

## Итерационное наполнение и обновление информации при управлении иерархической базой данных

**Короткова Т.И.** \*

ФГБОУ ВО МАИ (НИУ),  
г. Москва, Российская Федерация  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6325-2684>  
e-mail: [tatyanamail11@yandex.ru](mailto:tatyanamail11@yandex.ru)

**Мохов А.А.** \*\*

ФГБОУ ВО МАИ (НИУ),  
г. Москва, Российская Федерация  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5504-3820>  
e-mail: [tolik.mohov25@gmail.com](mailto:tolik.mohov25@gmail.com)

Выбор оптимального управления в сложных системах предполагает оперирование большими объемами информации. База данных такой системы принятия решения имеет иерархическую структуру. В статье излагается принцип наполнения и обновления информации при управлении иерархической базой данных сложной системы при наличии неопределенных факторов. Неопределенные факторы присутствуют в критерии эффективности сложной системы и в критериях ее подсистем. Иерархическая структура системы принятия решения имеет уровень координации решений локальных подсистем. Координация в сложной системе проводится с шагом дискретности. Это позволяет использовать итерационный принцип по наполнению базы данных и ее обновлению. Условия неопределенности существенно увеличивают объем обрабатываемой информации. В результате выстраивается иерархический программный комплекс по управлению базой данных.

**Ключевые слова:** иерархическая база данных, итерационный процесс, декомпозиция, неопределенные факторы, управление информационной системой.

### Для цитаты:

*Короткова Т.И., Мохов А.А.* Итерационное наполнение и обновление информации при управлении иерархической базой данных // Моделирование и анализ данных. 2020. Том 10. № 2. С. 93–101. DOI:10.17759/mda.2020100207

\***Короткова Татьяна Ивановна**, доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры математической кибернетики факультета информационных технологий и прикладной математики, ФГБОУ ВО МАИ (НИУ), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6325-2684>, e-mail: [tatyanamail11@yandex.ru](mailto:tatyanamail11@yandex.ru)

\*\***Мохов Анатолий Андреевич**, магистрант кафедры математической кибернетики факультета информационных технологий и прикладной математики, ФГБОУ ВО МАИ (НИУ), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5504-3820>, e-mail: [tolik.mohov25@gmail.com](mailto:tolik.mohov25@gmail.com)



## 1. ВВЕДЕНИЕ

Большие технические, биологические, экономические, социальные, организационные системы имеют сложную структуру и составлены из подсистем, как из модулей [1,2,11,12]. Как правило, взаимные отношения между подсистемами выстраиваются на основе многоуровневого принципа подчинения и имеют иерархическую структуру. Эта структура составлена из двухуровневых иерархических систем, как из модулей [1,2]. Поэтому для системы любой степени сложности достаточно обозначить принципы согласования в двухуровневой системе. В такой системе есть подсистемы нижнего уровня и управляющая система-координатор [4,5,10]. Эта централизованная координирующая система исключает несогласованность управления локальными подсистемами.

Для надежного хранения, обновления и управления информацией в сложных иерархических системах используются базы данных с соответствующей иерархической структурой [1,7,8,9]. Обеспечение оптимального управления глобальной двухуровневой системой достигается выстраиванием локальных баз данных для локальных систем управления. Информационные взаимосвязи между локальными системами зависят от координирующих информационных потоков верхнего уровня [7].

Условия неопределенности в показателях качества управления существенно увеличивают объемы информационных потоков в базе данных [6,7,8,9,13]. Вследствие этого обстоятельства быстро накапливаются и объемы избыточной информации [3]. В этой статье предлагается методика дискретного пошагового накопления и обновления информации в иерархической базе данных на основе организации итерационного процесса решения координационной задачи верхнего уровня и дается описание алгоритмического и программного обеспечения для предложенной методики.

## 2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ДИСКРЕТНОГО ПОШАГОВОГО НАКОПЛЕНИЯ И ОБНОВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ В ИЕРАРХИЧЕСКОЙ БАЗЕ ДАННЫХ

Будем полагать, что общая модель системы задана отображением:  $P:U \rightarrow X$ , где  $U$  – множество управляющих векторов  $u$  из  $r$ -мерного евклидова пространства  $E^r$ ,  $X$  – множество векторов состояний системы  $x$  из  $l$ -мерного евклидова пространства  $E^l$ .

В сложной системе размерности  $r$  и  $l$  пространств  $E^r$  и  $E^l$  являются достаточно большими.

Отметим, что в сложной системе критерий эффективности  $G$  отягощен зависимостью от неконтролируемых векторов  $y$ . Известно, что вектор  $y$  принадлежит некоторому множеству  $Y$ . Таким образом  $G:U \times X \times Y \rightarrow R$ .

Для определенности показатель эффективности нужно минимизировать. Это не ограничивает общность рассматриваемых вопросов и принципов составления модели управления базой данных.

В соответствии с принципом гарантированного результата задача управления сложной информационной системой имеет вид:



найти оптимальную пару  $(u^0, x^0)$  и такой вектор  $y^0$ , которые обеспечивают

$$\min_{(u,x) \in \mathbb{Z}} \max_{y \in Y} G(u, x, y) = G(u^0(y^0), x^0(y^0), y^0),$$

$$\mathbb{Z} = \{(u, x) : u \in U \subset E^r, x \in X \subset E^l, x = P(u)\}$$

Три правила декомпозиции сложной системы на  $m$  подсистем:

$$1) \quad E^r = \prod_{i=1}^m E^{r_i}, E^l = \prod_{i=1}^m E^{l_i}, X = \prod_{i=1}^m X^i, U = \prod_{i=1}^m U^i$$

$$2) \quad x = P(u) = \begin{pmatrix} \tilde{P}_1(u) \\ \vdots \\ \tilde{P}_m(u) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} P_1(u_1, \lambda_1) \\ \vdots \\ P_m(u_m, \lambda_m) \end{pmatrix} \lambda_i = \overline{K_i(u)} = \begin{pmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_m \end{pmatrix}$$

$i = 1, m$

где  $u_i$  – вектор управления  $i$ -й подсистемы,  $u_i \in U^i$ ,

$x_i$  – вектор состояния  $i$ -й подсистемы,  $x_i \in X^i$ ,

$\lambda_i$  – обобщенная связующая переменная, определяющая связь  $i$ -й подсистемы с другими подсистемами,

$K_i(u)$  – функция, определяющая связь  $i$ -й подсистемы с другими подсистемами, причем  $K_i(u) = \sum_{j=1}^m K_{ij}(u_j)$ ,

$$3) \quad G(u, x, y) = \sum_{i=1}^m \tilde{G}_i(u, x, y) = \sum_{i=1}^m G_i(u_i, x_i, \lambda_i, y)_{\lambda_i = \overline{K_i(u)}}$$

Далее опишем методику решения поставленной задачи.

### 3. ПОЭТАПНОЕ ОПИСАНИЕ АЛГОРИТМА НАКОПЛЕНИЯ И ОБНОВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ В ИЕРАРХИЧЕСКОЙ БАЗЕ ДАННЫХ

Методика включает 13 основных этапов:

1. Задание исходных данных:  $G, U, X, P, Y, Z, \Lambda, r, l, m$ .
2. Формирование  $\Lambda^i, X^i, U^i, r_i, l_i, P_i, K_i, G_i, K_{ij}$  для  $i = \overline{1, m}, j = \overline{1, m}$  по правилам 1), 2), 3).
3. Формирование модифицированных функций

$$G_{i\beta} = G_i(u_i, x_i, \lambda_i, y) + \lambda_i \beta_i - \sum_{j=1}^m \beta_j K_{ij}(u_j), \quad i = \overline{1, m}$$

4. Формирование модифицированных задач

$$\min_{(u_i, x_i, \lambda_i) \in \mathbb{Z}_i} \max_{y \in Y} G_{i\beta}(u_i, x_i, \lambda_i, y, \beta) = G_{i\beta}(u_i^0(y^0(\beta)), \beta), x_i^0(y^0(\beta)), \lambda_i^0(y^0(\beta)), \beta), y^0, \beta)$$

$$Z_i = \{(u_i, x_i, \lambda_i) : u_i \in U^i, x_i \in X^i, x_i = P_i(u_i, \lambda_i)\}$$



5. Формирование задач координации второго уровня  
 $\lambda_i^0(y^0(\beta), \beta) = K_i(u^0(y^0(\beta), \beta)), i = \overline{1, m}$ .
6. Задание  $\beta^0, k = 0, \varepsilon > 0, h$  (шаг дискретности съема информации).
7. Решение задачи п.4:  $u^0(y^0(\beta^{(k)}), \beta^{(k)}), \lambda^0(y^0(\beta^{(k)}), \beta^{(k)})$ .
8. Вычисление невязки  $\Delta_k = \|\lambda^0(y^0(\beta^{(k)}), \beta^{(k)}) - K(u^0(y^0(\beta^{(k)}), \beta^{(k)}))\|$ .
9. Проверка  $\Delta_k < \varepsilon$ .
10. При выполнении п.9 вывод оптимального управления  $u^0(y^0(\beta^{(k)}), \beta^{(k)})$ .
11. Иначе подстройка координирующего воздействия по формуле  $\beta^{(k+1)} = \beta^{(k)} + h\Delta_k$ .
12. Переход на следующую итерацию  $k = k + 1$ .
13. Возвращение на п.7.

#### 4. ОСОБЕННОСТИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

На данный момент системы управления баз данных позволяют решать обильный круг задач по работе с базами данных без дополнительной разработки и реализаций приложений. Однако, потребность в создании приложений для работы с иерархической БД существует и в настоящее время. Потребности для разработки существуют в том случае, если приложение реализуется для автоматизации манипуляций с данными, так как терминальный интерфейс систем управления недостаточно развит, либо же стандартный набор функций, которыми обладает база данных не устраивает пользователя. Основой любого реализуемого приложения должны быть функции или процедуры определенного языка программирования.

Иерархическая модель данных опирается на теорию графов. В основе иерархической модели лежит регламентированный граф. Описывается подобная схема иерархической базы данных на некоторых языках программирования как тип данных «дерево». В диаграмме регламентированного графа его вершины используются в качестве сущностей для хранения данных, а ребра – типов связи между типами сущностей. В иерархической модели базы данных действуют следующие внутренние ограничения на представление связей между сущностями:

- структура связей древовидная;
- все типы связей имеют функциональные отношения (1:1, 1:M, M:1), где 1:1 – один к одному, 1:M – один ко многим и M:1 – многие к одному.

Введенный выше тип является составным типом данных, он включает в себя подтипы, которые, очевидно, имеют названия «поддеревья», любой из этих подтипов в свою очередь является типом «дерево». Каждый подобный тип «дерево» образован из одного корневого типа и составленного в определенном порядке набора подчиненных типов ниже по иерархии. В соответствии с рассматриваемым алгоритмом накопления и обновления информации наша иерархическая модель будет содержать два уровня – верхний и нижний. На верхнем уровне будет располагаться составной корневой тип – координатор, который будет содержать основные данные алгоритма. На нижнем уровне будет располагаться несколько подчиненных составных типов –  $i$ -ые локальные задачи, в которых будут храниться данные для решения локальных задач и связующие

переменные с другими типами. Тип «дерево» показан в качестве совокупности типов на рисунке 1.

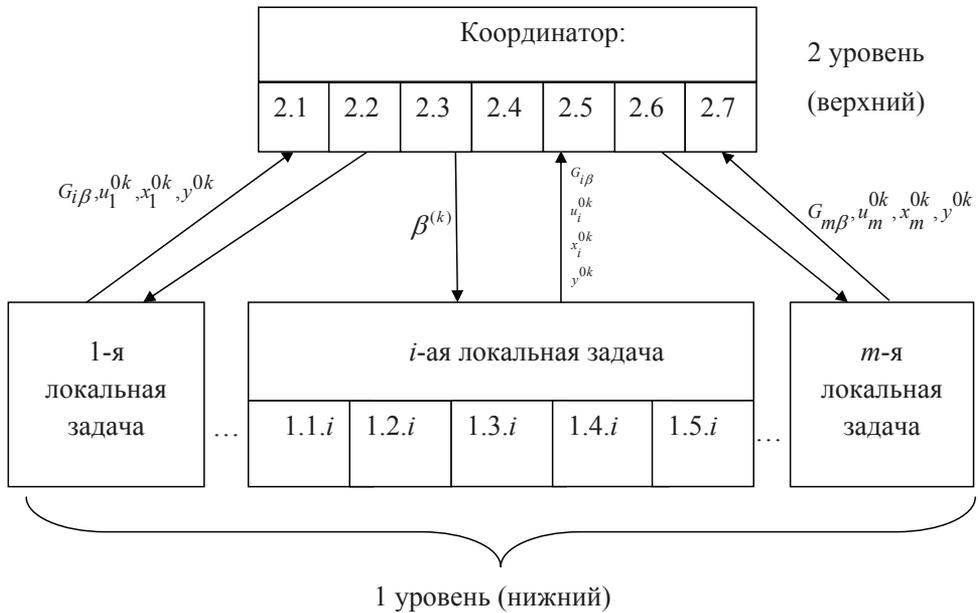


Рис. 1. Фрагмент двухуровневого дерева в алгоритме

Пояснение к рисунку 1:

- 2.1 – задание  $\beta^0$ ,
- 2.2 – оценивание неблагоприятных неопределенных факторов  $y^0(\beta^{(k)})$ ,
- 2.3 – вычисление невязки  $\Delta_k$  в соответствии с п.8 алгоритма,
- 2.4 – проверка точности решения в соответствии с п.9 алгоритма,
- 2.5 – подстройка координирующего сигнала в соответствии с п.11,
- 2.6 – выработка решения по оценке и учету неопределенных факторов,
  - 1.1.i – решение  $i$ -ой модифицированной задачи п.4. алгоритма при  $\beta = \beta^{(k)}$ ,
  - 1.2.i – выбор  $i$ -го локального оптимального управления  $u_i^o(y^0(\beta^{(k)}), \beta^{(k)})$ ,
  - 1.3.i – вычисление  $i$ -го локально оптимального вектора состояний  $x_i^o(y^0(\beta^{(k)}), \beta^{(k)})$ ,
  - 1.4.i – оценка неблагоприятного неопределенного фактора  $y^0(\beta^{(k)})$ ,
  - 1.5.i – оценка оптимальной составляющей  $G_{i\beta}^{o(k)}$  для глобального функционала качества.

Иерархическая база данных является регламентированным объединением данных типа «дерево», содержащим экземпляры типа «запись». Периодически отношения между типами переносятся в отношения между записями, которые хранят символьные, числовые значения, составляющие главное содержание базы данных. Осмотр элементов, принадлежащих иерархической модели базы данных, как правило, заключается, в обходе сверху вниз и слева направо.



В рамках разработки данной темы было написано программное обеспечение для задачи математического программирования, сформирована иерархическая база данных, при этом использовался иерархический алгоритм принятия решения, описанный выше.

Для разработки приложения был выбран язык программирования C#. Это современный высокоуровневый объектно-ориентированный язык программирования.

Язык программирования C# довольно похож на язык Java, но существуют достаточно весомые различия между компонентной объектной моделью основного стандарта Microsoft для проектирования и модификации программного обеспечения и моделью Java Beans. Безусловно, многие характеристики были получены от прародителя – языка программирования Visual Basic.

Основой языка C# является строгая компонентная архитектура, которая может воплощать прогрессивные методы обеспечения программного кода.

К самым явным чертам похожести языков программирования C# и Java можно отнести единственность наследования, эта черта присутствует по той причине, что оба эти языка относятся к категории объектно-ориентированных, похожие механизмы интерфейсов, сбор мусора и пространства имен реализованы аналогичным образом, эти языки обладают схожей строгой типизацией кода при реализации программного обеспечения.

Язык C# аналогичным образом имеет схожие черты и с другим своим предшественником – языком программирования C++, такие как перегруженность операторов, возможность операций с плавающей точкой и особенности встроеного синтаксиса.

В качестве интерфейса для разработанного приложения был выбран WinForms. В качестве основной платформы – Net Framework 4.5, это одна из крайних версий фреймворка, которая имеет свежий качественный функционал.

### *Литература*

1. Минимизация избыточной информации в иерархической базе данных / Короткова Т.И., Лунова С.Ю., Алексеев Н.С., Виноградов В.И // Информационные и телекоммуникационные технологии, 2018. № 39. С. 11–19.
2. Короткова Т.И. Многокритериальный алгоритм принятия решения в системе обеспечения информационной безопасности объектов гражданской авиации // Труды МАИ, 2015. № 84.
3. Короткова Т.И. Описание процедур программы оперативного обновления содержания INTERNET учебников // Электронный журнал «Труды МАИ», 2012. № 49.
4. Panteleev A.V., Panovskiy V.N. Application of open-source optimization library "Extremum" to the synthesis of feedback control of a satellite // Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal, 2019. vol. 4, no. 5, pp. 23–29. doi: 10.25046/aj040503
5. Panteleev A.V., Rybakov K.A. Continuous optimal stochastic control systems with incomplete feedback: Approximate synthesis // Automation and Remote Control, 2018. vol. 79, no. 1, pp. 103–116. doi: 10.1134/S0005117918010095
6. Korotkova T.I., Kuzmina Y. Decision algorithm with uncertainties in a multi-purpose flight safety system // Cite as: AIP Conference Proceedings 2181, 020004 (2019). URL: <https://doi.org/10.1063/1.5135664> (Published Online: 22.11.2019). doi: 10.1063/1.5135664
7. Russell D., Kohn R. Hierarchical data model / -М., 2013. p. 102.
8. Karane M., Panteleev A.V. Hybrid multi-agent optimization method of interpolation search // AIP Conference Proceedings, 2019. vol. 2181, id 020028. doi: 10.1063/1.5135688
9. Panteleev A.V., Panovskiy V.N., Korotkova T.I. Interval explosion search algorithm and its application to hypersonic aircraft modelling and motion optimization // Bulletin of the South Ural



- State University. Ser. Mathematical Modelling, Programming & Computer Software (Bulletin SUSU MMCS), 2016. vol. 9, no. 3, pp. 55–67. doi: 10.14529/mmp160305
10. *Davtyan L.G., Pantelev A.V.* Method of parametric optimization of nonlinear continuous systems of joint estimation and control // *Journal of Computer and Systems Sciences International*, 2019. vol. 58, no. 3, pp. 360–373. doi: 10.1134/S1064230719030079
  11. *Korotkova T.I., Popova V.I.* Multicriteria hierarchical iterative interactive algorithm for organizing operational modes of large heat supply systems // *Journal of Physics: Conference Series.*, 2017. vol. 891, article ID 012164. doi: 10.1088/1742–6596/891/1/012164
  12. *Alfredo Arias-Montano, Carlos A. Coello Coello, Efren Mezura-Montes* Multi-Objective Evolutionary Algorithms in Aeronautical and Aerospace Engineering // *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 2012. № 16 (5), pp. 662–694. doi: 10.1109/TEVC.2011.2169968
  13. *Bortakovskii A.S., Nemychenkov G.I.* Optimal in the mean control of deterministic switchable systems given discrete inexact measurements // *Journal of Computer and Systems Sciences International*, 2019. vol. 58, no. 1, pp. 50–74. doi: 10.1134/S1064230719010052



## Iterative Filling and Updating of Information When Managing a Hierarchical Database

**Tatyana I. Korotkova\***

Moscow Aviation Institute

(National Research University), Moscow, Russia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6325-2684>

e-mail: [tatyanamail11@yandex.ru](mailto:tatyanamail11@yandex.ru)

**Anatoly A. Mokhov\*\***

Moscow Aviation Institute

(National Research University), Moscow, Russia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5504-3820>

e-mail: [tolik.mohov25@gmail.com](mailto:tolik.mohov25@gmail.com)

The choice of optimal control in complex systems involves handling large amounts of information. The database of such a decision-making system has a hierarchical structure. The article describes the principle of filling and updating information when managing a hierarchical database of a complex system in the presence of uncertain factors. Uncertain factors are present in the criteria for the effectiveness of a complex system and in the criteria for its subsystems. The hierarchical structure of the decision-making system has a level of coordination of decisions of local subsystems. Coordination in a complex system is carried out with a step of discreteness. This allows you to use the iterative principle of filling the database and updating it. Uncertainty conditions significantly increase the amount of information processed. As a result, a hierarchical software package for database management is built.

**Keywords:** hierarchical database, iterative process, decomposition, uncertain factors, information systems management.

### For citation:

Korotkova T.I., Mokhov A.A. Iterative Filling and Updating of Information When Managing a Hierarchical Database. *Modelirovanie i analiz dannykh = Modelling and Data Analysis*, 2020. Vol. 10, no. 2, pp. 93–101. DOI:10.17759/mda.2020100207 (In Russ., abstr. in Engl.).

### References

1. Minimizatsiya izbytochnoi informatsii v ierarkhicheskoi baze dannykh. [Minimization of redundant information in a hierarchical database]. Korotkova T.I., Luneva S.Yu., Alekseev N.S., Vinogradov V.I., *Informatsionnye i telekommunikatsionnye tekhnologii*. [Publ. Information and telecommunication technologies], 2018. № 39. pp. 11–19.

\***Tatyana I. Korotkova**, Doctor in Physics and Mathematics Sciences, Professor, Professor Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6325-2684>, e-mail: [tatyanamail11@yandex.ru](mailto:tatyanamail11@yandex.ru)

\*\***Anatoly A. Mokhov**, Magister in Physics and Mathematics, Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5504-3820>, e-mail: [tolik.mohov25@gmail.com](mailto:tolik.mohov25@gmail.com)



2. Korotkova T.I. Mnogokriterial'nyi algoritm prinyatiya resheniya v sisteme obespecheniya informatsionnoi bezopasnosti ob"ektov grazhdanskoi aviatsii. [Multi-criteria decision-making algorithm in the system of information security of objects of civil aviation], *Elektronnyi zhurnal «Trudy MAI»*, 2015. № 84.
3. Korotkova T.I. Opisanie protsedur programmy operativnogo obnovleniya sodержaniya INTERNET uchebnikov. [Description of the procedures of the program for the online updating of the content of INTERNET textbooks], *Elektronnyi zhurnal «Trudy MAI»* [Publ. Electronic journal «Trudy MAI»], 2012. № 49.
4. Pantelev A.V., Panovskiy V.N. Application of open-source optimization library "Extremum" to the synthesis of feedback control of a satellite. *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal*, 2019. vol. 4, no. 5, pp. 23–29. doi: 10.25046/aj040503
5. Pantelev A.V., Rybakov K.A. Continuous optimal stochastic control systems with incomplete feedback: Approximate synthesis. *Automation and Remote Control*, 2018. vol. 79, no. 1, pp. 103–116. doi: 10.1134/S0005117918010095
6. Korotkova T.I., Kuzmina Y. Decision algorithm with uncertainties in a multi-purpose flight safety system. Cite as: AIP Conference Proceedings 2181, 020004 (2019). URL: <https://doi.org/10.1063/1.5135664> (Published Online: 22.11.2019). doi: 10.1063/1.5135664
7. Russell D., Kohn R. Hierarchical data model / -M., 2013. p. 102.
8. Karane M., Pantelev A.V. Hybrid multi-agent optimization method of interpolation search. AIP Conference Proceedings, 2019. vol. 2181, id 020028. doi: 10.1063/1.5135688
9. Pantelev A.V., Panovskiy V.N., Korotkova T.I. Interval explosion search algorithm and its application to hypersonic aircraft modelling and motion optimization. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Mathematical Modelling, Programming & Computer Software (Bulletin SUSU MMCS)*, 2016. vol. 9, no. 3, pp. 55–67. doi: 10.14529/mmp160305
10. Davtyan L.G., Pantelev A.V. Method of parametric optimization of nonlinear continuous systems of joint estimation and control. *Journal of Computer and Systems Sciences International*, 2019. vol. 58, no. 3, pp. 360–373. doi: 10.1134/S1064230719030079
11. Korotkova T.I., Popova V.I. Multicriteria hierarchical iterative interactive algorithm for organizing operational modes of large heat supply systems. *Journal of Physics: Conference Series*, 2017. vol. 891, article ID 012164. doi: 10.1088/1742-6596/891/1/012164
12. Alfredo Arias-Montano, Carlos A. Coello Coello, Efren Mezura-Montes. Multi-Objective Evolutionary Algorithms in Aeronautical and Aerospace Engineering. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 2012. № 16 (5), pp. 662–694. doi: 10.1109/TEVC.2011.2169968
13. Bortakovskii A.S., Nemychenkov G.I. Optimal in the mean control of deterministic switchable systems given discrete inexact measurements. *Journal of Computer and Systems Sciences International*, 2019. vol. 58, no. 1, pp. 50–74. doi: 10.1134/S1064230719010052