

# СОЗДАНИЕ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕЗЕРВА В РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМАХ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

С.К. Сомов

Представлены основные этапы формирования информационно-технологического резерва данных в распределенных автоматизированных информационно-управляющих системах. Формирование резерва выполняется на основе результатов анализа предметных областей пользователей, регулярных запросов к системе и анализа последовательности выполнения процедур обработки запросов. Поставлены задачи синтеза структуры резерва и оптимального размещения его копий по узлам компьютерной сети. Отмечено, что данный вид резервирования позволяет сократить время обработки типовых, регулярных запросов к системе благодаря тому, что резерв содержит заранее подготовленные массивы данных, используемые затем при обработке запросов.

**Ключевые слова:** распределенная система обработки данных, компьютерная сеть, информационно-технологический резерв.

## ВВЕДЕНИЕ

Распределенные системы обработки данных (РСОД) различных типов, назначения и масштаба предназначены для обеспечения доступа огромному числу пользователей к программным, информационным и вычислительным ресурсам компьютерной сети. Это сложные технические системы, работа которых основана на взаимодействии большого количества аппаратных, программных и информационных компонентов. Распределенные системы объединяют компьютеры пользователей и информационные и программные ресурсы серверов компьютерной сети, удаленные друг от друга на сотни и тысячи километров.

Проектирование и создание таких систем — большой, ресурсоемкий и сложный процесс, в ходе которого необходимо решить множество важных задач. Одна из таких задач состоит в обеспечении высокой производительности системы. Для этого необходимо:

— применение качественных аппаратных средств (надежные каналы связи с большой пропускной способностью, высокопроизводительные серверы, надежные и быстродействующие устройства хранения информации);

— проектирование оптимальной по тем или иным критериям логической и физической струк-

туры распределенных по узлам сети данных, с которыми работают такие системы;

— размещение программных и информационных ресурсов максимально близко к пользователям, которым необходимы эти ресурсы.

Для приближения программных и информационных ресурсов к пользователям могут применяться методы [1—5], предусматривающие репликацию массивов данных и таблиц распределенных баз данных и распределение по нескольким узлам сети горизонтальных и/или вертикальных фрагментов таблиц распределенных баз данных.

Перечисленные решения позволяют увеличить производительность системы и надежность ее работы. Производительность системы увеличивается благодаря размещению данных в нескольких ближайших к пользователям узлах сети. Надежность работы системы также повышается, так как при сбое обработки запроса пользователя к данным, расположенным в одном узле сети, запрос можно переадресовать в другой работоспособный узел с необходимыми данными.

В настоящей статье предлагается новый эффективный метод повышения производительности и надежности работы распределенных систем, суть которого заключается в создании и оптимальном размещении в узлах компьютерной сети информационно-технологического резерва (ИТР).



## 1. ЦЕЛИ И ЭТАПЫ ФОРМИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕЗЕРВА

Информационно-технологическое резервирование развивает и обобщает методы структурно-технологической избыточности [6]. Информационно-технологический резерв основывается на использовании преимуществ:

— концепции репликации по узлам сети массивов данных и таблиц баз данных или их фрагментов [7—12], что обеспечивает повышение надежности и производительности распределенной системы;

— концепции предметно-ориентированных баз данных [13—15], структура данных которых построена с учетом результатов анализа предметных областей пользователей и их запросов к данным и оптимизирована в целях сокращения времени получения отчетов и результатов бизнес-анализа хранящихся в них данных.

### 1.1. Специфика информационно-технологического резервирования

Специфика метода информационно-технологического резервирования заключается в его нескольких особенностях. Применение ИТР основывается на том, что во многих случаях характеристики и особенности обработки регламентных, регулярных запросов пользователей к РСОД позволяют разбить их на несколько групп запросов различного типа. Для каждой такой группы можно выделить инвариантную этой группе общую часть технологии обработки запросов и подмножество используемых ими данных. Это означает, что в технологии обработки запросов группы есть общая часть, которая используется при обработке всех запросов данной группы. Эта часть технологии выделяется в виде подмножества процедур обработки данных, которая выполняется заранее, до поступления регламентных запросов. В результате работы этого подмножества процедур формируются промежуточные, вспомогательные массивы данных, которые затем используются при обработке запросов соответствующего типа. Очевидно, что изложенное выше за редким исключением не относится к узкоспециализированным, разовым ad-hoc запросам, а применимо к регулярным, регламентным запросам.

Таким образом, ИТР представляет собой множество процедур обработки исходных данных РСОД и сформированных ими массивов промежуточных данных, которые распределяются в виде копий по узлам компьютерной сети и затем используются при обработке регулярных запросов пользователей системы. Применение информационно-технологического резервирования целесооб-

разно и наиболее эффективно в автоматизированных информационно-управляющих системах, функционирующих на основе РСОД. Это объясняется, прежде всего, тем, что, значительная часть генерируемых в таких системах запросов пользователей является регламентными, а также тем, что даже произвольные запросы в таких системах могут иметь некоторую степень общности, поскольку они формируются в рамках решения регулярных управленческих задач.

Еще одним примером систем, в которых информационно-технологическое резервирование целесообразно, служат распределенные информационные системы многофилиальных банков, филиалы которых распределены по территориально удаленным городам Российской Федерации. Этот пример особенно актуален, так как все российские банки обязаны на регулярной основе готовить большое количество стандартных отчетных форм для представления в Банк России.

Информационно-технологический резерв размещается по узлам распределенной системы в виде некоторого числа идентичных копий. Распределенные по узлам сети копии ИТР, содержащие сформированные промежуточные массивы данных, используются при обработке типовых запросов пользователей, инициируемых после создания ИТР. Копии ИТР, размещенные по нескольким узлам сети, обеспечивают кратчайший путь и минимальное время доступа пользователей к необходимой им информации. Кроме того, наличие в узлах сети копий ИТР позволяет сократить время обработки запросов, поскольку для их обработки используются заранее подготовленные промежуточные массивы данных. Использование ИТР, таким образом, позволяет увеличить эффективность функционирования распределенной системы благодаря уменьшению времени реакции системы на запросы.

Кроме того, при регулярном создании в системе обработки данных полных копий (full backup) ИТР появляется возможность обработки запросов к историческим данным. Эти полные исторические копии можно использовать и для восстановления текущей копии ИТР в случае ее частичного или полного разрушения по разным причинам.

### 1.2. Цели создания информационно-технологического резерва

Конечные цели проектирования и создания информационно-технологического резервирования заключаются в:

— разработке множества процедур обработки запросов, предназначенных для предварительной обработки информации;

— формировании промежуточных массивов данных ИТР с помощью разработанных процедур;

— распределении ИТР (промежуточных массивов данных и множества процедур) по узлам РСОД централизованным или децентрализованным образом.

Проектирование ИТР осуществляется в предположении, что предметная область и множество запросов пользователей РСОД считаются заданными. Взаимодействие пользователей с РСОД представляется в виде множества формируемых ими типовых запросов. Каждый такой запрос можно отнести к некоторому определенному типу, обработка которого описывается графом исполнения.

Так как ИТР представляет собой составную часть РСОД, то его проектирование и создание ведется в рамках процесса проектирования и создания всей РСОД.

Процесс проектирования и создания ИТР в рамках РСОД состоит из трех этапов.

**Этап 1. Анализ предметных областей пользователей.** Проводится анализ предметных областей пользователей системы. Уточняются входные, промежуточные и итоговые данные. Уточняется перечень и последовательность выполнения процедур обработки этих данных при обработке запросов пользователей. Каждый запрос должен быть отнесен к тому или иному типу запросов. Каждый тип запросов характеризуется определенным набором используемых данных и процедур их обработки.

Для выполнения работ на данном этапе целесообразно воспользоваться получившими широкое распространение и неоднократно проверенными на практике формальными моделями и методами анализа предметных областей пользователей информационно-управляющих систем, разработанных в Институте проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН [4, 5, 16–20]. Данные модели представляют собой совокупность взаимосвязанных матричных и графовых моделей и используются на этапе анализа предметных областей пользователей.

Результатом работ данного этапа являются множество различных типов входных, промежуточных и выходных данных и множество процедур обработки данных, используемых в процессе обработки запросов пользователей. Информационные связи между процедурами формализуются в форме мультиграфа, вершинами которого служат процедуры, а связывающие эти вершины дуги раскрашены общими для смежных процедур информационными элементами.

В графовой интерпретации задача анализа предметных областей пользователей состоит в разбиении полученного мультиграфа на подграфы с минимальным числом связей между ними [16, 17].

**Этап 2. Синтез программного и информационного обеспечения информационно-технологического**

**резерва.** На основе данных, полученных в результате выполнения работ первого этапа, проводится синтез информационного и программного обеспечения ИТР, т. е. определяются промежуточные и выходные данные и наборы процедур обработки данных, которые объединяются в программные модули. Синтез ИТР производится на основе принципа модульности, который позволяет оптимизировать состав и взаимосвязи отдельных компонентов программного и информационного обеспечения ИТР [16, 17, 20, 21].

В работе [21] дано содержательное определение ряда понятий, употребляемых для формализации и описания основных положений анализа и синтеза модульных систем обработки данных. Будем пользоваться следующими определениями.

*Запрос* — требование (заявка) пользователя на обработку данных, которое характеризуется некоторым составом обрабатываемых данных, результатом обработки данных и ограничением на время обработки.

*Тип запросов* — множество запросов, характеризующееся одинаковыми обрабатываемыми данными и набором процедур их обработки. К одному типу относятся такие запросы, для обработки которых используются одинаковый набор данных и одинаковое множество процедур их обработки, выполняемых системой в одинаковой последовательности.

*Информационный элемент (ИЭ)* — наименьшая, неделимая часть данных, допускающая независимое использование в процессе обработки данных.

*Процедура обработки данных* — формализованное действие по преобразованию ИЭ или группы ИЭ в другой ИЭ или группу ИЭ в соответствии с логикой обработки запросов.

*Задача РСОД* — набор процедур и обрабатываемых ими ИЭ, необходимых для обслуживания запросов одного или нескольких типов.

На основе результатов анализа предметных областей и регулярных запросов пользователей определяются характеристики ИТР:

- множество задач по обработке запросов;
- множество процедур обработки данных, используемых при решении задач по обработке запросов;
- вхождение процедур обработки данных в состав программных модулей;
- множество ИЭ, связанных с процедурами обработки данных и классифицируемых по типам: входной, промежуточный или выходной элемент данных;
- вхождение ИЭ в состав массивов данных;
- варианты взаимодействия процедур обработки данных с ИЭ;
- технологическая матрица смежности;



- множество допустимых последовательностей выполнения процедур;
- характеристики процедур и ИЭ.

**Этап 3. Размещение ИТР по узлам сети.** Единственная задача данного этапа состоит в оптимальном размещении копий ИТР по серверам РСОД. Цель такого размещения — повышение производительности, надежности и снижение стоимости функционирования распределенной системы. В качестве критериев оптимальности размещения копий ИТР могут использоваться такие критерии, как минимум среднего времени обработки запросов пользователей, минимум стоимости функционирования РСОД и максимум вероятности получения ответа на запрос пользователя.

Модели и методы анализа предметных областей пользователей подробно описаны в цитированной выше литературе, поэтому на них останавливаться не будем, а более подробно рассмотрим работы второго и третьего этапов процесса создания ИТР.

## 2. ФОРМУЛИРОВКА ЗАДАЧИ СИНТЕЗА ПРОГРАММНОГО И ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕЗЕРВА

Рассмотрим постановку задачи синтеза ИТР на этапе техно-рабочего проектирования распределенной системы обработки данных.

Введем обозначения:

$A = \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_r, \dots, \alpha_R\}$  — множество процедур обработки данных;

$D = \{d_1, d_2, \dots, d_r, \dots, d_L\}$  — множество ИЭ, обрабатываемых процедурами множества  $A$ ;

$W = \|\omega_{rl}\|$  — технологическая матрица смежности, которая отражает взаимосвязи ИЭ с процедурами их обработки, в которой:

$$\omega_{rl} = \begin{cases} +1, & \text{если } l\text{-й ИЭ — исходный} \\ & \text{для } i\text{-й процедуры,} \\ -1, & \text{если } l\text{-й ИЭ — результат} \\ & r\text{-й процедуры,} \\ 0, & \text{если } l\text{-й ИЭ не используется} \\ & r\text{-й процедурой;} \end{cases}$$

$W^c = \|\omega_{rl}^c\|$  и  $W^3 = \|\omega_{rl}^3\|$  — соответственно матрицы взаимосвязей ИЭ с процедурами при считывании и записи, где

$$\omega_{rl}^{c(3)} = \begin{cases} 1, & \text{если } l\text{-й ИЭ считывается (записывается)} \\ & r\text{-й процедурой,} \\ 0 & \text{в противном случае;} \end{cases}$$

$\Omega(A)$  — множество допустимых последовательностей выполнения процедур при решении задачи обработки запросов, определенное на множестве процедур;

$w \in \Omega(A)$  — конкретная заданная последовательность выполнения процедур обработки данных.

В дополнение к множеству  $\Omega(A)$  определим множество  $P$  возможных последовательностей выполнения процедур в виде матрицы  $P = \|P_{r\theta}\|$ , где

$$P_{r\theta} = \begin{cases} 1, & \text{если } r\text{-я процедура может быть выполнена} \\ & \theta\text{-й в заданной последовательности} \\ & \text{реализации процедур при обработке данных,} \\ 0 & \text{в противном случае;} \end{cases}$$

$\tau_v$  — среднее время считывания  $v$ -го модуля из внешней памяти в оперативную память сервера;

$t_f^c$  — среднее время считывания  $f$ -го массива данных из внешней памяти в оперативную память сервера;

$t_f^3$  — среднее время записи результатов обработки в  $f$ -й массив данных.

Методы, которые позволяют получить оценки значений величин  $\tau_v$ ,  $t_f^c$  и  $t_f^3$  рассмотрены в работах [18, 19, 22].

В общем случае компьютерная сеть неоднородна и строится на базе серверов и каналов связи с различными техническими характеристиками, что существенно увеличивает вычислительную сложность задачи. Поэтому с целью сокращения размерности задачи будем пользоваться для данных величин усредненными оценками на множестве всех серверов и каналов связи.

Введем переменные:

$$y_{vl}^{c(3)} = \begin{cases} 1, & \text{если } \sum_{r=1}^R \omega_{rl}^{c(3)} x_{rv} \geq 1, \\ 0, & \text{если } \sum_{r=1}^R \omega_{rl}^{c(3)} x_{rv} < 0; \end{cases}$$

$$y_{vf}^{c(3)} = \begin{cases} 1, & \text{если } \sum_{l=1}^L y_{vl}^{c(3)} z_{lf} \geq 1, \\ 0, & \text{если } \sum_{l=1}^L y_{vl}^{c(3)} z_{lf} < 0; \end{cases}$$

$$x_{rv} = \begin{cases} 1, & \text{если } r\text{-я по порядку выполнения процедура} \\ & \text{включается в состав } v\text{-го модуля,} \\ 0 & \text{в противном случае;} \end{cases}$$

$$z_{vf} = \begin{cases} 1, & \text{если первый ИЭ включается в } f\text{-й массив,} \\ f = \overline{1, F}; \quad F \leq L. \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Переменные  $y_{vl}^{c(3)}$  и  $y_{vf}^{c(3)}$  служат для формализации взаимосвязи модулей ИТР с ИЭ и массивами данных при считывании (записи) в процессе обмена с внешней памятью серверов.

**Формулировка задачи.** Введенные обозначения и переменные позволяют сформулировать задачи поиска оптимальной структуры ИТР для заданной предметной области и множества типовых запросов пользователей РСОД [16, 21].

На этапе проектирования модульных систем обработки данных принимаются следующие основные критерии [16]:

- минимум времени, затраченного на обмен данными между оперативной памятью и внешними запоминающими устройствами при решении задач;
- минимум сложности межмодульного интерфейса;
- минимум объема неиспользуемых данных при пересылках между оперативной и внешней памятью серверов системы;
- минимум технологической сложности алгоритмов обработки данных;
- максимум производительности системы при решении задач и др.

Рассмотрим формулировку задачи синтеза оптимальной структуры программного и информационного обеспечения ИТР. В качестве критерия оптимизации примем минимальное общее время обмена с внешней памятью серверов при обработке запросов пользователей. Данный критерий имеет большое значение при синтезе программного и информационного обеспечения систем обработки данных, так как время, затрачиваемое на обмен данными, во многом определяет быстродействие системы.

Задача формулируется таким образом: найти

$$\min_{(x_{rv}, z_{vf})} \left\{ \sum_{r=1}^R \sum_{v=1}^V x_{rv} (1 - x_{r+1, v}) \times \left[ \tau_v + \sum_{f=1}^F (z_{vf}^c t_f^c + z_{vf}^3 t_f^3) \right] \right\} \quad (1)$$

при ограничениях на:

— общее число процедур обработки данных в составе каждого модуля:

$$\sum_{r=1}^R x_{rv} \leq \overline{M}, \quad v = 1, 2, \dots, V, \quad (2)$$

где  $\overline{M}$  — максимально допустимое число процедур в модуле;

— число ИЭ, обрабатываемых процедурами каждого модуля,

$$\sum_{l=1}^L y_{vl} \leq \overline{L}, \quad v = 1, 2, \dots, V, \quad (3)$$

здесь  $\overline{L}$  — максимально допустимое число ИЭ, обрабатываемых  $v$ -м модулем;

— сложность межмодульного взаимодействия в ИТР

$$\sum_{l=1}^L \sum_{v=1}^{V-1} \sum_{v'=v+1}^V y_{vl} y_{v'l} \leq S, \quad (4)$$

где  $S$  — максимально допустимая мощность информационного интерфейса между модулями ИТР, т. е. максимальное допустимое число переменных, общих для программных модулей ИТР;

— сложность информационного интерфейса между отдельными парами модулей

$$\sum_{l=1}^L y_{vl} y_{v'l} \leq S_{vv'}, \quad (5)$$

где для заданных модулей  $v$  и  $v'$  величина  $S_{vv'}$  — это максимально допустимое число общих ИЭ, обрабатываемых модулями  $v$  и  $v'$ ;

— однократность включения процедур в программные модули ИТР

$$\sum_{v=1}^V x_{rv} = 1, \quad r = 1, 2, \dots, R; \quad (6)$$

— включение отдельных процедур в состав одного модуля

$$x_{rv} + x_{r'v} \leq 1 \quad (7)$$

для заданных процедур  $\alpha_r$  и  $\alpha_{r'}$ ,  $v = 1, 2, \dots, V$ ;



— передачу управления из модуля до завершения обработки данных всеми процедурами этого модуля

$$\sum_{r=1}^R x_{rv}(1 - x_{r+1, v}) = 1, \quad v = 1, 2, \dots, V; \quad (8)$$

— дублирование ИЭ в массивах данных

$$\sum_{f=1}^F z_{jf} = k, \quad k = 1, 2, \dots, K; \quad (9)$$

где  $K$  — допустимая степень дублирования ИЭ в массивах данных;

— размер записи каждого массива данных

$$\sum_{l=1}^L z_{lf} \leq M, \quad f = 1, 2, \dots, F, \quad (10)$$

где  $N$  — максимально допустимое число ИЭ в массиве.

Если существуют трудности при оценке временных характеристик работы серверов компьютерной сети с программными модулями и массивами данных, то в этом случае в качестве критерия оптимизации следует принять минимальное число обращений к внешней памяти при обработке запросов пользователей.

Данная задача является вариантом задачи (1)—(10) и формулируется таким образом: найти

$$\min_{(x_{rv}, z_{jf})} \left\{ \sum_{r=1}^R \sum_{v=1}^V x_{rv}(1 - x_{r+1, v}) \times \left[ 1 + \sum_{f=1}^F (z_{vf}^c + z_{vf}^3) \right] \right\} \quad (11)$$

при ограничениях (2)—(10).

Рассмотренные задачи (1)—(11) синтеза модульной структуры программного и информационного обеспечения ИТР являются нелинейными задачами целочисленного программирования комбинаторного типа, для решения которых целесообразно использовать алгоритмы, приведенные в работе [21].

## Выводы

Рассмотренный процесс проектирования и создания ИТР в РСОД позволяет найти эффективное решение задачи использования ИТР в распределенных системах, в которых частоты возникновения запросов определенного типа относительно равномерно распределены по узлам компьютерной сети. Другими словами, когда в сети отсутствуют

сегменты, в которых наблюдается явное превышение интенсивности запросов одного или нескольких типов над интенсивностью запросов аналогичного типа, возникающих в других сегментах сети. Такая ситуация может иметь место в работе распределенной информационной системы многофилиального банка, в котором реализована технология обслуживания клиента в любом иногороднем филиале. В этом случае пользователи отделений филиала NN банка в городе N в большинстве случаев будут работать с данными клиентов банка, зарегистрированных в отделениях филиала этого же города N. И только в случае, когда в филиал NN в городе N приходит клиент, живущий и зарегистрированный в филиале XX города X, запросы к данным об этом клиенте из филиала NN будут направлены в сегмент сети, обслуживающий филиал XX города X.

В подобной ситуации процесс проектирования и синтеза ИТР усложняется. В этом случае работы на этапах синтеза и размещения ИТР распараллеливаются на несколько потоков. Каждый такой поток работ предназначен для синтеза и последующего размещения в сети ИТР, предназначенного для обработки одного или нескольких типов запросов. В данном потоке работ будут рассматриваться сегменты сети, в которых интенсивность запросов этих типов существенно выше, чем в других сегментах. В данной статье такая постановка задачи не рассматривается и служит предметом дальнейших исследований.

Отметим, что при проектировании ИТР для крупномасштабных РСОД с большим и очень большим количеством пользователей потребуется выполнить и существенный объем работ по анализу предметных областей пользователей системы:

- территориальная распределенность пользователей;
- перечень запросов и разбиение их по различным типам;
- запрашиваемая пользователями информация;
- частота возникновения запросов в узлах сети;
- выделение групп пользователей, запрашивающих аналогичные данные.

Очевидно, что этот процесс потребует выделения значительных ресурсов бизнес- и системных аналитиков, а также архитекторов РСОД.

В настоящей статье остался открытым вопрос о том, как необходимо разместить по узлам компьютерной сети спроектированный ИТР, чтобы достигался наибольший эффект от его использования в РСОД. Задача оптимального размещения копий ИТР по узлам РСОД будет рассмотрена в следующей статье.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренный новый подход к использованию информационной и программной избыточности в виде распределенных копий ИТР обеспечивает повышение реакции РСОД при обработке типовых, регулярных запросов пользователей таких систем. Множество копий ИТР после их создания и размещения по узлам сети служит информационной базой для РСОД при обработке запросов пользователей в будущем.

Использование такого вида резервирования, созданного для обработки типовых запросов, которые будут сформированы в будущем, позволяет ускорить процесс их обработки. Это ускорение достигается благодаря тому, что промежуточные данные, необходимые для этой обработки, подготавливаются заранее, до поступления самих запросов.

Описаны основные этапы формирования ИТР, перечислены преимущества этого вида резервирования и выделены важные вопросы, на которые необходимо уделить особое внимание при проектировании РСОД, использующих ИТР. Сформулированы задачи поиска оптимальной структуры ИТР с учетом предметных областей и множества типовых запросов пользователей распределенной системы.

Практика использования в РСОД информационно-технологического резервирования показывает, что применение такого вида резервирования приводит к экономии на 10–20 % затрат на обработку типовых запросов пользователей.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Таненбаум Э., ван Стеен М. Распределенные системы. Принципы и парадигмы. — СПб.: Питер, 2003. — 877 с.
2. Ozsu M.T., Valduriez P. Principles of distributed database systems. — 2nd ed. — NJ, USA, Upper Saddle River: Prentice-Hall, Inc., 1999. — 845 p.
3. Коннолли Т., Бег К. Базы данных. Проектирование, реализация и сопровождение. Теория и практика. — 3-е изд. — М.: Изд. дом «Вильямс», 2003. — 1440 с.
4. Кульба В.В., Ковалевский С.С., Косяченко С.А., Сиротюк В.О. Теоретические основы проектирования оптимальных структур распределенных баз данных. — М.: СИНТЕГ, 1999. — 660 с.
5. Сиротюк В.О. Разработка и исследование моделей и методов анализа и синтеза оптимальных структур баз данных иерархического и сетевого типов: дис. ... канд. техн. наук. — М.: ИПУ РАН, 1984. — 270 с.
6. Карсанидзе Т.В. Резервирование, восстановление и регистрация информации в автоматизированных системах управления, функционирующих на базе локальных сетей ЭВМ: автореф. дис. ... канд. техн. наук. — М.: ИПУ РАН, 1992. — 23 с.

7. Mansouri N. Adaptive data replication strategy in cloud computing for performance improvement // *Frontiers of Computer Science*. — 2016. — Vol. 10, iss. 5. — P. 925–935.
8. Sahoo J., Salahuddin M.A., Glitho R. A Survey on Replica Server Placement Algorithms for Content Delivery Networks // *IEEE Communications Surveys & Tutorials*. — 2016. — 30 p. [Электронный ресурс]. — URL: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1611/1611.01729.pdf> (дата обращения: 10.03.2018).
9. Sourji A., Rahmani A.M. A Survey for Replica Placement Techniques in Data Grid Environment // *International Journal of Modern Education and Computer Science*. — 2014. — Iss. 5. — P. 46–51.
10. Abdalla H.I. A synchronized design technique for efficient data distribution // *Computers in Human Behavior*. — 2014. — Vol. 30. — P. 427–435.
11. Singh A., Kahlon K.S. Non-replicated dynamic data allocation in distributed database system // *International Journal of Computer Science and Network Security*. 2009. — Vol. 9, N 9. — P. 176–180.
12. Чернышев Г.А. Обзор подходов к организации физического уровня в СУБД // *Тр. СПИИРАН*. — 2013. — Вып. 1 (24). — С. 222–275.
13. Шавелев Л.В. Оперативная аналитическая обработка данных: концепции и технологии. — URL: [http://www.olap.ru/basic/olap\\_and\\_ida.asp](http://www.olap.ru/basic/olap_and_ida.asp) (дата обращения: 6.07.2017).
14. Туманов В. Data Warehouse: с чего начать? // *PC Week*. — 1998. — № 29 (153). — URL: <https://www.itweek.ru/infrastructure/article/detail.php?ID=48156> (дата обращения: 6.07.2017).
15. Standen J. Data Warehouse vs Data Mart. — URL: <http://www.datamartist.com/data-warehouse-vs-data-mart>. (дата обращения: 6.07.2017).
16. Кузнецов Н.А., Кульба В.В., Ковалевский С.С. Методы анализа и синтеза модульных информационно-управляющих систем. — М.: Физматлит, 2002. — 800 с.
17. Казиев Г.З., Кузнецов Н.А., Кульба В.В. и др. Модели, методы и средства анализа и синтеза модульных информационно-управляющих систем // *Автоматика и телемеханика*. — 1993. — № 6. — С. 3–59.
18. Мамиконов А.Г., Кульба В.В. Синтез оптимальных модульных СОД. — М.: Наука, 1989. — 276 с.
19. Мамиконов А.Г., Кульба В.В., Косяченко С.А. Типизация разработки модульных систем обработки данных. — М.: Наука, 1989. — 163 с.
20. Кульба В.В., Мамиконов А.Г. Методы анализа и синтеза оптимальных модульных систем обработки данных (Обзор) // *Автоматика и телемеханика*. — 1980. — № 11. — С. 152–170.
21. Информационное обеспечение систем организационного управления (теоретические основы): в 3-х ч. — Ч. 2. Методы анализа и проектирования информационных систем / под ред. Е.А. Микрина, В.В. Кульбы. — М.: Изд-во физ.-мат. лит., 2011. — 496 с.
22. Ашимов А.А., Мамиконов А.Г., Кульба В.В. Оптимальные модульные системы обработки данных. — Алма-Ата: Наука, 1981. — 186 с.

Статья представлена к публикации членом редколлегии В.В. Кульбой.

**Сомов Сергей Константинович** — канд. техн. наук, вед. инженер, Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, г. Москва, ✉ [ssomov2016@ipu.ru](mailto:ssomov2016@ipu.ru).