

© 2012 г. Э. А. Э. ДИЛОУ-РАГИНЯ,  
С.А. ПОТРЯСАЕВ, канд. техн. наук,  
Б. В. СОКОЛОВ доктор техн. наук, проф.  
(Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН)

## **МОДЕЛЬНО-АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОМПЛЕКСНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ МОДЕРНИЗАЦИИ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КОРПОРАТИВНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ<sup>1</sup>**

Приводится полимодельное описание процесса модернизации унаследованной информационной системы, которое предлагается использовать при многокритериальном оценивании экономической и технико-технологической эффективности создания и использования соответствующих информационных технологий.

**MODEL-ALGORITHMIC PROVISION OF INTEGRATED PLANNING OF MODERNIZATION AND OPERATION OF CORPORATE INFORMATION SYSTEM** / E.A.E. Dilou-Raginya, S.A. Potryasaev, B.V. Sokolov, (Saint Petersburg Institute for Informatics and Automation of RAS, Russia, 199178, St. Petersburg, 14 line, 39, E-mail: sokol@iias.spb.su). Multimodel description of a process of an inherited information system modernization is given. This description is suggested for using in multiple-criteria evaluation of the economic, technical and technological efficiency of creating and using correspondent information technologies.

### **1. Введение**

В настоящее время в условиях мирового финансового кризиса и острой конкурентной борьбы любые государственные и коммерческие организации стараются укрепить свои позиции на рынке, стремясь к улучшению качества предоставляемых товаров и услуг, внедряя инновации и повышая эффективность ведения бизнеса. Одним из важнейших факторов, существенно влияющих на успешное достижение вышеперечисленных целей, является тесная интеграция бизнес-систем (БС) с информационными технологиями и информационными ресурсами (ИТ и ИР), в том числе, и с корпоративными информационными системами (ИС). В этой связи особую актуальность приобретают во-

---

<sup>1</sup> Исследования по рассматриваемой тематике проводились при финансовой поддержке РФФИ (гранты 10-07-00311-а, 11-08-01016-а, 11-08-00767-а, 12-06-00276-а, 12-07-00302-а), Программы фундаментальных исследований ОНИТ РАН (проект №2.11. 2.12), проекта ESTLATRUS 2.1/ELRI -184/2011/14 «Integrated Intelligent Platform for Monitoring the Cross-Border Natural-Technological Systems» (2012-2013 г.), проекта ESTLATRUS/1.2./ELRI-121/2011/13 «Baltic ICT Platform».

просы оценивания экономической и технико-технологической эффективности внедрения (модернизации) ИТ и ИР применительно к каждой конкретной бизнес-системе или государственной организации [1].

В настоящем докладе предлагается полимодельное описание процессов модернизации унаследованной информационной системы (УИС), которое можно использовать при решении широкого спектра задач многокритериального оценивания, анализа и выбора соответствующих программ модернизации. Под унаследованной информационной системой будем понимать ИС, для которой используется эволюционный путь развития: т.е. переход от их «старой» архитектуры к «новой» архитектуре осуществляется в течение определенных периодов времени и состоит в плановой замене отдельных подсистем и элементов функционирующей ИС в целях повышения производительности и снижения затрат на эксплуатацию. Данный этап жизненного цикла ИС называют этапом модернизации. Традиционно для принятия решения о проведении модернизации необходимо решить следующие задачи: создание облика модернизируемой ИС (поиск ответа на вопрос — что и когда надо модернизировать); определение срока (момента времени), к которому надо завершить модернизацию; создание технологии модернизации (поиск ответа на вопрос — в какой последовательности надо проводить модернизацию); разработка плана проведения модернизации.

Главное достоинство разрабатываемого подхода к формализации и решению перечисленных задач заключается в их интегративно-управленческо-стоимостной интерпретации, базирующейся на оригинальном сервис-ориентированном описании и соответствующих исследованиях. В рамках этих исследований на конструктивном уровне удастся одновременно зафиксировать в стоимостной форме объем услуг, оказываемых УИС бизнес-структурам на различных этапах их жизненного цикла, а каждую услугу (сервис) непосредственно связать с ИР, которые необходимы для ее реализации.

## 2. Содержательная постановка задачи

В основу построения полимодельного комплекса, предназначенного для описания процесса модернизации УИС, положим концепцию сервис-ориентированного подхода. Под сервисом ИТ будем понимать услугу, оказываемую УИС бизнес-процессу (БП) (бизнес-подразделению) с использованием соответствующих ИТ [1]. Сервис ИТ принято характеризовать следующими параметрами [1]:

- содержанием (функциональностью) – составом решаемых задач и набором средств для их решения;
- доступностью – периодом времени, в течение которого УИС поддерживает данный сервис;
- уровнем – периодом времени, в течение которого необходимо решать возникшую проблему;
- производительностью – объемом операций определенной категории в единицу времени;
- стоимостью сервиса для бизнес-подразделений.

В дальнейшем при построении конкретных моделей УИС постараемся учесть перечисленные параметры.

Основное достоинство сервис-ориентированного подхода состоит в том, что использование сервисов ИТ позволяет, с одной стороны, связать финансовые показатели, получаемые при реализации бизнес-продукта, с объемом услуг, предоставляемых данны-

ми сервисами, а с другой — на конструктивном уровне оценить потоки расходов, обусловленных разработкой, внедрением, сопровождением и эксплуатацией информационных ресурсов, являющихся материальной основой сервисов. Таким образом, определенный сервис (внешний и/или внутренний) оказывается своего рода „посредником“ между затратами ИР и объемом выпускаемой продукции (предоставленных услуг) на уровне конкретных БП. Это позволяет при финансовых расчетах отношение „многие ко многим“ (на уровне БП—ИР) заменить на два отношения „один ко многим“ (на уровнях БП—сервис (функция), сервис (функция)—ИР) [1].

### 3. Полимодальное описание процесса модернизации УИС

Для проведения конкретных расчетов и оценивания взаимовлияния перечисленных концептов построим модели программного управления сервисами и информационными ресурсами при модернизации УИС. При этом данные модели будут обобщать ранее разработанные авторами модели, представленные в работах [2—6].

Описание предлагаемого полимодельного комплекса начнем с введения базисных множеств, с использованием которых будут построены конкретные модели. К указанным множествам относятся:  $A^{(0,j)} = \{A_v^{(0,j)}; v=1, \dots, n_j\}$  — множество БП, выполняемых в узле (подсистеме)  $B_j$  УИС;  $B^{(v,j)} = \{B_r^{(v,j)}; r=1, \dots, \rho_v\}$  — множество ИР, модернизируемых в узле  $B_j$  и обеспечивающих реализацию БП  $A_v^{(0,j)}$ ;  $D^{(v)} = \{D_i^{(v)}; i=1, \dots, k_v\}$  — множество операций, входящих в БП  $A_v^{(0,j)}$  и выполняемых в узле  $B_j$  с использованием сервисов ИТ, предоставляемых УИС;  $S^{(v)} = \{S_l^{(v)}; l=1, \dots, d_j\}$  — множество сервисов УИС, обеспечивающих выполнение операций  $D_i^{(v)}$ , входящих в БП  $A_v^{(0,j)}$ ;  $F^{(v,l)} = \{F_\chi^{(v,l)}; \chi=1, \dots, S_l\}$  — множество функций (видов деятельности), обеспечивающих реализацию сервисов  $S^{(v)}$ ;  $D_l^{(v,j)} = \{D_{<l,\chi>}^{(v,j)}; l=1, \dots, d_j, \chi=1, \dots, S_l\}$  — множество операций, обеспечивающих реализацию функции  $F_\chi^{(v,l)}$  и связанных со сбором, обработкой, хранением, передачей и защитой соответствующей информации и данных;  $D_r^{(p,j)} = \{D_{<r,k>}^{(p,j)}; k=1, \dots, \lambda_j^{(r)}\}$  — множество операций, входящих в технологический цикл управления (ТЦУ) модернизацией ИР  $B_r^{(v,j)}$ .  $B = \{B_j; j=1, \dots, m\}$  — множество подсистем (узлов) УИС;

Используя введенные множества, построим конкретные модели модернизации УИС.

*Рассмотрим математическую модель программного управления сервисами ИТ, предоставляемыми УИС.*

Математическая модель управляемых процессов представляется выражениями.

$$(1) \quad \frac{dx_i^{(v,l)}}{dt} = \varepsilon_{il}(t) u_{il}^{(v)}(t);$$

$$(2) \quad \frac{dy_{il}^{(v)}}{dt} = \eta_{il}^{(v)}(t) \left[ 1 - \vartheta_{il}^{(v,1)} - u_{il}^{(v)} - \vartheta_{il}^{(v,2)} \right];$$

$$(3) \quad \frac{dx_{il}^{(v,1)}}{dt} = \vartheta_{il}^{(v,1)}, \quad \frac{dx_{il}^{(v,2)}}{dt} = \vartheta_{il}^{(v,2)}.$$

Ограничения, накладываемые на компоненты вектора состояний и управляющих воздействий, определяются следующим образом:

$$(4) \quad \sum_{i=1}^{k_j} u_{il}^{(v)}(t) \leq g_l^{(v)} \quad \forall l; \quad \sum_{l=1}^{d_j} u_{il}^{(v)}(t) \leq h_i^{(v)} \quad \forall i;$$

$$(5) \quad \sum_{l=1}^{d_j} u_{il}^{(v)} \left[ \sum_{\alpha \in \Gamma_{v1}} a_{\alpha}^{(v,l)} - x_{\alpha}^{(v,l)} + \prod_{\beta \in \Gamma_{v2}} a_{\beta}^{(v,l)} - x_{\beta}^{(v,l)} \right] = 0 \quad \forall v;$$

$$(6) \quad \vartheta_{il}^{(v,1)} x_{il}^{(v,l)} = 0; \quad \vartheta_{il}^{(v,2)} a_{il}^{(v,l)} - x_{il}^{(v,l)} = 0 \quad \forall i, \forall l;$$

$$(7) \quad u_{il}^{(v)}(t) \in \{0, 1\}, \quad \vartheta_{il}^{(v)}(t) \in \{0, 1\}.$$

Краевые условия описываются выражениями

$$(8) \quad t = t_0^{(j)} : x_i^{(v)}(t_0^{(j)}) = y_{il}^{(v)}(t_0^{(j)}) = x_{il}^{(v)}(t_0^{(j)}) = 0;$$

$$(9) \quad t = t_f^{(j)} : x_i^{(v)}(t_f^{(j)}) = a_i^{(v)}; \quad y_l^{(v)}(t_f^{(j)}); \quad x_i^{(v)}(t_f^{(j)}) \in \mathbb{R}^1,$$

Показатели качества управления — соотношениями

$$(10) \quad J_1^{(v)} = \sum_{i=1}^{k_v} \sum_{l=1}^{d_j} y_{il}^{(v)}(t_f^{(j)});$$

$$(11) \quad J_2 = \sum_{i=1}^{k_v} \sum_{l=1}^{d_j} \frac{1}{x_{il}^{(v,2)}(t_f^{(j)})} \int_{t_0^{(j)}}^{t_f^{(j)}} \vartheta_{il}^{(v,2)}(\tau) d\tau,$$

$$(12) \quad J_3 = \sum_{i=1}^{k_v} \sum_{l=1}^{d_j} \int_{t_0^{(j)}}^{t_f^{(j)}} [c_{il}^{(v,1)}(\tau) + c_{il}^{(v,2)}(\tau)] \cdot u_{il}^{(v)}(\tau) d\tau.$$

В соотношениях (1)—(12) переменные и константы интерпретируются следующим образом:  $x_i^{(v,l)}(t)$  — переменная, характеризующая состояние выполнения операции  $D_i^{(v)}$ ;  $a_i^{(v,l)}$  — заданный объем информации при выполнении операции  $D_i^{(v)}$  с использованием сервиса  $S_l^{(v)}$ ;  $\varepsilon_{il}(t)$  — заданная функция времени, принимающая значение 1, если сервис  $S_l^{(v)}$  в момент времени  $t$  доступен для реализации операции  $D_i^{(v)}$ , и значение 0 — в противоположном случае;  $u_{il}^{(v)}(t)$  — управляющее воздействие, принимающее значение 1, если на выполнение операции  $D_i^{(v)}$  в момент времени  $t$  выделен сервис  $S_l^{(v)}$ , в противоположном случае  $u_{il}^{(v)}(t)=0$ ;  $y_{il}^{(v)}$  — переменная, характеризующая текущие временные потери, связанные с прерыванием (невыполнением) операции  $D_i^{(v)}$  ввиду недоступности сервиса  $S_l^{(v)}$ ;  $\eta_{il}^{(v)}(t)$  — интенсивность материальных и временных потерь БП вследствие прерывания операции  $D_i^{(v)}$ , входящей в состав указанного процесса;  $\vartheta_{il}^{(v,1)}(t), \vartheta_{il}^{(v,2)}(t)$  — соответственно вспомогательные управляющие воздействия, принимающие значение 1, если операция  $D_i^{(v)}$  еще не начала выполняться либо операция  $D_i^{(v)}$  выполнена, в противоположном случае соответственно имеем  $\vartheta_{il}^{(v,1)}(t)=0, \vartheta_{il}^{(v,2)}(t)=0$ ;  $x_{il}^{(v,1)}(t)$  — переменная, характеризующая текущее состояние первой вспомогательной операции: ее значение численно равняется временному интервалу от момента начала планирования  $t_0^{(j)}$  до момента начала выполнения операции  $D_i^{(v)}$ ;  $x_{il}^{(v,2)}(t)$  — переменная, характеризующая текущее состояние второй вспомогательной операции: ее значение численно равняется временному интервалу от момента окончания операции  $D_i^{(v)}$  до момента окончания планирования  $t_f^{(j)}$ ;  $a_\alpha^{(v,l)}, a_\beta^{(v,l)}$  — заданные величины, характеризующие соответственно объемы выполнения операций  $D_\alpha^{(v)}, D_\beta^{(v)}$ , которые непосредственно предшествуют операции  $D_i^{(v)}$ ;  $g_l^{(v)}$  — заданная величина, определяющая количество операций  $D_i^{(v)}$ , которые одновременно могут обслуживаться сервисом  $S_l^{(v)}$ ;  $h_i^{(v)}$  — заданная величина, определяющая количество сервисов  $S_l^{(v)}$ , которые одновременно могут использоваться при выполнении операции  $D_i^{(v)}$ ;  $c_{il}^{(v,1)}(t), c_{il}^{(v,2)}(t)$  — известные функции времени, с помощью которых соответственно задаются текущие капитальные и эксплуатационные расходы, связанные с созданием и применением сервиса  $S_l^{(v)}$ , используемого при выполнении операции  $D_i^{(v)}$ .

Ограничения вида (4) определяют возможности по одновременному использованию сервиса  $S_l^{(v)}$  при выполнении  $g_l^{(v)}$  операций  $D_i^{(v)}$  и соответственно возможности па-

параллельного использования  $h_i^{(v)}$  сервисов  $S_l^{(v)}$  при выполнении операции  $D_i^{(v)}$ . Ограничения вида (5) определяют очередность выполнения операций  $D_i^{(v)}$ , входящих в состав БП, обслуживаемого рассматриваемой УИС, при этом  $\Gamma_{v1}$ ,  $\Gamma_{v2}$  — множества номеров операций  $D_\alpha^{(v)}$  и  $D_\beta^{(v)}$ , непосредственно предшествующих операциям  $D_i^{(v)}$  и связанных с ней соответственно логическими операциями И и ИЛИ; ограничения (6) определяют условия начала выполнения вспомогательных операций, процесс выполнения которых описывается соотношениями (6). Ограничения (7) задают область изменения возможных значений управляющих воздействий  $u_{ii}^{(v)}(t)$ ,  $\vartheta_{ii}^{(v)}(t)$ . Соотношения (8), (9) задают ограничения на значения переменных  $x_i^{(v)}(t)$ ,  $y_{ii}^{(v)}(t)$ ,  $x_{ii}^{(v)}(t)$  в моменты времени  $t_0^{(j)}$  и  $t_f^{(j)}$ , определяющие моменты начала и окончания временного интервала, на котором осуществляется модернизация УИС.

На рис. 1 проиллюстрирована динамика взаимодействия основных и вспомогательных операций и управляющих воздействий в соответствии с соотношениями (1)—(7).

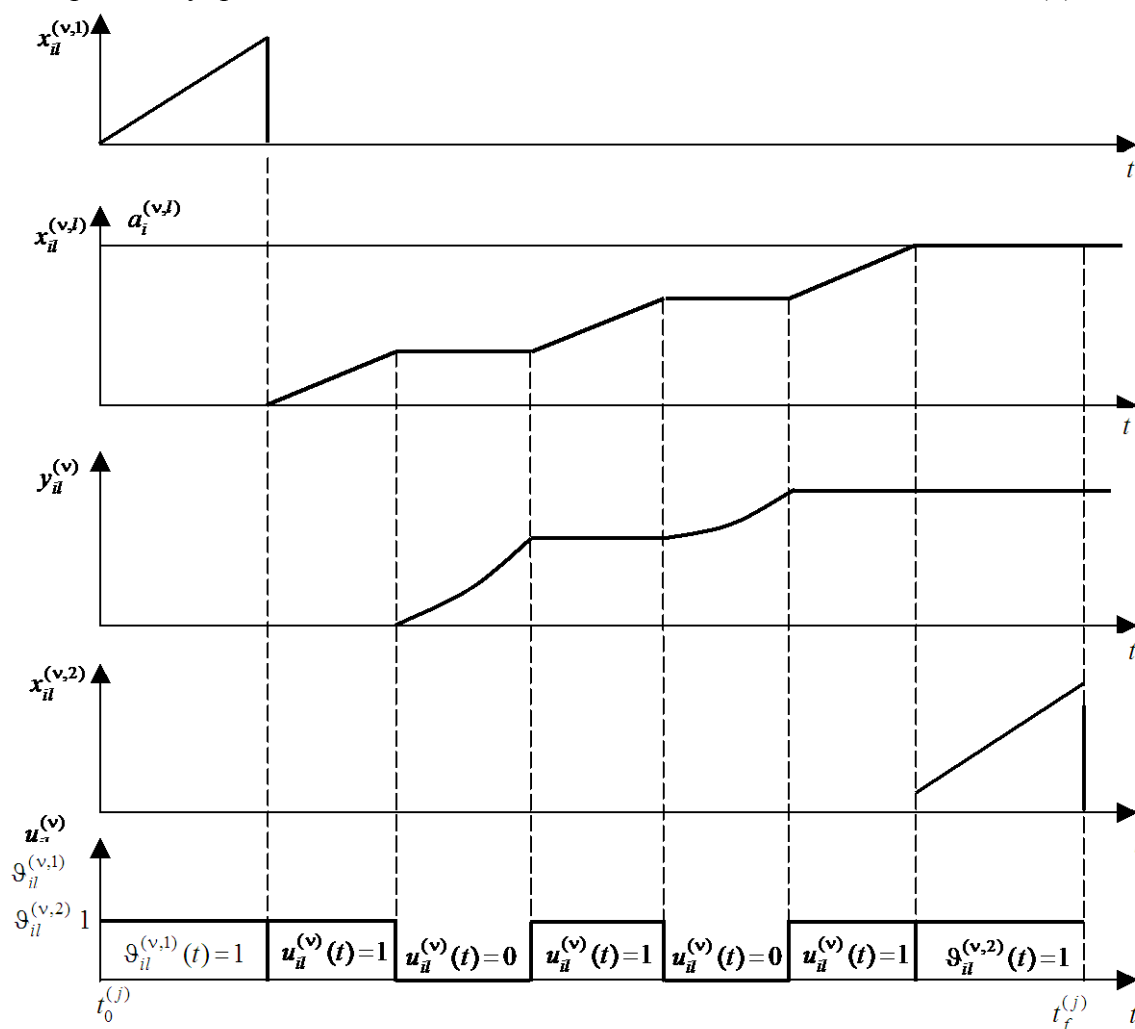


Рисунок 1.

Показатель качества процесса программного управления (планирования) модернизацией вида (10) позволяет оценить суммарные потери от простаивания сервисов  $S_l^{(v)}$ , выделяемых на выполнение операций  $D_i^{(v)}$ . Интегральный показатель качества управления вида (11) позволяет оценить в момент времени  $t=t_f^{(j)}$  общее число выполненных операций  $D_i^{(v)}$ , входящих в состав БП. С помощью критериальной функции вида (12) можно провести оценивание суммарных капитальных и эксплуатационных затрат, связанных с созданием, внедрением, сопровождением и эксплуатацией сервисов  $S_l^{(v)}$ , выделяемых модернизируемой УИС для выполнения операций  $D_i^{(v)}$ .

Перейдем к рассмотрению второй модели, входящей в состав предлагаемого поли-модельного комплекса.

*Динамическая модель программного управления функционированием элементов и подсистем УИС, располагаемых в ее узле  $B_j$ .*

Математическая модель управляемых процессов представляется выражениями

$$(13) \quad \frac{dx_{\chi}^{(v,l)}}{dt} = \sum_{r=1}^{\rho_v} u_{\chi r}^{(v,l)}; \quad \frac{dx_r^{(v,l)}}{dt} = \sum_{\chi=1}^{S_l} w_{\chi r}^{(v,l)}; \quad \frac{dx_{rS_l}^{(v,l)}}{dt} = \omega_{rS_l}^{(v,l)}.$$

Ограничения на управляющие воздействия определяются следующим образом:

$$(14) \quad 0 \leq u_{\chi r}^{(v,l)} \leq \left[ e_{\chi r}^{(j)} (1 - \vartheta_r^{(p,2)}(t)) + \bar{e}_{\chi r}^{(j)} \vartheta_r^{(p,2)}(t) \right] w_{\chi r}^{(v,l)};$$

$$(15) \quad \sum_{v=1}^{n_j} \sum_{\chi=1}^{S_v} V_{\chi}^{(v)} w_{\chi r}^{(v,l)} \leq [V_r^{(j)} (1 - \vartheta_r^{(p,2)}(t)) + \bar{V}_r^{(j)} \vartheta_r^{(p,2)}(t)] \xi_r^{(j,1)};$$

$$(16) \quad \sum_{v=1}^{n_j} \sum_{\chi=1}^{S_v} u_{\chi r}^{(v,l)}(t) \leq \left[ \Phi_r^{(j)} (1 - \vartheta_r^{(p,2)}(t)) + \bar{\Phi}_r^{(j)} \vartheta_r^{(p,2)}(t) \right] \xi_r^{(j,2)};$$

$$(17) \quad \sum_{r=1}^{\rho_v} w_{\chi r}^{(v,l)} \left[ \sum_{\xi \in \Gamma_{v3}} (a_{\xi}^{(v,l)} - x_{\xi}^{(v,l)}) + \prod_{\mu \in \Gamma_{v4}} (a_{\mu}^{(v,l)} - x_{\mu}^{(v,l)}) \right] = 0;$$

$$(18) \quad \sum_{r=1}^{\rho_v} w_{\chi r}^{(v,l)}(t) \leq \psi_{\chi} \quad \forall \chi; \quad \sum_{\chi=1}^{S_l} w_{\chi r}^{(v,l)}(t) \leq \varphi_r \quad \forall r;$$

$$(19) \quad \omega_{rS_l}^{(v,l)}(a_{S_l}^{(v,l)} - x_{S_l}^{(v,l)}) = 0;$$

$$(20) \quad w_{\chi r}^{(v,l)} \in \{0, u_{il}^{(v)}\}; \mathfrak{G}_r^{(p,2)}(t), \omega_{rS_l}^{(v,l)} \in \{0, 1\}; \xi_r^{(j,1)}(t); \xi_r^{(j,2)}(t) \in [0, 1].$$

Краевые условия описываются выражениями

$$(21) \quad t = t_0^{(j)} : x_{\chi}^{(v,l)}(t_0^{(j)}) = x_r^{(v,l)}(t_0^{(j)}) = x_{rS_l}^{(v,l)}(t_0^{(j)}) = 0;$$

$$(22) \quad t = t_f^{(j)} : x_{\chi}^{(v,l)}(t_f^{(j)}) = a_{\chi}^{(v,l)}; x_r^{(v,l)}(t_f^{(j)}); x_{rS_l}^{(v,l)}(t_f^{(j)}) \in \mathbb{R}^1,$$

а показатели качества управления — соотношениями

$$(23) \quad J_4 = \sum_{r=1}^{\rho_v-1} \sum_{\eta_1=r+1}^{\rho_v} \int_{t_0^{(j)}}^{t_f^{(j)}} (x_r^{(v,l)}(\tau) - x_{\eta_1}^{(v,l)}(\tau)) d\tau;$$

$$(24) \quad J_5 = \sum_{r=1}^{\rho_v} \sum_{\chi=1}^{S_l} \int_{t_0^{(j)}}^{t_f^{(j)}} \delta_{\chi r}^{(v,l)}(\tau) \cdot w_{\chi r}^{(v,l)}(\tau) d\tau;$$

$$(25) \quad J_6 = \frac{1}{2} \sum_{\chi=1}^{S_l} (a_{\chi}^{(v,l)} - a_{\chi}^{(v,l)}(t_f^{(j)}))^2,$$

$$(26) \quad J_7 = \sum_{\chi=1}^{S_l} \sum_{r=1}^{\rho_v} \int_{t_0^{(j)}}^{t_f^{(j)}} [c_{\chi r}^{(l,1)}(\tau) + c_{\chi r}^{(l,2)}(\tau)] w_{\chi r}^{(v,l)}(\tau) d\tau.$$

В соотношениях (13)—(26) переменные, с учетом обозначений, принятых в работе [4], интерпретируются следующим образом:  $x_{\chi}^{(v,l)}$  — переменная, характеризующая состояние выполнения операции  $D_{\langle l, \chi \rangle}^{(v,j)}$  [т.е. текущий объем обработанной (либо переданной, либо анализируемой, хранимой, отображаемой и т.п.) информации (либо данных)];  $a_{\chi}^{(v,l)}$  — заданный объем информации (данных), который необходимо обработать в ходе реализации функции  $F_{\chi}^{(v,l)}$  (внутреннего сервиса) УИС;  $x_r^{(v,l)}$  — переменная, текущее значение которой численно равно общей продолжительности использования ИР  $B_r^{(v,j)}$ , входящего в состав узла  $B_j$  УИС;  $u_{\chi r}^{(v,l)}(t)$  — интенсивность обработки на ИР  $B_r^{(v,j)}$  информации, необходимой для выполнения операции  $D_{\langle l, \chi \rangle}^{(v,j)}$ , обеспечивающей реализацию функции (внутреннего сервиса)  $F_{\chi}^{(v,l)}$ ;  $w_{\chi r}^{(v,l)}$  — управляющее воздействие, принимающее значение 1, если ИР  $B_r^{(v,j)}$  выделяется для выполнения операции  $D_{\langle l, \chi \rangle}^{(v,j)}$ , в противном случае  $w_{\chi r}^{(v,l)}(t) = 0$ ;  $e_{\chi r}^{(j)}$ ,  $V_r^{(j)}$ ,  $\Phi_r^{(j)}$  — заданные величины, характеризующие



соответственно максимально возможную интенсивность выполнения операции  $D_{\langle l, \chi \rangle}^{(v, j)}$  на ресурсе  $B_r^{(v, j)}$ , максимально возможный объем доступной оперативной памяти и производительность УИС в узле  $B_j$  до его модернизации;  $\bar{e}_r^{(j)}$ ,  $\bar{V}_r^{(j)}$ ,  $\bar{\Phi}_r^{(j)}$  — величины, имеющие аналогичную интерпретацию, но соответствующие ситуациям, когда модернизация (либо восстановление работоспособности) проведена;  $x_{rS_l}^{(v, l)}(t)$  — вспомогательная переменная, значение которой численно равняется временному интервалу от момента окончания операции  $D_{\langle l, S_l \rangle}^{(v, j)}$  до текущего момента времени  $t$ ;  $\omega_{rS_l}^{(v, l)}(t)$  — вспомогательное управляющее воздействие, принимающее значение 1, если операция  $D_{\langle l, S_l \rangle}^{(v, j)}$  завершена или, другими словами, полностью выполнена технология обработки информации для реализации функции  $F_\chi^{(v, l)}$ , в противном случае  $\omega_{rS_l}^{(v, l)}(t) = 0$ ;  $\vartheta_r^{(p, 2)}(t)$  — вспомогательное управляющее воздействие, принимающее значение 1 в момент времени  $t$ , если осуществлен переход от „прежних“ параметров ИР ( $e_{\chi r}^{(j)}$ ,  $V_r^{(j)}$ ,  $\Phi_r^{(j)}$ ) к „новым“ параметрам ИР ( $\bar{e}_r^{(j)}$ ,  $\bar{V}_r^{(j)}$ ,  $\bar{\Phi}_r^{(j)}$ ) в узле  $B_j$ ;  $V_\chi^{(v)}$  — объем оперативной памяти, которая выделяется для выполнения операции  $D_{\langle l, \chi \rangle}^{(v, j)}$ ;  $\delta_{\chi r}^{(v, l)}(\tau)$  — заданная функция, определяющая качество выполнения соответствующей операции;  $c_{\chi r}^{(l, 1)}(\tau)$ ,  $c_{\chi r}^{(l, 2)}(\tau)$  — известные функции времени, с помощью которых соответственно задаются текущие капитальные и эксплуатационные расходы, связанные с созданием и использованием ИР  $B_r^{(v, j)}$ , необходимого при выполнении операций  $D_{\langle l, \chi \rangle}^{(v, j)}$  для реализации функции  $F_\chi^{(v, l)}$  (внутреннего сервиса) рассматриваемой УИС.

С помощью функций  $0 \leq \xi_r^{(j, 1)}(t) \leq 1$  и  $0 \leq \xi_r^{(j, 2)}(t) \leq 1$  в предлагаемых моделях можно задать интервальные возмущающие воздействия на параметры существующих и модернизируемых ИР вида  $B_r^{(v, j)}$ . Ограничения (14)—(16) определяют возможности по обработке

информации на ресурсе  $B_r^{(v, j)}$  до и после модернизации. Ограничения (17) определяют очередность выполнения операций, связанных с обработкой информации. Их интерпретация подобна интерпретации ограничений вида (5), но применительно к рассматриваемому типу операций. Ограничения вида (18), так же как и ограничения вида (4) определяют возможность одновременного использования нескольких ресурсов для выполнения некоторой фиксированной функции и, напротив, использования одного ресурса для одновременного выполнения нескольких функций (предполагается, что  $\psi_\chi$  и  $\phi_r$  — известные числа); с помощью соотношений (21) и (22) задаются значения переменных  $x_\chi^{(v, l)}(t)$ ,  $x_r^{(v, l)}(t)$ ,  $x_{rS_l}^{(v, l)}(t)$  в начальный и конечный моменты времени. Показатель качества вида (23) предназначен для оценивания степени равномерности использования ИР  $B_r^{(v, j)}$  и  $B_{r_1}^{(v, j)}$ ,  $r, r_1 \in \{1, \dots, \rho_v\}$ . Критериальная функция вида (24) позволяет оценить

суммарное качество выполнения всех операций  $D_{<l,\chi>}^{(v,j)}$ . Показатели вида (25) вводятся в том случае, если необходимо оценить точность выполнения краевых условий (22) либо минимизировать потери, вызванные невыполнением соответствующих операций. С помощью критериальной функции вида (26) можно оценить суммарные капитальные и эксплуатационные затраты, связанные с созданием, внедрением, сопровождением и эксплуатацией ИР  $B_r^{(v,j)}$ .

Говоря об алгоритмическом обеспечении решения рассматриваемой задачи комплексного планирования модернизации и функционирования КИС, необходимо отметить, что оно базируется на основных результатах разрабатываемой авторами доклада прикладной теории управления структурной динамикой (УСД) сложных организационно-технических систем (СОТС). В ходе проведенных исследований были предложены следующие основные фазы и этапы решения задачи выбора оптимальных программ управления структурной динамикой КИС.

В соответствии с разработанной обобщенной процедурой решения данной задачи *на первой фазе* должно осуществляться формирование (генерирование) допустимых вариантов многоструктурных макросостояний КИС или, говоря другими словами, должен проводиться структурно-функциональный синтез нового облика модернизируемой ИС, соответствующего складывающейся (прогнозируемой) обстановке. В указанной ситуации задачи, решаемые *на первой фазе*, сводятся к задачам структурно-функционального синтеза КИС.

Обобщенный алгоритм структурно-функционального синтеза облика КИС должен включать в себя следующие основные этапы (шаги) [6].

*Шаг 1.* Формирование, анализ и интерпретация исходных данных, используемых при генерировании (синтезе) многоструктурных макросостояний КИС, построение или коррекция описания моделей, используемых при структурно-функциональном синтезе облика КИС.

*Шаг 2.* Планирование процесса решения задачи генерирования (синтеза) многоструктурных макросостояний КИС. Определение затрат времени и других ресурсов, необходимых для решения рассматриваемой задачи.

*Шаг 3.* Построение и аппроксимация множества достижимости (МД) динамической системы, с помощью которого неявно задаются варианты облика КИС (варианты многоструктурных макросостояний КИС).

*Шаг 4.* Ортогональное проектирование на МД множества, с помощью которого задаются требования, предъявляемые к новому облику КИС.

*Шаг 5.* Формирование и интерпретация выходных результатов, представление их в удобном для последующего использования виде (например, для разработки адаптивных планов развития КИС и соответствующих регулирующих воздействий, обеспечивающих реализацию данных планов с требуемой степенью устойчивости).

*На второй фазе* проводится выбор конкретного варианта многоструктурного макросостояния КИС с одновременным синтезом (построением) адаптивных планов (программ) управления переходом КИС из текущего в требуемое (выбранное) макросостояние. При этом рассматриваемые планы должны обеспечивать такое эволюционное развитие КИС, при котором наряду с реализацией программ перехода из соответствующих макросостояний предусматривается одновременно и реализация программ устойчивого управления КИС в промежуточных макросостояниях.

На второй фазе исследования задачи выбора оптимальных программ УСД КИС приходится решать целую совокупность частных задач многоуровневой и многоэтапной оптимизации. Обобщенный алгоритм решения данных задач должен включать следующие этапы (шаги) [5–8, 17, 18].

*Шаг 1.* В интерактивном режиме осуществляется автоматизированная подготовка, контроль, анализ и ввод всей исходной информации, необходимой для решения задачи управления структурной динамикой КИС. При этом одновременно проводится адаптация параметров и структур ранее построенных моделей, алгоритмов и соответствующих вычислительных модулей специального программно-математического и информационного обеспечения (СПМО и ИО) имитационной системы к прошлому и текущему состоянию внешней среды, объектов управления и управляющих подсистем, входящих в состав функционирующей и синтезируемой КИС. При отсутствии требуемых исходных данных происходит либо их генерация с использованием соответствующих имитационных моделей, входящих в состав ИмС, либо на основе экспертного опроса.

*Шаг 2.* Планирование проведения комплексного моделирования процессов адаптивного управления функционированием и развитием КИС в текущей и прогнозируемой обстановке, планирование проведения вычислительных экспериментов в ИмС, определение состава и структуры моделей, методов и алгоритмов решения частных задач моделирования, расчет времени, необходимого для решения указанных задач.

*Шаг 3.* Генерирование, на основе проведения комплексного моделирования, допустимых вариантов функционирования КИС в исходном, промежуточных и требуемых многоструктурных макросостояниях, вывод результатов моделирования ЛПР, предварительный интерактивный структурно-функциональный анализ указанных результатов моделирования; формирование классов эквивалентных многоструктурных макросостояний КИС.

*Шаг 4.* Автоматизированный ввод допустимых вариантов функционирования КИС, проверка корректности заданной системы ограничений, окончательный выбор необходимого уровня агрегирования при описании моделей УСД КИС, вычислительной схемы и плана вычислительных экспериментов по поиску оптимальных программ УСД КИС.

*Шаг 5.* Поиск оптимальных программ управления структурной динамикой КИС, при которых обеспечивался переход из заданного в синтезируемое многоструктурное макросостояние КИС, устойчивое управление функционированием КИС в промежуточных многоструктурных макросостояниях.

*Шаг 6.* Имитация условий реализации оптимального плана управления переходом КИС из текущего в требуемое (выбранное) макросостояние при наличии возмущающих воздействий и с учетом различных вариантов их компенсации на основе методов и алгоритмов оперативного управления.

*Шаг 7.* Структурная и параметрическая адаптация плана, СПМО и информационного обеспечения ИмС к возможным (прогнозируемым на имитационных моделях) состояниям объекта управления (ОУ), управляющей подсистемы (УП), внешней среды. В ходе указанной адаптации, кроме того, вводится необходимый уровень структурной избыточности КИС, обеспечивающий на этапе реализации плана компенсацию не предусмотренных в плане возмущающих воздействий.

После проведения требуемого числа вычислительных экспериментов осуществляется оценивание устойчивости сформированного адаптивного плана УСД КИС.

*Шаг 8.* Вывод полученных результатов комплексного адаптивного планирования применения КИС, их интерпретация и коррекция ЛПР.

Одно из главных достоинств предлагаемого метода поиска оптимальных программ УСД КИС состоит в том, что в ходе формирования вектора программных управлений в финальный момент времени мы, наряду с оптимальным планом, одновременно получаем и то искомое многоструктурное макросостояние, находясь в котором КИС сможет выполнять поставленные перед ней задачи в складывающейся (прогнозируемой) обстановке с требуемой степенью устойчивости.

#### 4. Обсуждение полученных результатов

Разработанный полимодельный комплекс (см. формулы (1)—(26)), включающий в себя динамические модели программного управления сервисами ИТ, предоставляемыми УИС, и модели программного управления функционированием элементов и подсистем УИС, располагаемых в ее узле  $B_j$ , должен быть дополнен еще целым рядом моделей [2—4, 6]: динамическими моделями управления собственно процессами модернизации УИС, моделями параметрической и структурной адаптации всех перечисленных моделей, отдельные параметры которых представлены в соотношениях (1)—(26). Так, например, с помощью управляющих воздействий  $\mathfrak{G}_r^{(p,2)}(t)$  (см. соотношения (14)—(16)) задаются возможные программы управления модернизацией УИС, а возмущающие воздействия вида  $\xi_r^{(j,1)}(t)$ ,  $\xi_r^{(j,2)}(t)$  используются при оценивании робастности сформированных программ функционирования и модернизации, что более подробно описано в работах [6, 7].

Кратко остановимся на том, как построенные динамические модели взаимодействуют друг с другом. Указанные механизмы (алгоритмы, процедуры, методики) позволяют говорить о существовании соответствующего полимодельного комплекса. Ранее отмечалось, что взаимодействие моделей управления функционированием элементов и подсистем УИС осуществляется в рамках смешанных ограничений вида (6). В свою очередь, модель программного управления сервисами ИТ влияет на модель (13)—(26) посредством ограничений вида (14) и (20).

На основе соотношений (1)—(26) с дополнительным использованием моделей, представленных в работах [4, 6], можно корректно с формальной точки зрения сформулировать и решить ряд интересных и актуальных научно-практических задач анализа и синтеза программ создания и развития УИС в различных условиях изменения внешней обстановки. Основное достоинство предлагаемого полимодельного многокритериального описания рассматриваемой предметной области состоит в том, что разработка конкретных методов, алгоритмов и методик создания и применения унаследованных информационных систем базируется на использовании фундаментальных и прикладных результатов, полученных к настоящему времени в современной теории управления, в исследовании операций теории принятия решений и теории систем [6].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Скрипкин К.Г.* Экономическая эффективность информационных систем. М.: ДМК Пресс, 2002. 256 с.
2. *Соколов Б. В., Охтилев М. Ю., Петрова И. А., Иконникова А. В.* Модели и алгоритмы комплексного планирования процессов модернизации и функционирования катастрофоустойчивых информационных систем // Тр. IV Междунар. конф. «Параллельные вычисления и задачи управления» (РАСО'2008), Москва, 27—29 окт. 2008 г. М.: ИПУ РАН, 2008; [Электронный ресурс]: <[www.pasco.sicpro.org](http://www.pasco.sicpro.org)>.
3. *Зайчик Е. М., Охтилев М. Ю., Тарасов О. М., Соколов Б. В.* Комбинированные модели и алгоритмы многокритериального выбора структуры технической системы // Изв. вузов. Приборостроение. 2008. Т. 51, № 5. С. 10—15.
4. *Иконникова А. В., Петрова И. А., Потрясаев С. А., Соколов Б. В.* Динамическая модель комплексного планирования модернизации и функционирования информационной системы // Там же. 2008. Т. 51, № 11. С. 62—69.
5. *Соколов Б. В., Потрясаев С. А., Иконникова А. В., Иванов Д. А.* Модель и алгоритм оперативного перераспределения функций управления между узлами катастрофоустойчивой информационной системы // Тр. Междунар. науч. школы «Моделирование и анализ безопасности и риска в сложных системах (МА БР—2007)», Санкт-Петербург, 4—8 сент. 2007 г. СПб: СПб ГУАП, 2007. С. 440—445.
6. *Охтилев М. Ю., Соколов Б. В., Юсупов Р. М.* Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных технических объектов. М.: Наука, 2006. 410 с.
7. *Ivanov D., Sokolov B.* Adaptive Supply Chain Management. London — Dordrech — Heidelberg — New York: Springer, 2009. 269 p.