

На правах рукописи



ШАЛАЕВ Александр Александрович

**МОДЕЛЬ И АЛГОРИТМЫ САМОМОДИФИКАЦИИ
АДАПТИВНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ**

**Специальность 05.13.17 – Теоретические основы
информатики**

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Пенза 2016

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Пензенский государственный университет» на кафедре «Информационно-вычислительные системы».

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент
Дрождин Владимир Викторович

Официальные оппоненты: **Роженцов Алексей Аркадьевич**, доктор технических наук, ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», заведующий кафедрой «Радиотехнические и медико-биологические системы»;

Иванов Александр Иванович, доктор технических наук, ОАО «Пензенский научно-исследовательский электротехнический институт», начальник лаборатории биометрических и нейросетевых технологий

Ведущая организация – АО «Научно-производственное предприятие «Рубин» (г. Пенза)

Защита диссертации состоится 13 октября 2016 г., в 15 часов, на заседании диссертационного совета Д 212.186.01 при Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Пензенский государственный университет» по адресу: 440026, г. Пенза, ул. Красная, 40.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Пензенский государственный университет» и на сайте университета: http://dissov.pnzgu.ru/ecspertiza/Tehnicheskie_nauki/shalaev

Автореферат разослан _____ 2016 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор технических наук, профессор



Гурин Евгений Иванович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Необходимым условием высокой точности, своевременности и эффективности обработки больших объемов информации и решения сложных задач является соответствие структуры и организации информационных систем (ИС) изменяющимся предметным областям, что требует высокой гибкости и адаптивности системы. Под адаптивностью понимается способность системы приспосабливаться к изменениям внешней среды и внутренней организации системы на основе структурной адаптации (изменения состава компонентов системы и связей между ними). Поэтому адаптивной информационной системой (АдИС) будет являться ИС, самостоятельно реализующая структурную (сопровождаемую изменением алгоритма) адаптацию непосредственно в процессе функционирования, т.е. в режиме реального времени, под которым понимается выдача ответа на каждый запрос последовательности запросов пользователей за допустимое время.

Решению проблем адаптивного поиска и представления информации, адаптивной поддержки пользовательского интерфейса посвящены работы А. И. Башмакова, П. де Бра, А. Н. Григорьева, Д. В. Ландэ, Н. В. Лукашевича, К. Маннинга, П. Рагхаван, Х. Шютце, А. В. Соловова, Л. А. Растригина и др. Однако создаваемые на основе результатов этих ученых ИС не обладают достаточной гибкостью вследствие того, что в проектировании, разработке программного кода и изменении систем непосредственное участие принимают разработчики-программисты, а использование различных инструментальных средств (в том числе CASE-систем, фреймворков и других) повышает скорость и эффективность разработки ИС, но не обеспечивает требуемой своевременности их модификации в процессе функционирования. Решению данной задачи с требуемым качеством может способствовать только придание ИС внутренней активности, проявляемой в самомодификации системы в процессе функционирования.

Вопросам формирования и трансформационного изменения программных систем (с использованием схем программ, недоопределенных задач, понятий предметной области и другого) посвящены исследования Дж. фон Неймана, А. П. Ершова, Ю. И. Янова, Р. И. Подловченко, А. С. Нариньяни, Э. Х. Тыугу, М. Б. Кузнецова, К. Чернецки, У. Айзенекера, Д. А. Поспелова, М. Лемана и др. Результаты работы этих ученых позволяют частично решить перечисленные задачи с помощью CASE-систем, осуществляющих генерацию программного кода из метамоделей; систем, преобразующих программы на предметно-ориентированных языках в программы на других языках; систем, порождающих машинный код из программ на декларативных языках, и других.

Однако задача структурной адаптации информационных систем в реальном времени, обеспечивающая эффективное решение задач в различных

условиях путем формирования и модификации исполняемых программных модулей с учетом накопленных системой эмпирических знаний, пока не имеет целостного решения. В связи с этим поставленная в диссертационной работе задача разработки и реализации способа самомодификации отдельных компонентов и АДИС в целом, позволяющего сохранять постоянную готовность системы к реализации запросов пользователей, является актуальной.

Объектом исследования являются методы и алгоритмы структурной адаптации информационных систем, включающие изменение алгоритмов их функционирования.

Предметом исследования является информационная технология формирования и модификации алгоритмов решения задач информационной системой в реальном времени с использованием известных ей методов решения задач.

Цель работы – создание модели и алгоритмов самомодификации адаптивной информационной системы в реальном времени, обеспечивающих в течение длительного времени возможность поддержки высокой адекватности состояниям внешней среды и допустимую эффективность функционирования.

Задачи исследования. Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи:

1. Определение эффективных подходов к самомодификации адаптивной информационной системы на основе анализа известных методов адаптации информационных систем к изменениям решаемых задач, запросов пользователей и внутренней организации системы.

2. Построение модели самомодификации адаптивной информационной системы в реальном времени.

3. Разработка способа самомодификации адаптивной информационной системы на основе решения недоопределенных задач с использованием контекста.

4. Построение модели эквивалентных преобразований алгоритмов, являющейся основой повышения эффективности решения задач в различных условиях.

5. Разработка алгоритмов функционирования подсистемы самомодификации и самодостраивания адаптивной информационной системы в реальном времени.

6. Построение схемы высокоуровневого вычислительного процесса, обеспечивающего использование механизма самомодификации в адаптивной информационной системе.

Методы исследования. В процессе исследования использовались положения теории систем, дискретной математики, алгебраических систем, математической логики, теории алгоритмов и теоретических основ информатики.

Научная новизна:

1. Разработана модель самомодификации адаптивной информационной системы в реальном времени, отличающаяся использованием системы взаимодействующих информационных процессов на основе семантического и конструктивного описаний алгоритмов и допускающая автоматическое формирование и модификацию исполняемых программных модулей. Это позволяет адаптивной информационной системе приобретать свойства активных систем и осуществлять эффективное функционирование в условиях изменяющихся предметных областей.

2. Предложен способ самомодификации системы на основе решения недоопределенных задач, отличающийся семантическим согласованием подзадач и методов их решения и устанавливающий правила доопределения задач из контекста. Это позволяет по одному семантическому описанию формировать алгоритмы решения задач, адекватные различным условиям.

3. Создана модель эквивалентных преобразований алгоритмов функционирования системы для изоморфного (взаимозаменяемого) и гомоморфного (односторонне направленного) вариантов замены алгоритмов, отличающаяся использованием общих и специализированных (сочетающих решение задачи в разных условиях) способов решения задач и позволяющая адаптивной информационной системе в процессе функционирования самостоятельно формировать корректные и эффективные алгоритмы решения задач в требуемом контексте.

4. Разработаны алгоритмы функционирования подсистемы самомодификации и самодостраивания адаптивной информационной системы в реальном времени, осуществляющие реализацию новой (выполняемой системой самостоятельно) технологии формирования и модификации компонентов системы. Эта технология позволяет адаптивной информационной системе в процессе функционирования проводить структурную адаптацию.

5. Построена схема высокоуровневого вычислительного процесса, отличающаяся наличием механизма самомодификации в адаптивной информационной системе и определяющая согласованное взаимодействие параллельно исполняющихся процессов: основного, рабочего, самомодификации и совершенствования.

Теоретическая ценность. Предложенные модели и алгоритмы самомодификации информационных систем могут быть положены в основу механизма самоорганизации, являющегося более мощным механизмом адаптации систем по сравнению с используемыми в настоящее время.

Практическая значимость. Разработанная структура высокоуровневого вычислительного процесса и алгоритмы самомодификации системы, реализующие решение информационных задач пользователей и самомодификацию (самодостраивание) системы, позволяют более длительное время эксплуатировать адаптивные информационные системы без модификации

приложений человеком, что снижает время и затраты на их создание и сопровождение.

Соответствие паспорту специальности. Диссертационные исследования соответствуют требованиям специальности 05.13.17 – Теоретические основы информатики по следующим направлениям: п. 2. «Исследование информационных структур, разработка и анализ моделей информационных процессов и структур», п. 12. «Разработка математических, логических, семиотических и лингвистических моделей и методов взаимодействия информационных процессов, в том числе на базе специализированных вычислительных систем», п. 14. «Разработка теоретических основ создания программных систем для новых информационных технологий».

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Модель самомодификации адаптивной информационной системы в реальном времени, определяющая логику функционирования системы при изменении условий (контекста) решаемых задач.

2. Способ самомодификации адаптивной информационной системы на основе решения недоопределенных задач, устанавливающий правила их доопределения из контекста.

3. Модель эквивалентных преобразований алгоритмов, обеспечивающая изоморфную и гомоморфную модификацию алгоритмов путем замены исходного алгоритма на алгоритм, решающий эквивалентную или более общую задачу, замены исходного алгоритма на совокупность алгоритмов, решающих эквивалентную или частные задачи, и замены исходного алгоритма на алгоритм, решающий частную задачу для активного подмножества входных значений.

4. Алгоритмы функционирования подсистемы самомодификации и самодостраивания, обеспечивающие адаптацию информационной системы в реальном времени.

5. Схема высокоуровневого вычислительного процесса, позволяющая включить механизм самомодификации в адаптивную информационную систему и определяющая ее корректное функционирование путем согласованного взаимодействия параллельно исполняющихся процессов: основного, рабочего, самомодификации и совершенствования.

Внедрение результатов работы. Основные результаты, изложенные в диссертационной работе, использованы:

– в разработке ООО «Смартвэй» системы поиска и бронирования авиабилетов;

– в разработке ООО «Открытые решения» системы динамического позиционирования транспортных средств и транспортирования грузов по производственной территории завода;

– в разработке АНО «Мастер Консалтинг» программного обеспечения обработки данных;

– в научно-исследовательской работе «Моделирование электрической активности сердца», реализуемой в ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет» в рамках государственного задания Минобрнауки России в 2014–2016 гг.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались:

– на Міжнародної науково-практичної конференції «ІІІ літні наукові читання» (м. Київ, 2015);

– на XII Международной научно-технической конференции «Новые информационные технологии и системы» (г. Пенза, 2015);

– на XIV, XV Международных научно-технических конференциях «Проблемы информатики в образовании, управлении, экономике и технике» (г. Пенза, 2014, 2015);

– на VI Международной научно-практической конференции «Эффективность государственной службы, государственного и муниципального управления, функционирования органов власти и хозяйствующих субъектов» (г. Тула, 2013).

Публикации. Основные результаты диссертации опубликованы в 9 печатных работах автора, 3 из которых в журналах, рекомендованных ВАК России.

В работах, опубликованных в соавторстве, автором определены основные проблемы [4] и предложена модель самомодификации информационных систем, включающая преобразования функциональных объектов [6, 7], разработаны способ самомодификации информационной системы на основе решения недоопределенных задач [2], шаблоны семантического описания процесса решения задач [5], структура и алгоритмы функционирования подсистемы самомодификации адаптивной информационной системы [1, 9].

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы из 133 наименований. Работа содержит 150 страниц основного текста, 33 рисунка, 1 таблицу, 3 приложения.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации; сформулирована цель и определены задачи исследования; показаны научная новизна и практическая ценность полученных результатов; приведены положения, выносимые на защиту, а также сведения об апробации и внедрении результатов.

Первая глава посвящена анализу особенностей функционирования и обзору используемых способов адаптации информационных систем (ИС) в изменяющихся предметных областях.

Изменения, происходящие в предметной области, часто требуют структурных изменений ИС на уровнях организации данных и модели

предметной области, а также изменения способов решения задач (реализации запросов пользователей). Однако в настоящее время отсутствуют механизмы комплексной структурной адаптации ИС на основе изменения алгоритмов ее функционирования. Поэтому для создания АдИС, обладающих широкими возможностями приспособления к изменяющимся предметным областям с сохранением корректности функционирования и обеспечением высокой эффективности обработки данных в течение длительного времени, требуется разработка некоторого универсального способа адаптации ИС, основанного на порождении новых компонентов и изменении алгоритма функционирования системы.

Во второй главе описана разработка модели самомодификации АдИС и модели эквивалентных преобразований алгоритмов и функциональных объектов. Целью разработки моделей является формализация процесса структурной адаптации АдИС путем формирования новых и модификации неудовлетворительно исполняемых программных модулей (ПМ).

Под самомодификацией АдИС в работе понимаются эквивалентные преобразования алгоритмов решения задач обработки структур данных, реализации запросов пользователей и других в различных условиях. Частным случаем самомодификации АдИС является ее самодостраивание, заключающееся в расширении системы путем добавления компонентов, подобных используемым в ней.

Для разработки модели самомодификации АдИС предложена схема создания и функционирования АдИС (рисунок 1), допускающая самомодификацию алгоритмов в процессе функционирования системы на основе семантического и конструктивного описаний процесса решения задач. Семантическое описание – система подзадач, отражающая логику процесса решения задачи, а конструктивное описание – алгоритм решения задачи на одном из языков высокого уровня. На рисунке 1 МПрО – модель предметной области; реализация задачи – система семантических описаний подзадач, решающих данную задачу; p – алгоритм решения задачи, представленный в формализованном виде, понятном системе; p'' – композиция алгоритмов решения отдельных подзадач; X, Y – входные и выходные данные алгоритма; \circ – операция композиции алгоритмов, построенная с использованием управляющих операторов (например, последовательность, условный оператор, цикл, вызов процедуры).

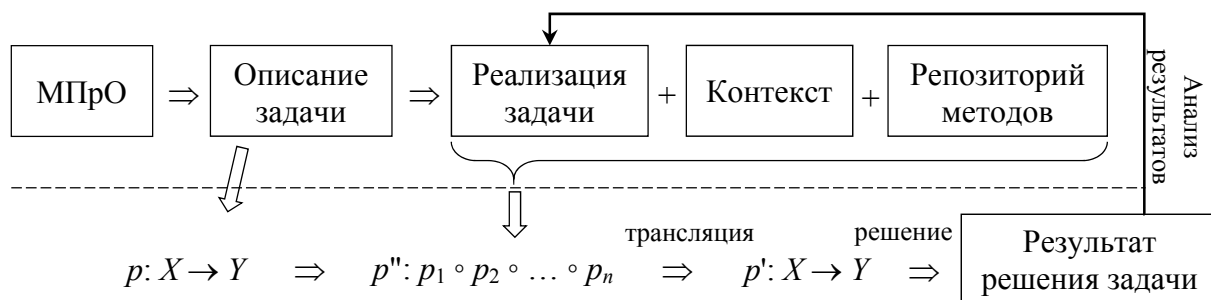


Рисунок 1 – Схема создания и функционирования АдИС

По одному семантическому описанию решения задачи АдИС может формировать несколько конструктивных описаний в зависимости от требуемых условий (контекста) и известных системе методов решения подзадач (репозитория методов). Это позволяет АдИС в изменяющейся предметной области решать требуемые задачи с необходимым качеством и эффективностью.

При этом АдИС конструктивно представляется следующей моделью:

$$\left\{ \begin{array}{l} S = (Z_s, z_0); \\ Z_s \subseteq Z; \\ Z_s = \{z_i\}; \\ z_i = \langle \text{task}_i, p^i \rangle; \\ \text{task}_i = \langle In, Out, c, (\mathfrak{S}, \mathcal{R}) \rangle; \\ p^i = p_1 \circ p_2 \circ \dots \circ p_n; \\ \text{task}_i \cong p^i \mid In \rightarrow X, Y \rightarrow Out; \\ \mathcal{R} = (\mathcal{R}_u, \mathcal{R}_d); \\ \mathcal{R}_u = \{r_u \mid r_u: \text{task}_\ell \rightarrow \text{task}_j\}; \\ \mathcal{R}_d = \{r_d \mid r_d: \text{task}_\ell \xrightarrow{d} \text{task}_k\}, \end{array} \right.$$

где S – модель АдИС; Z_s – множество задач, решаемых АдИС; Z – множество задач, известных АдИС; z_0 – первый исполняемый модуль (задача) системы; z_i – программный модуль, решающий i задачу (подзадачу); task_i – семантическое описание процесса решения i задачи; In, Out – допустимые комбинации входных и выходных данных задачи; c – контекст задачи; $(\mathfrak{S}, \mathcal{R})$ – система (граф) взаимосвязанных подзадач; $\mathfrak{S} = (\text{task}_1, \text{task}_2, \dots, \text{task}_n)$ – множество подзадач в задаче task_i , каждая из которых имеет структуру, соответствующую task_i ; $\mathcal{R}_u, \mathcal{R}_d$ – множество связей по управлению и по данным, соответственно, между подзадачами; $\text{task}_i \cong p^i$ – отношение системного изоморфизма и системного полиморфизма между семантическим и конструктивным описаниями процесса решения задачи.

На основе конструктивной модели разработана модель самомодификации АдИС в виде

$$\left\{ \begin{array}{l} J \notin [n_n \div n_k] \quad \text{– условие инициализации процесса самомодификации;} \\ z_i \mid Y^i \notin Out^i \text{ и/или } t_i = \max \quad \text{– условие выбора заменяемых (некорректных, неэффективных) ПМ;} \\ S \rightarrow S' : (p_i \xrightarrow{c_t} p'_i \mid ((\text{task}_i \equiv \text{task}'_i \text{ и } z'_i \in Z) \text{ или } (p_{i,j} \rightarrow p'_{i,j} \mid \text{task}_i = \text{const})) \text{ и } t'_{cp} \leq t_{cp} \text{ и } R \leq R_{\text{доп}}) \quad \text{– описание процесса замены ПМ;} \\ t'_{cp} \rightarrow \min \text{ и } t_{\text{зам}} \leq t_{\text{зам, доп}} \quad \text{– направленность самомодификации,} \end{array} \right. \quad (1)$$

где $J = J_1 + J_2 \rightarrow \max$ – обобщенный критерий оценки функционирования АдИС; $[n_n \div n_k]$ – числовой интервал в терминах критерия J , соответствующий нормальному функционированию системы; $J_1 = 1 - \frac{\alpha \cdot n_2}{n} - \frac{\beta \cdot n_3}{n} \rightarrow 1$ – критерий надежности функционирования АдИС ($1 - \beta \leq J_1 \leq 1$);

$J_2 = 1 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n_1} \frac{t_i}{t_{\max}} - \frac{\gamma}{n} \sum_{k=1}^{n_2} \frac{t_k}{t_{\text{доп}}} - \frac{\delta \cdot n_3}{n} \rightarrow 1$ – критерий эффективности функционирования АдИС ($1 - \delta \leq J_2 \leq 1$); α, β – экспертные коэффициенты важности времени реализации и нереализуемости запроса ($1 < \alpha \ll \beta$); n_1, n_2, n_3 – количество своевременно, несвоевременно выполненных и принципиально невыполнимых запросов ($n_1 + n_2 + n_3 = n$); γ, δ – экспертные коэффициенты важности несвоевременно реализованных запросов и величина штрафа за принципиально нереализуемый запрос ($1 < \gamma \ll \delta$); $t_{\text{ср}}, t_{\max}, t_{\text{доп}}$ – среднее, максимальное и допустимое время реализации запроса ($t_{\text{ср}} \leq t_{\max} < t_{\text{доп}}$); R и $R_{\text{доп}}$ – используемые и имеющиеся ресурсы. Направленность процесса самомодификации АдИС определяется условием оптимальности замещающего алгоритма $t'_{\text{ср}} \rightarrow \min$ и ограничивается допустимым временем замены алгоритма $t_{\text{зам}} \leq t_{\text{зам,доп}}$. Если будет найдено несколько замещающих алгоритмов с одинаковыми характеристиками, удовлетворяющих контексту, то система может случайным образом выбрать любой из них.

Формальное описание алгоритма $p: X|_{\forall d_x \in D_x} \rightarrow Y|_{d_y \in D_y}$ (в функциональной форме $Y = p(X)$), включающее семантическое и конструктивное описания, задается схемой алгоритма, построенной из следующих компонентов:

– семантическое описание задачи (подзадачи):

$$\text{task}(id_z, In, Out, q, c, (: \text{method} | \langle : \text{task}_1 \circ : \text{task}_2 \circ \dots \circ : \text{task}_m \rangle)); \quad (2)$$

– семантическое описание метода решения абстрактной задачи (подзадачи), определяющей разрешимость некоторой проблемы с требуемой корректностью и точностью без учета контекста:

$$\text{method}(id^\mu, In^\mu, Out^\mu, f, c^\mu, : p); \quad (3)$$

– конструктивное описание (алгоритм) реализации метода решения задачи:

$$p(X) = Y, \quad (4)$$

где \circ – операция конкатенации подзадач, реализуемая операторами управления; $: \text{task}$, $: \text{method}$, $: p$ – ссылки на описание алгоритма, метода или задачи более низкого уровня, соответственно; id_z, id^μ – идентификаторы задачи и метода; c – условия (контекст) решения задачи; c^μ – характеристики решения абстрактной задачи, обеспечиваемые методом; q, f – правила соответствия входов и выходов в задаче и методе, заданные в форме отношения или функции.

Задача, подзадачи и методы решения задач (подзадач) являются укрупненными представлениями алгоритма, в которых алгоритм выражается одним оператором с соответствующими входами и выходами.

Вследствие этого на уровне данных между задачами, методами их решений и алгоритмами реализации используются следующие отображения:

$In \rightarrow In^\mu \rightarrow X$ – отображение входов задачи In во входы метода In^μ и входы алгоритма X , удовлетворяющее условиям $In \equiv In^\mu = X$ и $D_{In} \subseteq D_{In}^\mu = D_x$, где D_{In}, D_{In}^μ, D_x – множества допустимых комбинаций входных данных задачи, метода и алгоритма, соответственно;

$Y \rightarrow Out^\mu \rightarrow Out$ – отображение выходов алгоритма Y в выходы метода Out^μ и задачи Out , удовлетворяющее условиям $Out \equiv Out^\mu = Y$ и $D_{Out} \subseteq D_{Out}^\mu = D_y$, где $D_{Out}, D_{Out}^\mu, D_y$ – множества допустимых комбинаций выходных данных задачи, метода и алгоритма, соответственно.

В соответствии с моделью самомодификации АдИС (1) между компонентами q, f и p установлены следующие отношения:

$$q \cong f \equiv p.$$

Возможность решения задачи разными алгоритмами реализуется на основе эквивалентных преобразований алгоритмов:

$$\begin{aligned} \text{task}(In, Out, q, \dots) &\equiv \text{task}'(In', Out', q', \dots) \Leftrightarrow \\ &\Leftrightarrow (D_{In} = D_{In}') \& (D_{Out} = D_{Out}'). \end{aligned}$$

Однако эквивалентные преобразования алгоритмов являются достаточно ограниченными, поэтому будем использовать гомоморфные преобразования алгоритмов ($g: p \rightarrow p'$) с сохранением корректности решения задач. Допустимы следующие варианты гомоморфных преобразований:

а) замена алгоритма p на алгоритм p' , решающий эквивалентную или более общую задачу:

$$\begin{aligned} \text{task}(In, Out, q, \dots) &\rightarrow \text{task}'(In', Out', q', \dots) \Leftrightarrow (D_{In} \subseteq D_{In}') \& \\ &\& ((D_{Out} \subseteq D_{Out}') \mid (\forall d_{out} \in D_{Out} \forall i \in I_{Out} |d_{out_i} - d'_{out_i}| \leq \varepsilon)), \end{aligned}$$

где ε – величина допустимых отклонений результатов вычислений;

б) замена алгоритма p на совокупность алгоритмов p', p'', \dots, p''' , решающих эквивалентную или частные задачи:

$$\begin{aligned} &\text{task}(In, Out, q, \dots) \rightarrow \\ &\rightarrow \text{task}'(In', Out', g_2(c, a'': \text{task}'', a''': \text{task}''', \dots [\text{default}: \text{task}'''']), \dots) \Leftrightarrow \\ &\Leftrightarrow (D_{In} = D_{In}'' \cup D_{In}''' \cup \dots \cup D_{In}'''') \& (D_{Out} = D_{Out}'' \cup D_{Out}''' \cup \dots \cup D_{Out}''''), \end{aligned}$$

где g_2 – оператор выбора;

в) замена алгоритма p на алгоритм p' , решающий частную задачу для активного подмножества значений $D'_{In} \subset D_{In}$:

$$\begin{aligned} \text{task}(In, Out, q, \dots) &\rightarrow \text{task}'(In', Out, q', \dots) \Leftrightarrow \\ &\Leftrightarrow (D'_{In} \subset D_{In}) \& (D'_{Out} \subset D_{Out}). \end{aligned}$$

Для обеспечения более широкой адаптации АдИС, кроме изменений отдельных алгоритмов, необходимы изменения систем согласованных алгоритмов – функциональных объектов. Функциональным объектом будем называть совокупность алгоритмов, исполняемых в одном контексте. Тогда модель функционального объекта АдИС можно представить в виде

$$\text{object}(c) = \{\text{task}^i(id_z^i, In^i, Out^i, q^i, c \& c^i, (: \text{method}^i | \\ \langle : \text{task}_1^i \circ : \text{task}_2^i \circ \dots \circ : \text{task}_m^i \rangle))\},$$

где c – общий контекст, определяемый структурой и содержанием объекта для всех операций его обработки; c^i – частный контекст, задающий условия применения конкретной операции обработки объекта.

Для описания систем взаимосвязанных и взаимодействующих функциональных объектов введем понятие системы функциональных объектов. Системой функциональных объектов будем называть совокупность функциональных объектов, функционирующих в рамках единого более общего контекста. Модель системы функциональных объектов представляется в виде

$$\text{ОБЪЕКТ}(c) = (\{\text{object}^i(c \& c^i)\}, \{r(\text{object}^i, \text{object}^j, t_{ro})\}),$$

где c – общий контекст, определяемый структурой и содержанием системы функциональных объектов; c^i – частный контекст, задаваемый конкретным функциональным объектом object^i ; r – отношение между объектами object^i и object^j (отношения агрегации, классификации, обобщения и абстрагирования).

Для адаптации АдИС, кроме модификации существующих алгоритмов, может использоваться самодообраивание, проявляющееся в следующем:

- порождение новых программных модулей из известных способов решения подзадач, но решающих задачу при других условиях;
- порождение новых объектов, представляющих данные в другой форме и по-другому реализующих способы их обработки.

Самодообраивание алгоритмов предполагает решение одной и той же задачи в разных контекстах. Поэтому модель самодообраивания алгоритмов представим в виде

$$\text{task}(In, Out, q, c, \dots) \rightarrow \begin{cases} c_1: \text{task}_1(In_1, Out_1, q_1, c \& c_1, \dots); \\ \dots \\ c_n: \text{task}_n(In_n, Out_n, q_n, c \& c_n, \dots), \end{cases}$$

где c – контекст, общий для всех подзадач task_i ; c_i – частный контекст, задающий условия применения подзадачи i ; $\text{task}(In, Out, q, c, \dots) \rightarrow \rightarrow \text{task}_i(In_i, Out_i, q_i, c \& c_i, \dots) | In_i \equiv In, Out_i \equiv Out$ – вариант эквивалентной замены (преобразования) алгоритма, сохраняющий корректность решения задачи, но позволяющий получить это решение с другими характеристиками (за меньшее время, с меньшими затратами памяти и др.).

Механизм самодообраивания применим также к функциональным объектам, что позволяет представлять один объект в разных формах с соответствующими способами их обработки. Модель самодообраивания объектов представляется в виде

$$\text{object}(c) \rightarrow \begin{cases} c_1: \text{object}_1(c \& c_1); \\ \dots \\ c_n: \text{object}_n(c \& c_n), \end{cases}$$

где *object* – модель функционального объекта; *c* – общий контекст, определяемый структурой и содержанием объекта; *c_i* – частный контекст, соответствующий конкретной форме представления объекта.

Реализация эквивалентных преобразований с использованием общих и специализированных способов решения задач позволит АдИС в процессе функционирования самостоятельно формировать корректные и эффективные алгоритмы решения задач в требуемом контексте.

В третьей главе разработан способ адаптации АдИС на основе решения недоопределенных задач и определено корректное функционирование системы с использованием внутреннего высокоуровневого вычислительного процесса.

Реализация нежесткого соответствия в форме системного изоморфизма и системного полиморфизма между задачей и алгоритмом (методом) ее решения осуществляется на основе концепции недоопределенных задач, доопределяемых из контекста.

Модель задачи представляется компонентом *task* из (2).

Рассматриваются два типа задач:

– абстрактная задача, определяющая разрешимость проблемы с требуемой корректностью и точностью, но без учета требований к процессу решения и возможностей решателя, разрешаемая формальным методом (алгоритмом);

– конкретная задача, определяющая разрешимость проблемы в определенной внешней среде, выступающей в качестве дополнительных ограничений (контекста), разрешаемая формальным методом, адаптированным к контексту.

Теперь можно определить виды конкретных задач, разрешимых в АдИС и задаваемых дополнительными условиями к модели задачи:

а) определенные – имеют необходимый и достаточный набор исходных данных:

$$(In \equiv In^\mu) \& (Out \equiv Out^\mu) \& (D_{In} \subseteq D_{In}^\mu) \& (D_{Out} \subseteq D_{Out}^\mu) \& \\ \& (q \equiv f) \& (c^\mu \subseteq c),$$

где *In*, *Out*, *In^μ*, *Out^μ*, *D_{In}*, *D_{Out}* и *D_{In}^μ*, *D_{Out}^μ* – соответствующие компоненты задачи и метода;

б) недоопределенные – имеют недостаточный набор исходных данных или характеристики процесса решения не соответствуют контексту:

– по входным значениям данных

$$(In \equiv In^\mu) \& (Out \equiv Out^\mu) \& (D_{In}^\mu \subset D_{In}) \& (D_{Out}^\mu \subseteq D_{Out}) \& \\ \& (q \equiv f) \& (c^\mu \subseteq c);$$

– по набору входных параметров

$$(In \subset In^\mu) \& (Out \equiv Out^\mu) \& (q \equiv f) \& (c^\mu \subseteq c);$$

– по функции соответствия

$$(In \equiv In^\mu) \& (Out \equiv Out^\mu) \& (D_{In} \subseteq D_{In}^\mu) \& (D_{Out} \subseteq D_{Out}^\mu) \& \\ \& (q \neq f) \& (c^\mu \subseteq c);$$

– по контексту

$$(In \equiv In^\mu) \& (Out \equiv Out^\mu) \& (D_{In} \subseteq D_{In}^\mu) \& (D_{Out} \subseteq D_{Out}^\mu) \& \\ \& (q \equiv f) \& (c^\mu \not\subseteq c);$$

– недоопределенность подзадач указанных выше типов;

в) переопределенные – имеют избыточные входные параметры:

$$(In^\mu \subset In) \& (Out \equiv Out^\mu) \& (q \equiv f) \& (c^\mu \subseteq c).$$

Установлено, что недоопределенность задач может быть устранена путем выбора методов, решающих более общие задачи, или путем формирования сложных методов, комбинирующих разрешимость задачи при различных условиях.

Использование недоопределенных задач позволяет приобрести АдИС следующие новые возможности:

– более точно согласовывать процесс решения задач с предсказуемо (периодически и причинно-следственно) возникающими ситуациями;

– получить более широкие возможности для решения задач в критических ситуациях;

– обеспечивать повышение эффективности и качества функционирования системы путем замены устаревших (неэффективных) реализаций семантически заданных действий и методов более эффективными.

Метод решает некоторую абстрактную задачу, и его модель представляется компонентом `method` из (3). В разрабатываемом подходе принято применять методы только для решения простых задач, решение сложной задачи осуществляется путем решения последовательности простых задач. Это позволяет, с одной стороны, упростить внутреннюю организацию системы, а с другой – при включении в систему нового метода решения решать новый класс задач.

Для удобства формирования программных модулей и использования соответствующих методов решения задач подзадачи и методы их решения организованы в виде репозитория подзадач и методов. При этом семантическое описание подзадач и методов задается средствами языка `YAML`, расширенного тегами `task`, `subtask`, `declaration`, `input`, `output`, `constraints`, `method` и `implementation`, позволяющими специфицировать их компоненты в соответствии с компонентами (2), (3) схемы алгоритма. Для обеспечения целостности семантических описаний задач, подзадач и методов их решения разработаны соответствующие шаблоны.

Реализация корректного функционирования АдИС с использованием механизма самомодификации и самодораивания осуществляется в рамках высокоуровневого вычислительного процесса.

Высокоуровневый вычислительный процесс, кроме стандартных задач, решаемых ИС (организация и обработка информации, согласованное решение информационных задач пользователями и другие), должен решать задачи, обеспечивающие эволюцию системы:

- контроль функционирования исполняемых программных модулей (ИПМ) и системы в целом;
- генерацию и подключение новых ИПМ;
- организацию однопоточного или многопоточного функционирования;
- согласование процессов решения информационных задач и эволюции системы и др.

Решение указанных задач с требуемым качеством может обеспечить самомодификация АдИС путем загрузки и использования ИПМ в форме динамически подключаемых dll-модулей. Схема организации высокоуровневого вычислительного процесса приведена на рисунке 2.

Высокоуровневый вычислительный процесс организует взаимодействие четырех основных процессов, реализуемых соответствующими менеджерами:

- управляющего процесса, осуществляющего общее управление процессами и распределение ресурсов в системе;
- рабочего процесса, реализующего решение практически полезных задач пользователей;
- процесса самомодификации, модифицирующего алгоритм функционирования системы путем формирования, дополнения, замены, декомпозиции и сочетания программных модулей, известных системе;
- процесса совершенствования (развития), выявляющего в системе новые знания (закономерности) и формирующего на их основе новые методы решения внутрисистемных задач.

Все основные процессы в АдИС исполняются параллельно. Разработанная схема организации вычислительного процесса допускает модификацию АдИС в широких пределах как средствами самомодификации и совершенствования, так и внешними объектами (например, пользователями).

В четвертой главе приведены описание экспериментальной системы-оболочки (ЭСО) АдИС и алгоритмы функционирования подсистемы самомодификации и самодораивания системы, а также результаты их экспериментального исследования.

В ЭСО реализованы упрощенная подсистема пользовательского интерфейса и ведения модели предметной области, эволюционная база данных представлена совокупностью взаимосвязанных структур данных и методов их обработки, упрощенная подсистема организации высокоуровневого вычислительного процесса, поддерживаемая совмещенным главным менеджером и менеджером рабочего процесса, подсистема самомодификации и самодораивания, поддерживаемая менеджером самомодификации.

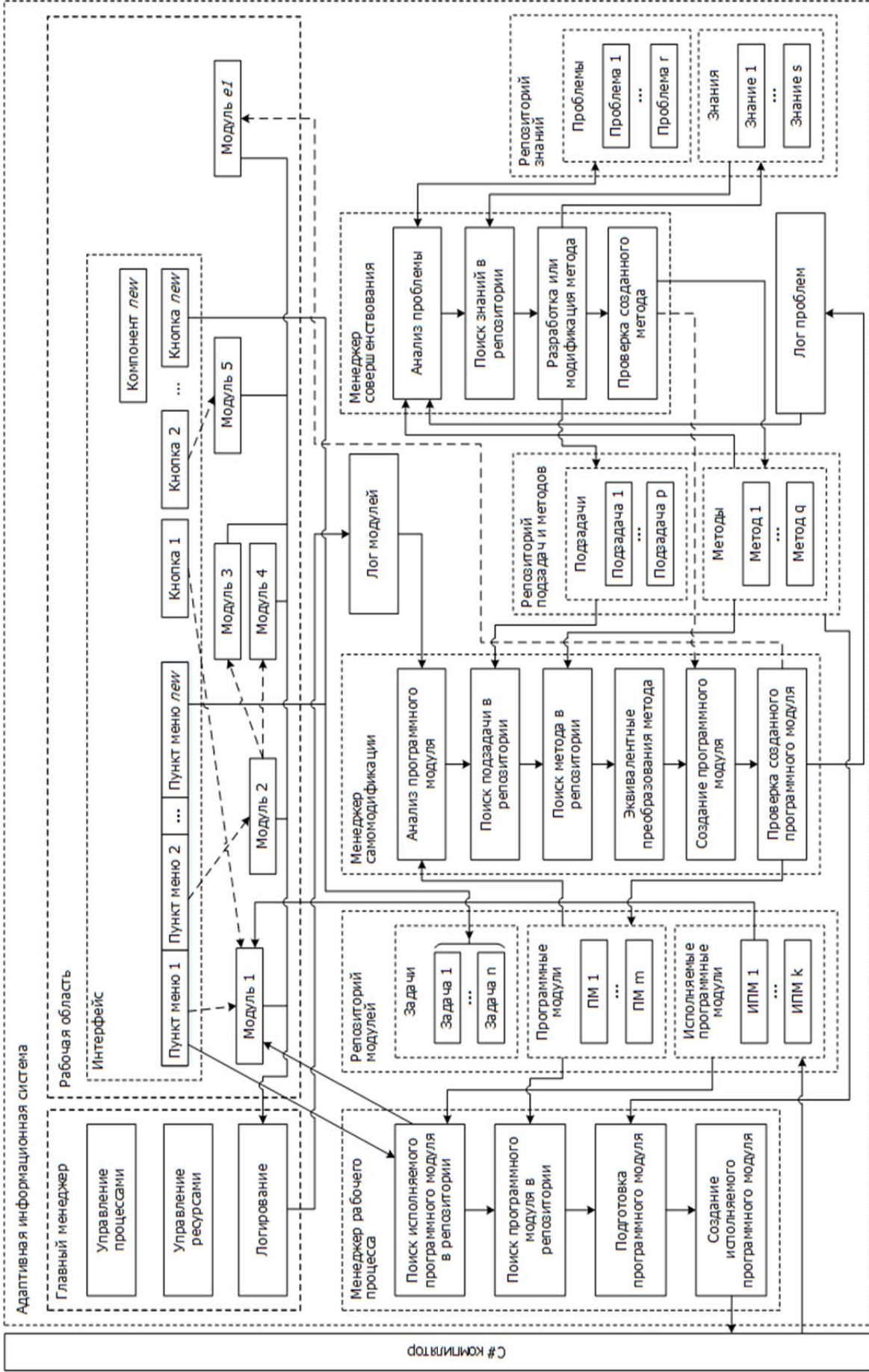


Рисунок 2 – Схема организации высокоуровневого вычислительного процесса в АдИС

Подсистема самомодификации в АдИС решает две задачи:

- формирование ПМ, решающего требуемую задачу в условиях определенного контекста;
- модификация существующего ПМ для удовлетворения процесса решения задачи определенному контексту.

На рисунках 3 и 4 приведены алгоритмы формирования и использования программных модулей в АдИС.

Для обеспечения высокой эффективности алгоритмов самомодификации АдИС разработаны шаблоны ПМ, обеспечивающие решение простой и сложной задач.

Характеристики процесса функционирования АдИС при обработке множества элементов данных представлены на рисунке 5.

В соответствии с рисунком 5 АдИС в процессе функционирования выполнила следующие преобразования:

- в начальный момент системе были неизвестны предполагаемое количество элементов и их использование, поэтому она реализовала для обработки данных простейшую СД «связный список»;

- на первом этапе (интервал запросов от 0 до 1500) с течением времени количество хранимых элементов стало расти, что привело к ухудшению временных характеристик;

- на втором этапе (интервал запросов от 1500 до 2500) для устранения появившихся недостатков система перешла на обработку данных с применением СД «упорядоченный массив»;

- на третьем этапе (интервал запросов от 2500 до 3400) при появлении запросов на добавление и модификацию данных временные характеристики стали резко ухудшаться;

- на четвертом этапе (интервал запросов от 3400 до 4300) для повышения эффективности обработки данных система перешла на обработку СД «хешированная таблица» с реализацией коллизий методом цепочек, но с течением времени некоторые цепочки сильно удлинились, что опять привело к ухудшению временных характеристик;

- на пятом этапе (интервал запросов от 4300) для решения возникших проблем система перешла на обработку СД «хешированная таблица» с реализацией цепочек массивом, что обеспечило стабильное функционирование системы на имеющихся ресурсах в пределах допустимого времени обработки данных и преимущественного использования операции поиска отдельных элементов данных.

Оценки функционирования системы по параметру J :

$$J_{\text{н}}^1 = 2, J_{\text{к}}^1 = 0,9;$$

$$J_{\text{н}}^2 = 1,65, J_{\text{к}}^2 = 1,5;$$

$$J_{\text{н}}^3 = 1,51, J_{\text{к}}^3 = 1,2;$$

$$J_{\text{н}}^4 = 1,53, J_{\text{к}}^4 = 1,28;$$

$$J_{\text{н}}^5 = 1,55 \text{ и т.д.}$$

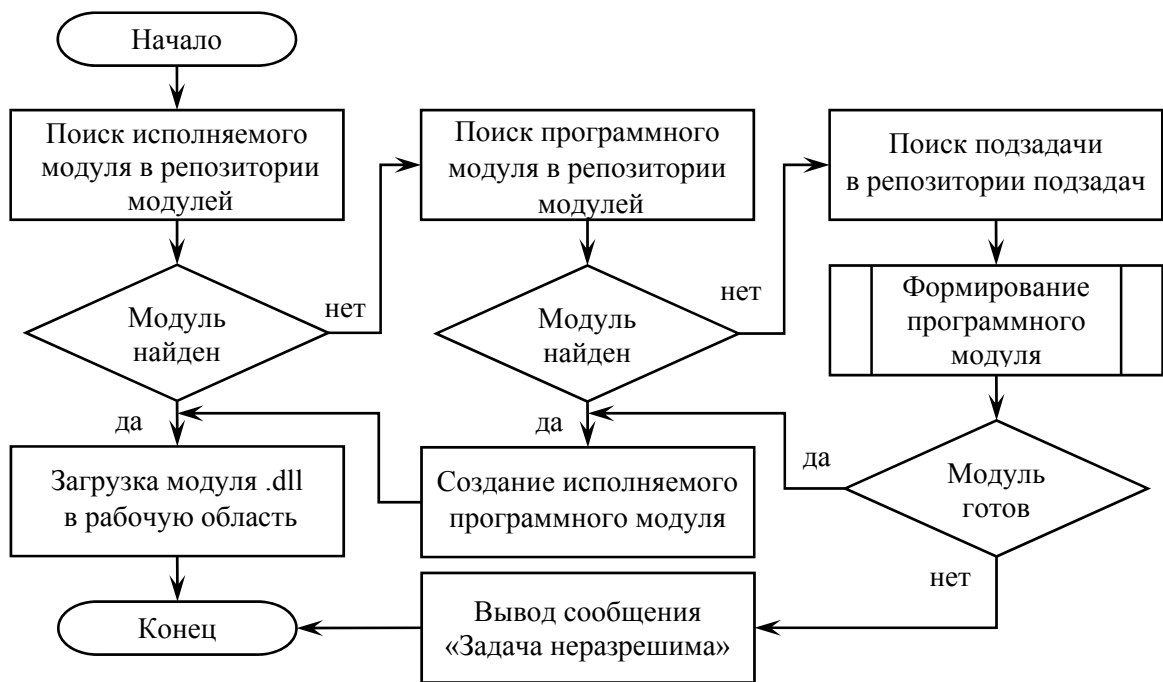


Рисунок 3 – Алгоритм подготовки и загрузки на исполнение ПМ

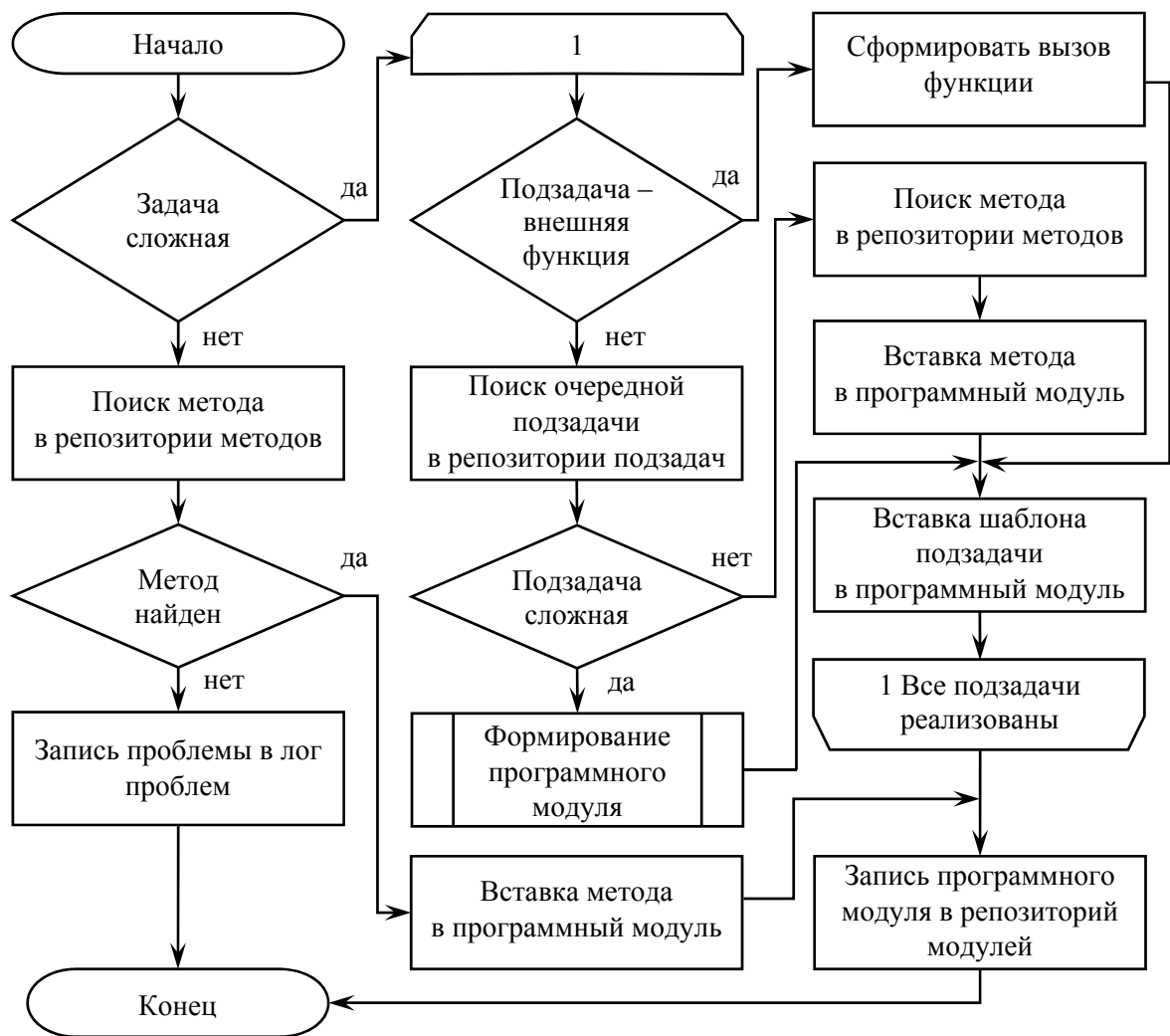


Рисунок 4 – Алгоритм формирования программного модуля

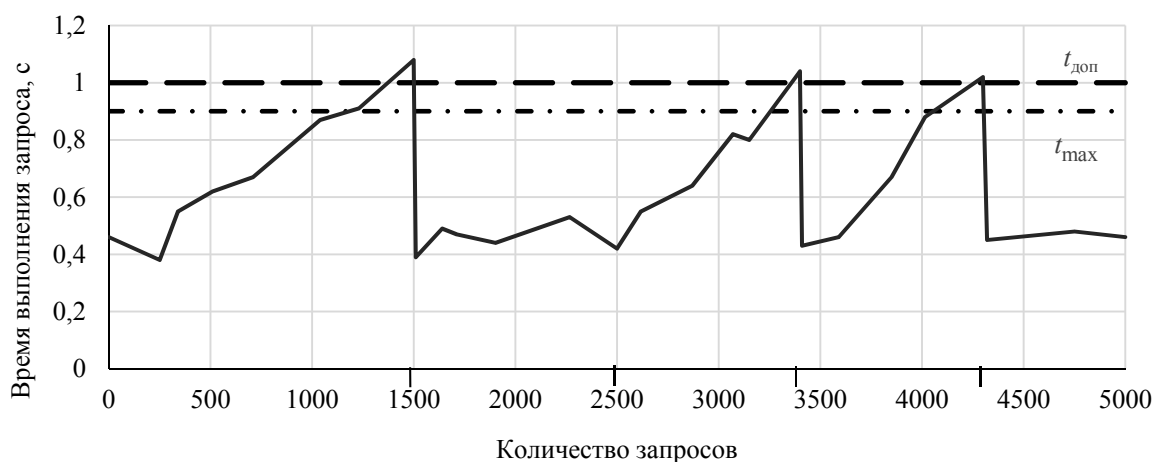


Рисунок 5 – График изменения временных характеристик функционирования АдИС

Таким образом, продемонстрирована способность АдИС в процессе функционирования реагировать на изменения запросов обработки данных и объема хранимых данных с использованием известных ей методов и средств обработки данных. При этом время, затраченное АдИС на замену одной системы алгоритмов (функционального объекта) другой, составило 460 мс, что несоизмеримо со временем выполнения этой же работы человеком.

По результатам экспериментального исследования ЭСО получены следующие оценки эффективности функционирования АдИС:

- для организации репозитория подзадач и методов, а также хранения информации в логах модулей и проблем требуется в среднем в 3,1 раза больший объем внешней памяти по сравнению с традиционной организацией ИС;

- не требуется дополнительной оперативной памяти;

- требуется дополнительное время на автоматическое формирование и компиляцию ПМ в среднем в одном из 10 случаев его использования и модификация некорректно работающего ПМ в среднем в одном из 1000 случаев его использования, что увеличивает время эффективного решения задач в среднем в 1,2 раза. Однако вследствие использования более эффективных алгоритмов решения подзадач их время решения сократилось в 1,45 раза. Поэтому общее время решения задач сократилось в 1,2 раза.

Использование способа самомодификации АдИС в разработке системы поиска и бронирования авиабилетов, системы динамического позиционирования транспортных средств и транспортирования грузов по производственной территории завода, а также в других системах обработки данных показало увеличение срока нормальной эксплуатации системы не менее чем в 2 раза, сокращение трудоемкости и сроков разработки в 1,8–2 раза и сокращение затрат на сопровождение системы в 2,5 и более раз. Указанные результаты получены за счет снижения объема программного обеспечения, разрабатываемого человеком, и автоматического использования новых программных модулей в режиме самомодификации системы.

Таким образом, экспериментальное исследование ЭСО подтвердило корректность разработанных научных положений и продемонстрировало преимущество АдИС с использованием подсистемы самомодификации и самодотраивания по сравнению с существующими способами организации систем.

В приложении представлены примеры готовых к компиляции программных модулей и документы, подтверждающие внедрение результатов диссертационной работы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В итоге проведенных теоретических и экспериментальных исследований получены следующие результаты:

1. Построена модель самомодификации АдИС, основанная на семантическом и конструктивном описаниях процесса решения задачи. Модель позволяет АдИС приобретать свойства активных систем и осуществлять эффективное функционирование в изменяющихся предметных областях путем автоматического формирования по одному семантическому описанию нескольких исполняемых программных модулей, осуществляющих решение задачи в различных условиях.

2. Разработана модель эквивалентных преобразований алгоритмов и систем алгоритмов (функциональных объектов), обеспечивающая изоморфную (взаимозаменяемую) и гомоморфную (односторонне направленную) замены алгоритмов путем замены исходного алгоритма на алгоритм, решающий эквивалентную или более общую задачу; замены исходного алгоритма на совокупность алгоритмов, решающих эквивалентную или частные задачи; замены исходного алгоритма на алгоритм, решающий частную задачу для активного подмножества входных значений.

3. Созданы модели определенной, недоопределенной и переопределенной задач, и предложен способ самомодификации системы на основе решения недоопределенных задач, определяющий условия согласования подзадач и методов их решения и задающий правила доопределения задач на основе контекста.

4. Разработаны основные алгоритмы функционирования подсистемы самомодификации и самодотраивания АдИС, позволяющие динамически формировать и модифицировать программные модули системы и обеспечивать длительное время поддержку высокой адекватности внешней среде и внутренней организации системы.

5. Построена схема высокоуровневого вычислительного процесса АдИС, определяющая согласованное взаимодействие параллельно исполняющихся процессов: основного, рабочего, самомодификации и совершенствования. Реализация АдИС в соответствии с данной схемой обеспечит корректное функционирование системы с использованием разработанного способа самомодификации.

6. Разработанная экспериментальная система-оболочка подтвердила корректность и высокую эффективность алгоритмов самомодификации АдИС, что позволило снизить в 1,2 раза время решения задач относительно времени их решения стандартными методами, увеличить срок нормальной эксплуатации системы в 2 и более раз, сократить трудоемкость и сроки разработки в 1,8–2 раза и сократить затраты на сопровождение системы в 2,5 и более раз.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК России

1. Шалаев, А. А. Модель организации вычислительного процесса в самоорганизующейся информационной системе / А. А. Шалаев, В. В. Дрождин, М. В. Кондрашин, В. О. Симакин // Вестник УГАТУ. – 2014. – Т. 18, № 3 (64). – С. 236–241.

2. Шалаев, А. А. Спецификация задач в самоорганизующейся информационной системе / А. А. Шалаев, В. В. Дрождин // Программные продукты и системы. – 2015. – № 1. – С. 17–21.

3. Шалаев, А. А. Модель эквивалентных преобразований алгоритмов в самоорганизующейся информационной системе / А. А. Шалаев // Современная наука: Актуальные проблемы теории и практики. Сер. «Естественные и технические науки». – 2015. – № 9–10. – С. 7–14.

Публикации в других изданиях

4. Шалаев, А. А. Проблемы самомодификации программно-информационных систем / А. А. Шалаев, В. В. Дрождин // Эффективность государственной службы, государственного и муниципального управления, функционирования органов власти и хозяйствующих субъектов : материалы VI Междунар. науч.-практ. конф. – Тула : ТФ РАНХиГС, 2013. – С. 105–111.

5. Шалаев, А. А. Язык разметки программ в самоорганизующейся информационной системе / А. А. Шалаев, В. В. Дрождин // Проблемы информатики в образовании, управлении, экономике и технике : сб. ст. XIV Междунар. науч.-техн. конф. – Пенза : ПДЗ, 2014. – С. 96–104.

6. Шалаев, А. А. Модель эквивалентных преобразований функциональных объектов в информационной системе / А. А. Шалаев, В. В. Дрождин // III літні наукові читання : збірник центру наукових публікацій «Велес» за матеріалами Міжнародної науково-практичної конференції. – Київ : Центр наукових публікацій, 2015. – С. 28–31.

7. Шалаев, А. А. Модель самомодификации информационной системы / А. А. Шалаев, В. В. Дрождин // Международный научный институт "Educatio". – № 7(14), ч. 2. – 2015. – С. 20–24.

8. Шалаев, А. А. Модель самодораивания самоорганизующейся информационной системы / А. А. Шалаев // Новые информационные технологии и системы : сб. ст. XII Междунар. науч.-техн. конф. – Пенза, 2015. – С. 244–247.

9. Шалаев, А. А. Программная реализация подсистемы самомодификации и самодораивания адаптивной информационной системы / А. А. Шалаев, В. В. Дрождин // Проблемы информатики в образовании, управлении, экономике и технике : сб. ст. XV Междунар. науч.-техн. конф. – Пенза : ПДЗ, 2015. – С. 48–57.

Научное издание

ШАЛАЕВ Александр Александрович

**МОДЕЛЬ И АЛГОРИТМЫ САМОМОДИФИКАЦИИ
АДАПТИВНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ**

Специальность 05.13.17 – Теоретические основы информатики

Редактор *Т. Н. Судовчихина*
Технический редактор *Р. Б. Бердникова*
Компьютерная верстка *Р. Б. Бердниковой*

Распоряжение № 15/102-2016 от 13.07.2016.

Подписано в печать 14.07.16. Формат 60×84¹/₁₆.
Усл. печ. л. 1,16. Заказ № 381. Тираж 100.

Издательство ПГУ.
440026, Пенза, Красная, 40.
Тел./факс: (8412) 56-47-33; e-mail: iic@pnzgu.ru