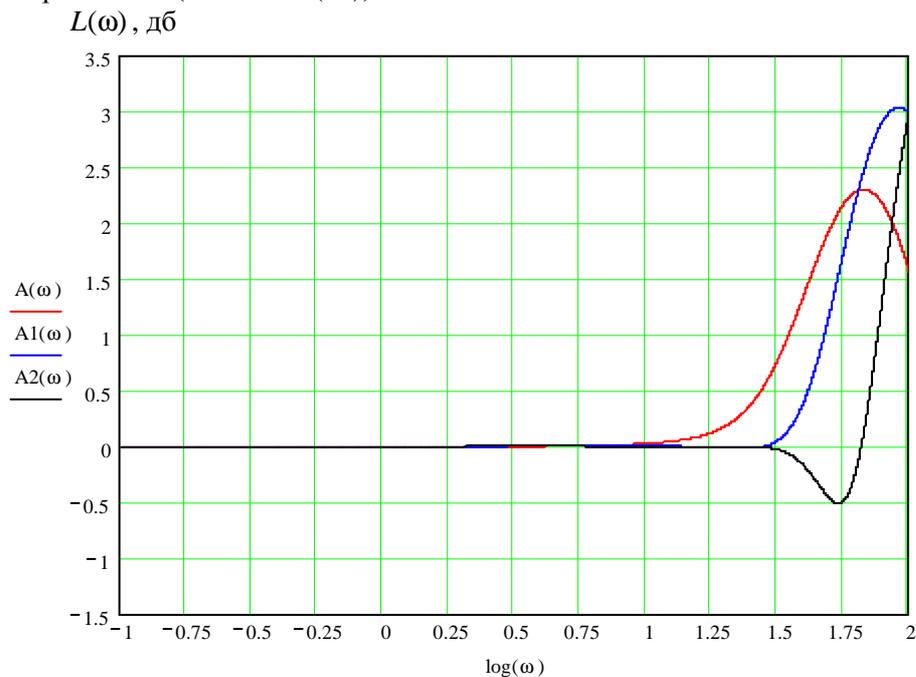


Р и с. 4. Переходная характеристика последовательно соединенных вещественно сопряженной фундаментальной структуры с неминимально фазовым объектом управления

ЛАЧХ при различном числе ячеек структуры показаны на рис. 5.

Анализ ЛАЧХ, представленных на рис. 5, показывает, что в интервале регуляризации коэффициент усиления равен обратной величине коэффициента усиления неминимально фазового объекта управления. Отметим высокую сходимость фундаментальной структуры, выражающуюся в том, что при малом количестве периодических ячеек достигается решение обратной задачи в интервале регуляризации. Таким образом, по амплитудной характеристике получено решение обратной задачи для рассматриваемого класса объектов.

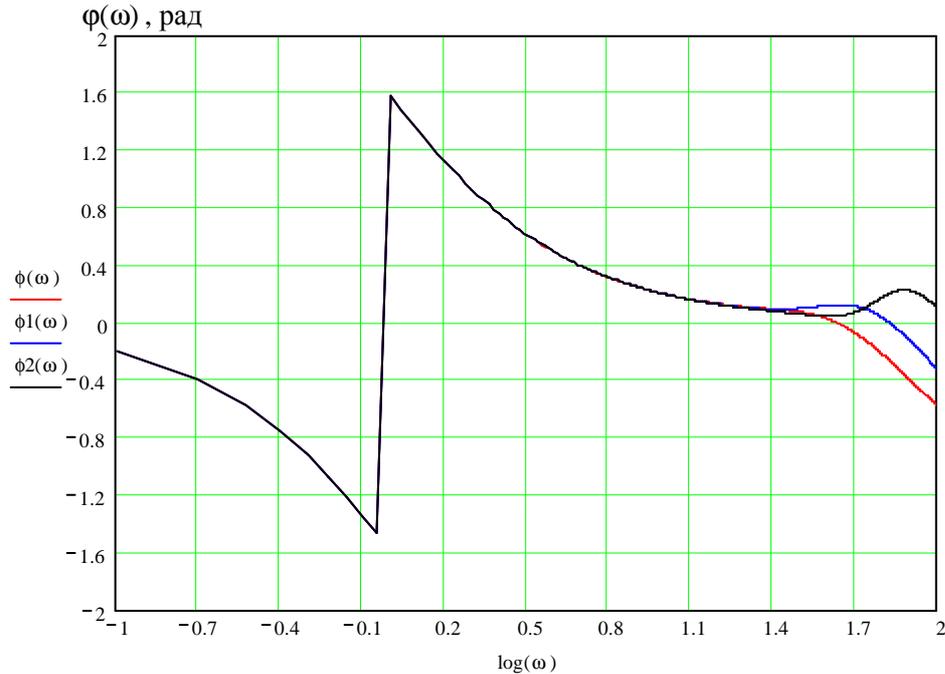
Логарифмическая фазочастотная характеристика (ЛФЧХ) рассматриваемой структуры определяется выражением (см. также (16)).



Р и с. 5. Логарифмические частотные характеристики последовательно соединенных вещественно сопряженной фундаментальной структуры с неминимально фазовым объектом управления для различного числа периодических ячеек:  $A(\omega)$  – при  $n = 4$ ;  $A1(\omega)$  – при  $n = 6$ ;  $A2(\omega)$  – при  $n = 10$

$$\phi(\omega) = a \tan \left( \frac{\operatorname{Im}(W_{m1}(i\omega)W_{kom}(i\omega))}{\operatorname{Re}(W_{m1}(i\omega)W_{kom}(i\omega))} \right). \quad (19)$$

Результаты исследования фазочастотной характеристики структуры, представленной на рис. 3, показаны на рис. 6. В интервале регуляризации фаза стремится к минус 180 градусам. Это означает, что установившееся значение должно быть равно минус единице, что подтверждается переходной характеристикой, рассмотренной выше и представленной на рис. 4. Это означает, что найдено решение обратной задачи, т.е. построен обратный физически реализуемый оператор, определенный соотношением (12). Таким образом, теория синтеза обратных операторов для одномерных линейных неминимально фазовых объектов управления полностью подтверждена и теоретически, и моделированием в среде Matlab и MathCAD.



Р и с. 6. ЛФЧХ последовательно соединенных вещественно сопряженной фундаментальной структуры с неминимально фазовым объектом управления для различного числа периодических ячеек:

$\phi(\omega)$  – при  $n = 4$ ;  $\phi_1(\omega)$  – при  $n = 6$ ;  $\phi_2(\omega)$  – при  $n = 10$

Рассмотрим случай многомерных неминимально фазовых объектов управления на примере многомерного объекта управления с двумя входами и двумя выходами со следующей передаточной матрицей:

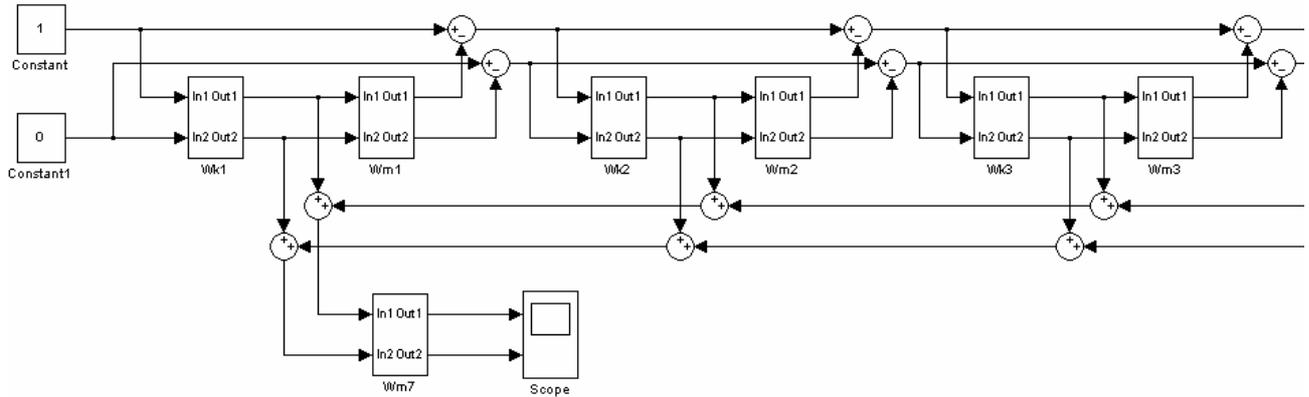
$$\mathbf{W}_{об}(p) = \begin{bmatrix} \frac{2p-2}{0,1p^2+p+1} & \frac{5p-5}{0,1p^2+p+1} \\ \frac{p-1}{0,1p^2+p+1} & \frac{3p-3}{0,1p^2+p+1} \end{bmatrix}. \quad (20)$$

На рис. 7 представлена вещественно сопряженная фундаментальная структура с последовательно соединенным многомерным неминимально фазовым объектом управления. На рис. 8 показана переходная характеристика вещественно сопряженной фундаментальной структуры, последовательно соединенной с неминимально фазовым объектом управления. Анализ переходных характеристик проведен для двух случаев управляющих векторов. В первом случае вектор управления равен  $U1 = [1 \ 0]^T$ , а для второго случая (рис. 9)  $U2 = [0 \ 1]^T$ . В первом случае, как следует из рис. 8, установившееся значение переходной характеристики  $h_{11}(t)$  на первом выходе близко к минус единице, а на втором  $h_{12}(t)$  не превышает 0.01. Во втором случае (рис. 9), наоборот, на первом выходе  $h_{21}(t)$  не более 0.01, а на втором  $h_{22}(t)$  – близко к минус единице. Это означает следующее:

- 1) построена вещественно сопряженная фундаментальная структура, описываемая обратной передаточной функцией;

- 2) достигнута автономность неминимально фазового объекта; влияние входов на другие выходы составляет не более одного процента (в данном конкретном случае).

Таким образом, получена устойчивая обратная передаточная функция неминимально фазового объекта управления.



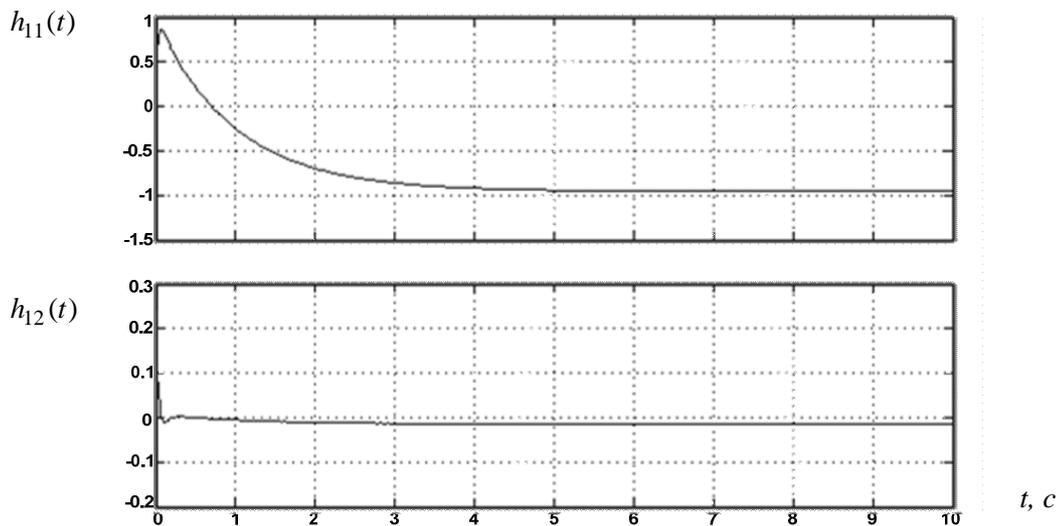
Р и с. 7. Вещественно сопряженная фундаментальная структура с последовательно соединенным многомерным неминимально фазовым объектом управления

Обобщенная амплитудная частотная характеристика периодической структуры с объектом вычислена на основании соотношений [6], аналогичных (17, 18):

$$I = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}; C = \begin{pmatrix} 0.7 & 0 \\ 0 & 0.7 \end{pmatrix}; n = 6;$$

$$W_m(p) = \frac{p+1}{0.1p^2 + p + 1} \begin{pmatrix} 2 & 5 \\ 1 & 3 \end{pmatrix}; W_k(p) = (I - C + W_m(p))^{-1};$$

$$W_{m1}(p) = \frac{p-1}{0.1p^2 + p + 1} \begin{pmatrix} 2 & 5 \\ 1 & 3 \end{pmatrix}.$$

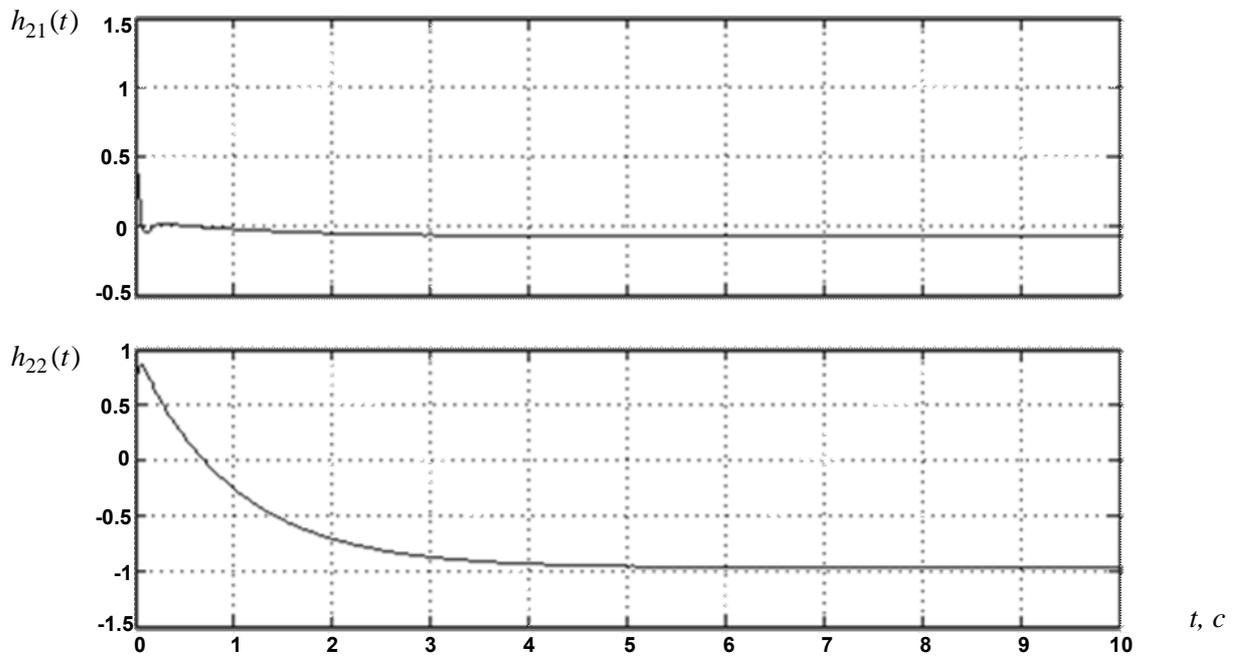


Р и с. 8. Переходная характеристика последовательно соединенных вещественно сопряженной фундаментальной структуры с неминимально фазовым объектом управления. Случай 1

$$W_{kom}(p) = \left[ 1 + \sum_{i=1}^n (I - W_m(p)W_k(p))^{-1} \right] W_k(p);$$

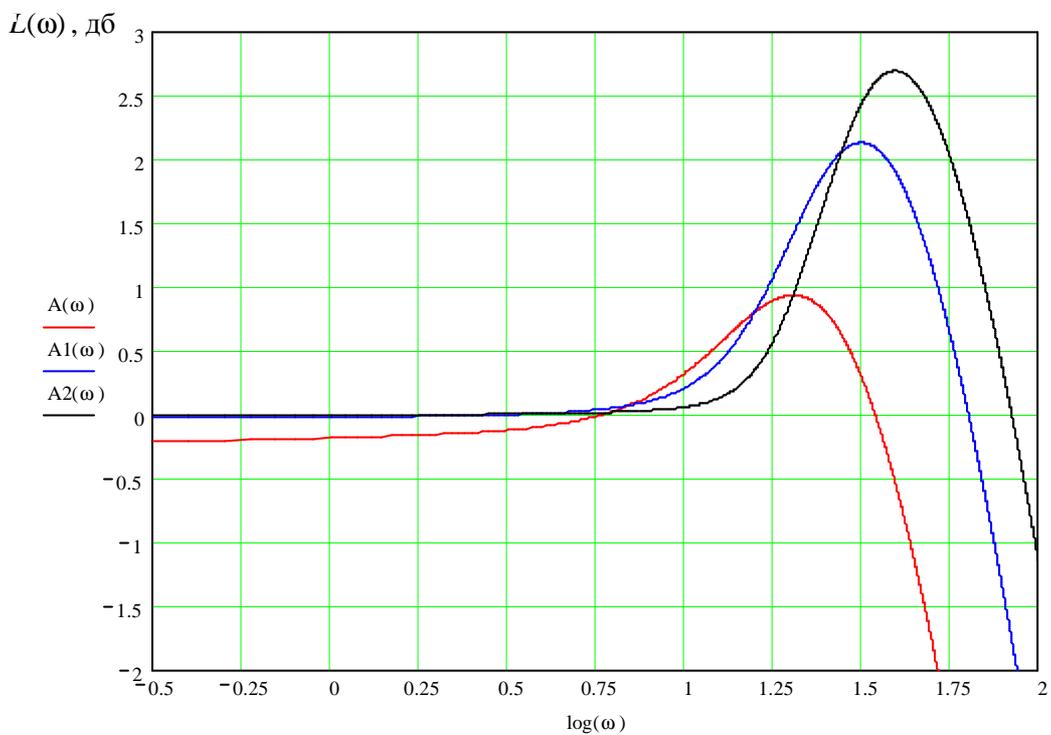
$p$  substitute,  $p = i \cdot \omega \rightarrow i \cdot \omega$ ;

$$A(\omega) = 20 \log(\|W_{m1}(i\omega)W_{kom}(i\omega)\|).$$



Р и с. 9. Переходная характеристика последовательно соединенных вещественно сопряженной фундаментальной структуры с неминимально фазовым объектом управления. Случай 2

Анализ переходных функций и ЛАЧХ, представленных на рис. 8, 9, 10, показывает, что в интервале регуляризации структура, показанная на рис. 7, описывается диагональной матрицей и, следовательно, фундаментальная структура реализует обратную передаточную функцию неминимально фазового звена в соответствии с введенным выше определением. Полученные результаты являются основой для синтеза многомерных автономных систем управления с неминимально фазовым объектом управления.



Р и с. 10. Обобщенные ЛАЧХ при различном числе ячеек структуры:  
 $A(\omega)$  – при  $n = 6$ ;  $A1(\omega)$  – при  $n = 10$ ;  $A2(\omega)$  – при  $n = 13$

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. М.: Наука, 1979.
2. Тихонов А.Н., Кальнер В.Д., Гласко В.Б. Математическое моделирование технологических процессов и метод обратных задач в машиностроении. М.: Машиностроение, 1990.
3. Тихонов А.Н., Гончаровский А.В., Степанов В.В., Ягола А.Г. Численные методы решения некорректных задач. М.: Наука, 1990.
4. Колмогоров А.Н., Фомин С.В. Элементы теории функции и функционального анализа. М.: Наука, 1981.
5. Тянь В.К. Структурное представление обратного оператора в банаховом пространстве / Вестник Самар. гос. техн. ун-та. Сер. Физико-математические науки. 2007. Вып. №1 (14). С. 197-199.
6. Тянь В.К. Теория периодических структур в некорректных задачах синтеза инвариантных и автономных систем управления // Вестник Самар. гос. техн. ун-та. Сер. Технические науки. 2006. Вып. 41. С.47-54.

*Статья поступила в редакцию 15 декабря 2006 г.*