

Интеграция языковых и инструментальных средств повышает эффективность процесса разработки программного обеспечения, предоставляет в распоряжение программиста новые возможности по сопровождению и расширению программ, скрывая при этом многие вспомогательные операции, напрямую не связанные с решаемой прикладной задачей. Предлагаемый репозиторий, обеспечивающий распределенное хранение функционально-поточковых параллельных программ, позволяет повысить эффективность совместного использования разрабатываемых программ, накопление и обмен создаваемыми библиотечными функциями. Помимо этого предлагаемые методы могут также использоваться при разработке других иерархических распределенных хранилищ, например, при расширении обобщенных записей и обобщающих процедур в процедурно-параметрическом программировании [5]. Ряд функций, обеспечивающих распределенное хранение данных, также использован в системе многокритериального анализа [6].

Библиографические ссылки

1. Хортон А. Visual C++ 2005: базовый курс : пер. с англ. М. : Вильямс, 2007. 1152 с.
2. Шлее М. Qt 4.8. Профессиональное программирование на C++. СПб. : БХВ-Петербург, 2012. 894 с.
3. Троелсен Э. С. C# и платформа .NET. Библиотека программиста : пер. с англ. СПб. : Питер, 2003. 800 с.
4. Легалов А. И. Функциональный язык для создания архитектурно-независимых параллельных про-

грамм // Вычислительные технологии. 2005. № 1 (10). С. 71–89.

5. Легалов А. И., Солоха А. Ф. Особенности языка процедурно-параметрического программирования // Вестник Новосибирского гос. ун-та. Сер. Информационные технологии. 2011. Т. 9, № 3. С. 15–22.

6. Легалов А. И., Ледяев Д. Н., Анкудинов А. В. Инструментальная поддержка многокритериального анализа при разработке сложных технических систем // Вестник СибГАУ. 2009. Вып. 2 (23). С. 50–55.

References

1. Horton I. *Visual C++ 2005: bazoviy kurs* [Beginning Visual C++ 2005]. Moscow, I. D. Williams publ., 2007, 1152 p.

2. Schlee M. *Qt 4.8. Qt 4.8. Professionanoel programirovanie na C++* [Qt 4.8. C++ Professional Programming]. Saint-Petersburg, BHW-Petersburg, 2012, 894 p.

3. Troelsen A. *C# i platforma .NET* [C# and the .NET Platform]. Sanct-Petersburg, Piter, 2003, 800 p.

4. Legalov A. I. *Vychislytel'nye tehnologii*. 2005, № 1 (10), p. 71–89.

5. Legalov A. I., Soloha A. F. *Vestnik NGU, Information technologies*. 2011, vol. 9, № 3, p. 15–22.

6. Legalov A. I., Ledyayev D. N., Ankudinov A. V. *Vestnik SibGAU*. 2009, no. 2 (23), p. 50–55.

© Легалов А. И., Матковский И. В., Анкудинов А. В., 2013

УДК 62.501

О НЕКОТОРЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ ПО СИСТЕМНОМУ АНАЛИЗУ

А. В. Медведев

Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31
E-mail: Saor_medvedev@sibsau.ru

Рассматриваются некоторые аспекты системного анализа и теории исследования операций. Обсуждаются также наиболее важные основные черты последних. Приводится конкретный пример эффективного применения системного анализа в задаче управления техническим объектом. Анализируются некоторые вопросы информатизации управленческих решений для различных процессов, включая организационные. Описаны некоторые принципиальные особенности создания систем моделирования и управления активными объектами. Выделены наиболее важные задачи системного анализа. Дается краткая характеристика исследований в области системного анализа и исследования операций, проводимых в течение последних лет на кафедре системного анализа и исследования операций СибГАУ.

Ключевые слова: активные системы, сложные процессы, априорная информация, критерии, ограничения, обучающиеся модели, алгоритмы оптимизации, принятие решений.

ABOUT SYSTEM ANALYSIS AND OPERATION RESEARCH THEORY

A. V. Medvedev

Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev
31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660014, Russian Federation. E-mail: Saor_medvedev@sibsau.ru

The paper considers some aspects of system analysis and operation research theory. The most important features of the last ones are discussed. The particular example of the system analysis effective use in the problem of technical object control is given. Some informatization aspects by making solutions for different processes including organizational ones are analyzed. The principal features of modeling systems building and active objects control are described. The most important problems of system analysis are pointed out. A brief characteristic of investigations having done in the department "System analysis and operation research" of SibSAU in the sphere of system analysis and operation research is given.

Keywords: active systems, complex processes, a priori information, criteria, restrictions, learning model, optimization algorithms, decision making.

В настоящее время часто употребляют выражения: «системный анализ», «системный подход к изучению явлений», «теория систем». И это неслучайно. Наука вступила в ту фазу своего развития, когда приходится иметь дело с явлениями не просто сложными, а комплексными, явлениями, в основе которых лежат процессы разной природы, для анализа которых должны использоваться различные, но связанные между собой модели. Системный анализ и возникающая в его рамках технология исследований становятся все более и более необходимыми, интерес к системному анализу и системной проблематике диктуется вполне реальной потребностью. Часто, например, делается вид, что системный анализ – это некое открытие. Как будто до этого все думали бессистемно. В одной из бесед Н. Н. Моисеев¹ при обсуждении этого вопроса заметил: «А что, Александр Македонский воевал бессистемно?». На самом деле наука подготавливала переход от изучения отдельных фактов к изучению сложных систем моделей. Лучшей школой системного анализа является физика, где создана стройная система связанных между собой моделей. Конечно, модели и математические методы начинают проникать всюду, даже в историю. Но система моделей создана пока только в физике.

Системный анализ – это дисциплина нематематическая. Большую роль в развитии системного мышления, а следовательно, и системного анализа играет изучение естественно-научной классики. И один из таких источников системного мышления – это великая школа русских и советских естествоиспытателей. Достаточно вспомнить Д. И. Менделеева, создавшего «модель химии». В. И. Вернадский был первым, который установил единство и взаимосвязь биосферы как единого комплекса. Создатель биогеохимии, он показал не только глубокую связанность органических и неорганических процессов, но и установил связь характерных времен протекания основных процессов. А это уже ключ к построению рациональных схем формализованного анализа.

Напомним некоторые определения из области системного анализа, которые можно отнести к категории общепринятых (Большая советская энциклопедия).

¹ Н. Н. Моисеев – академик АН СССР, лауреат государственных премий СССР. В 1978–1980 гг. неоднократно приезжал в город Красноярск для участия в формировании программ суперпрограммы «Сибирь» по приглашению академика АН СССР А. С. Исаева, бывшего тогда председателем Красноярского научного центра.

Система (от греч. *sy'stēma* – целое, составленное из частей; соединение) – это множество элементов, находящихся в отношениях и связях друг с другом, которое образует определенную целостность, единство.

Системный анализ: 1) в узком смысле – совокупность методологических средств, используемых для подготовки и обоснования решений по сложным проблемам политического, военного, социального, экономического, научного, технического характера; 2) в широком смысле термин «системный анализ» иногда (особенно в англоязычной литературе) употребляют как синоним системного подхода.

Системный подход: направление методологии специально-научного познания и социальной практики, в основе которого лежит исследование объектов как систем.

Что же является главным, «сердцевиной» системного анализа? По мнению профессора Ф. П. Тарасенко, главным является «вытаскивание» проблемы из реальной жизни, отделение важного от несущественного, поиск правильной формулировки для каждой из возникших задач» [1]. Подобную же мысль высказывает Н. Н. Моисеев относительно постановки различных задач оптимизации. Этот этап чаще всего обходится молчаливым со стороны многих авторов, хотя, безусловно, все относят его к категории важнейших. Здесь уместно вспомнить известную фразу Д. Д. Бернала: «Гораздо труднее увидеть проблему, чем найти ее решение. Для первого требуется воображение, а для второго – только умение». В проблематике системного анализа «вытаскивание» проблемы из реальной жизни имеет первостепенное значение. Отметим еще одно нетривиальное обстоятельство, связанное с формализованными постановками задач, формирующих системную проблему, которое состоит в том, что мы вынуждены отходить от математической строгости, имея дело с реальностью. По-видимому, можно считать справедливым мнение Б. Мандельброта, что «возможность применять к реальности строгое математическое понятие непрерывности сводится почти на нет». Здесь идет речь о непрерывности, хотя проблема использования математической строгости к реальным задачам гораздо шире. Таким образом, в подавляющем числе случаев математически строгая постановка задач, отражающих реально протекающие процессы, представляется весьма сомнительной. На это же обращал внимание Я. З. Цыпкин²: «До самого

² Я. З. Цыпкин – академик АН СССР, лауреат Ленинской премии.

последнего времени теория оптимальности строилась на элегантно с математической точки зрения и очень шатком с точки зрения практических задач основании».

Еще одним важным направлением, примыкающим к системному анализу, является информатика. Не вдаваясь в детальное обсуждение этого направления, приведем некоторые высказывания известных ученых, стоявших у ее истоков.

Академик А. П. Ершов: «...этот термин (информатика) снова, уже в третий раз, вводится в русский язык в новом и куда более широком значении – как название фундаментальной естественной науки, изучающей процессы передачи и обработки информации». И далее: «...отнесение информатики к фундаментальным наукам отражает общенаучный характер информации и процессов ее обработки».

Академик В. М. Глушков: «Понятие информатики охватывает области, связанные с разработкой, созданием, использованием и материально-техническим обслуживанием систем обработки информации, включая машины, оборудование, математическое обеспечение, организационные аспекты, а также комплекс промышленного, коммерческого, административного, социального и политического воздействия». Эту мысль комментирует академик Е. П. Велихов: «Это очень широкое определение, его нужно конкретизировать, но в нем выделено главное – понятие о вычислительной технике и автоматизации, которые не существуют отдельно друг от друга».

Академик А. А. Дородницын: «...состав информатики – это три неразрывно и существенно связанные части: технические средства, программные и алгоритмические».

Академик В. С. Михалевич: «Информатика – комплексная научная и инженерная дисциплина, изучающая все аспекты разработки, проектирования, создания, оценки, функционирования механизированных (основанных на ЭВМ) систем переработки информации, их применения и воздействия на различные области социальной практики. Появление этой дисциплины обусловлено возникновением и распространением новой – индустриальной – технологии сбора, обработки, передачи информации, связанной с фиксацией данных на машинных носителях». И далее: «Наиболее широко распространенной информационной технологией, играющей исключительно важную роль в жизнедеятельности общества, выступает технология управления».

«Информатика – дисциплина, изучающая структуру и общие свойства научной информации, а также закономерности ее создания, преобразования, передачи и использования в различных сферах человеческой деятельности» (БСЭ).

Из всего сказанного следует, что информатика представляется синтезом многих отраслей наук и знаний. Во второй половине нашего столетия возникла предшествующая информатике новая научная дисциплина – кибернетика, которая также является синтезирующей наукой, получившей довольно быстрое развитие в разнообразных областях деятельности че-

ловека: экономике, технике, биологии, медицине и др. В это же время К. Э. Шенноном была создана изящная и глубокая теория информации, где информация представляет собой объект исследования. Информацию как философскую категорию стали рассматривать как один из важнейших атрибутов материи, отражающей ее структуру. Понимание единой природы информации вслед за установлением единой природы вещества и энергии может стать важнейшим шагом к постижению материального единства мира.

Предшественницей информатики, естественно, можно считать кибернетику. Кибернетика акцентирует внимание на общих законах движения информации в целенаправленных системах любой природы (биологических, технических, социальных), на структурном подобии сложных систем. Информатика, опираясь на этот теоретический фундамент, изучает технологию, конкретные способы и приемы переработки, передачи, использования информации.

Кибернетика (от греч. κβερνητική) – искусство управления, наука об управлении, связи и переработке информации. Впервые этот термин встречается у Платона (IV в. до н. э.). Спустя столетия его использовал А. М. Ампер (1834 г.) как определение науки об управлении человеческим обществом. Наконец, в 1948 г. вышла книга Норберта Винера «Кибернетика, или управление и связь в животном и машине». В частности, Н. Винер вспоминает: «...Между прочим, впоследствии я обнаружил, что этот термин был уже употреблен Андре Ампером в отношении политической науки и был введен в другом контексте одним польским ученым, причем оба этих употребления относятся к первой половине XIX в.». Н. Винер имеет в виду, наверное, польского философа-геллеянца Фердинанда-Бронислава Трентовского, который читал лекции во Фрейбургском университете, содержание которых опубликовал на польском языке в 1843 г. в книге «Отношение философии к кибернетике как к искусству управления народом». Главная цель, которую он преследовал в своей книге, состояла в построении научных основ практической деятельности руководителя («кибернета»): «Применение искусства управления без сколько-нибудь серьезного изучения соответствующей теории подобно врачеванию без сколько-нибудь глубокого понимания медицинской науки».

Кибернетические принципы не зависят от частных систем, а принципы информатики всегда в технологической связи именно с реальными системами. Действительно, широкое использование вычислительной техники, и прежде всего ЭВМ, создало «критическую массу», когда стала возможна безбумажная обработка, передача и хранение информации. Отсюда можно ожидать и появления новых методов и принципов обработки информации, которые будут порождены компьютерной безбумажной технологией ее обработки. В настоящее время информатика представляется отраслью знания, имеющей своей задачей создание на основе технических, алгоритмических и программных средств информационной технологии обработки (в широком смысле этого слова) информации в раз-

личных областях деятельности человека и с разными целями. Совершенно очевидно, что это повлечет за собой не только изменение приемов, стиля и характера работы человека в условиях информационных технологий, но отразится на психологических аспектах его деятельности, что может оказаться наиболее важным, и прежде всего, потому, что на этом этапе будут накоплены необходимые знания и опыт, которые создадут ту «критическую массу», когда будут отчетливо видны атрибуты новой фундаментальной отрасли знаний.

В дальнейшем мы под информатизацией будем понимать компьютерные безбумажные технологии обработки, хранения и переработки информации, ориентированные на конкретные предметные области деятельности человека и преследующие вполне определенные цели. Системный анализ, прародителями которого можно считать кибернетику и информатику, является наукой (искусством) «вхождения» в проблему с целью ее ликвидации или, по крайней мере, «ослабления», без порождения эквивалентных проблем.

Организационный процесс. Одним из наиболее важных направлений в системном анализе являются моделирование и управление активными системами, которые предполагают наличие человека или коллектива людей, «встроенных» в исследуемый процесс [2; 3]. Подобные системы часто называют еще организационными. Рассмотрим достаточно детально схему локальной организационной системы (рис. 1), где A – неизвестный оператор объекта: $x(t)$, $q(t)$, $z(t)$ – выходные переменные процесса; $u(t)$ – управляющее воздействие; $\mu(t)$ – входная контролируемая, но неуправляемая переменная процесса; $\omega(t)$ – переменная, характеризующая промежуточное состояние процесса, дающая дополнительную информацию о его протекании; $\theta(t)$ представляет собой воздействие на объект внешней среды. Для организационных систем это могут быть какие-либо распоряжения, постановления, приказы, а также законодательные акты, которые с течением времени претерпевают те или иные изменения. Входная переменная $\lambda(t)$ не поддается контролю, $\xi(t)$ – векторное случайное воздействие, t – непрерывное время, H^μ , H^u , H^x , H^θ , H^ω , H^q , H^z – каналы связи, соответствующие различным переменным, включающие средства контроля, устройства для измерения наблюдаемых переменных, μ_i , u_i , x_i , θ_i , q_i , z_i , ω_i – означают наблюдение $\mu(t)$, $u(t)$, $x(t)$, $\theta(t)$, $q(t)$, $z(t)$, $\omega(t)$ в дискретное время t . Контроль переменных (x , u , μ , θ , q , z) осуществляется через некоторый интервал времени, т. е. x_i , u_i , μ_i , θ_i , q_i , z_i , ω_i , $i = \overline{1, s}$ – выборка измерений переменных процесса $(x_1, u_1, \mu_1, \theta_1, q_1, z_1, \omega_1)$, $(x_2, u_2, \mu_2, \theta_2, q_2, z_2, \omega_2)$, ..., $(x_s, u_s, \mu_s, \theta_s, q_s, z_s, \omega_s)$, ..., s – объем выборки, $h^\mu(t)$, $h^x(t)$, $h^u(t)$, $h^\theta(t)$, $h^\omega(t)$, $h^q(t)$, $h^z(t)$ –

случайные помехи измерений соответствующих переменных процесса.

Отметим существенное отличие выходных переменных $z(t)$, $q(t)$ и $x(t)$, представленных на рис. 1. Выходная переменная $x(t)$ контролируется через интервалы времени Δt , как и входные переменные, а $q(t)$ контролируются через существенно большие интервалы времени ΔT , $z(t)$ – через T ($T \gg \Delta T \gg \Delta t$). С практической точки зрения для исследуемого процесса наиболее важным часто является контроль переменных $z(t)$. Этим и обусловлено существенное отличие дискретности контроля выходных переменных $q(t)$ и $z(t)$. Стрелки, помещенные внутри объекта (рис. 1), символизируют наличие в объекте человека (коллектива людей).

Выходная переменная процесса $x(t)$ определяется следующим образом:

$$x(t) = A(u(t - \tau), \mu(t - \tau), \lambda(t - \tau), \theta(t - \tau), \xi(t), t). \quad (1)$$

Не следует путать запаздывание τ , присущее процессу, и запаздывание (задержку) при измерении или оценке тех или иных переменных процесса.

Модель исследуемого процесса $x(t)$ может быть представлена следующим образом:

$$\hat{x}(t) = \hat{A}_x(u(t - \tau), \mu(t - \tau), \omega(t - \tau), \theta(t - \tau), t). \quad (2)$$

При прогнозировании $q(t)$ и $z(t)$ целесообразно использовать следующие модели:

$$\hat{q}(t) = \hat{A}_q(u(t - \tau), \mu(t - \tau), \omega(t - \tau), \theta(t - \tau), \hat{x}(t), t), \quad (3)$$

$$\hat{z}(t) = \hat{A}_z(u(t - \tau), \mu(t - \tau), \omega(t - \tau), \theta(t - \tau), \hat{x}(t), \hat{q}(t), t), \quad (4)$$

где τ – запаздывания, различные по соответствующим каналам связи (из соображений простоты мы используем одно и то же обозначение). Хотя в настоящей работе при написании моделей используются вещественные переменные, тем не менее ясно, что переменные могут быть из различных измерительных шкал. Это обстоятельство, конечно же, нельзя обойти при исследовании реальных социально-экономических процессов [4]. Различные методы, используемые при построении параметрических моделей, изложены в [1], а непараметрических – в [3].

Сделаем одно важное замечание. А. А. Фельдбаум называл динамические объекты – объектами с памятью. Представляется, что последнее имеет более глубокий смысл, чем отождествление моделей объектов управления с дифференциальными уравнениями. Рассмотрим локальный канал « $u(t)$ – $x(t)$ » из рис. 1. Действительно, в объекте с памятью значение выходной его переменной x_t в дискретные моменты времени зависит от x_{t-1} , x_{t-2} , ..., x_{t-n} , где n – «глубина» памяти. Тогда, в частности, модель объекта с памятью может быть представлена в виде

$$\hat{x}_t = \sum_{i=1}^n \gamma_i \varphi_i(x_{t-i}) + \beta u_t, \quad (5)$$

где $\gamma_i, i = \overline{1, n}$, β_i – неизвестные коэффициенты; $\varphi_i, i = \overline{1, n}$ – некоторая система функций. Разработка и исследование моделей класса (5) представляется весьма перспективным.

Управление активной системой. При исследовании организационных систем, при разработке для них средств моделирования и управления, в отличие от технических, все обстоит совсем иначе. Главным отличием систем управления активными процессами от вышеназванных является то, что все или большая часть блоков, входящих в нее, также являются активными системами (рис. 1). Кроме того, в активных системах при их изучении невозможно «размыкание» встроенных в них обратных связей, в то время как в технических системах это в большинстве случаев возможно, что нашло отражение в задачах идентификации в условиях текущего функционирования объекта.

На рис. 2 введем следующие обозначения: О – объект управления; БПРУ – блок процесса реализации управления; УУ – управляющее устройство; УПР – управление процессом реализации выработанного УУ управляющего воздействия; БКО – блок контроля и оценки компонент вектора выходных переменных

управляемого процесса; УС БКО – управляющая система БКО; КУУ – корректирующее управляющее устройство блоком УУ; БФЗВ – блок формирования задающих воздействий, ВС – внешняя среда, <*> – задающее воздействие. Еще раз заметим, что все блоки, входящие в систему управления активным объектом (процессом), сами являются активными. Это принципиальное отличие систем управления активными системами от систем управления техническими, технологическими, производственными и многими другими процессами, хотя и последние не исключают участия человека в процессе функционирования соответствующих блоков системы управления.

Приведенная выше схема управления активным объектам, конечно же, носит довольно общий характер. При разработке системы управления конкретным активным объектом необходимо соответствующее наполнение содержанием всех блоков системы. Важнейшим этапом на этом пути будет комплексное использование всей априорной информации, обучающих выборок и т. п. Тем не менее, вопрос формирования обучающих выборок является настолько важным, что требует специального рассмотрения.

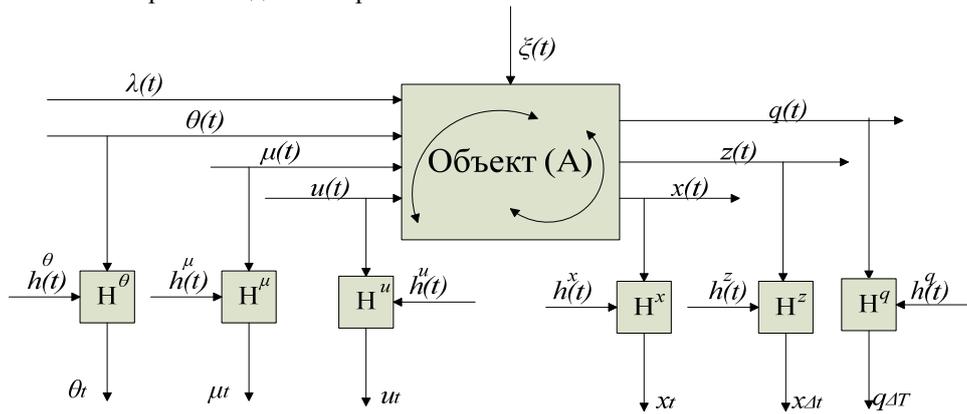


Рис. 1. Общая схема многомерного активного процесса

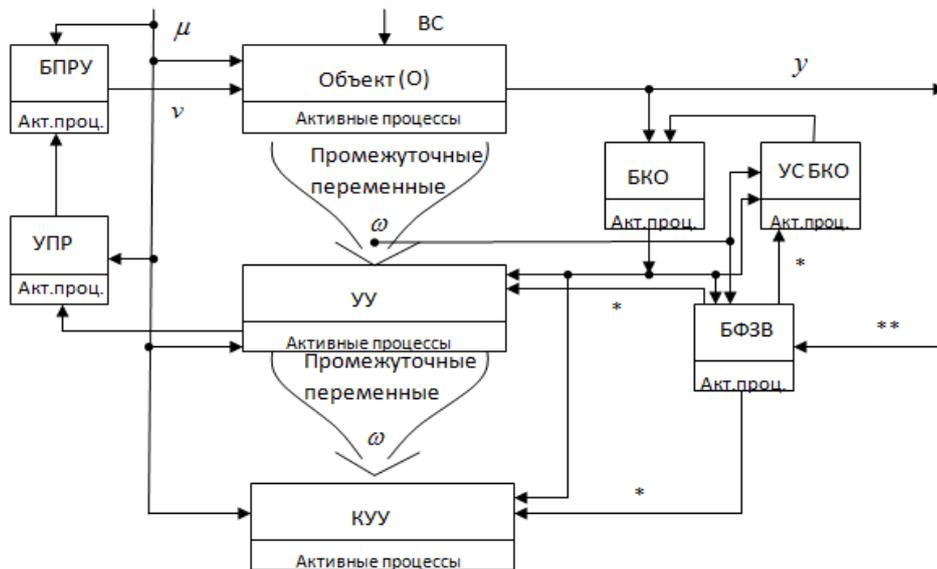


Рис. 2. Общая схема системы управления активным процессом

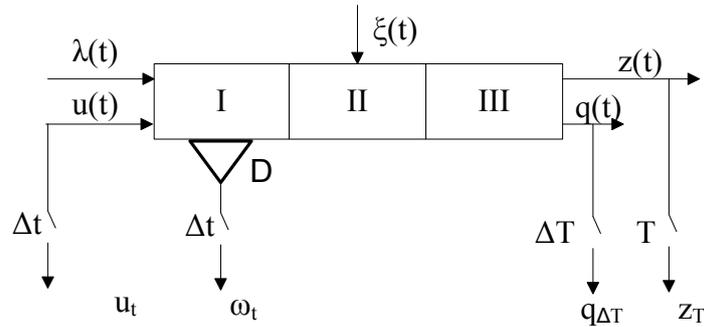


Рис. 3. Процесс измельчения клинкера мельницей сухого помола

Пример. Рассмотрим конкретный пример «вытаскивания» проблемы из реальности. В качестве реальности рассматривается процесс измельчения клинкера мельницей сухого помола. Клинкер – это продукт обжига в цементном производстве, представляющий собой гранулы размером 1,5–3 см в диаметре. Проиллюстрируем это на рис. 3.

Мельница сухого помола представляет собой цилиндрический вращающийся барабан, разделенный сеточными перегородками на три камеры, загруженные мелющими телами (в I камере – достаточно крупные металлические шары, во II камере – шары меньшего размера, в III камере – цилиндры небольшого размера). Клинкер, поступающий в мельницу, измельчается в I, II, III камерах и превращается в цемент. Таким образом, с технологической точки зрения входом мельницы является загрузка клинкера, а выходом – цемент.

На вход объекта поступают: управляемая контролируемая со случайными ошибками переменная $u(t)$ (загрузка/количество клинкера) и неуправляемая неконтролируемая переменная $\lambda(t)$ (размалываемость клинкера). Переменная $\lambda(t)$ является важным технологическим показателем размалываемости клинкера (продукт печи обжига), существенно влияющим на процесс измельчения последнего, но не может быть измерена в реальном времени. Возможны, конечно, экспертные оценки размалываемости клинкера, а также анализ одной его гранулы средствами петрографии и др., но все они требуют длительного времени, очень трудоемки, не представительны и дают грубые результаты. На процесс оказывает влияние векторное случайное воздействие $\xi(t)$ (электромагнитное излучение от сварки, шумы от соседних мельниц и др.). Это воздействие, как и $\lambda(t)$, является неконтролируемым и неуправляемым. Однако природа этих переменных различна. Конечно, с математической точки зрения можно их совместить. Но с практической точки зрения совмещать размалываемость клинкера с излучением от сварки является нецелесообразным. Переменная $\omega(t)$ – шум в первой камере, контролируемый индукционным датчиком D через интервал Δt , который в существующих системах регулирования используется как выходной сигнал процесса измельчения. Выход мельницы $q(t)$ (тонкость из-

мельчения) измеряется через интервал времени $\Delta T \gg \Delta t$; $z(t)$ – основной показатель качества цемента (активность, прочность цементной балочки при сжатии), контролируемый через $T \gg \Delta T \gg \Delta t$. Постоянная времени объекта примерно 5–7 минут, $u(t)$ и $\omega(t)$ в локальных аналоговых системах регулирования контролируются непрерывно, а в цифровых системах регулирования – дискретно через интервал Δt . Контроль выходных переменных $q(t)$, $z(t)$ осуществляется в лаборатории по технологии, регламентируемой ГОСТ, причем $\Delta T = 2$ ч, а $T = 28$ сут. Отметим, что $q(t)$ – технологический показатель собственно процесса измельчения, а $z(t)$ – основной показатель качества (марки) цемента, который зависит не только от тонкости измельчения $q(t)$, но и от показателей работы предыдущих технологических переделов – приготовления сырьевой смеси, помола, обжига. В частности, из вышеописанного видно, что технология контроля переменных, существенно влияющих на процесс измельчения, трудоемка, осуществляется через различные интервалы времени, сильно «зашумлена», что приводит к серьезным трудностям при моделировании подобных процессов. А ведь это сравнительно простой технологический процесс, который типичен для многих отраслей промышленности. Наконец, заметим, что он не укладывается в классическую схему задач идентификации.

Существующая система регулирования имеет вид, представленный на рис. 4, где P – ПИ-регулятор; ИМ – исполнительный механизм (тарельчатый питатель). На выходе III камеры установлена достаточно мелкая сетка. Под влиянием различных факторов (размалываемость клинкера и др.) эта сетка может забиваться («запаривается»). При этом на вход мельницы продолжает поступать клинкер в прежних объемах, что приводит к забиванию камер мельницы и выходу ее из нормального режима функционирования. Мельница прекращает производить цемент. В этой ситуации прекращается подача клинкера, а мельница продолжает работать вхолостую длительное время. Лишь после этой процедуры процесс производства возобновляют. Возникает проблема, как избежать эффекта «запаривания».

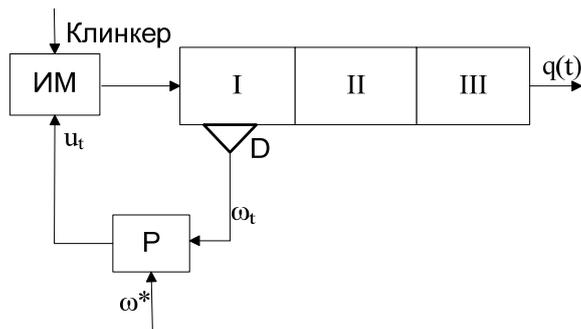


Рис. 4. Существующая система регулирования

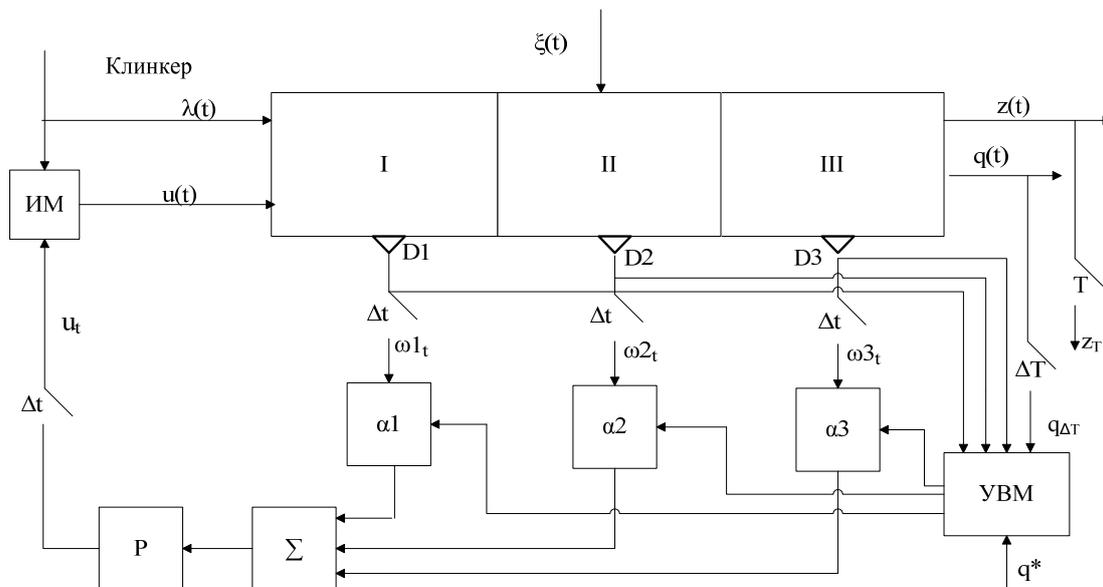


Рис. 5. Предложенная схема управления

В результате системного анализа существующей типовой системы управления мельницей сухого помола была предложена схема, представленная на рис. 5. В сравнении с предыдущей схемой управления здесь каждая камера мельницы снабжена собственным индукционным датчиком (D1, D2, D3). Сигнал датчика является косвенным показателем степени заполнения камеры клинкером. В начальной схеме (рис. 5) датчик D располагается только в начале первой камеры. «Запаривание» и накопление клинкера в последующих камерах этот датчик не «чувствует». Введение индукционных датчиков в камеры II и III позволило устранить этот недостаток. При «запаривании» сетки в камере III на начальной стадии сигнал датчика D3 уменьшается. Как видно по рис. 5, сигналы от индукционных датчиков подаются на регулятор с некоторыми весовыми коэффициентами $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ (здесь блок Σ – сумматор). Значения этих коэффициентов во многом зависят от качества исходного материала, от размалываемости клинкера, т. е. от значения переменной $\lambda(t)$. Как было сказано ранее, переменная $q(t)$ контролируется раз в 2 ч. Значение этой переменной, а также текущие значения переменных $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ подаются на УВМ (управляющую вычислительную

машину), которая корректирует значения коэффициентов $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$. Из соображения простоты мы не приводим здесь рекуррентные алгоритмы адаптивной настройки параметров α . Таким образом, удалось учесть значение неконтролируемой переменной процесса $\lambda(t)$ по полученному выходу $q(t)$. Общий итог вышесказанного состоит в том, что при возникновении начальной стадии «запаривания» уменьшается суммарный сигнал (рис. 5) и нагрузка также уменьшается.

В итоге длительной работы была создана система, способная решить поставленную проблему, а именно, избежать «запаривания» мельницы, а значит, и ее простоя. Важнейший показатель работы мельницы – это ее производительность. Отметим, что при нормальном режиме работы мельница производила до 25 т цемента в час. При введении в работу новой схемы управления процессом производительность выросла в среднем до 28 т, что является значительным результатом. Приведенный выше пример иллюстрирует случай применения системного анализа для конструирования компьютерной системы управления технологическим процессом, а итог системного анализа состоял в замене типовой схемы регулирования

процессом помола, представленной на рис. 4, разработанной схемой управления, показанной на рис. 5.

Нелишне заметить, что мы рассмотрели очень простой пример ликвидации проблемы «запаривании» мельницы сухого помола при производстве цемента. Тем не менее, создание системы регулирования, показанной на рис. 5, потребовало более 5 лет работы для группы исследователей.

Одним из «предшественников» системного анализа можно считать появившийся в первой половине прошлого столетия новый раздел теории оптимизации, получивший название «исследование операций». Важнейшим этапом в теории исследования операций является исходная постановка задачи. Это обстоятельство, по-видимому, тесно связано с вопросом «вытягивания» проблемы из реальности. Термин «исследование операций» впервые появляется в 1939 г., хотя истоки его видны еще в далеком прошлом. По мнению Р. Акофа [2], исследование операций «это – 1) применение научного метода; 2) комплексными научными коллективами; 3) для решения задач, связанных с управлением организованными (человеко-машинными) системами с целью получения решений, которые наилучшим образом отвечают целям всей организации». Первоначально основная задача исследования операций формулировалась в следующем виде [3]:

$$x = f(u, \mu),$$

где x – итоговое значение выходной переменной, характеризующей качество функционирования системы; u – переменные, которыми можно управлять; μ – переменные, которыми нельзя управлять, но значения их известны. Цель же состоит в том, чтобы при фиксированном μ найти такое управляющее воздействие u , при котором x достигает желаемого значения.

Обратите внимание на то, что в любой задаче (проблеме, проекте) исследования операций можно выделить следующие составные части: постановка задачи, построение модели, отыскание решения, его проверка на модели, а также внедрение решения и контроль его правильности. Следует иметь в виду, что формулировка задачи является едва ли не самым важным этапом для дальнейшего.

Важная особенность исследования операций [2] «заключается в том, что она а) характеризуется системным подходом, б) использованием комплексных научных коллективов и в) применением научного метода к задачам управления».

Некоторые фрагменты проблемы исследования операций могут быть сформулированы как отдельные оптимизационные задачи. Это удастся сделать в случае, когда они укладываются в доступную математическую формализацию. В целом этого, конечно же, не происходит, потому что, как было отмечено ранее, в этих процессах активно участвует человек и коллективы людей.

Ниже приведем краткий анализ работ по системному анализу и исследованию операций, проводимых на кафедре системного анализа и исследования операций Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева.

Под руководством профессора И. В. Ковалева ведутся исследования в области моделирования мультиверсионных программных архитектур отказоустойчивых систем управления [5; 6]. Используются как аналитические методы, такие как вероятностно-временной GERT-сетевой анализ, марковские модели, так и имитационное моделирование на базе сред исполнения мультиверсионного программного обеспечения (ПО) [7; 8]. Результаты моделирования позволяют обеспечить эффективный выбор состава мультиверсионного ПО [9; 10]. Использование множества версий модулей программного обеспечения позволяет замаскировать ошибки отдельных мультиверсий. В зависимости от специфики разрабатываемого программного средства возможно применение той или иной мультиверсионной архитектуры ПО [11; 12]. Однако даже если будут должным образом использованы методы разнообразия проектирования ПО для уменьшения вероятности идентичных программных ошибок, все равно остается проблема определения эффективности подхода [13; 14]. Кроме того, остаются неучтенными возможные взаимодействия программных модулей в рамках всего программного средства [15], несмотря на то, что такие взаимодействия не предусмотрены проектом (свойство монолитности ПО, когда разбиение на модули существует лишь на стадии проектирования и написания кода) [16].

Профессор И. В. Ковалев со своими учениками продолжает работу в направлении совершенствования мультилингвистических технологий обработки информации, разработки новых моделей и алгоритмов формирования многоязычных терминологических словарей [11], являющихся основой информационно-терминологического базиса адаптивно-обучающих технологий. Результаты этой работы находят широкое применение при создании компьютерных информационно-управляющих систем различного назначения. Существенное значение в этом направлении имеет формирование распределенных архитектур телекоммуникационных систем на основе алгоритмов теории оптимизации [13]. Другим направлением является информационное обеспечение мультилингвистических адаптивно-обучающих технологий принятия решений в распределенных информационно-управляющих системах. Результаты этих исследований вошли в ряд монографий [5] и публикаций [6; 7].

Под руководством профессора Е. С. Семенкина и его школы сформировано научное направление по оптимизации сложных систем на основе методологии генетического программирования. В частности, это исследования по разработке самонастраивающихся адаптивных стохастических алгоритмов идентификации и оптимизации сложных систем и их применения в задачах автоматического проектирования интеллектуальных технологий анализа данных и моделирования сложных систем [17; 18]. С помощью разрабатываемых алгоритмов можно в автоматизированном режиме получать интеллектуальные информационные технологии классификации, аппроксимации, управления, прогнозирования, извлечения знаний из баз данных на основе нейросетевых, нечетких, нейронечет-

ких и эволюционных алгоритмов. Данный подход позволяет значительно расширить круг конечных пользователей интеллектуальных информационных технологий, повысить надежность решения задач анализа данных и обоснованность принятия решений при разработке соответствующих программных систем [19–21].

Результаты исследований в области анализа данных и управления широко применяются научной школой Е. С. Семенкина в прикладных областях: проектирование систем управления космическими аппаратами и орбитальными группировками, проектирование распределенных систем обработки информации и управления, проектирование распределенных многопроцессорных вычислительных систем, управление сложными технологическими процессами [21–23], мониторинг опасных объектов, моделирование глобальных экономических систем, управление инновациями и инвестициями реструктурируемых предприятий оборонно-промышленного комплекса, прогнозирование регионального экономического развития, разработка интеллектуальных систем защиты информации, прогнозирования, технической и медицинской диагностики, банковского скоринга и многие другие [24; 25].

Под руководством профессора А. Н. Антамошкина ведутся исследования по построению эффективных алгоритмов для решения дискретных обобщенных задачи Вебера. В частности, реанимирован метод изменяющихся вероятностей (МИВЕР), ранее предложенный для решения задач псевдоболевой оптимизации. МИВЕР рассматривается как специфический вариант генетического алгоритма, и его модификации позволяют решать задачи Вебера с высокой размерностью [4; 26].

Второе направление – это создание и использование логических алгоритмов классификации, основанных на выявлении закономерностей в исходных данных [27; 28]. Поиск закономерностей рассматривается как задача комбинаторной оптимизации, для решения которой строятся алгоритмы, использующие характерные свойства рассматриваемых задач.

По космической тематике ведутся исследования по автоматизации контроля и испытаний космических аппаратов. По экономике – моделирование инновационных процессов и организационных систем [29; 30].

На кафедре системного анализа и исследования операций выполняется цикл исследований, связанных с моделированием и управлением в условиях непараметрической неопределенности [31], а также развивается теория непараметрических систем при неполной информации об исследуемом процессе [32; 33]. Здесь большое внимание уделено задаче моделирования процессов дискретно-непрерывного типа. Предметом исследования являются как динамические, так и безынерционные системы с запаздыванием. Важным, с точки зрения практики направлением исследований является моделирование «трубчатых» процессов (Н-модели) [3; 33; 34], а также идентификация при разнотипной априорной информации (К-модели) [35; 36]. Интересным является направление исследований в области управления, связанных с «включением» обратного оператора на входе управляемого объекта (И-регулятор) [37]. В последние годы начаты исследова-

ния моделирования и управления активных систем в условиях неопределенности [35; 38; 39].

Следует отметить, что в приведенных выше направлениях исследований в области системного анализа в значительной степени преобладают методы, которые могут быть использованы при решении системных проблем и задач, и в меньшей мере уделяется внимание собственно «вытягиванию» проблемы из реальности. Последнее, конечно же, обусловлено трудностями, возникшими в настоящее время в экономике и промышленности.

Основное содержание настоящей статьи состоит в анализе проблематики, охватываемой термином «системный анализ». Специальный акцент делается на дискретно-непрерывные системы, подверженные воздействию различного рода случайных возмущений и неполной априорной информации об исследуемом объекте. Приводится общая схема управления активной системой. При этом обращается внимание на то, что элементы системы управления активной системой также являются активными. Достаточно подробно анализируется пример «вытягивания» проблемы из реальности на примере мельницы сухого помола, широко используемой в различных областях промышленности. Системный анализ этого процесса привел к устранению проблемы «запаривания».

Дан краткий обзор исследований в области системного анализа и исследований операций, проводимых на кафедре системного анализа и исследования операций Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева.

Библиографические ссылки

1. Перегудов Ф. И., Тарасенко Ф. П. Введение в системный анализ. М. : Высшая школа, 1989. 361 с.
2. Акоф Р., Сасиени М. Основы исследования операций. М. : Мир, 1971. 533 с.
3. Медведев А. В. Перспективные технологии XXI в. В 2 кн. Кн. 1 : монография / И. Ш. Абдуллин, Л. Н. Абуталипова, А. А. Азанова, А. В. Медведев [и др.]. Одесса : КУПРИЕНКО СВ, 2013. 162 с. : ил.
4. Antamoshkin A., Masich I. Pseudo-Boolean optimization in case of unconnected feasible sets. Models and Algorithms for Global Optimization. Springer Optimization and Its Applications. Vol. 4. Springer Berlin Heidelberg New York, 2007. XVI.
5. Ковалев И. В. Методология оценки и повышения надежности программно-информационных технологий и структур. Красноярск : ИПЦ КГТУ, 2007.
6. Ковалев И. В., Зеленков П. В., Брезницкая В. В. Мультилингвистическая технология сбора и обработки данных для подготовки и принятия решения в информационно-управляющих системах. М. : Макс-Пресс, 2009.
7. Карасева М. В., Ковалев И. В. Мультилингвистические технологии подготовки и принятия решений в распределенных информационно-управляющих системах. Красноярск : Изд-во КрасГАУ, 2010.

8. Карасева М. В., Ступина А. А. Программно-алгоритмическая поддержка мультилингвистической адаптивной обучающей технологии / Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2011.
9. Карасева М. В., Карцан И. Н., Зеленков П. В. Метапоисковая мультилингвистическая система // Вестник СибГАУ. 2007. Вып. 3(16). С. 69–70.
10. Зеленков П. В., Ковалев И. В., Карасева М. В., Рогов С. В. Мультилингвистическая модель распределенной системы на основе тезауруса // Вестник СибГАУ. 2008. Вып. 1(18). С. 26–28.
11. Ковалев И. В., Карасева М. В., Лесков В. О. Информационно-терминологический базис как совокупность лексически связанных компонентов // Вестник СибГАУ. 2009. Вып. 1(22). Ч. 1. С. 54–57.
12. Карасева М. В. Генерация ассоциативного поля лексически связанных терминологических компонентов // Вестник СибГАУ. 2010. Вып. 1(27). С. 77–79.
13. Ступина А. А., Югай А. Я., Карасева М. В. Алгоритмы оптимизации набора кредитных заявок // Вестник СибГАУ. 2011. Вып. 2(35). С. 63–67.
14. Карасева М. В., Кустов Д. В. Информационно-терминологический базис в мультилингвистической адаптивно-обучающей технологии // Вестник СибГАУ. 2011. Вып. 3(36). С. 29–31.
15. Модели и методы оптимизации сбора и обработки информации / Н. А. Распопин, М. В. Карасева, П. В. Зеленков, Е. В. Каюков, И. В. Ковалев // Вестник СибГАУ. 2012. Вып. 2(42). С. 69–72.
16. Минимизация межмодульного интерфейса для обеспечения надежности мультиверсионного программного комплекса / И. В. Ковалев, Ю. А. Нургалева, А. В. Шахматов, С. А. Чекмарев, Ф. А. Лукин // Вестник СибГАУ. 2013. Вып. 2(48). С. 35–37.
17. Семенкин Е. С., Семенкина М. Е. Применение генетического алгоритма с модифицированным оператором равномерной рекомбинации при автоматизированном формировании интеллектуальных информационных технологий // Вестник СибГАУ. 2007. Вып. 3(16). С. 20–33.
18. Семенкин Е. С., Токмин К. А. Козволюционный подход для решения задач условной многокритериальной оптимизации технологии // Вестник СибГАУ. 2008. Вып. 4(21). С. 47–52.
19. Galushin P. V., Semenkin E. S. The asymptotic probabilistic genetic algorithm // Вестник СибГАУ. 2009. Вып. 5(26). С. 45–49.
20. Bukhtoyarov V. V., Semenkin E. S. A comprehensive evolutionary approach for neural network ensembles automatic design // Вестник СибГАУ. 2010. Вып. 7(33). С. 14–19.
21. Звонков В. Б., Семенкин Е. С. О решении сложных задач многокритериальной оптимизации модифицированными эвристическими стохастическими процедурами прямого поиска // Вестник СибГАУ. 2010. Вып. 5(31). С. 108–113.
22. Семенкин Е. С., Шабалов А. А., Ефимов С. Н. Автоматизированное проектирование коллективов интеллектуальных информационных технологий методом генетического программирования // Вестник СибГАУ. 2011. Вып. 3(36). С. 77–82.
23. Бураков С. В., Семенкин Е. С. О решении вариационной задачи методом генетического программирования // Вестник СибГАУ. 2011. Вып. 5(38). С. 19–25.
24. Семенкин Е. С., Семенкина М. Е. Проектирование ансамблей интеллектуальных информационных технологий самоконфигурируемым алгоритмом генетического программирования // Вестник СибГАУ. 2012. Вып. 4(44). С. 89–96.
25. Семенкина О. Е. Сравнение эффективности муравьиного и генетического алгоритмов при решении задач комбинаторной оптимизации // Вестник СибГАУ. 2012. Вып. 4(44). С. 96–98.
26. Антамошкин А. Н., Кукарцев В. В., Бойко А. А. Математическая модель воспроизводства основных производственных фондов // Вестник СибГАУ. 2007. Вып. 4(17). С. 40–43.
27. Технология разработки бортового программного обеспечения: управление работами и объектами / А. Н. Антамошкин, О. С. Иноземцева, А. А. Колташев, С. А. Краус // Вестник СибГАУ. 2008. Вып. 1(18). С. 4–9.
28. Antamoshkin A. N., Stupina A. A. On classes of functions with binary variables // Вестник СибГАУ. 2009. Вып. 2(23). С. 47–49.
29. Антамошкин О. А., Нургалева Ю. А., Усачев А. В. Модели модульной декомпозиции программного обеспечения технологических циклов управления // Вестник СибГАУ. 2009. Вып. 3(24). С. 66–69.
30. Антамошкин А. Н., Бакаева О. А. Сравнительный анализ «первых» критериев выявления связи между качественными переменными // Вестник СибГАУ. 2011. Вып. 4(37). С. 4–8.
31. Медведев А. В. Теория непараметрических систем. Общий подход // Вестник СибГАУ. 2008. Вып. 3(20). С. 65–69.
32. Шестернева О. В., Мальцева Т. В. Метод построения математической модели линейного динамического объекта // Вестник СибГАУ. 2009. Вып. 2(23). С. 4–8.
33. Медведев А. В. Теория непараметрических систем. Процессы // Вестник СибГАУ. 2010. Вып. 3(29). С. 4–9.
34. Первушин В. Ф., Сергеева Н. А., Стрельников А. В. Прецизионный генератор случайных чисел // Вестник СибГАУ. 2010. Вып. 5(31). С. 86–91.
35. Медведев А. В. Теория непараметрических систем. Активные процессы – I // Вестник СибГАУ. 2011. Вып. 4(37). С. 52–58.
36. Агафонов Е. Д., Мангалова Е. С. Об одном алгоритме классификации с использованием коллективов непараметрических моделей // Вестник СибГАУ. 2012. Вып. 2(42). С. 4–8.
37. Медведев А. В. Теория непараметрических систем. Управление-I // Вестник СибГАУ. 2013. Вып. 2(48). С. 52–57.
38. Иконников О. А., Первушин В. Ф. Исследование непараметрических моделей динамических систем // Вестник СибГАУ. 2013. Вып. 1(47). С. 36–41.
39. Мальцева Т. В., Медведев А. В. О компьютерном исследовании К-моделей // Вестник СибГАУ. 2013. Вып. 2(48). С. 52–57.

References

1. Tarasenko F. P. *Vvedenie v sistemnyy analiz* (Introduction to systems analysis). Moscow, Vysshaya shkola, 1989, 361 p.
2. Akof R. *Osnovi issledovaniya operacii* (Basics of operations research). Moscow, Mir, 1971, 533 p.
3. *Perspectivnie tehnologii XXI veka* (Promising technologies of the 21 XXI century), monografiya. Odessa, KUPRIENKO SV, 2013, 162 p.
4. Antamoshkin A., Masich I. Pseudo-Boolean optimization in case of unconnected feasible sets. Models and Algorithms for Global Optimization. *Springer Optimization and Its Applications*, vol. 4, Springer Berlin Heidelberg New York, 2007, XVI.
5. Kovalev I. V. *Metodologiya ocenki i povichenia nadegnosti programmno-informacionnih tehnologii I structur* (Methodology for evaluating and improving the reliability of software and information technology and structures). Krasnoyarsk, ITC KGTU, 2007.
6. Kovalev I. V., Zelenkov P. V., Brezitsky V. V. *Multilingvisticheskaya tehnologiya sbora i obrabotki dannih dlya podgotovki i prinyatiya resheniya v informatsionno-upravlyayuschih sistemah* (Of multilingual technology of collecting and processing data for the preparation and decision in management information systems). Moscow, Maks-Press, 2009.
7. Karaseva M. V., Kovalev I. V. *Multilingvisticheskie tehnologii podgotovki i prinyatiya resheniy v raspredelennyh informatsionno-upravlyayuschih sistemah* (Of multilingual technology of preparation and decision making in distributed information and control systems). Krasnoyarsk, Izdatelstvo KrasGAU, 2010.
8. Karaseva M. V., Stupina A. A. *Programmno-algoritmicheskaya podderzhka multilingvisticheskoy adaptivnoy obuchayushey tehnologii* (Program-algorithmic support of multilingual adaptive learning technology). Krasnoyarsk, SibGAU, 2011.
9. Karaseva M. V., Kartsan I. N., Selenkov P. V. *Vestnik SibGAU*, 2007, № 3(16), p. 69–70.
10. Selenkov P. V., Kovalev I. V., Karaseva M. V., Rogov S. V. *Vestnik SibGAU*, 2008, № 1(18), p. 26–28.
11. Kovalev I. V., Karaseva M. V., Leskov V. O. *Vestnik SibGAU*, 2009, № 1(22), p. 54–57.
12. Karaseva M. V. *Vestnik SibGAU*, 2010, № 1(27), p. 77–79.
13. Stupina A. A., Yugay A. Yu., Karaseva M. V. *Vestnik SibGAU*, 2011, № 2(35), p. 63–67.
14. Karaseva M. V., Kustov D. V. *Vestnik SibGAU*, 2011, № 3(36), p. 29–31.
15. Raspopin N. A., Karasyova M. V., Zelenkov P. V., Kayukov E. V., Kovalyov I. V. *Vestnik SibGAU*, 2012, № 2(42), p. 69–72.
16. Kovalev I. V., Nurgaleeva J. A., Shahmatov A. V., Chekmaryov S. A., Lukin F. A. *Vestnik SibGAU*, 2013, № 2(48), p. 35–37.
17. Semenkin E. S., Semenkina M. E. *Vestnik SibGAU*, 2007, № 3(16), p. 27–32.
18. Semenkin E. S., Tokmin K. A. *Vestnik SibGAU*, 2008, № 4(21), p. 47–52.
19. Galushin P. V., Semenkin E. S. *Vestnik SibGAU*, 2009, № 5(26), p. 43–49.
20. Bukhtoyarov V. V., Semenkin E. S. *Vestnik SibGAU*, 2010, № 7(33), p. 14–19.
21. Zvonkov V. B., Semenkin E. S. *Vestnik SibGAU*, 2010, № 5(31), p. 108–113.
22. Semenkin E. S., Shabalov A. A., Efimov S. N. *Vestnik SibGAU*, 2011, № 3(36), p. 77–82.
23. Burakov S. V., Semenkin E. S. *Vestnik SibGAY*, 2011, № 5(38), p. 19–25.
24. Semenkin E. S., Semenkina M. E. *Vestnik SibGAU*, 2012, № 4(44), p. 89–96.
25. Semenkina O. E. *Vestnik SibGAU*, 2012, № 4(44), p. 96–98.
26. Antamoshkin A. N., Kukartsev V. V., Boyko A. A. *Vestnik SibGAY*, 2007, № 4(17), p. 40–943.
27. Antamoshkin A. N., Inozemtseva O. S., Koltashev A. A., Kraus S. A. *Vestnik SibGAU*, 2008, № 1(18), p. 4–9.
28. Antamoshkin A. N., Stupina A. A. *Vestnik SibGAU*, 2009, № 2(23), p. 47–49.
29. Antamoshkin O. A., Nurgaleeva Ju. A., Usachev A. V. *Vestnik SibGAY*, 2009, № 3(24), p. 66–69.
30. Antamoshkin A. N., Bakaeva O. A. *Vestnik SibGAU*, 2011, № 4(37), p. 4–8.
31. Medvedev A. V. Медведев А. В. *Vestnik SibGAU*, 2008, № 3(20), p. 65–69.
32. Shesterneva O. V., Maltseva T. V. *Vestnik SibGAU*, 2009, № 2(23), p. 4–8.
33. Medvedev A. V. *Vestnik SibGAU*, 2010, № 3(29), p. 4–9.
34. Pervushin V. F., Sergeeva N. A., Strelnikov A. V. *Vestnik SibGAU*, 2010, № 5(31), p. 86–91.
35. Medvedev A. V. *Vestnik SibGAU*, 2011, № 4(37), p. 52–58.
36. Agafonov E. D., Mangalova E. S. *Vestnik SibGAU*, 2012, № 2(42), p. 4–8.
37. Medvedev A. V. *Vestnik SibGAU*, 2013, № 2(48), 57–63 p.
38. Ikonnikov O. A., Pervushin V. F. *Vestnik SibGAU*, 2013, № 1(47), p. 36–41.
39. Maltseva T. V., Medvedev A. V. *Vestnik SibGAU*, 2013, № 2(48), p. 52–57.

© Медведев А. В., 2013