

5. Новосельский В.Б., Павловская Т.А. Выбор и обоснование критерия эффективности при проектировании распределенных баз данных // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. 2009. № 2 (60). С. 76–82.
6. Лукьянов Н.М., Дергачев А.М. Организация сетевого взаимодействия узлов распределенной системы хранения данных // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. 2011. № 2 (72). С. 137–140.
7. DB-Engines. Ranking the popularity of database management systems. 2012 [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://db-engines.com/en/blog\\_post/1](http://db-engines.com/en/blog_post/1), свободный. Яз. англ. (дата обращения 09.06.2013).
8. Зализняк Е. Рынок СУБД. 2009 [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www.cnews.ru/reviews/index.shtml?2005/08/15/184770\\_1](http://www.cnews.ru/reviews/index.shtml?2005/08/15/184770_1), свободный. Яз. рус. (дата обращения 09.06.2013).
9. Дергачев А.М. Проблемы эффективного использования сетевых сервисов // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. 2011. № 1 (71). С. 83–86.
10. Agrawal R., Ailamaki A., Bernstein P.A., Brewer E.A., Carey M.J., Chaudhuri S., Doan A., Florescu D., Franklin M.J., Garcia-Molina H., Gehrke J., Gruenwald L., Haas L.M., Halevy A.Y., Hellerstein J.M., Ioannidis Y.E., Korth H.F., Kossmann D., Madden S., Magoulas R., Ooi B.C., O'Reilly T., Ramakrishnan R., Sarawagi S., Stonebraker M., Szalay A.S., Weikum G. The Claremont Report on Database Research // Sigmod Record. 2008. V. 37. N 3. P. 9–19.
11. Dean J., Ghemawat S. MapReduce: Simplified Data Processing on Large Clusters // Proc. of the Sixth Symposium on Operating System Design and Implementation. San Francisco, CA, 2004. P. 137–150.
12. van der Lans R.F. Using SQL-MapReduce® for Advanced Analytical Queries [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www.asterdata.com/resources/assets/ar\\_SQL-MapReduce\\_for\\_Advanced\\_Analytics.pdf](http://www.asterdata.com/resources/assets/ar_SQL-MapReduce_for_Advanced_Analytics.pdf), свободный. Яз. англ. (дата обращения 06.06.2013).
13. Friedman E., Pawlowski P., Cieslewicz J. SQL/MapReduce: A practical approach to self-describing, polymorphic, and parallelizable userdefined functions // Proc. of the 35th VLDB Conference. Lyon, France, 2009. P. 1402–1413.

*Дергачев Александр Андреевич*

– аспирант, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург, Россия, dam600@mail.ru

*Alexander Dergachev*

– postgraduate, Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Saint Petersburg, Russia, dam600@mail.ru

УДК 004.043, 004.5, 37.04

## О ВЛИЯНИИ АДАПТИВНЫХ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИХ ИНТЕРФЕЙСОВ НА НАДЕЖНОСТЬ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ

Ю.О. Фуртат<sup>а</sup>

<sup>а</sup> Институт проблем моделирования в энергетике им. Г.Е. Пухова НАН Украины, Киев, Украина, saodhar@ukr.net

В современных автоматизированных системах пользователи часто сталкиваются с проблемой информационной перегрузки из-за постоянно возрастающих объемов информации, требующей обработки за короткое время. Работа в таких условиях отрицательно сказывается на качестве работы операторов систем и на надежности самих систем.

Одним из подходов к решению задачи информационной перегрузки является создание для автоматизированных систем персонализированных интерфейсов, учитывающих особенности работы пользователей с информацией. Характеристики оператора системы, определяющие предпочитаемые им форму и темп представления информации, формируют когнитивный портрет пользователя.

Для диагностирования характеристик применяется или профессиональное тестирование с привлечением специалистов-психологов, или оперативное тестирование на рабочем месте пользователя. Вторым вариантом представляется более предпочтительным для использования в автоматизированных системах, поскольку не возникает проблемы нехватки специалистов-психологов. Составление когнитивного портрета при этом проводится в результате взаимодействия пользователя с программными средствами диагностирования, основанными на методиках когнитивной психологии.

Эффект от применения в автоматизированной системе персонализированного пользовательского интерфейса можно оценить, установив, как уменьшение времени реакции пользователя на критические события влияет на уровень надежности и эффективности функционирования системы. Для этого используются формулы теории надежности сложных автоматизированных систем, показывающие зависимость надежности системы от времени реагирования пользователя на критическое событие.

**Ключевые слова:** автоматизированная система, пользовательский интерфейс, персонализация, адаптация интерфейса, когнитивный профиль.

## ON THE EFFECT OF ADAPTIVE USER INTERFACES ON RELIABILITY AND EFFICIENCY OF THE AUTOMATED SYSTEMS

Yu. Furtat<sup>b</sup>

<sup>b</sup> Ukrainian National Academy of Sciences, Pukhov Institute for Modeling in Energy Engineering, Kiev, Ukraine, saodhar@ukr.net

In modern automated systems users often have to face the information overload problem because of ever increasing volumes of information with short time processing requirements. Working in such conditions affects the system operator's work quality and the systems reliability. One possible approach to solving the information overload problem is to create personalized interfaces that take into account the user's information management particularities. System operator's features, which determine the shape and pace of information representation preferred by him, form the user's cognitive portrait. To determine the values of portrait characteristics professional testing with the assistance of psychologists or operational testing at the user's workplace is performed. The second option is more preferable for use in automated systems, since it has no issue with lack of psychologists. Cognitive portrait is then built as a result of user interaction with the software diagnostic tools that are based on the cognitive psychology methods. The effect of personalized user interface application in an automated system can be estimated by quantifying how the reduction in user's response time to critical events affects the system reliability and efficiency. For this purpose, the formulae of reliability theory for complex automated systems are used, showing the dependence between the system reliability and user's response time to critical event.

**Keywords:** automated system, user interface, personalization, interface adaptation, cognitive portrait.

### Введение

Надежность и эффективность функционирования современных автоматизированных систем в значительной мере зависит от действий пользователя-оператора. В наше время из-за постоянного усложнения автоматизированных систем операторы работают в ситуации информационного перегрузки, которая отрицательно влияет на сосредоточенность на рабочем процессе и время реакции на критические события. Для решения этой проблемы в современных автоматизированных системах предпринимаются попытки повысить эффективность взаимодействия пользователя системы с рабочим интерфейсом. Используются различные подходы – организационный, эргономичный и т.п., однако они не всегда дают удовлетворительный результат, поскольку не учитывают индивидуальных особенностей пользователей, ориентируясь на некоторого «среднего» пользователя системы.

Вследствие этого возникла необходимость создания системы, которая предоставляет возможность персонализации взаимодействия пользователя с системой, реализует механизм диагностирования психофизиологических и когнитивных характеристик пользователя для учета их вместе с особенностями деятельности пользователя в системе при построении адаптивного интерфейса.

### Особенности обработки информации операторами автоматизированных систем

К формальным характеристикам сообщения принадлежат содержание, форма, темп и ритм поступления информации (интервалы между отдельными сообщениями, регулярность поступления и т.п.) [1]. На рис. 1 показаны этапы обработки человеком информации от внешней среды (или пользователя от системы).

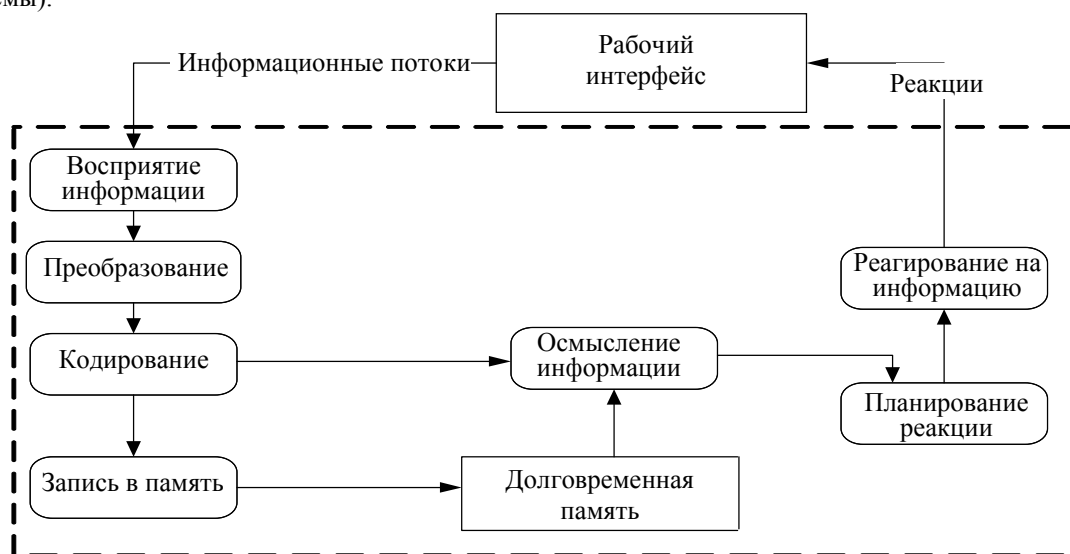


Рис. 1. Процесс восприятия человеком информации от внешней среды

Результаты экспериментальных исследований свидетельствуют о том, что этап репрезентации исходной ситуации занимает особое место [2].

Таким образом, поскольку форма представления информации является существенным фактором, который обеспечивает восприятие, понимание и усвоение информации от системы, ее можно рассматривать как средство управления деятельностью пользователя. Известно, что овладевая материалом во время обучения, человек выборочно относится к его содержанию, виду и форме [3–5].

У каждого пользователя выделяют ряд характеристик, от которых зависит предпочитаемый вид представления информации, темп и насыщенность информационного потока от системы к пользователю. Эти характеристики разделяют на когнитивные, психофизиологические и интеллектуальные.

Когнитивные характеристики, главным образом, определяют скорость, с которой пользователь ориентируется в новой информации и переключается между разными типами деятельности, предпочитаемый им для восприятия тип информации. К ним принадлежат:

- полезависимость–полнезависимость;
- узкий–широкий диапазон эквивалентности;
- импульсивность–рефлексивность;
- интеллектуальная лабильность–ригидность.

Эти характеристики определяют, насколько быстро и точно оператор автоматизированной системы способен считать информацию с большого количества элементов вывода рабочего интерфейса (индикаторов, числовых дисплеев, шкал) и насколько эффективно он способен переключаться между восприятиями различных видов информации (звук, текст, графика). Для каждой характеристики в рамках когнитивной психологии были разработаны соответствующие методики диагностирования, многие из которых формализованы в достаточной мере для реализации в рамках подсистемы автоматизированной диагностики характеристик.

Для оценки психофизиологического состояния пользователя часто используют такие параметры, как его отношение к риску, качество оперативной памяти и внимание. При этом время реакции на тестовое влияние и ошибки в ответах должны позволить оценивать собранность и координацию действий пользователя, поскольку зависят от этих личностных особенностей [6].

К интеллектуальным характеристикам принадлежат уровни IQ и EQ (коэффициенты интеллекта и эмоционального интеллекта соответственно) [7]. Хотя значение коэффициента эмоционального интеллекта связано со значением IQ, прямая зависимость отсутствует, а именно, значение EQ определяет склонность к творческому подходу при работе с информацией. Эта характеристика очень важна для пользователей, например, систем проектирования или учебных систем.

Психофизиологические и интеллектуальные характеристики определяют комфортную интенсивность потока информации. Психофизиологические характеристики при этом являются наиболее динамичными. Например, объем внимания зависит от уровня усталости пользователя и изменяется в течение всего периода работы с системой. Именно эта характеристика влияет на время реакции пользователя на события и поступающие данные. При нормальной работе пользователя на величину объема внимания следует ориентироваться для корректирования скорости вывода информации для обработки пользователем. В случае же критической ситуации эта величина может использоваться в качестве порогового значения – при повышенной усталости оператор должен быть при возможности отстранен от участия в процессе обработки критической ситуации, поскольку замедленная реакция и повышенная вероятность ошибки при принятии решения могут иметь негативные последствия для работы системы.

Интеллектуальные характеристики пользователя могут быть использованы для определения необходимости вывода дополнительной вспомогательной информации (инструкций, справочных материалов) при работе с данными от системы.

В наше время для пользователей автоматизированных систем уже составляют когнитивные портреты на основе профессионального психологического тестирования. Но этот метод имеет два существенных недостатка. Во-первых, он нуждается в участии профессионального психолога, и количество автоматизированных систем и их операторов возрастает быстрее, чем может быть подготовлено соответствующее количество специалистов–психологов. Во-вторых, такое тестирование не является оперативным, оно проходит с отрывом пользователя от рабочего процесса и рабочего места.

Оба этих недостатка могут быть устранены благодаря внедрению в систему адаптации пользовательских интерфейсов подсистемы автоматического тестирования. Схема одного из возможных вариантов реализации такой подсистемы приведена на рис. 2.

Тестирование пользователя проводится как явным образом (в процессе выполнения им тестовых заданий), так и в фоновом режиме, когда на автоматизированном рабочем месте отслеживаются такие показатели, как скорость выполнения действий или реакции на смену ситуации. В обоих случаях информация о характеристиках пользователя обрабатывается отдельным модулем системы тестирования и дополняет или изменяет изначальный когнитивный профиль, который используется при дальнейшей работе системы управления пользовательскими интерфейсами. Именно таким способом – видоизменяя интерфейс пользователя и наблюдая за изменением эффективности работы с ним (которая выражается в по-

вышении скорости реакции и уменьшении количества ошибок при работе с информацией), можно за конечное количество шагов итерационного процесса оптимизировать вид интерфейса под конкретного пользователя (в случае системы с автоматической адаптацией интерфейсов).

Чтобы оценить эффект от применения в автоматизированной системе адаптивного пользовательского интерфейса, необходимо установить, как уменьшение времени реакции пользователя на критические события влияет на уровень надежности и эффективности функционирования системы.



Рис. 2. Система диагностирования характеристик пользователя

### Влияние скорости обработки критического события на надежность системы

Условимся считать, что автоматизированная система работает эффективно, если время  $T_1$ , фактически затраченное на обработку критического события, не превышает предельно допустимого времени  $T_2$ . Время  $T_1$  состоит из времени появления критического события и времени собственно реакции на него. Тогда условие эффективности в рассматриваемой системе может быть записано (полагая  $T_1$  и  $T_2$  случайными величинами) в виде вероятности  $P$ :

$$P\{T_2 - T_1 \geq 0\} \geq a, \quad (1)$$

где  $a$  – вероятность, с которой гарантируется эффективность работы системы. Величины  $T_1$  и  $T_2$  определяются квалификацией и когнитивным и психофизиологическим состоянием обслуживающего персонала. На основании (1) имеем

$$P\{T_1 < T_2\} = \int_0^{\infty} F(t) dG(t) = \int_0^{\infty} F(t) g(t) dt, \quad (2)$$

где функции распределения случайной величины  $F(t)$  и  $G(t)$  определяются так:

$$F(t) = P\{T_1 < t\}; G(t) = P\{T_2 < t\}; g(t) = G'(t). \quad (3)$$

Формулы (2) и (3) можно использовать при любых законах распределения случайных величин  $T_1$  и  $T_2$ , которые принимают только положительные значения и имеют плотности распределения, равные нулю при отрицательных значениях аргументов. Вместе с тем эти формулы получены исходя из того, что за время эксплуатации или выполнения задачи возникает не более одной критической ситуации.

В реальных условиях за время выполнения задачи продолжительностью  $t$  критическая ситуация может возникать неоднократно. В этом случае эффективность функционирования автоматизированной системы на протяжении заданного времени выполнения задачи будет обеспечена при следующих возможных событиях:

- критические ситуации отсутствуют;
- возникла одна критическая ситуация, которая была обработана за допустимое время;
- возникли две критические ситуации, каждая с которых также была обработана за допустимое время.

Обозначим через  $\xi_i (i=0, 1, \dots)$  интервал времени между  $i$ -м в  $(i+1)$ -м событиями, а через  $F_i(t) = P\{\xi_i < t\}$  – функцию распределения  $\xi_i$ . Предположим, что поток событий образует поток с ограниченным последствием ( $\xi_i$  независимы в совокупности). Тогда, согласно определению отказа системы, по формуле полной вероятности можно записать вероятность обеспечения эффективности функционирования на протяжении времени  $t$ :

$$P(t) = \bar{F}_1(t) + \sum_{k=1}^{\infty} \int_0^t \int_0^{t-x_1} \dots \int_0^{t-\sum_{s=1}^{k-1} x_s} \bar{F}_k \left( t - \sum_{s=1}^k x_s \right) \prod_{s=1}^k dF_s(x_s) W \left( t - \sum_{l=1}^s x_l \right), \quad (4)$$

где  $\bar{F}_i(t) = 1 - F_i(t)$ . Здесь  $W(t)$  – вероятность того, что событие, которое возникло в некоторый момент времени, не приведет через время  $t$  к непоправимой ситуации. Определим эту вероятность. Очевидно,

$$W(t) = P\{T_2 > t\} + \int_0^t P\{T_1 < u\} dP\{T_2 < u\} = \bar{G}(t) + \int_0^\infty F(u) dG(u). \quad (5)$$

Выражение (5) получено в предположении, что каждое событие обрабатывается независимо. Часто предполагают, что поток критических событий системы образует простейший поток с параметром  $\lambda$ . В этом случае

$$F_i(t) = \begin{cases} 1 - e^{-\lambda t} & \text{при } t \geq 0, \\ 0 & \text{при } t < 0. \end{cases} \quad (6)$$

Подставляя (6) в равенство (4), получаем искомую вероятность:

$$P(t) = e^{-\lambda t} + \sum_{k=1}^{\infty} \lambda^k e^{-\lambda t} \int_0^t \int_0^{t-x_1} \dots \int_0^{t-\sum_{s=1}^{k-1} x_s} \prod_{s=1}^k W\left(t - \sum_{l=1}^s x_l\right) dx_s. \quad (7)$$

На практике иногда имеет место ситуация, когда может быть обработано только одно событие, а наличие двух критических событий в системе приводит к аварии. Очевидно, появление некоторого события в момент  $\sum_{l=1}^s x_l$  не приведет к аварии: или тогда, когда  $T_2 > t - \sum_{l=1}^s x_l$ , если  $x_{s+1} \geq t - \sum_{l=1}^s x_l$ , т.е. больше критических событий не было до момента  $t$  и допустимое время  $T_2$  достаточно большое, или тогда, когда следующее событие возникло к моменту  $t$ , т.е.  $x_{s+1} < t - \sum_{l=1}^s x_l$ , но предыдущее событие было до этого момента обработано прежде допустимого времени  $T_2$ . Иначе говоря, в этом случае имеет место ситуация  $\{T_1 < \min(x_{s+1}, T_2)\}$ .

В первом случае вероятность отсутствия аварии равняется  $W\left(t - \sum_{l=1}^s x_l\right)$ , во втором случае вероятность ситуации (8) такая:

$$W^*(x_{s+1}) = \int_0^{x_{s+1}} \bar{G}(x) dF(x). \quad (9)$$

Формулы (7) и (4) принимают следующий вид:

$$P(t) = \bar{F}_1(t) + \sum_{k=1}^{\infty} \int_0^t \dots \int_0^{t-\sum_{s=1}^{k-1} x_s} \bar{F}_k\left(t - \sum_{s=1}^k x_s\right) \prod_{s=1}^k dF_s(x_s) \prod_{s=1}^{k-1} W^*(x_s) W\left(t - \sum_{s=1}^k x_s\right),$$

$$P(t) = e^{-\lambda t} + e^{-\lambda t} \sum_{k=1}^{\infty} \lambda^k \int_0^t \dots \int_0^{t-\sum_{s=1}^{k-1} x_s} \prod_{s=1}^{k-1} W^*(x_s) W\left(t - \sum_{s=1}^k x_s\right) dx_1 \dots dx_k.$$

Вероятность (9) является важным компонентом в обоих выражениях. Она зависит от величин  $T_1$ ,  $T_2$  и значений моментов  $\sum_{l=1}^s x_l$ . Значения моментов – величина случайная, величина  $T_2$  определяется организа-

ционными требованиями и особенностями рабочего процесса. Наиболее реально повлиять на показатели эффективности функционирования автоматизированных систем, меняя (снижая) значение величины  $T_1$ . Эта величина зависит от особенностей работы пользователя с информацией, поступающей от системы, и уровня комфортности работы с информацией. Поскольку именно с помощью пользовательского интерфейса происходит взаимодействие пользователя с информацией в системе, то удобство и эффективность интерфейса влияет на важный параметр  $T_1$ . Для оценки этого влияния можно использовать в персонализированных интерфейсах таймер для определения времени, за которое пользователь реагирует на событие в системе или поступление информации. В некритических ситуациях можно отслеживать скорость взаимодействия с элементами интерфейса (кнопками, окнами вывода информации, пунктами меню) или реакции на специальные тестовые информационные импульсы (звуковые, графические). Вместе со статистикой количества ошибок при принятии решений или взаимодействии с элементами интерфейса скорость реакции может использоваться для оценки общей эффективности пользовательского интерфейса.

### Заключение

Предложенный подход к построению персонализированных пользовательских интерфейсов автоматизированных систем позволяет учитывать особенности когнитивного портрета отдельных пользователей и адаптировать взаимодействие с информацией в системе к этим особенностям. Это может повысить уровень комфорта работы пользователя системы с информацией, снизить уровень информационной перегрузки, улучшить сосредоточенность и время реакции на критические события.

Поскольку величина времени реакции пользователя влияет на общий уровень надежности и эффективности функционирования системы, можно рассчитывать, что применение адаптивных персонализированных пользовательских интерфейсов позволит повысить показатели надежности и эффективности автоматизированных систем.

### Литература

1. Турзин П.С., Пономаренко В.А., Рысакова-Ромашкан С.Л. Уровни понимания информации и структура коммуникативного акта // Психологический журнал. 1992. Т. 13. № 1. С. 30–39.
2. Солсо Р. Когнитивная психология. 6-е изд. СПб: Питер, 2006. 589 с.
3. Якиманская И.С. Принципы построения образовательных программ и личностное развитие учащихся // Вопросы психологии. 1999. Т. 13. № 3. С. 39–47.
4. Гальскова Н.Д. Современная методика обучения иностранным языкам: Пособие для учителя. М.: АРКТИ, 2004. 192 с.
5. Ляховицкий М.В. Методика преподавания иностранных языков: Методическое пособие. М.: Дрофа, 2006. 369 с.
6. Верлань А.Ф., Сопель М.Ф., Фуртат Ю.О. Особенности оперативного тестирования на рабочем месте операторов систем поддержки принятия решений (СППР) // Математичне та комп'ютерне моделювання. Сер. Технічні науки. 2010. В. 3. С. 37–45.
7. Немов Р.С. Психология: Учебник для студентов высш. пед. учеб. заведений: В 3-х кн. 4-е изд. М.: Гуманитарный издательский центр «ВЛАДОС», 2003. Кн. 1. 688 с.

**Фуртат Юрий Олегович**

– младший научный сотрудник, Институт проблем моделирования в энергетике им. Г.Е. Пухова НАН Украины, Киев, Украина, saodhar@ukr.net

**Yurii Furtat**

– junior scientific researcher, Ukrainian National Academy of Sciences, Pukhov Institute for Modeling in Energy Engineering, Kiev, Ukraine, saodhar@ukr.net

УДК 004.274

## МЕТОД ОТОБРАЖЕНИЯ ЗАДАЧ НА КРУПНОГРАНУЛЯРНЫЕ РЕКОНФИГУРИРУЕМЫЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

А.С. Румянцев<sup>а</sup>

<sup>а</sup> Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург, Россия, darkstreamray@gmail.com

Произведен анализ существующих подходов к отображению задач на реконфигурируемые вычислительные системы, особое внимание уделялось методам отображения на крупногранулярные реконфигурируемые вычислительные системы. На основе произведенного анализа сформированы цель и задачи создания нового эвристического метода отображения задач на крупногранулярные реконфигурируемые вычислительные системы, который базируется на методе разделения графа с выталкиванием вершин, алгоритме покрытия графов, эвристическом подходе к оптимизации и упаковке графа для конкретного варианта крупногранулярной реконфигурируемой вычислительной системы и разработанном методе отображения графа потока данных задачи на ресурсы крупногранулярной реконфигурируемой вычислительной системы. В ходе работы было осуществлено имитационное моделирование разработанного метода и существующих подходов к отображению задач на крупногранулярные реконфигурируемые вычислительные системы на модели системы с крупногранулярной реконфигурируемым аппаратным ускорителем MATRIX. Приведены экспериментальные результаты, доказывающие эффективность предлагаемого подхода по сравнению с широко используемыми методами отображения задач на крупногранулярные реконфигурируемые вычислительные системы и возможность использования динамических параметров функционирования крупногранулярной реконфигурируемой вычислительной системы для дальнейшего улучшения получаемого отображения задачи.

**Ключевые слова:** крупногранулярные реконфигурируемые вычислительные системы, отображение задач на вычислительные системы, покрытие графов.