

На правах рукописи

ПРОШИН Евгений Николаевич

**КОМПЛЕКСНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ
МОДИФИКАЦИИ ПРОГРАММНЫХ СИСТЕМ
ОБРАБОТКИ И ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНДЕКСИРОВАНИЯ**

**Специальность 05.13.11 –
Математическое и программное обеспечение вычислительных
машин, комплексов и компьютерных сетей**

**АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Уфа - 2010

Работа выполнена на кафедре экономической информатики
ГОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет»

Научный руководитель	д-р техн. наук, проф. МАРТЫНОВ Виталий Владимирович
Официальные оппоненты	д-р техн. наук, проф., ЮСУПОВА Нафиса Исламовна , зав. каф. вычислительной математики и киберне- тики Уфимского государственного авиационного технического университета канд. техн. наук, ГАРИФУЛЛИН Тимур Артурович , доцент каф. информатики Башкирской академии государственной службы управления при прези- денте Республики Башкортостан
Ведущая организация	ОАО «Уфимское моторостроительное производ- ственное объединение», г. Уфа

Защита диссертации состоится « 1 » октября 2010 года в 12:00 часов
на заседании диссертационного совета Д-212.288.07
при Уфимском государственном авиационном техническом университете
по адресу: 450000, г. Уфа, ул. К. Маркса, д. 12

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета

Автореферат разослан « 27 » августа 2010 года

Ученый секретарь
диссертационного совета
д-р техн. наук, проф.

С.С. Валеев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

Современные информационные системы (ИС) представляют собой совокупность программных систем (ПС), технического и организационного обеспечения, а также персонала и предназначены для обработки и управления информацией в рамках конкретной предметной области. Данные ПС могут быть разработаны разными компаниями, на различных платформах, с использованием разных типов баз данных (БД). Подавляющее большинство таких систем строится по концептуально общей реляционной схеме.

Следует заметить, что объемы данных, число пользователей и приложений, работа которых связана с использованием реляционных БД, с течением времени может увеличиваться, поэтому ИС должны обеспечивать стабильную производительность и быструю адаптацию характеристик и показателей своих программных подсистем с учетом изменений.

Определение инфраструктуры информационных технологий (ИТ) в организации лежит в основе поиска, оправданной величины начальных инвестиций в базовое программное и аппаратное обеспечение. Тем самым, одной из важных составляющих на пути к осуществлению длительной эффективной промышленной эксплуатации ИС организации, развивающей информационную инфраструктуру, является разработка способов повышения эффективности процесса модификации ПС, использующих в своем составе СУБД.

Анализ отечественной, зарубежной литературы и источников сети Интернет позволяет сделать вывод, что исследованием и разработкой методов решения вышеуказанной задачи занимаются крупные информационные компании такие как HP, Microsoft, IBM, Oracle и др. Каждая из них предлагает программные средства и технологии, которые в основном нацелены на выбор достаточных аппаратных средств для функционирования существующих ИС и являются закрытыми для конечного потребителя. Среди российских и зарубежных ученых, изучающих проблемы производительности ПС и их модификацию, а также производительности СУБД можно отметить Кузнецова С.Д., Кодда Э.Ф., Дейта К.Дж. и др.

В их трудах задаче определения показателей ПС и влиянию последних на общую производительность уделяется лишь частичное внимание, что позволяет решать задачу производительности для отдельных компонент ПС. В связи с этим, задача разработки методов и алгоритмов комплексной модификации ПС является актуальной как в теоретическом, так и в практическом плане. Тем самым, тематика данной исследовательской работы является актуальной.

Объектом исследования является процесс обработки и управления данными в программных системах.

Предметом исследования является разработка методов и инструментальных средств повышения эффективности процесса модификации программных систем обработки и управления данными.

Цель диссертационной работы

Целью диссертационной работы является повышение эффективности процесса модификации программных систем посредством разработки методов, алгоритмов и программного обеспечения увеличения их производительности при условии соблюдения требования невмешательства во внутренние структуры базы данных.

Задачи исследования

Для достижения поставленной цели в диссертационной работе решаются следующие задачи:

1. Разработка комплексной технологии модификации программных систем обработки и управления данными для увеличения их производительности.
2. Разработка метода увеличения производительности программных систем обработки и управления данными на основе их индексирования.
3. Разработка методики определения показателей эффективности программных систем и их влияние на производительность последних.
4. Разработка алгоритма и прототипа программного обеспечения увеличения производительности программных систем обработки и управления данными с последующим проведением анализа эффективности предлагаемой технологии.

Методы исследования

В работе использовались методы системного анализа и различные методики тестирования сложных систем, структурного анализа и проектирования информационных систем (Structured Analysis and Design Technique), методология унифицированного процесса разработки программного обеспечения (Rational Unified Process) на основе унифицированного языка моделирования (Unified Modeling Language), методы математического и имитационного моделирования, математической статистики, реляционная методология организации хранения данных, а также методы модульного, объектно-ориентированного и системного программирования.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Комплексная технология модификации программных систем обработки и управления данными, обеспечивающая возможность их эффективного развития.
2. Метод увеличения производительности программных систем обработки и управления данными на основе их индексирования.
3. Методика определения показателей программных систем по заданным требованиям производительности, основанная на нагрузочном тестировании.
4. Алгоритм и прототип программного обеспечения увеличения производительности программных систем обработки и управления данными, с последующим анализом эффективности предлагаемой технологии.

Научная новизна работы

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Разработана технология модификации программных систем обработки и управления данными, отличающаяся от существующих комплексным учетом всех составляющих систем при условии соблюдения требования невмешательства во внутренние структуры базы данных, позволяющая учитывать затраты на модернизацию информационных систем для их эффективного развития.

2. Разработан метод увеличения производительности программных систем обработки и управления данными, основанный на их индексировании, позволяющий сократить количество и объем часто используемых индексов при сохранении функциональности базы данных.

3. Разработана методика определения показателей программных систем обработки и управления данными по заданным требованиям производительности, основанная на нагрузочном тестировании и отличающаяся от известных тем, что использует как технические, так и экономические параметры информационных систем, что позволяет оценить их влияние на общую производительность.

Практическая значимость и внедрение результатов

Практическая ценность результатов, полученных в диссертации, заключается в разработке:

– методики определения показателей программных систем обработки и управления данными, обеспечивающей выполнение анализа их влияния на производительность последних, что позволяет конфигурировать состав информационных систем для достижения заданной производительности;

– алгоритма и прототипа программного обеспечения, осуществляющего увеличение производительности программных систем обработки и управления данными и формирование практических рекомендаций по их модернизации.

Разработанный прототип программного обеспечения прошел пилотное внедрение в ОАО «Уфимское моторостроительное производственное объединение», ОАО «Аврора» (гостиничный комплекс «Президент Отель»).

Результаты работы внедрены в учебный процесс УГАТУ в рамках курсов «Проектирование информационных систем», «Базы данных» и «Хранилища данных» для студентов специальности 080700 «Бизнес-информатика».

Связь с научными программами

Работа выполнена в период 2007-2010 г.г. на кафедре экономической информатики Уфимского государственного авиационного технического университета в рамках приоритетного национального проекта «Образование» по направлению «ERP-системы в управлении производством» (2007-2008), а также государственных контрактов и программ РНП.3.2.3.5788 (2006-2007), №3.2.3/6005 (2009-2010) и №3.2.3/5986 (2009-2010).

Апробация работы

Основные научные и практические результаты работ докладывались на следующих конференциях:

– Межвузовской научно-технической конференции «Принятие решений в условиях неопределенности», Уфа, УГАТУ, 2005;

– Региональной зимней школе-семинаре аспирантов и молодых ученых: «Интеллектуальные системы обработки информации и управления», Уфа, УГАТУ, 2007-2009;

– Всероссийской молодежной научной конференции «Мавлютовские чтения» Уфа, УГАТУ, 2007, 2009;

– Международной конференции по компьютерным наукам и информационным технологиям (CSIT), Уфа, 2007; Анталия, Турция, 2008; Крит, Греция, 2009;

– Международном научно-практическом семинаре «Управление информационной инфраструктурой организации на основе технологии открытых систем», Магнитогорск, МаГУ, 2008.

Публикации

Основные положения и результаты диссертационной работы опубликованы в 11 публикациях, включающих 5 статей, в том числе 1 – в рецензируемом журнале из списка ВАК РФ, 5 материалах конференций и 1 свидетельстве о регистрации программного продукта.

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, 3-х глав основного материала, заключения, списка литературы и приложений. Работа изложена на 174 страницах машинописного текста, включая 36 рисунков и 15 таблиц. Библиографический список включает 125 наименований и занимает 12 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность диссертационной работы, формулируется цель и задачи исследования, перечисляются основные методы исследования, отмечается научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

Первая глава посвящена анализу известных подходов к решению задачи повышения производительности ПС обработки и управления данными, обсуждаются их особенности, преимущества и недостатки.

Ставится задача определения и увеличения производительности ПС обработки и управления данными с заданным ограничением – невмешательством во внутреннюю структуру компьютерных систем с учетом ограничений на затрачиваемые средства. Обсуждаются три основных метода определения необходимой конфигурации ИС: метод, основанный на учете числа пользователей ИС, на пропускной способности ИС и нагрузочном тестировании производительности ИС.

При использовании метода, построенного на учете числа пользователей, на основе данных о поведении пользователей и одновременно работающих с

приложением пользователей, а также усредненных данных по аналогичным приложениям, имеющимся у производителя, рассчитывается необходимая конфигурация ИС. В методе, основанном на анализе пропускной способности ИС, в дополнении используется информация об уровне сложности выполняемых транзакций, среднем значении объема данных, приходящихся на одного пользователя. В методе на основе использования тестов производительности реализуется алгоритм нагрузочного тестирования в условиях промышленной эксплуатации, что позволяет определить производительность оборудования и функциональность приложения в целом. В результате анализа в качестве основы для решения поставленной задачи был выбран метод, использующий тесты организации *TPC (Transaction Processing Performance Council* – независимая некоммерческая организация, созданная для исследования задач обработки транзакций и производительности СУБД). Были выделены основные недостатки рассматриваемых тестов, которые, в основном, заключаются в невозможности определения зависимости производительности от составляющих ИС. Кроме того, данные тесты показывают лишь пиковую производительность ИС.

Выполнен анализ существующих реализаций ПО ведущими разработчиками СУБД и ПС (HP, Microsoft, IBM, Oracle и др.) для управления, мониторинга и тестирования ПС, которые позволяют определить его производительность. Эти программные системы позволяют получить подробную диагностическую информацию. Однако вывод о необходимости замены или модернизации программного и аппаратного обеспечения систем, возлагается на высококвалифицированного эксперта в данной области. Исходя из этого, делается вывод о необходимости разработки единого комплексного метода увеличения производительности ПС с оценкой эффективности инвестированных средств.

Вторая глава посвящена разработке метода увеличения производительности ПС на основе индексирования данных и методики определения показателей ИС. Выполнен анализ влияния на его производительность. Рассматриваются теоретические основы предлагаемых методов.

Рассмотрена задача увеличения производительности ПС в контексте жизненного цикла инфраструктуры ИТ организации, определяются причинно-следственные связи снижения производительности ИС, делается вывод о необходимости использования эффективных путей увеличения производительности.

Основные компоненты ИС, используемые при анализе его производительности представлены на рис.1. В связи с тем, что в рамках постановки задачи архитектура информационного приложения, а также логика доступа к данным неизменны, так как изменения в них ведут к изменению логики бизнес-процессов приложений, делается вывод о необходимости исследовании только тех показателей, которые влияют на производительность ПС, но не изменяют семантику бизнес-процессов приложений, то есть организация хранения и доступа к данным. Тем самым, делается вывод, что необходимо при разработке инструментальных средств повышения эффективности ИС учитывать показатели выделенных компонент.

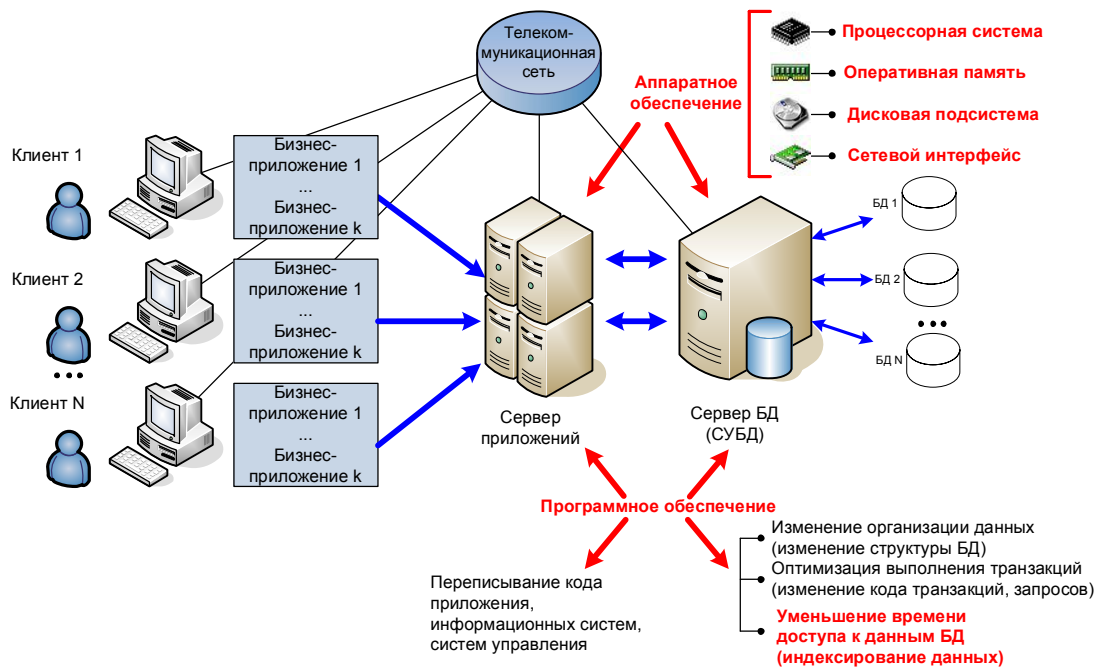


Рисунок 1 – Основные направления решения задачи анализа производительности ИС

Предлагается технология модификации программных систем обработки и управления данными, которая позволяет выполнить комплексный учет всех составляющих систем при условии соблюдения требования невмешательства во внутренние структуры БД с оценкой эффективности инвестированных средств:

1. Определяются показатели параметров СУБД, структуры используемой БД и аппаратного обеспечения ИС. Для вычисления производительности данной ИС формируется тестовый набор запросов наиболее часто используемых клиентами при обращении к БД. В результате чего определяются возможные направления увеличения производительности.

2. Выполняется анализ эффективности предложенных решений по модернизации ПС, настроек СУБД и индексации данных. Определяются варианты модернизации с учетом экономических параметров ИС и выносится решение о реализации выбранного варианта из предложенных вариантов.

Далее конкретизирована данная технология в разработанных методе и алгоритме комплексной модификации ПС для увеличения ее производительности.

Как известно, в соответствии с ГОСТ Р ИСО/МЭК 9126 эффективность ИС определяется двумя комплексными показателями качества ПС:

– характером изменения во времени (выполнение операций ИС за определенное время);

– характером изменения ресурсов (объем используемых ресурсов ИС для выполнения операций).

Определим производительность ИС P как количество транзакций, выполненных за одну минуту:

$$P=f(P^{ПС}, P^a, P^к), \quad (1)$$

где $P^{ПС}$ – показатели производительности ПС, P^a – показатели производительности аппаратного обеспечения ИС, $P^к$ – показатели коммуникаций сети ИС.

Показателями производительности программного обеспечения $P^{пс}$ функции (1) являются блокировки (ограничение доступа к объектам БД с целью поддержания целостности данных) и индексирование данных.

Рассматривается пример нарушения требования невмешательства во внутренние структуры данных, заключающееся в том, что одно из свойств блокировок – уровень изоляции (степень ограничения доступа к данным), можно проставить в запросах соответствующей *sql*-конструкцией, что противоречит принятому ограничению. Блокировки в нашем случае учитываются при описании производительности программного обеспечения ИС в качестве постоянных.

Делается заключение, что индексация данных является одним из возможных путей повышения производительности, который может дать положительный эффект. Выполнен отбор наиболее часто используемых запросов за заданное время при обращении к БД, и определена доля данных операций к общему числу операций производимых пользователями к БД. На основе собранной статистики, варьируя данный параметр, формируется некоторый тестовый набор запросов, с помощью которого можно определить величину производительности ИС. Для полей выбранных запросов создаются индексы для обеспечения повышения производительности их выполнения.

Предлагается метод, позволяющий сократить количество и объем часто используемых индексов при сохранении функциональности используемой БД. Создается для каждой таблицы рассматриваемой БД матрица *CRUD* (Таблица 1), аббревиатура которой выбрана в соответствии с основными операциями над данными БД (*CRUD* – *create, retrieve, update, delete*). Строки этой матрицы соответствуют полям таблицы, а столбцы – процедурам и запросам, которые осуществляют доступ к таблице БД. Приняты следующие обозначения: *S* – выбранные столбцы; *O* – упорядочение по столбцу; *W* – ссылки на столбец, *G* – группировки по столбцу.

Таблица 1. Матрица *CRUD*

Поле	Z_1		Z_j		Z_{N_z}
Π_1	$s_{11}, o_{11}, w_{11}, g_{11}$		$s_{1j}, o_{1j}, w_{1j}, g_{1j}$		$s_{1N_z}, o_{1N_z}, w_{1N_z}, g_{1N_z}$
...
Π_i	$s_{i1}, o_{i1}, w_{i1}, g_{i1}$		$s_{ij}, o_{ij}, w_{ij}, g_{ij}$		$s_{iN_z}, o_{iN_z}, w_{iN_z}, g_{iN_z}$
...
Π_{N_p}	$s_{N_p1}, o_{N_p1}, w_{N_p1}, g_{N_p1}$		$s_{N_pj}, o_{N_pj}, w_{N_pj}, g_{N_pj}$		$s_{N_pN_z}, o_{N_pN_z}, w_{N_pN_z}, g_{N_pN_z}$

В таблице 1 используются следующие обозначения:

$\Pi_i \in \Pi$ – элемент множества полей таблицы;

$Z_j \in Z$ – элемент множества запросов, использующих таблицу;

N_p – количество полей в таблице;

N_z – количество запросов, использующих таблицу;

$s_{ij} \in S$ – элемент множества, обозначающее включение поля Π_i в запросе Z_j ($s_{ij} = 1$, если поле i присутствует в запросе на выборку данных j и 0 – в ином случае);

$o_{ij} \in O$ – элемент множества, обозначающее упорядочивание по полю Π_i в запросе Z_j ($o_{ij} = 1$, если поле i присутствует в запросе, использующем упорядочивание данных j и 0 – в ином случае);

$w_{ij} \in W$ – элемент множества, обозначающее использование условия по полю Π_i в запросе Z_j ($w_{ij} = 1$, если поле i присутствует в запросе, использующем условие j и 0 – в ином случае);

$g_{ij} \in G$ – элемент множества, обозначающее группировку по полю Π_i в запросе Z_j ($g_{ij} = 1$, если поле i присутствует в запросе, использующем группировку j и 0 – в ином случае).

Таким образом, сформировав матрицы *CRUD* для наиболее часто используемых таблиц БД, определим индексы, для полей, участвующих в запросах.

Кроме создания дополнительных индексов и удаления ненужных предлагается выигрыш в производительности получить, дефрагментировав индексы БД. Также в работе предложено использовать способ определения необходимости индексации поля таблицы, используя вычисленное значение селективности блоков данных (отношение числа блоков данных, содержащих, по крайней мере, одну строку, отвечающую условию запроса, к общему количеству блоков данных).

В это случае производительность ПС $P^{ПС}$ можно представить как

$$P^{ПС} = f(P_{\text{блок}}, P_{\text{инд}}), \quad (2)$$

где $P_{\text{блок}}$ – эффективность выбора уровня и продолжительности блокировок данных, $P_{\text{инд}}$ – эффективность выбора системы индексов.

Уровень блокировок B определяется множеством:

$$B = \{B_{\text{зап}}, B_{\text{стр}}\}, \quad (3)$$

где $B_{\text{зап}}$, $B_{\text{стр}}$ – уровни блокировок строк и страниц соответственно при обращении к индексу.

Уровень изоляции блокировок определяется множеством:

$$U = \{U_{RU}, U_{RC}, U_{RR}, U_S\}, \quad (4)$$

где U_{RU} , U_{RC} , U_{RR} , U_S – уровни изоляции блокировок *read uncommitted (RU)*, *read committed (RC)*, *repeatable read (RR)*, *serializable (S)*, соответственно.

Тогда эффективность настройки блокировок к данным определяется следующим образом:

$$P_{\text{блок}} = f(B, U), \quad (5)$$

Различные виды индексов задаются множеством:

$$I = \{I_{\text{класт}}, I_{\text{некласт}}, I_{\text{выч.некласт}}, I_{XML}, I_{\text{предст}}\}, \quad (6)$$

где $I_{\text{класт}}$, $I_{\text{некласт}}$, $I_{\text{выч.некласт}}$, I_{XML} , $I_{\text{предст}}$ – множество кластеризованных и некластеризованных индексов, индексов в вычисляемых полях, *XML*-индексов и индексов в представлениях.

Здесь:

$$I_{\text{класт}} = \{I_{\text{ун.класт}}, I_{\text{ун.сост.класт}}\}, I_{\text{класт}} \subset I, \quad (7)$$

где $I_{\text{ун.класт}}$, $I_{\text{ун.сост.класт}}$ – множество уникальных и составных кластеризованных индексов.

$$I_{\text{некласт}} = \{I_{\text{пр.некласт}}, I_{\text{покр.некласт}}\}, I_{\text{некласт}} \subset I, \quad (8)$$

где $I_{\text{пр.некласт}}$, $I_{\text{покр.некласт}}$ – множество простых и покрывающих (в индексе используются все поля таблицы) некластеризованных индексов.

$$I_{XML} = \{I_{\text{перв. XML}}, I_{\text{втор. XML}}\}, I_{XML} \subset I, \quad (9)$$

где $I_{\text{перв. XML}}, I_{\text{втор. XML}}$ – множество первичных и вторичных XML-индексов.

Перечисленные виды индексов создаются для полей таблиц, определенных из матрицы *CRUD* и по вычисленному значению селективности блоков данных выполняемых запросов. Количество таких матриц равно количеству сущностей в БД. Также рассчитывается и используется уровень фрагментации индекса (коэффициент насыщенности дерева $B+$ – отношение количества занятых ключей в узле дерева к общему количеству ключей в данном узле).

Для реляционной БД объем индексов определяется следующим образом

$$V_{\text{инд}} = N_i \cdot N_s \cdot \frac{N \cdot y - 1}{y - 1}, \quad (10)$$

где $N_i = N_a \cdot y_i$ – количество индексов на таблице (N_a – количество атрибутов, y_i – коэффициент индексирования полей таблицы), N_s – количество сущностей, N – количество записей в таблице, y – коэффициент насыщенности дерева $B+$.

Селективность блоков данных определяется следующим образом:

$$c_b = \frac{b_c}{B_c}, \quad (11)$$

где b_c – число блоков данных, содержащих по крайней мере одну строку; B_c – общее количество блоков данных.

Таким образом, эффективность выбора системы индексов формально выражается следующим выражением:

$$P_{\text{инд}} = f(I, V_{\text{инд}}). \quad (12)$$

Производительность ПС $P^{\text{ПС}}$ представляется следующим образом:

$$P^{\text{ПС}} = f(B, U, I, V_{\text{инд}}), \quad (13)$$

Для реализации комплексного подхода рассмотрены показатели эффективности аппаратного обеспечения ИС и их влияние на его производительность. Производительность аппаратного обеспечения ИС P^a зависит от соответствующих показателей

$$P^a = f(P_{\text{пр}}, P_{\text{п}}, P_{\text{д}}, P_{\text{с}}), \quad (14)$$

где $P_{\text{пр}}, P_{\text{п}}, P_{\text{д}}, P_{\text{с}}$ – показатели производительности частей аппаратного обеспечения ИС по процессорной системе, оперативной памяти, дисковой и сетевой подсистемах соответственно.

Основная метрика производительности ИС на основе СУБД по версии *TPC P_T* характеризуется количеством транзакций, выполненных в течение минуты и состоит из двух составных частей:

1. P_S – определяет производительность исследуемой ИС в зависимости от объема БД к среднему времени выполнения набора транзакций (запросов), выполненных последовательно в одном потоке за одну минуту;

2. T_S – определяет пропускную способность выполнения множества транзакций в нескольких параллельных потоках за одну минуту.

На их основе вычисляется производительность ИС и относительный критерий «Производительность/Стоимость».

Предложены решения для устранения выявленных на этапе анализа недостатков тестов *TPC*. Для первого случая необходимо определить влияние со-

ставляющих ИС на общую производительность выполнения транзакций для базы, используемой в тестах *TPC*, на основе информации о результатах тестирования с различными конфигурациями конкретного ИС. Таким образом, имея текущую конфигурацию ИС, на основе собранной статистики результатов тестирования можно определить долю увеличения производительности от изменения определенных компонент ИС:

$$\Delta P = \sum_{k=1}^4 \Delta P_k = \sum_{k=1}^4 \left(\frac{P_k}{P} - 1 \right), \quad (15)$$

где k – компонента ИС ($k = 1 \dots 4$, 1 – процессор, 2 – оперативная память, 3 – дисковая подсистема, 4 – сетевая подсистема);

P_k – производительность при k -том изменяемом компоненте ИС;

P – производительность текущей конфигурации ИС.

Новое значение производительности модернизированного ИС определяется следующим образом:

$$P' = P \cdot (1 + \Delta P). \quad (16)$$

Затраты, которые необходимо понести для данного увеличения производительности ΔC :

$$\Delta C = \sum_{k=1}^4 \Delta C_k = \sum_{k=1}^4 (C_k - C_{k_{\text{тек}}}), \quad (17)$$

где C_k – стоимость k -той изменяемой компоненты ИС,

$C_{k_{\text{тек}}}$ – стоимость k -того компонента текущей конфигурации ИС.

Количество возможных вариантов конфигураций ИС:

$$L = \prod_{i=1}^4 k_i = \prod_{i=1}^4 C_{k_i}^1, \quad (18)$$

где k_i – количество возможных вариантов выбора одного элемента из i -й группы компонентов ИС.

Для второго случая вводятся поправочные коэффициенты в формулу (15), которые позволяют оценить реальную производительность ИС при определенной загрузке ресурсов. Для компонентов аппаратного обеспечения ИС в ходе тестовых испытаний были проведены тестовые эксперименты производительности в зависимости от загрузки данного компонента.

Показатели производительности компонентов аппаратного обеспечения ИС представлены следующим выражением:

$$P_k^{x_k} = f_k(x_k), \quad (19)$$

где x_k – загрузка k -го компонента ИС, $0 \leq x_k \leq 1$.

Справедливо предположить, что при нулевой загрузке ресурсов ИС получим максимальную производительность

$$\max(P_k) = f_k(0). \quad (20)$$

Сделано допущение, что характер зависимости производительности от загрузки компонентов ИС будет одинаковым для различных наборов компонентов. Таким образом, с учетом данного предположения, можно проанализировать влияние загрузки компонентов ИС на его общую производительность и получить новое значение производительности по формуле (16) с учетом характера загруженности ИС.

В процессе тестирования получают пары значений $(x_0; f(x_0))$, $(x_1; f(x_1))$, \dots , $(x_{n-1}; f(x_{n-1}))$, где x – тестируемый показатель при $0 \leq x \leq 1$, $f(x)$ – производительность ИС. Промежуточное значение производительности $f(x)$ определяется методом линейной интерполяции по значению загрузки рассматриваемого компонента.

Искомые поправочные коэффициенты, которые дали бы реальную производительность ИС при определенной загрузке ресурсов, можно представить следующей формулой:

$$D_k^{x_k} = \frac{P_k^{x_k}}{P_k} = \frac{f_k(x_k)}{f_k(0)}. \quad (21)$$

Значение производительности ИС в новой конфигурации и загруженных компонентах будет выражаться следующей формулой:

$$P'' = P' \cdot \prod_{k=1}^4 D_k^{x_k}. \quad (22)$$

Текущее значение производительности ИС с учетом загруженности компонентов будет определяться следующим образом:

$$P^m = P \cdot \prod_{k=1}^4 D_k^{x_k}, \quad (23)$$

где литера m обозначает текущее значение производительности.

Сконфигурируем тестовый набор запросов наиболее часто используемых в БД исследуемой ИС и вычислим ее производительность P_{DB} по этому набору.

Введем коэффициент D_{DB} , выражающий зависимость производительности исследуемой БД и известной БД, принятой организацией *TPC* как наиболее типичной в задачах *OLTP* и *OLAP*. Коэффициент D_{DB} вычисляется для текущей конфигурации имеющейся ИС:

$$D_{DB} = \frac{P^m}{P_{DB}}. \quad (24)$$

Тогда новое значение производительности с учетом загрузки компонентов будет выражаться следующей формулой:

$$P_{DB}'' = \frac{P''}{D_{DB}} = \frac{P''}{P^m} \cdot P_{DB}. \quad (25)$$

Следует отметить, что описанные выше показатели ИС не влияют на внутренние структуры данных. Показатели коммуникаций сети ИС в (1) выражаются конфигурацией информационно-телекоммуникационной сети. Сделано допущение, что пропускная способность сети и ее конфигурация достаточна для обеспечения эффективной работы ИС. Был проведен ряд экспериментов по определению зависимости производительности ИС от пропускной способности сети при различных вариантах конфигурации ИС. К значимому изменению производительности ИС это не привело. Поэтому в рамках настоящего исследования показатели коммуникаций сети ИС приняты в качестве постоянных.

Введем понятие эффективности модернизации ПС, нацеленную на повышение ее производительности:

$$E = \frac{\Delta C}{\Delta P}. \quad (26)$$

Пусть $X = \{x_1, \dots, x_h\}$ – вектор показателей ПС, где h – количество показателей ПС, участвующих в модернизации ПС.

Ставятся следующие задачи увеличения производительности ПС:

1. При имеющихся ресурсах получить максимальную производительность ПС при возможных ограничениях на изменяемые параметры $x_k = x_{0k}$:

$$P = \sum_{k=1}^h \Delta P(x_k) \rightarrow \max, \text{ при } C_3 = \sum_{k=1}^h \Delta C(x_k). \quad (27)$$

2. При заданных требованиях к производительности ПС минимизировать необходимые затраты при возможных ограничениях на изменяемые параметры $x_k = x_{0k}$:

$$C = \sum_{k=1}^h \Delta C(x_k) \rightarrow \min, \text{ при } P_3 = \sum_{k=1}^h \Delta P(x_k). \quad (28)$$

При этом пара, характеризующая компонент, выбирается из дискретного множества результатов тестирования производительности ПС по тестам TPC :

$$(c_k, p_k) \in \{C_k, P_k\}, j = 1, \dots, a_k \quad (29)$$

где a_k – количество различных вариантов выбора k -го компонента.

С учетом ограниченного множества вариантов компонент ПС задачи 1 и 2 предлагается решать на основе полного перебора вариантов.

Третья глава посвящена разработке и пилотному внедрению прототипа программного обеспечения, реализующего описанную во второй главе комплексную технологию увеличения производительности ПС.

Технология увеличения производительности ПС представляет собой следующий ряд основных этапов:

1. Выполняется комплексный анализ показателей параметров СУБД, и структуры используемой БД и аппаратного обеспечения ИС. В результате чего определяются возможные направления увеличения производительности с последующим выбором эффективных с технической и экономической точки зрения решений. Далее анализируются запросы наиболее часто используемых клиентами при обращении к БД и на основе собранной статистики формируется некоторый тестовый набор запросов, с помощью которого можно будет вычислить производительность данной ИС.

2. Выполняется анализ эффективности предложенных решений по модернизации ПС, настроек СУБД и индексации данных. На этом этапе определяются варианты модернизации с учетом экономических параметров ИС и выносится решение о реализации выбранного варианта из предложенных вариантов. При необходимости изменяются принятые ограничения, вновь определяются варианты модернизации и выносится решение о реализации предложенного варианта.

В работе разработана функциональная модель процесса увеличения производительности ПС на основе СУБД и проведена декомпозиция функциональных блоков для решения задачи увеличения производительности ПС.

Данные о конфигурации ИС, а также мониторинг операций работы СУБД с БД записываются в хранилище данных, модель которого представлена на рис 2.

На основе предложенного во 2-й главе метода индексации данных был разработан алгоритм индексирования данных с применением матрицы CRUD и

селективности блоков данных, представленный на рис. 3. Также определяется уровень фрагментации, в зависимости, от которого производится перестроение (удаление старого индекса и создание нового) или реорганизация (дефрагментация) индекса.

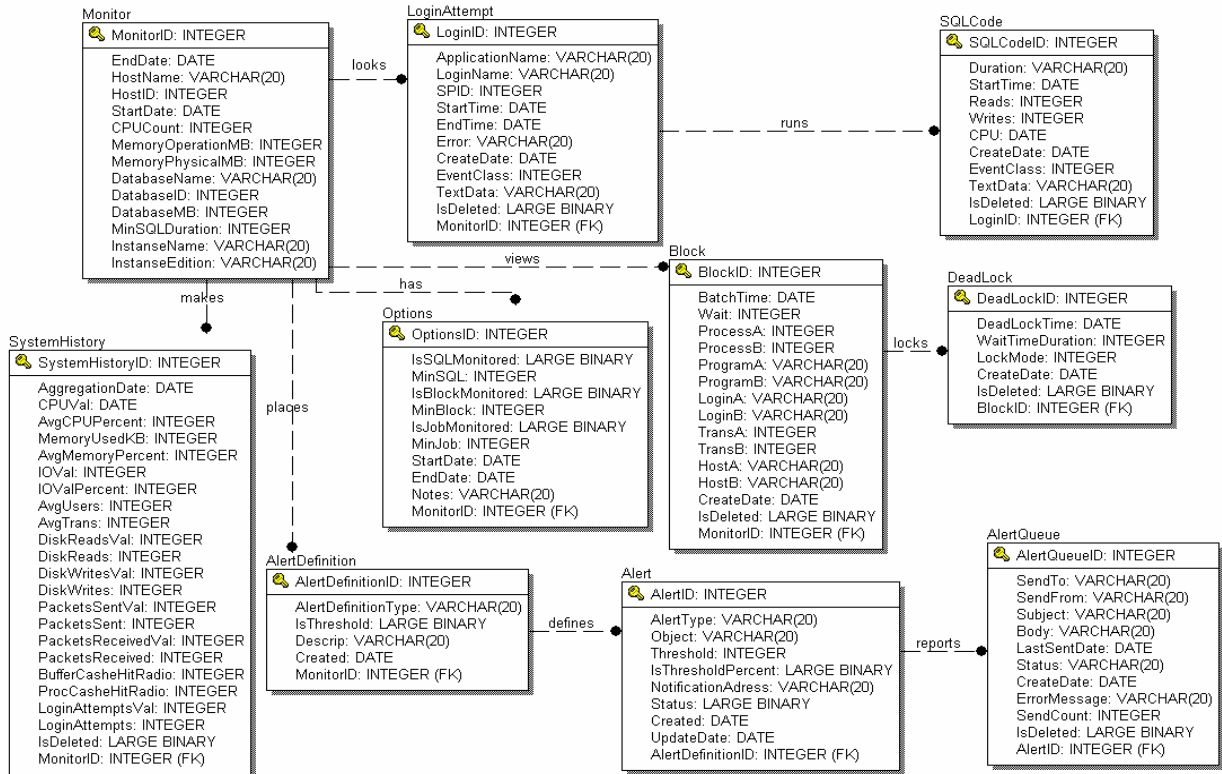


Рисунок 2 – Модель хранения архивной информации о работе ИС и СУБД

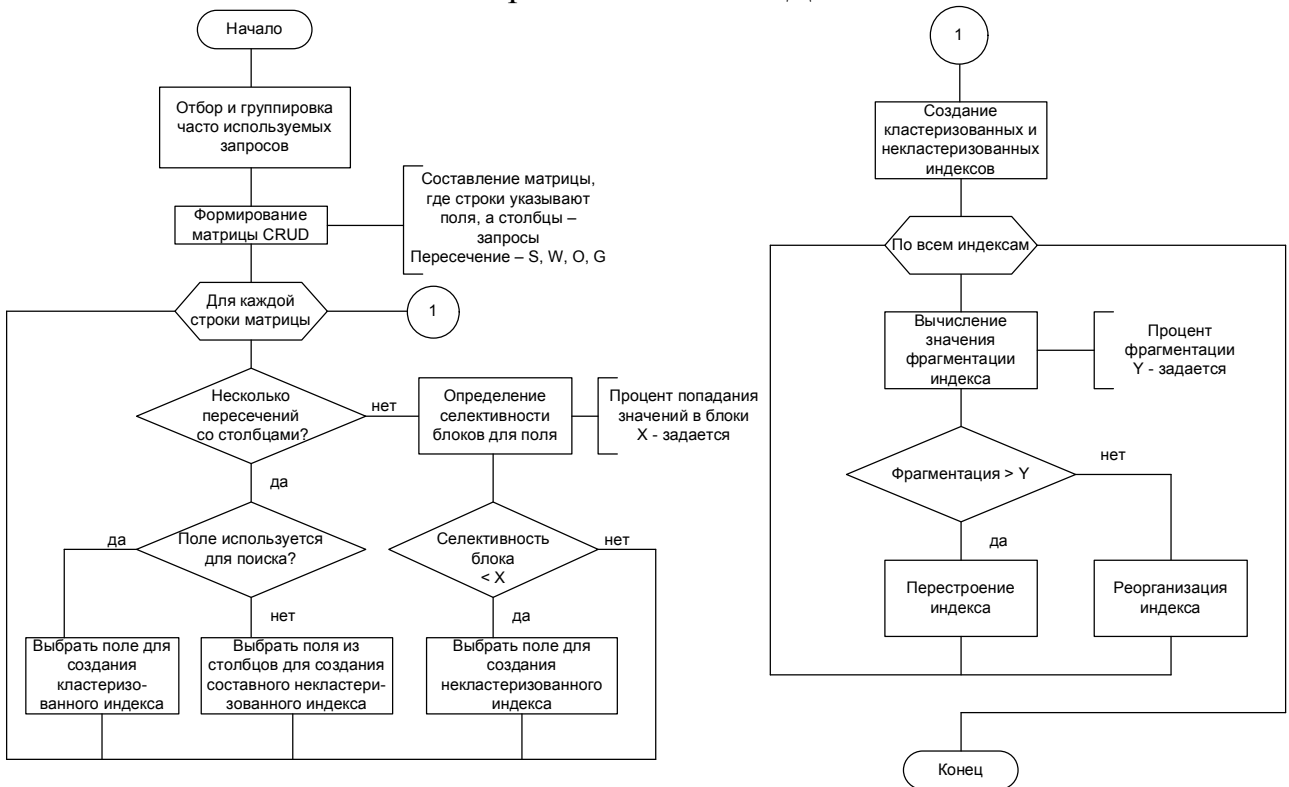


Рисунок 3 – Блок-схема алгоритма индексирования данных методом матрицы CRUD и селективности блоков данных

Анализ эффективности предлагаемых методов и алгоритмов выполнен на примере системы управления гостиницей (СУГ) «*Epitome PMS*», внедренной в гостиничном комплексе «Президент Отель» г. Уфа, РБ. В результате апробации метода индексирования данных и селективности блоков данных удалось добиться повышения скорости работы системы на 21,88 %. Повышение производительности при модернизации конфигурации СУГ методом, описанным в работе, составило 26,23%. Общее время отклика системы при использовании двух методов по полученным результатам эксплуатации системы снизилось на 48,11% (Таблица 2). Погрешность решения от полученных на практике данных после модернизации программного комплекса равна 4,76 %.

Таблица 2. Оценка эффективности разработанных методов

	Без использования методов увеличения производительности	Комплексное увеличение производительности	
		Индексирование методом матрицы CRUD	Модернизация аппаратного обеспечения ИС
Количество транзакций в тесте		2817	
Количество транзакций в минуту	349	426	440
Количество индексов	528	414	528
Размер индексов, Мб	509	241	509
Конфигурация аппаратного обеспечения ИС	Intel Xeon E5405 (2GHz); 4(2x2)Gb DDR2; 4x160Gb (8Mb Buffer); Gigabit Ethernet	Intel Xeon E5405 (2GHz); 4(2x2)Gb DDR2; 4x160Gb (8Mb Buffer); Gigabit Ethernet	Intel Xeon E5420 (2,5GHz); 8(4x2)Gb DDR2; 2x320Gb (32Mb Buffer); Gigabit Ethernet
Повышение скорости работы системы, %	0	48,11	
		21,88	26,23
Стоимость затрат	0	0	323\$

Делается вывод об эффективности предложенных решений. В главе рассматриваются особенности применения метода индексирования данных и селективности блоков данных для БД единого справочника материалов, предназначенный для организации централизованного хранения и использования информации по материалам и сортаментам, используемой различными системами, эксплуатирующимися на ОАО «Уфимское моторостроительное производственное объединение». Показано, что в результате выполнения индексации данных разработанным методом удалось добиться повышения скорости работы БД материалов на тестовом наборе на 12,09%.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Предложена технология модификации программных систем обработки и управления данными, позволяющая выполнить комплексный учет всех составляющих систем при условии соблюдения требования невмешательства во внутренние структуры базы данных, а также учитывать затраты на модернизацию информационных систем для их эффективного развития.

2. Разработан метод увеличения производительности программных систем на основе индексирования базы данных, позволяющий сократить количество и объем часто используемых индексов для выполнения операций производимых пользователями БД при сохранении ее функциональности.

3. Разработана методика определения показателей программных систем обработки и управления данными на основе нагрузочного тестирования, позволяющая оценить их влияние на общую производительность и сформировать практические рекомендации по конфигурированию эффективного состава информационных систем для достижения заданной производительности.

4. Разработан алгоритм и прототип программного обеспечения увеличения производительности программных систем обработки и управления данными, реализующий предложенную технологию, метод и алгоритм и позволяющий оценить их эффективность. Прототип прошел апробацию в ОАО «Авро-ра», гостиничный комплекс «Президент Отель», г. Уфа, где внедрена система управления гостиницей «Epitome PMS». Установлено, что общее время отклика системы снизилось на 48,11% в результате применения предложенных алгоритма увеличения производительности программных систем на основе индексирования данных, а также методики определения показателей программных систем обработки и управления данными. Погрешность решения от полученных на практике данных равна 4,76 %. Также в результате выполнения индексации данных для БД материалов, которая используется различными системами, эксплуатирующимися на ОАО «Уфимское моторостроительное производственное объединение», удалось добиться повышения скорости работы БД материалов на тестовом наборе на 12,09 %.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В рецензируемом журнале из списка ВАК

1. Подход к анализу характеристик производительности БД / В. В. Мартынов, Е. Н. Прошин // Вестник УГАТУ: науч. журн. уфимск. гос. авиац. техн. ун-та. Серия Управление, вычислительная техника и информатика. 2009 . Т.13, №2 (35). С. 198 – 205.

В других изданиях

2. Нахождение цикла модифицированного вычислительного алгоритма потенциалов / А. П. Мартынов, Е. Н. Прошин // Принятие решений в условиях неопределенности: Межвуз. научн. сб-к. Уфа: УГАТУ, 2005. С. 25 – 32.

3. Организация бизнес-процессов ведения справочников PDM-системы промышленного предприятия / В. В. Мартынов, Е. Н. Прошин // Актуальные пробл. упр. в соц. и экон. сист.: Межвуз. науч. сб-к. Уфа: УГАТУ, 2006. С.131–135.

4. Анализ текущего состояния рынка СУБД для хранилища данных / Е. Н. Прошин // Интеллект. сист. обр-ки инф-ции и управл.: Сб-к тр. 2-ой рег. зимн. шк.-сем. асп. и молод. ученых. Т.2. Уфа: Технология, 2007. С. 175–179.

5. Разработка подсистемы ведения справочника материалов для крупного машиностроительного объединения / Е. Н. Прошин // Мавлютовские чтения: Материалы всерос. молодежн. науч. конф.. Уфа: УГАТУ, 2007. Т.4. С.149 – 151.

6. Проектирование распределенной СУБД применительно к БД материалов для крупного машиностроительного объединения / В. В. Мартынов, Е. Н. Прошин // Матер. 9-ой межд. конф. комп. наук и инф. техн. CSIT'2007. Красноуфольск, Уфа, 2007. Т.2. С. 222 – 228 (на англ. языке).

7. Использование свободно распространяемого программного обеспечения для управления бизнес-процессами / Е. Н. Прошин // Управление инф. инфраструктурой организации на основе технологии откp. систем: Сб-к тр. участн. V межд. науч.-практ. сем.. Магнитогорск: МаГУ, 2008. С. 74 – 77.

8. Эволюционное моделирование баз данных как метод изменения структуры и управления изменениями / В. В. Мартынов, Е. Н. Прошин // Матер. 10-ой межд. конф. комп. наук и инф. техн. CSIT'2008. Турция, Анталия, 2008. Т. 2. С. 202 – 207. (на англ. языке).

9. Стратегии оптимизации и повышение эффективности работы СУБД / Е. Н. Прошин // Мавлютовские чтения: Материалы всерос. молодежн. науч. конф.. Уфа: УГАТУ, 2009. Т.3. С.108 – 109.

10. Анализ производительности программно-аппаратного комплекса СУБД / В. В. Мартынов, Е. Н. Прошин // Матер. 11-ой межд. конф. комп. наук и инф. техн. CSIT'2009. Греция, Крит, 2009. Т. 3. С. 46 – 50. (на англ. языке).

11. Инструментальные средства оптимизации производительности программно-аппаратного комплекса / Мартынов В.В., Прошин Е.Н. // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ .№2010613961 в РосАПО от 18.06.2010.

ПРОШИН Евгений Николаевич

КОМПЛЕКСНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ
МОДИФИКАЦИИ ПРОГРАММНЫХ СИСТЕМ
ОБРАБОТКИ И ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНДЕКСИРОВАНИЯ

Специальность 05.13.11 – Математическое и программное обеспечение
вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано к печати 26.08.2010. Формат 60x84 1/16.
Бумага офсетная. Печать плоская. Гарнитура Times New Roman.
Усл. печ. л. 1,0. Усл. кр.-отг. 1,0. Уч.- изд. л. 0,9.
Тираж 100 экз. Заказ № 350

ГОУ ВПО Уфимский государственный авиационный технический университет
Центр оперативной полиграфии
450000, Уфа-центр, ул. К.Маркса,12