

# МИВАРНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ТЕМПОРАЛЬНЫХ РЕЛЯЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ

**Елисеев Дмитрий Владимирович,**  
Москва, Россия, d-eli@mail.ru,

**Аннотация.** В статье рассматриваются темпоральные реляционные модели данных. Для таких моделей выделяют различные уровни темпоральности данных, начиная от уровня всей базы данных и заканчивая уровнем отдельного атрибута. Реализация разных уровней темпоральности обладает различной избыточностью хранения данных. Показано, что в информационных системах, которые работают с темпоральными данными, структура которых также является темпоральной, использование известных темпоральных реляционных моделей является неэффективным. Применение многомерного эволюционного пространства для описания и обработки темпоральных данных в системе кадрового учёта университета позволило уменьшить избыточность хранения информации и упростить процесс модернизации темпоральных баз данных.

**Ключевые слова:** темпоральные данные; реляционная база данных; многомерное пространство; избыточность; темпоральность; эволюционность.

**Сведения об авторе:** Елисеев Д.В., к.т.н., МГТУ им. Н.Э.Баумана, НИИ «Мивар» ведущий программист, старший научный сотрудник.

## Введение

Нетемпоральные модели данных и их реализация в системах управления базами данных (СУБД) хранят единственное состояние объектов предметной области. СУБД поддерживают операции изменения, которые переводят базу данных из одного состояния в другое, тем самым, заменяя старые значения новыми.

Но существует множество предметных областей, в которых необходимо хранить прошлые состояния базы данных и возможно будущие. К таким системам можно отнести: систему управления предприятием [1], систему управления персоналом [2], финансовые приложения, страховые приложения и ряд других, которые обладают следующими свойствами:

1. Информационная система обрабатывает темпоральные (изменяющиеся во времени) данные.
2. Информационная система накапливает историю изменения темпоральных данных.

В настоящее время реляционная модель является наиболее распространённой на практике в базах данных. В разработку методов хранения и обработки темпоральных данных на базе реляционной модели внесли вклад учёные, такие как Р. Снодграс [3], К. Дженсен [4], Дж. Бен-Зви [4], С. Гадия [4], Е. МакКензи [4], А. Стейнер [5]. Исследования в области темпоральных баз данных привели к многообразию соответствующих темпоральных моделей. В статье рассмотрены недостатки, соответствующие этим темпоральным моделям при частых изменениях схем отношений, а также сформулирована новая методика обработки темпоральных реляционных баз данных в миварном информационном пространстве, которая позволяет устранить некоторые из этих недостатков и ограничений.

## 1. Темпоральные данные и темпоральные базы данных

СУБД основывается на модели данных, которая определяет конструкции и формализмы, доступные для описания, изменения и доступа к данным. Модель данных  $M=(DS, OP, C)$  состоит из трёх компонент: структуры данных  $DS$ , операций  $OP$  и ограничений целостности  $C$  [5]. Модель данных позволяет описывать объекты предметной области и выполнять над ними соответствующие операции.

Совокупность значений, описывающих объект предметной области в определённый период времени называется состоянием объекта предметной области. Совокупность состояний объектов предметной области в определённый период времени называется состоянием базы данных.

Современные СУБД обрабатывают постоянные данные, т.е. данные существуют дольше, чем приложения выполняют задачи.

**Темпоральные данные** – произвольные данные, которые связаны с определёнными датами или промежутками времени [4].

Темпоральные модели данных позволяют хранить информацию об эволюции объектов: для любого объекта, который был создан в момент времени  $t_1$  и закончил свое существование в момент времени  $t_2$ , в базе данных будут сохранены все его состояния на временном интервале  $[t_1, t_2)$  [5].

**Темпоральная СУБД** – это СУБД для хранения и обработки темпоральных данных [5].

## 2. Описание темпоральности на различных уровнях в реляционной базе данных

Объём информации, хранящейся в темпоральной реляционной базе данных, сильно зависит от уровня темпоральности данных и частоты изменения информации.

Темпоральность на уровне базы данных. Означает, что все отношения в БД, связанные с ними кортежи и значения атрибутов имеют одинаковые периоды времени действия. В этом случае к базе данных добавляется временная метка и принимается однородность всех этих уровней. Темпоральность на уровне базы данных подразумевает, что периодически сохраняются снимки состояний БД в определённые моменты времени [6]. При таком подходе темпоральной модели свойственна избыточность данных, так как два смежных состояния БД отличаются незначительно, а сохраняются отдельно, что приводит к многократному дублированию одних и тех же данных.

Темпоральность на уровне отношения (таблицы). Означает, что каждое отношение помечается отметкой времени [6]. Таким образом, база данных состоит из набора исторических отношений. Историческое отношение рассматривается как последовательность экземпляров отношений, причём каждый экземпляр представляет особое состояние отношения в момент времени.

Темпоральность на уровне кортежа (строки в таблице). Означает, что каждый кортеж в отношении связывается с отметкой времени. Каждый кортеж содержит состояние объекта предметной области вместе с временной информацией. Состояние существует на интервале времени, в течение которого ни один из атрибутов кортежа не изменяет своего значения [3, 5]. Темпоральность кортежа достигается за счёт расширения исходной реляционной модели данных, к которой добавляются специальные временные атрибуты в каждую нетемпоральную схему отношения. Отношение с темпоральными кортежами содержит инвариантный во времени ключ и изменяющиеся во времени атрибуты. Главным недостатком темпорального кортежа является то, что информация об объекте предметной области распространена на несколько кортежей, каждый из которых представляет состояние этого объекта, которое было в течение определённого периода времени. Темпоральность кортежа также приводит к избыточности хранения данных. При обновлении значений кортежа в отношении создаётся новый кортеж, где все значения атрибутов, не затронутых модификацией, повторяются.

## 3. Темпоральные реляционные модели с изменяемой структурой данных.

Рассмотрим применение известных темпоральных моделей на базе реляционной в информационных системах, обрабатывающих темпоральные данные, структура которых также является темпоральной. Примеры таких систем были приведены выше.

Пусть отношение с темпоральными кортежами  $R$  имеет набор атрибутов  $R = (A_1, \dots, A_k, T)$ , где  $T$  - атрибут, определяющий отметку времени. Данная модель является самым естественным и наиболее часто используемым способом представления отношений с темпоральными кортежами [7]. В этом случае отношение состоит из темпоральных кортежей, которые определяют состояния объектов предметной области.

На рис. 1 представлены графики зависимости размера отношения  $V_{OTH}$ , то есть количества хранимых значений, от количества кортежей в отношении при неизменной схеме отношения (рис. 1.a) и при изменяющейся (рис. 1.b).

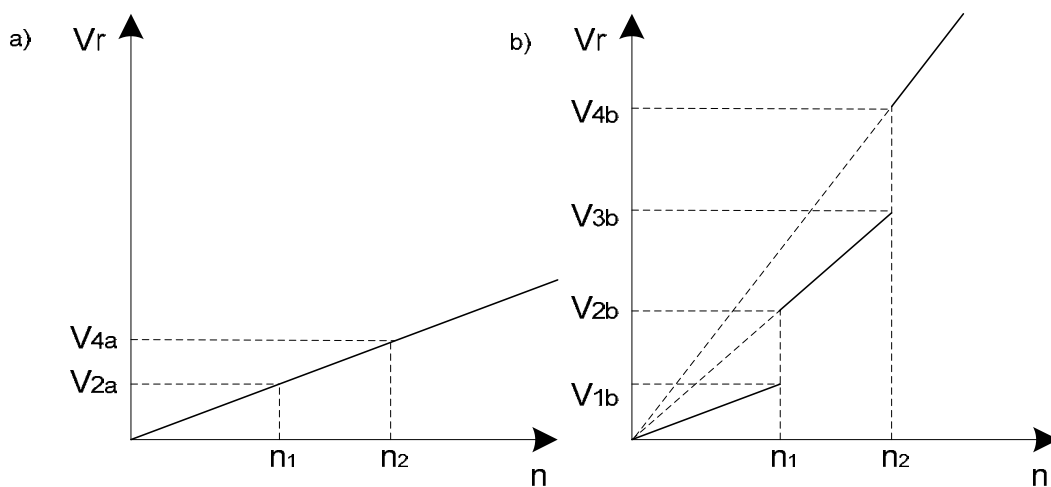
На графиках (рис. 1) ось  $n$  - количество кортежей в отношении. Если схема отношения постоянна, то размер отношения растёт линейно при увеличении количества кортежей,  $V_{OTH} = kn$ , где  $k$  – количество атрибутов в схеме отношения (рис. 1.a).

Изменение схемы отношения состоит только в добавлении новых атрибутов, чтобы сохранить накопленные ранее данные. В результате при изменении схемы отношения увеличивается угол наклона прямой, т.к. увеличивается количество атрибутов в отношении (значение  $k$ ), и размер отношения возрастает скачкообразно, т.к. место под новые атрибуты выделяется в уже существующих кортежах.

Математически зависимость размера отношения от количества кортежей при изменяющейся схеме отношения представлена в формуле 1 [8].

$$V_{OTH} = \begin{cases} k_1 n, & 0 \leq n < n_1, \\ k_2 n, & n_1 \leq n < n_2, \\ k_3 n, & n_2 \leq n < n_3, \\ \dots & \end{cases} \quad (1)$$

Так как после каждого изменения отношения увеличивается угол наклона прямой, то размер отношения растёт быстрее. На рис. 1 при количестве кортежей в отношении  $n=n_2$ ,  $V_{4a} < V_{4b}$  на величину  $(k_3 - k_1)n_2$ . Из формулы 1 видно, что размер отношения зависит от того, когда произошло изменение его схемы. Чем больше кортежей содержит отношение, тем больше его размер будет после добавления новых атрибутов.



**Рис. 1.** Зависимость размера отношения с темпоральными кортежами от количества кортежей в отношении:  
 а) при не изменяющейся схеме отношения;  
 б) при изменяющейся схеме отношения.

Таким образом, применение стандартных темпоральных моделей на базе реляционной приводит к следующим недостаткам:

- 1) Увеличение избыточности хранения информации по мере изменения структуры данных.
- 2) По мере изменения структуры данных базовая реляционная модель разрастается, содержит устаревшие атрибуты и отношения, становится труднообозрима и не соответствует текущему состоянию предметной области.

В данной статье предлагается методика обработки и адаптации темпоральной реляционной модели данных в миварном информационном пространстве, которая позволяет устранить рассмотренные выше недостатки.

#### 4. Миварное описание темпоральной реляционной базы данных

В работах [9, 10] вводится и описывается современный новый подход к представлению и обработке данных, представленных в виде многомерных структур и объединённых в рамках одного формализованного описания - миварного информационного пространства.

«МИВАРное» пространство (Многомерное Информационное ВАРьирующееся пространство) - самоорганизующееся динамическое многомерное объектно-системное дискретное пространство унифицированного представления данных и правил [9].

Адаптивность миварного многомерного пространства обусловлена динамичностью изменения структур представления данных и правил, т.е. тем, что в любой момент времени могут быть изменены как сами данные и правила, так и структуры представления данных. Возможность многократного проведения адаптации миварных структур порождает эволюционность миварного пространства [9].

При миварном подходе реляционную модель можно представить в виде набора точек, имеющих определённые координаты в многомерном пространстве, вместо набора таблиц. В этом случае от структуры многомерного пространства зависят свойства реляционной модели, например, свойство темпоральности.

Структура многомерного пространства для описания темпоральной реляционной модели данных с изменяемой структурой приведено в работах [11, 12]. Многомерное пространство, описывающее темпоральную реляционную модель состоит из пяти основных осей:

1)  $V$  – множество отношений (таблиц) реляционной модели.

$$V = \{v_i\}, i = \overline{1, I_V}, I_V = |V|.$$

2)  $S$  – множество атрибутов отношений реляционной модели.

$$S = \{s_i\}, i = \overline{1, I_S}, I_S = |S|.$$

3)  $ID$  – множество идентификаторов объектов в отношении (строк таблицы). Множество идентификаторов объектов будем считать множество натуральных чисел. В отношении идентификатор выделяет конкретную запись. Поэтому в каждом отношении идентификатор объектов не должен повторяться, должен быть уникальным.

4)  $T$  – множество времён изменений состояния реляционной модели.

Тогда многомерное пространство будет иметь следующий вид:

$$M = V \times S \times ID \times T.$$

Если  $m \in M$ , то  $m = \langle v, s, id, t \rangle$  – точка многомерного пространства.

Каждой точке многомерного пространства  $M$  соответствует единственное значение из множества  $C_M$  - множество значений точек многомерного пространства с определёнными координатами. В результате множество  $C_M$  описывает темпоральную реляционную базу данных в многомерном пространстве  $M$ , причём  $C_M$  содержит только данные, которые действительно изменяются или добавляются в реляционную базу данных. Схема отображения точек пространства  $M$  в элементы множества  $C_M$  представлена на рис. 2.

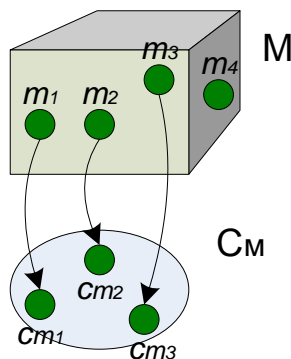


Рис. 2. Отображение точек многомерного пространства в элементы множества значений

Тогда не всем точкам многомерного пространства  $M$  будут соответствовать значения из множества  $C_M$ . Введём преобразование  $\mu$  любого подпространства  $M$  в подмножество  $C_M$ , которое для точек многомерного пространства определяет соответствующие элементы из множества  $C_M$ .

Пусть пространство  $M_A \subseteq M$ ,  $M_A = V_A \times S_A \times ID_A \times T_A$

где  $V_A \subseteq V$ ,  $S_A \subseteq S$ ,  $ID_A \subseteq ID$ ,  $T_A \subseteq T$  и  $C_A \square C_M$

Тогда  $\mu: M_A \rightarrow C_A$ ,  $C_A = \{c_m : m \in M_A, c_m \in C_M\}$ ,  $C_A = \mu(M_A)$

В многомерном пространстве каждому значению атрибута кортежа отношения соответствует точка с определёнными координатами [12, 13]. На рис. 3 представлено подпространство  $(V, S, ID)$ , описывающее реляционную модель данных, а выделенная точка хранит значение атрибута  $s_j$  в кортеже  $n$  отношения  $v_i$ .

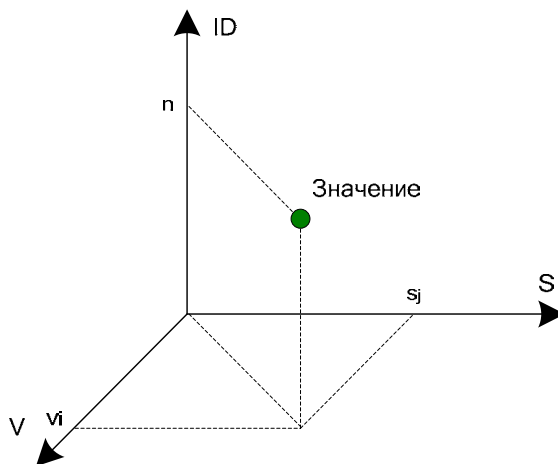


Рис. 3. Подпространство представления реляционной модели

Для реляционной базы данных состоянием является совокупность отношений в определённый момент времени. Таким образом, состояние реляционной базы данных изменяется, когда изменяется хотя бы одно значение атрибута в каком-либо отношении, либо изменяется схема хотя бы одного отношения.

При миварном подходе структура данных определяется точками пространства, которые хранят соответствующие значения атрибутов реляционной модели. Таким образом, структура данных определяется данными, которые хранятся в миварном пространстве. Первичность данных создаёт новые возможности по изменению схемы базы данных в реляционной модели и предпосылки для разработки новых методов обработки данных с изменяемой структурой.

На базе такого подхода и описания темпоральной реляционной модели в работах [11, 12, 13] была разработана методика обработки темпоральной реляционной базы данных в миварном пространстве, которая включается в себя 3 этапа: преобразование реляционной базы данных к миварному представ-

лению, изменение темпоральной реляционной базы данных в миварном пространстве и выполнение запросов к такому пространству.

### Заключение

В статье проведён анализ построения темпоральных систем в условиях изменения реляционной базы данных. Были даны определения темпоральных данных и темпоральной СУБД, выявлены недостатки и ограничения при отнесении темпоральности к различным уровням базы данных. Существующие темпоральные модели, расширяющие реляционную модель данных, применимы в системах, в которых структура темпоральных данных не изменяется. В информационных системах, которые работают с темпоральными данными, структура которых также является темпоральной, использование этих моделей является неэффективным.

Использование миварного пространства и предложенной методики при обработке и хранении темпоральных данных в системе кадрового учёта университета позволило уменьшить размер отношений реляционной модели в среднем на 32% и сократить время адаптации информационной системы в среднем на 53% за счёт исключения необходимости отдельно изменять схемы отношений и выполнять перекачку данных [2]. Кроме того, стало возможным консолидировать кадровые базы данных из предыдущих систем в миварном пространстве для выполнения темпоральных запросов к накопленному архиву информации за счёт использования написанных ранее SQL запросов к прошлым состояниям кадровой базы данных.

### Литература

1. Информационная управляющая система МГТУ им. Н.Э. Баумана «Электронный университет»: концепция и реализация / Т.И. Агеева, А.В. Балдин, В.А. Барышников и др.; [под ред. И.Б. Фёдорова, В.М. Черненко]. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. 376 с.
2. Елисеев Д.В. Балдин А.В., Тоноян С.А. Язык запросов к миварному представлению реляционных баз данных, содержащих архив информации из предыдущих кадровых систем // Инженерный журнал: наука и инновации. 2013. № 11 (23). С. 20.
3. Developing Time-Oriented Database Applications in SQL, Richard T. Snodgrass, Morgan Kaufmann Publishers, Inc., San Francisco, July, 1999, 504 pages.
4. История и актуальные проблемы темпоральных баз данных [Электронный ресурс] / Костенко Б.Б., Кузнецов С.Д., 2007 – Режим доступа: <http://citforum.ru/database/articles/temporal/4.shtml>, (Дата обращения: 18.03.2015)
5. Andreas Steiner. A Generalisation Approach to Temporal Data Models and their Implementations [Электронный ресурс], 1998 - Режим доступа: <http://www.timeconsult.com/Publications/diss.pdf>, (Дата обращения: 18.03.2015)
6. Елисеев Д.В., Балдин А.В. Обзор способов построения темпоральных систем на основе реляционной базы данных // Инженерный журнал: наука и инновации. – 2012. - №3. (3). С. 5–12
7. Дейт К. Введение в системы баз данных. - 8-е изд. М.: Вильямс, 2006. 1328 с.
8. Елисеев Д.В., Балдин А.В., Тоноян С.А. Анализ избыточности хранения темпоральных данных средствами реляционной СУБД // Инженерный журнал: наука и инновации. 2014. № 4 (28). С. 1.
9. Варламов О.О. Эволюционные базы данных и знаний для адаптивного синтеза интеллектуальных систем. Миварное информационное пространство. - М: Радио и связь, 2002. 286 с.
10. Варламов О.О. Основы многомерного информационного развивающегося (миварного) пространства представления данных и правил // Информационные технологии. 2003. № 5. С. 42-47.
11. Адаптируемая модель данных на основе многомерного пространства [Электронный ресурс] / Елисеев Д.В., Балдин А.В. Электрон. журн. – М.: «Наука и образование: электронное научно-техническое издание», 2010 – Режим доступа: <http://technomag.edu.ru/doc/161410.html>, свободный, (Дата обращения: 18.03.2015)
12. Елисеев Д.В. Методика обработки темпоральной реляционной базы данных в миварном пространстве: 05.13.17: автореф. дис. ктн; МГТУ им. Н.Э. Баумана. М., 2011. 16 с.

13. Алгебра многомерных матриц для обработки адаптируемой модели данных [Электронный ресурс] / Елисеев Д.В., Балдин А.В.- Электрон. журн. – М.: «Наука и образование: электронное научно-техническое издание», 2011 – Режим доступа: <http://technomag.edu.ru/doc/199561.html>, свободный, (Дата обращения: 18.03.2015).

---

## MIVAR REPRESENTATION OF TEMPORAL RELATIONAL

**Eliseev Dmitry Vladimirovich,**  
Moscow, Russia, d-eli@mail.ru

**Annotation.** A definition of the temporal data and temporal databases is described in the report. Also, methods of representation and processing of temporal data with relational DBMS are reviewed. It is shown that if the scheme of such databases is often changed the redundancy in the temporal storage system increases. In addition, the use of standard temporal models based on relational one eventually leads to the widening of the database schema, making difficult its maintenance and upgrading. To remove these deficiencies, in the report it is offered to convert the temporal database in a multidimensional mivar representation. As a result of this conversion it becomes possible to extend temporal property not only to data, but also to their structure. Thus, in mivar describing the temporality is a property of the whole relational database, and isn't achieved through the use of relational constructs to describe stored information temporality. As a result, a new technique for working with temporal relational database is proposed, that consists of three stages: a single database conversion into a multidimensional mivar representation, transactional changes this temporal multidimensional model and performing search queries for the temporal database in the mivar space. For all of these stages the special operations and operators have been developed and implemented, that are described in other works related to this subject. The report has reference to this works. The size of the table of relational database reduced on average 32% and the adaptation time of information system reduced on average 53% when the proposed technique was testing in the university personnel management system.

**Keywords:** temporal data; relational database; multidimensional space; redundancy; temporality; evolution.

### References:

1. Ageeva T.I., Baldin A.V., Barishnikov V.A. and other [edited by Fedorov I.B., Chernenkiy V.M.] Informatsionnaya upravlyayushchaya sistema MGTU im. N.E. Baumana «Elektronnyi universitet»: kontseptsiya i realizatsiya [Information control system of BMSTU "Electronic University": concept and realization] Moscow, Publ. of the Bauman MSTU, 2009, 376 p.
2. Eliseev D.V., Baldin A.V., Tonoyan S.A. Query language to mivar representation of relational databases, containing information archive from previous human resources systems, Inzhenerniy zhurnal: nauka i innovatsii, 2013, no, 11, pp. 20 (in Russian)
3. Developing Time-Oriented Database Applications in SQL, Richard T. Snodgrass, Morgan Kaufmann Publishers, Inc., San Francisco, July, 1999, 504 pages.
4. Kostenko B.B., Kuznetsov S.D., Istoriya i aktual'nye problemy temporal'nykh baz dannykh [The history and current problems of temporal databases]. Available at: <http://citforum.ru/database/articles/temporal/4.shtml>. (accessed 28.07.2015)
5. Andreas Steiner. A Generalisation Approach to Temporal Data Models and their Implementations, 1998. Available at: <http://www.timeconsult.com/Publications/diss.pdf>, (accessed: 28.07.2015)
6. Eliseev D.V., Baldin A.V., Tonoyan S.A. Obzor sposobov postroeniya temporal'nykh sistem na osnove relyatsionnoi bazy dannykh [Review of the developing temporal systems method based on relational database], Inzhenerniy zhurnal: nauka i innovatsii, 2012, no, 3, pp. 5-12
7. Date C. J. An introduction to database systems. 8th ed., Moscow, Vilyams Publ., 2006, 1328 p.
8. Eliseev D.V., Baldin A.V., Tonoyan S.A. Analysis of temporal data storage redundancy by means of RDBMS, Inzhenerniy zhurnal: nauka i innovatsii, 2014, no, 4, pp. 1 (in Russian)
9. Varlamov O.O. Evolyutsionnye bazy dannykh i znaniy dlya adaptivnogo sinteza intellektual'nykh sistem. Mivarnoe informatsionnoe prostranstvo.[Evolution databases and knowledge bases for adaptive synthesis of intelligent systems], Moscow, Radio i svyaz Publ., 2002, 286 p.

10. Varlamov O.O. Osnovy mnogomernogo informatsionnogo razvivayushchegosya (mivarnogo) prostranstva predstavleniya dannykh i pravil [Fundamentals of developing a multi-dimensional information (mivar) space of data and rules representation], Informatsionnyie tehnologii, 2003, no. 5, pp. 42-47.
11. Eliseev D.V., Baldin A.V. Adaptiruemaya model' dannykh na osnove mnogomernogo prostranstva [Adaptive data model based on a multidimensional space], Moscow, Nauka I obrazovanie: nauchnoe isdanie VGTU im. N. E. Baumana, 2010, no. 10, p. 1. Available at: <http://technomag.edu.ru/doc/161410.html>. (accessed 28.07.2015)
12. Eliseev D.V. Metodika obrabotki temporal'noi relyatsionnoi bazy dannykh v mivarnom prostranstve [Technique of processing temporal relational database in the mivar space. PhD in Technique. sci. diss.], Moscow, Bauman MSTU Publ., 2011, 149 p.
13. Eliseev D.V., Baldin A.V. Algebra mnogomernykh matrirts dlya obrabotki adaptiruemoi modeli dannykh [Multidimensional matrix algebra to processing adaptive data model], Moscow, Nauka I obrazovanie: nauchnoe isdanie VGTU im. N.E. Baumana, 2011, no. 7, p. 4. Available at: <http://technomag.edu.ru/doc/199561.html>. (accessed 28.07.2015).

**Information about authors:** Eliseev D.V., Moscow, PhD in Technique, Moscow, Bauman MSTU Publ., d-eli@mail.ru