

Информатика, вычислительная техника и управление

УДК 004.932

АНАЛИЗ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ НЕФТЯНЫХ РАЗЛИВОВ

В.А. Беликов, В.В. Галянин, С.П. Орлов

Самарский государственный технический университет
Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

Рассматривается проблема обнаружения нефтяных разливов, вызванных производственной деятельностью человека. Предложено использовать web-сервис хемометрических инструментов для построения PCA, PLS-DA моделей для выявления нефтяных компонентов на поверхности. Рассмотрены примеры построенных моделей для обнаружения нефтепродуктов на земной поверхности в районах Самарской области. Показано, что получаемая сепарация нефтепродуктов, водных ресурсов, городской застройки, растительности и почвы имеет высокую точность. С помощью перекрестной проверки произведена количественная оценка погрешности используемых моделей.

Ключевые слова: моделирование, web-сервис, дистанционное зондирование Земли, кластерный анализ, регрессионный анализ.

Введение

Нефтяные разливы наносят существенный ущерб экологии, они могут произойти на любой из стадий нефтедобычи, переработки или хранения. По данным Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации, ежегодно в стране происходит свыше 25 тысяч аварийных нефтяных разливов, при этом на месторождениях вследствие аварийных разливов в окружающую среду поступает не менее 50 тысяч тон нефти и пластовых вод [1]. При этом до надзорных органов доходит информация лишь о небольшой их части. Причиной такого большого количества экологических происшествий чаще всего являются ветхие нефтепроводы, незаконные врезки и аварии на транспорте [1].

Сложно переоценить вред, наносимый экологии страны нефтяными разливами. Как правило, нефтяные разливы происходят в связи с прорывами ветхих трубопроводов, но произойти они могут на любой из стадий нефтедобычи, переработки или хранения. Их своевременное выявление и ликвидация снижают непоправимый ущерб экологии региона.

*Вадим Александрович Беликов, аспирант кафедры «Вычислительная техника».
Владислав Владимирович Галянин, заведующий лабораторией «Многомерный анализ и глобальное моделирование» СамГТУ.*

Сергей Павлович Орлов (д.т.н., проф.), заведующий кафедрой «Вычислительная техника».

На данный момент уже существуют методики обнаружения нефтяных разливов с помощью средств ДЗЗ (дистанционного зондирования Земли), однако они в большинстве своем направлены на детектирование нефти на открытой воде (заливы, моря, океаны) радарными измерениями либо на мониторинг какого-либо определенного протяженного участка поверхности Земли с помощью средств беспилотных летательных аппаратов [2, 3].

В статье описывается подход к определению нефтяных разливов на значительных территориях (в масштабе городов и областей) с использованием мультиспектральных данных с космического аппарата (КА) Landsat-8, методов хемометрики и машинного обучения [4, 5].

Космические миссии ДЗЗ

В настоящее время существует несколько глобальных космических миссий ДЗЗ, поставляющих результаты своей работы как на коммерческих, так и на свободных, некоммерческих условиях [2, 3].

Одна из таких миссий – программа USGS Landsat, которая использует серию одноименных космических аппаратов, оборудованных для получения мультиспектральных снимков. Последний из запущенных КА – Landsat-8, оснащенный сенсорами TIRS (Thermal InfraRed Sensor) и OLI (Operational Land Imager), позволяет получать мультиспектральные изображения поверхности Земли с разрешением 30 м для диапазонов 430–880; 1600; 2200 нм и приведенные к 30 м в диапазоне 10,6–12,5 мкм [6].

Аналогичную миссию ДЗЗ ведет Европейское космическое агентство – Copernicus. Пока на орбиту запущен один КА – Sentinel-2A, его оборудование позволяет получать мультиспектральные снимки с разрешением 20 метров для диапазонов 490–865; 1610; 2190 нм [7].

В России разработана и выведена в космос группировка КА Ресурс-П, оборудование которой позволяет получать гиперспектральные изображения с разрешением 30 м в диапазоне 400–1100 нм [8]. Система дистанционного зондирования Земли «Ресурс-П» состоит из гиперспектральной аппаратуры, комплекса широкозахватной мультиспектральной аппаратуры высокого и среднего разрешения, оптико-электронного комплекса («Геотон-Л1» с СППИ «Сангур-1У») и ряда вспомогательных устройств, обеспечивающих координацию, а также стабилизацию полета и съемки.

Снимки поверхности Земли, полученные миссиями Landsat и Copernicus, можно получить с сайтов этих проектов [6, 7].

Используемые изображения

В данной работе были использованы два изображения поверхности Земли, снятые космическим аппаратом Landsat-8. На первой фотографии снята территория г. Самары и области, на второй – г. Салавата Республики Башкортостан. Каждый такой снимок поверхности Земли охватывает территорию протяженностью 170 км с севера на юг и 185 км с востока на запад [6]. Оба снимка были получены в летние месяцы (июнь для Самары и август для Салавата) в условиях малой облачности и схожих температур воздуха.

Данные были скачаны с web-сервиса EarthExplorer Геологической службы США. Изображения, находящиеся в коллекции данных EarthExplorer, не являются полностью сырыми данными и были обработаны до уровня 1T, т. е. рельеф местности был скорректирован. Данный уровень коррекции подразумевает, что

рельеф местности будет максимально контрастен и точен. Также после коррекции пространственное разрешение изображений, полученных с каналов 10 и 11, изменяется со 100 до 30 м [6].

Пространственное разрешение каналов сенсоров космического аппарата Landsat-8 представлено в таблице.

Спектральные каналы космического аппарата Landsat-8

Спектральный канал	Длины волн, мкм	Пространственное разрешение, м
Канал 1 – Побережья и аэрозоли	0,433–0,453	30
Канал 2 – Синий	0,450–0,515	30
Канал 3 – Зеленый	0,525–0,600	30
Канал 4 – Красный	0,630–0,680	30
Канал 5 – Ближний ИК	0,845–0,885	30
Канал 6 – Ближний ИК	1,560–1,660	30
Канал 7 – Ближний ИК	2,100–2,300	30
Канал 8 – Панхроматический	0,500–0,680	15
Канал 9 – Перистые облака	1,360–1,390	30
Канал 10 – Дальний ИК	10,30–11,30	100 (30)
Канал 11 – Дальний ИК	11,50–12,50	100 (30)

Такое разрешение накладывает ограничения на возможность обнаружения нефтяных разливов, т. к. каждый пиксел отображает квадрат поверхности Земли со сторонами в 30 м. Таким образом, используя Landsat-8, можно обнаруживать только достаточно крупные нефтяные разливы.

Данные поставляются как отдельные изображения в формате GeoTIFF для каждого канала сенсоров спутника, что позволяет выборочно подходить к анализу. В данной работе используются 1–7 и 9–11 каналы, обладающие одинаковым пространственным разрешением в 30 м на 1 пиксел.

Моделирование

Для исследования возможности определения нефтяных разливов на суше с использованием КА программы Landsat были проанализированы изображения Самарской области, полученные со спутника Landsat-8.

Пиксели изображений были поделены на 4 класса: городская застройка, поле, вода и нефтешламы. В качестве эталонного участка класса «нефтешламы» было выбрано озеро Нефтешламовое (53.085005, 50.027618). С помощью сервиса TPT-cloud [9, 10] была построена PCA-модель (метод главных компонент) [4] и выявлены наиболее эффективные методы нормировки данных.

На графике счетов (рис. 1) хорошо видно сепарацию нефтешламов от трех других классов. Для дискриминации нефтепродуктов на поверхности Земли была построена регрессионная модель методом PLS-DA (метод проекций на латентные структуры для дискриминационного анализа) [5]. Результаты представлены на рис. 2.

Для проверки данного подхода в масштабе различных городов и областей была построена аналогичная модель одновременно по нескольким изображениям г. Самары и г. Салавата Республики Башкортостан. В качестве обучающего клас-

са «нефть» были взяты пиксели открытых резервуаров с нефтепродуктами (г. Салават) и озера Нефтьшамовое (г. Самара).

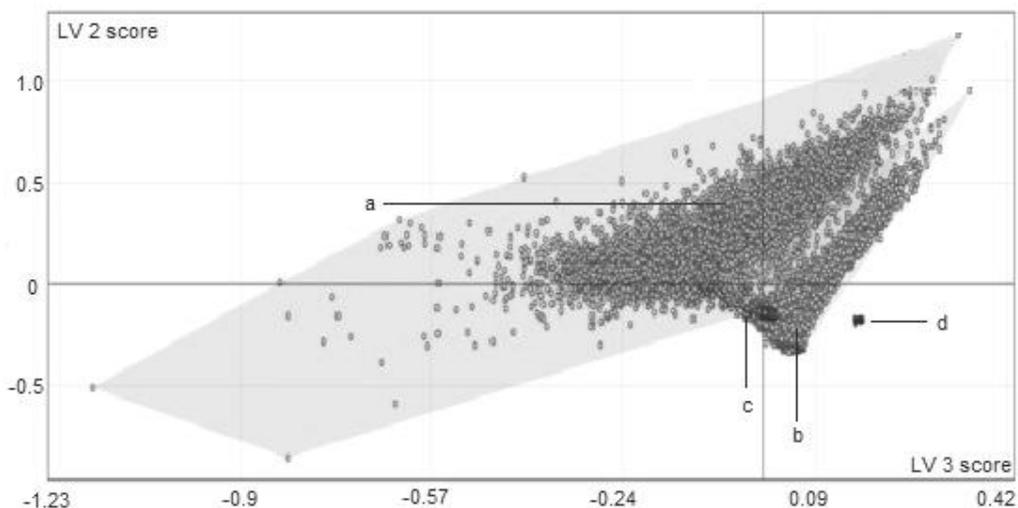


Рис. 1. Графиков счетов PCA-модели, построенной на мультиспектральных данных с КА Landsat-8 г. Снимок г. Самары, июнь 2014 г.:
а) городская застройка; б) поле; в) вода; д) нефтьшамы.

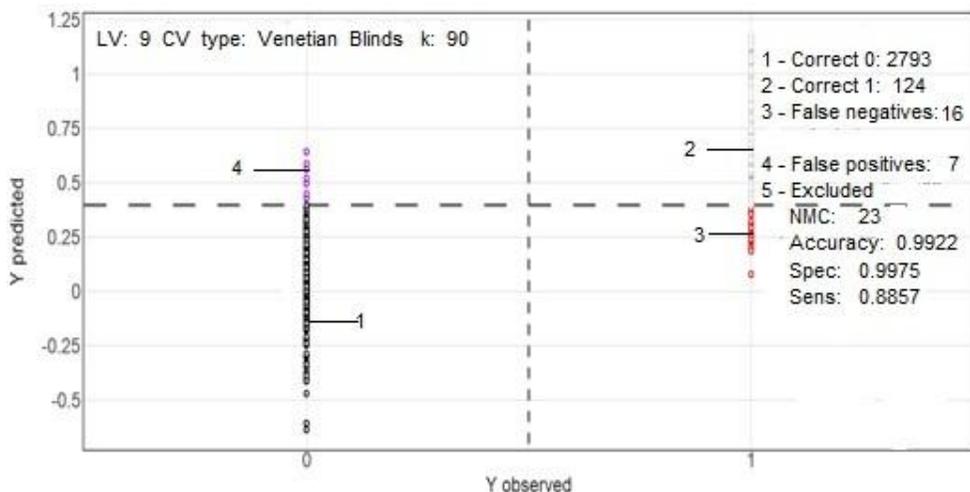


Рис. 2. График зависимости Y предсказанного от Y калибровочного модели PLS-DA, построенной на данных мультиспектрального изображения Landsat-8 г. Самары

В качестве предобработок были использованы методы нормировки, выбранные при PCA-моделировании. Полученная модель показала хорошее разделение нефтепродуктов, водных ресурсов, растительности и открытых участков почвы (рис. 3, 4).

На графике счетов (рис. 3) наблюдается хорошее отделение классов воды и нефтепродуктов от классов почв и растительности. При построении модели также использовались данные небольших водоемов рядом с нефтехранилищами – они обозначены как класс «вода – нефть» на графике. Это группа частично загрязнения, находящаяся между классами воды и нефтепродуктов.

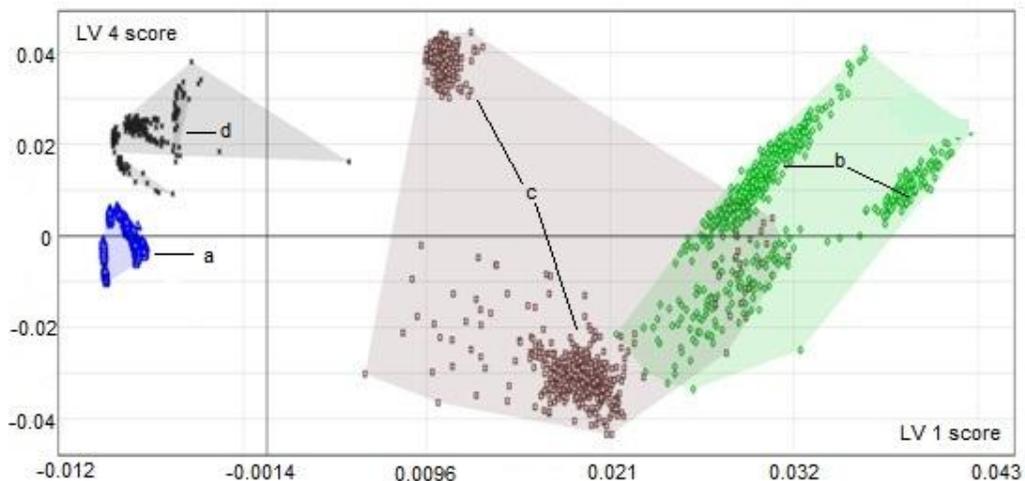


Рис. 3. График счетов PLS-DA модели, построенной на изображении г. Самары и г. Салавата:

а) вода; б) растительность; в) почва; д) нефтешламы

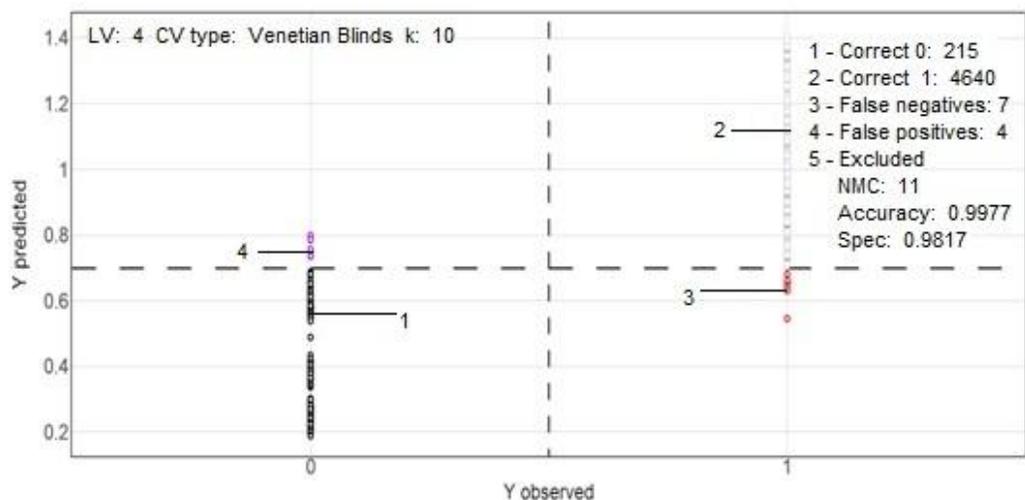


Рис. 4. График зависимости Y предсказанного от Y калибровочного модели PLS-DA, построенной на снимках г. Самары и г. Салавата

Для валидации получившейся модели была использована перекрестная проверка (ПП) с разделением калибровочного набора на 10 частей. Чувствительность модели (ПП) к объединенному классу «нефть + нефтешламы + воданефть» составила 99,85 %, а специфичность (ПП) 98,17 % (см. рис. 4) при минимуме общего количества ошибок дискриминации.

Заклучение

В данной работе показана возможность создания дискриминационных прогностических моделей для определения нефтяных разливов на суше с использованием снимков космического аппарата Landsat-8. Ожидается, что применение

методов атмосферной коррекции и использование исторических данных об анализируемых пикселях позволят получить модели с более высокой прогностической способностью.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сайт Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации [Электронный ресурс]: статьи. – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://www.mnr.gov.ru/> – Загл. с экрана. – Яз. рус.
2. Википедия [Электронный ресурс]: статьи. – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/> – Загл. с экрана. – Яз. рус.
3. *Шовенгердт П.А.* Дистанционное зондирование. Модели и методы и обработки изображений: Учеб. пособие: Пер. с англ. А.В. Кирюшина, А.И. Демьяникова. – М.: Техносфера, 2010. – 556 с.
4. *Wold S., Esbensen K., Geladi P.* Principal Component Analysis // *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*. – 1987, Vol. 2, P. 37-52.
5. *Sjöström M., Wold S., Lindberg W., Persson J.-Å., Martens H.* A multivariate calibration problem in analytical chemistry solved by partial least-squares models in latent variables // *Analytica Chimica Acta*. – 1983, Vol. 150, P. 61-70.
6. Сайт Геологической службы США [Электронный ресурс]: статьи, граф. дан. – Электрон. дан. – Режим доступа: <https://www.usgs.gov/> – Загл. с экрана. – Яз. англ.
7. Сайт The European Space Agency [Электронный ресурс]: статьи, граф. дан. – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://www.esa.int> – Загл. с экрана. – Яз. англ.
8. Сайт Роскосмос [Электронный ресурс]: статьи. – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://www.roscosmos.ru/> – Загл. с экрана. – Яз. рус.
9. *Bogomolov A.Yu., Galyanin V.V., Belikov V.A.* TPT cloud: a full-featured chemometrics software online // Winter Symposium on Chemometrics. Modern Methods of Data Analysis (10-я международная научная конференция), 2016. – <http://wsc.chemometrics.ru/media/files/conferences/wsc10/documents/WSC-10%20abstract%20book.pdf>.
10. *Galyanin V.V., Belikov V.A., Melentieva A.A., Bogomolov A.Yu.* Simulation of spectral data for regression methods validation // Winter Symposium on Chemometrics. Modern Methods of Data Analysis (10-я международная научная конференция), 2016.

Статья поступила в редакцию 2 февраля 2017 г.

ANALYSIS OF EARTH REMOTE SENSING DATA FOR OIL SPILL DETECTION

V.A. Belikov, V.V. Galyanin, S.P. Orlov

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russian Federation

The paper deals with the problem of oil spills detection caused by man's production activity. The use of a chemometrics web-service for build PCA, PLS-DA models for identify oil components on the surface is proposed. Examples of application of the models for petroleum products detection on the earth's surface in the Samara region are considered. It is shown that the separation of oil products, water resources, city buildings, vegetation and other soil formations obtained is highly accurate. With the help of cross-validation, a quantitative estimate of the guilt of the models used was made.

Keywords: modeling, web-service, Earth remote sensing data, cluster analysis, regression analysis.

*Vadim A. Belikov, Postgraduate Student.
Vladislav V. Galyanin, Head of Laboratory of Multivariate Analysis and Global Modelling.
Sergey P. Orlov (Dr. Sci. (Techn.)), Professor.*

УДК 004.052.32

АНАЛИЗ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ПРИГОДНОСТИ АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ НА ОСНОВЕ АППАРАТА СТАТИСТИЧЕСКИХ ИНДЕКСОВ*

В.Е. Гвоздев, Д.В. Блинова, А.С. Давлиева

Уфимский государственный авиационный технический университет
Россия, 450077, г. Уфа, ул. К. Маркса, 12

Рассматриваются вопросы функциональной безопасности сложных аппаратно-программных комплексов (АПК) – способности своевременно выявлять дефекты, а также парировать последствия их проявлений. Описываются причины возникновения непреднамеренных дефектов, приводится типовая структура процесса управления дефектами. Формируется структурная модель – «функциональный профиль» АПК с учетом наличия как «полезных», так и «вредных» функций с точки зрения различных групп правообладателей и пользователей. Описывается модель, позволяющая оценивать эффективность функционирования АПК с учетом наличия ошибок и дефектов, допущенных на разных стадиях жизненного цикла объекта и представляющая собой разновидность статистического индекса.

Ключевые слова: *статистический индекс, аппаратно-программный комплекс, дефект аппаратно-программного комплекса, функциональный профиль, функциональная безопасность.*

Введение

Исключительная роль современной компьютерной инфосферы выдвигает в качестве приоритетной проблему разработки единой концепции обеспечения ее безопасности [1, 2], что, в свою очередь, определяет ценность информационно-коммуникационных систем для потребителей информационных продуктов и услуг. Функциональная безопасность сложных аппаратно-программных комплексов (АПК), формирующих инфосферу, определяется способностью своевременно выявлять дефекты, а также парировать последствия их проявлений.

Одним из известных подходов к классификации дефектов в компонентах АПК является разделение их на «криминальные» (иначе – «диверсионного типа») и «ординарные» (иначе – «обыкновенные») [1]. Криминальные дефекты вносятся в объекты преднамеренно; ординарные дефекты, как правило, являются следствием технологических или проектных ошибок. Методической базой изучения дефектов некриминального типа является дефектология.

К числу основных методических принципов дефектологии относятся:

– принцип измеримости свойств как отдельных компонентов АПК, так и АПК в целом;

**Работа поддержана грантом РФФИ № 16-08-00442 «Управление функциональной безопасностью аппаратно-программных комплексов в составе сложных технических систем».*

Владимир Ефимович Гвоздев (д.т.н., проф.), заведующий кафедрой «Техническая кибернетика».

Дарья Викторовна Блинова (к.т.н.), доцент кафедры «Техническая кибернетика».

Алия Салаватовна Давлиева, аспирант.

- принцип сопоставимости свойств объекта со свойствами образца, признаваемого базовым;
- принцип достоверности результатов измерения и оценки.

Внешним проявлением дефекта является отклонение свойств АПК от базовых [3]. Последнее обстоятельство позволяет утверждать, что понятие базовой модели является одним из центральных понятий дефектологии. Возможность построения базовых моделей АПК для различных режимов их функционирования создает предпосылки использования метрических и квалиметрических шкал, наличие которых позволяет оценить степень негативного влияния дефектов на свойства АПК.

Дефекты являются причиной снижения ценности АПК с точки зрения пользователей. Основу оценки функциональной пригодности систем, в которых автоматические и автоматизированные средства передачи информации и обработки данных играют определяющую роль, составляет соответствие функциональных возможностей объектов субъективным представлениям о ценностях разных правообладателей. Согласно [4], под объектом понимается аппаратное средство, программное обеспечение или то, и другое. Видение различными субъектами свойств эталонного изделия может существенно различаться [5]. Вместе с тем различного рода ресурсы, выделяемые на создание АПК, являются ограниченными. В силу этого в техническом задании (спецификации) фиксируются «базовые» потребительские свойства, являющиеся соглашением различных правообладателей, входящих в состав одной и той же целевой группы пользователей, относительно характеристик качества объектов. В данной работе понятие «базовое свойство» ассоциируется с понятием «базовая линия» [6].

Таким образом, следует различать понятия «эталонный объект» (т. е. объект, свойства которого соответствуют желаниям отдельного правообладателя либо пользователя) и «базовый объект» (т. е. объект, свойства которого являются результатом договоренности правообладателей и пользователей, входящих в состав одной и той же целевой группы).

Согласно ГОСТ 15288, под правообладателем понимается сторона, имеющая право, долю или претензии на систему или на владение ее характеристиками, удовлетворяющими потребности и ожидания этой стороны.

Иными словами, правообладатели – это субъекты, в том или ином виде инвестирующие ресурсы в создание системы и вследствие этого имеющие на нее права. Пользователи – это субъекты либо объекты (другие системы), взаимодействующие с создаваемой системой, но не имеющие на нее прав.

Использование АПК связано с проявлением у них не только полезных (англ. *useful*), но и вредных (англ. *harmful*) свойств [7], причем понятия «полезные свойства» и «вредные свойства» являются субъективными, определяемыми ценностными установками правообладателей и пользователей. Во многих случаях источником вредных свойств являются дефекты, допущенные на разных стадиях жизненного цикла АПК.

В настоящей статье приводится формальная модель оценивания функциональной пригодности АПК на основе аппарата статистических индексов с учетом того, что объекту присущи не только полезные, но и вредные функции.

Целью создания этой модели является формализация способов оценивания функциональной пригодности АПК на стадиях верификации и валидации объектов.

1. Концептуальная основа построения базовых моделей объектов

В [8] говорится, что одной из причин несоответствия фактических свойств систем обработки информации базовым свойствам является недостаточная формализация понятий и метрик функциональной безопасности, характеристик функциональной безопасности, способов измерения характеристик функциональной безопасности и сравнения их с требованиями, входящими во множество базовых свойств АПК. В упомянутом источнике под функциональной безопасностью процессов и изделий понимается их работоспособное состояние и функционирование в соответствии с документально оформленными требованиями заказчика, что обеспечивает отсутствие опасных отказов и недопустимого ущерба.

В известной литературе [1, 2, 8] отмечается, что дефектология систем, в которых определяющую роль играют автоматические и автоматизированные средства передачи информации и обработки данных, находится на стадии становления, так как к настоящему времени еще не завершено формирование понятийного аппарата в этой области [9]. Поэтому в настоящей работе предлагается следующая пирамида понятий (рис. 1).



Рис. 1. Пирамида понятий

Любая форма описания базовых свойств объектов является моделью объектов. Одним из основных условий построения базовых моделей, по мнению авторов, должен быть учет того, что при функционировании сложных систем разной природы и различного назначения имеет место одновременная реализация как полезных, так и вредных функций. В дальнейшем под полезной функцией АПК понимается такая функция, которая увеличивает ценность продукта (услуги), поставляемого пользователю, либо уменьшает затраты, связанные с получением ценного результата. Под вредной функцией понимается такая функция, которая уменьшает ценность продукта (услуги), поставляемого пользователю, либо увеличивает затраты, связанные с получением ценного результата.

В разных режимах использования ε_k ($k = \overline{1; K}$) может реализовываться с точки зрения пользователей различное число полезных и вредных функций. При этом отнесение одной и той же функции к классу «полезных» либо «вредных» зависит от режима использования и ценностных установок пользователей и правообладателей. Предполагая число режимов использования счетным и равным K , можно

определить полное множество функций F_{Σ} , которое объект может реализовать во всех режимах, как

$$F_{\Sigma} = \bigcup_{k=1}^K \{F^{(\varepsilon_k)}\}.$$

Здесь $\{F^{(\varepsilon_k)}\}$ – множество функций, реализуемых изделием в режиме ε_k , т. е. F_{Σ} определяет границы качества АПК в рамках функционального подхода [3].

Пронумеровав элементы множества F_{Σ} , каждому режиму ε_k с учетом ценностных установок m -й группы правообладателей и пользователей ($m = \overline{1; M}$) можно поставить в соответствие вектор вида

$$L = (1, 0, -1, \dots, 0, \dots, 1). \quad (1)$$

Число компонент вектора L совпадает с мощностью множества F_{Σ} . Компоненты вектора имеют следующий смысл: «1» – функция реализуется в объеме, оговоренном в техническом задании, и является для m -й группы правообладателей и пользователей полезной; «0» – функция не реализуется; «-1» – функция реализуется в объеме, определенном в техническом задании, и для m -й группы правообладателей и пользователей является вредной.

Заранее определенное предельное соотношение между полезными и вредными функциями определяет границы функциональной пригодности изделий с точки зрения разных целевых групп правообладателей с учетом режимов использования объектов.

2. Особенности регистрации проявления дефектов

Информационная поддержка управления дефектами предполагает решение следующих информационных задач:

- а) установление факта наличия дефекта на основе анализа симптомов проявления дефектов (отклонение поведения объекта от базовой модели);
- б) локализация местоположения дефекта, принятие решения о целесообразности его устранения с учетом последствий отклонения поведения объекта от базовой модели;
- в) устранение дефекта и построение системы, которая предупреждает появление ошибок, приводящих к возникновению подобных дефектов в последующем.

Управление дефектами сопряжено по крайней мере с двумя ограничениями:

1. Разделение во времени событий «ошибка» → «дефект» → «проявление дефекта» → «влияние на функциональную пригодность» → «снижение ценности с точки зрения пользователей». Иными словами, внешнее проявление дефекта (симптом дефекта) является запаздывающим индикатором события «возникновение дефекта». Практический интерес представляет разработка опережающих индикаторов (системы раннего оповещения) о неблагоприятном сочетании состояний внешней и внутренней сред АПК (на разных стадиях жизненного цикла), следствием чего может явиться возникновение в нем дефектов.

2. Субъективный характер восприятия внешних проявлений дефекта – уменьшение ценности с точки зрения некоторой целевой группы пользователей. Структура типового процесса управления дефектами представлена на рис. 2.



Рис. 2. Типовая структура процесса управления дефектами

Регистрация симптомов дефектов является отправной точкой управления дефектами.

1. *Проявление дефекта* выражается в отклонении характеристик АПК от базовых, представленных в официально утвержденной документации.

2. *Восприятие дефекта правообладателями и пользователями* означает наличие у симптомов дефектов некоторых свойств, воздействующих на некие измерительные приборы. В качестве «измерительного прибора», регистрирующего отклонение характеристик АПК от эталонных в широком диапазоне изменения характеристик состояния как внешней, так и внутренней сред АПК, выступает субъект (пользователь либо разработчик). Необходимо осознавать, что субъект, отражающий в своем сознании результаты функционирования АПК, в силу особенностей персональных когнитивных структур, отображающих действительность, может либо не регистрировать события, связанные с проявлением дефектов, либо делать ошибочные заключения о наличии дефектов при их отсутствии. Также необходимо иметь в виду, что как внешняя, так и внутренняя среда, а также персональные когнитивные модели субъектов постоянно изменяются. Иными словами, дефекты не являются имманентным свойством АПК.

3. *Осмысление результатов восприятия дефектов.* Чем полнее понимается причина возникновения дефекта, тем больше возможность адекватного реагирования на проявления дефектов. Способность осмысливать информацию, представленную в форме симптомов дефектов, зависит от квалификации правообладателей. Наличие специальных инструментов (наборов тестов, сценариев, симуляторов) способствует более раннему определению наличия дефектов. Вместе с тем следует помнить о неоднозначном соответствии симптомов и дефектов: одинаковое отклонение характеристик АПК от базовых может быть обусловлено разными дефектами. И наоборот, в зависимости от состояния внешней и внутренней сред АПК последствия одного и того же дефекта могут быть различными.

4. *Оценка значимости дефектов* определяется отношением к ним различных правообладателей. При этом отношение одних и тех же правообладателей к одному и тому же дефекту может зависеть от режима использования АПК. То, что было малозначительно в одном режиме, может оказаться критически важным в другом, и наоборот. Ранжирование дефектов предполагает решение следующей последовательности задач:

- во-первых, ранжирование по степени нарушения функциональной пригодности изделия с точки зрения внешних правообладателей (с учетом различного представления о свойствах эталонного изделия разных групп внешних правообладателей);

- во-вторых, ранжирование дефектов по степени влияния на нарушение функциональной пригодности изделия (с точки зрения внутренних правообладателей).

5. *Установление коренной причины дефекта* предполагает, во-первых, выявление ошибок, явившихся первопричиной, а также выявление условий возникно-

вления ошибок; во-вторых, выделение причинно-следственных связей между ошибками и дефектами.

6. Устранение дефекта и предотвращение появления подобных дефектов впредь предполагает совершенствование нормативного, организационного, технологического, методического и инструментального окружения различных стадий жизненного цикла изделий.

Примером инструментального средства для оценивания количества дефектов на основе характеристик сложности модулей и архивных данных о результатах испытания является, например, методика, описанная в [10].

3. Анализ функциональной пригодности АПК на основе статистических индексов

Известен подход к анализу состояния сложных систем по комплексу характеристик, имеющих разную размерность, который основан на понятии «статистический индекс» [11]. Аппарат статистических индексов активно используется для построения обобщенных характеристик внутреннего состояния технических систем; например, в [12] рассмотрены подходы к формированию обобщенных характеристик состояния радиоэлектронных изделий, по сути, также представляющие собой разные формы статистических индексов.

Использование статистических индексов позволяет:

– обеспечивать сопоставимость и сцепление данных одной размерности, но получаемых в разных условиях;

– сравнивать степень изменчивости данных разных размерностей;

– конструировать на основе совокупности данных разных размерностей комплексный показатель внутреннего состояния объекта.

Ниже описывается модель, позволяющая оценивать эффективность функционирования АПК и представляющая собой разновидность статистического индекса.

Пусть $MU^{(\varepsilon_k)(m)}$ – мощность множества полезных с точки зрения m -й целевой группы пользователей и правообладателей функций, реализуемых АПК в режиме ε_k . В дальнейшем для упрощения обозначения всех компонентов модели признаки $(\varepsilon_k)(m)$ будут опускаться.

Аналогично пусть MH – мощность множества вредных функций; MO – мощность множества функций, которые (в штатном режиме использования АПК) не предполагается реализовывать («нуль-функции»). Согласно (1), $L = MU + MH + MO$.

Пусть $P_i^{(U)}$ – вероятность реализации i -й полезной функции ($i = \overline{1; MU}$).

UP_i – количественная характеристика положительного эффекта (в заранее определенных условных единицах), получаемая от реализации i -й полезной функции.

$P_j^{(H)}$ – вероятность реализации j -й вредной функции ($j = \overline{1; MH}$).

HP_j – количественная характеристика отрицательного эффекта (в заранее определенных условных единицах), соответствующего реализации j -й вредной функции.

$P_q^{(0)}$ – вероятность того, что q -тая функция, которая в штатном режиме использования АПК не должна реализовываться, действительно не реализуется.

AP_q – эффект (положительный либо отрицательный, выраженный в заранее определенных условных единицах), который возникает, если все же q -тая нуль-функция реализуется (хотя в штатном режиме не должна реализовываться).

С учетом введенных обозначений можно определить средний положительный эффект (ассоциируемый с понятием «качество изделия» [8]), обусловленный реализацией полезных функций и соотнесенный с базовой моделью:

$$UE = \sum_{i=1}^{MU} P_i^{(U)} * UP_i . \quad (2)$$

Соответственно средний отрицательный эффект, обусловленный реализацией вредных функций и соотнесенный с базовой моделью, определится соотношением

$$HE = \sum_{j=1}^{MH} P_j^{(H)} * HP_j . \quad (3)$$

В роли базовой константы, соответствующей поведению при реализации базовых свойств, выступает

$$E_{\Sigma} = UE - HE .$$

Возможность использования линейных сверток (2), (3) в задачах квалиметрии подчеркивается, например, в [3]. Оперирование средними величинами положительного и отрицательного эффекта риска, выраженного в условных единицах, позволяет выполнять сравнительный анализ эффективности АПК разного назначения, у которых значения MU и MH различны.

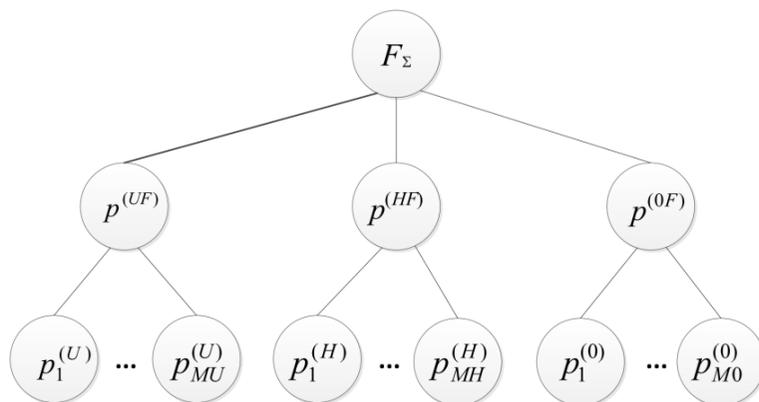


Рис. 3. Полный функциональный профиль АПК m -той целевой группы правообладателей

Сформируем структурную модель, которую по аналогии с моделью, описанной в [13], назовем полным «функциональным профилем» m -той целевой группы правообладателей. Термином «полный» подчеркивается то обстоятельство, что помимо полезных функций АПК в рассмотрение принимаются также и вредные функции.

Здесь $P^{(UF)}$ – вероятность реализации функции, относимой к классу «полез-

ных»; $P^{(HF)}$ – вероятность реализации функции, относимой к классу «вредных»; $P^{(0F)}$ – вероятность реализации функции, относимой к классу «нуль-функций».

Различные дефекты проявляются в одной из следующих форм: уменьшение положительного эффекта; увеличение отрицательного эффекта; проявление неожиданных как полезных, так и вредных особенностей АПК.

Полагая, что реализация функций представляет собой внутри каждого из выделенных классов функций полную группу независимых событий, среднее значение положительного эффекта, обусловленного реализацией полезных функций, определим соотношением

$$RUE = \sum_{l=1}^{MU} P_l^{(U)} * UP_l * \omega_l .$$

Здесь ω_l – весовой коэффициент, характеризующий полноту реализации l -той положительной функции относительно того уровня, который соответствует базовой модели ($\omega_l \in [0;1] \forall \varepsilon_k, \forall m$).

Величина $\Delta_{UF} = |UE - RUE|$ представляет собой отклонение среднего положительного эффекта от значения, соответствующего базовым свойствам объекта, что обусловлено наличием дефектов.

Среднее значение отрицательного эффекта, обусловленного реализацией «вредных» функций, определяется соотношением

$$RHE = \sum_{j=1}^{MH} P_j^{(H)} * HP_j * \beta_j .$$

Здесь β_j – весовой коэффициент, характеризующий полноту реализации j -той вредной функции относительно того уровня, который соответствует базовой модели ($\beta_j \in [1;\infty) \forall \varepsilon_k, \forall m$). Если негативное влияние вредной функции находится в пределах ожидаемого/допустимого, то $\beta_j = 1$. Если негативные последствия реализации вредных функций превышают ожидаемые/допустимые, то в зависимости от масштабов негативных последствий возможно увеличение коэффициента вплоть до $\beta_j \rightarrow \infty$ (система может потерять ценность для потребителя).

Положительная величина $\Delta_{HF} = |HE - RHE|$ характеризует отклонение среднего отрицательно эффекта от значения, соответствующего базовым свойствам объекта, что обусловлено наличием разных дефектов.

Среднее значение «дополнительного» положительного либо отрицательного эффекта, обусловленного реализацией «нуль-функций», определяется соотношением

$$RAF = \sum_{q=1}^{M0} P_q^{(0)} * \text{sgn}(Ap_q) . \quad (4)$$

Согласно [3] (4) можно трактовать как сопутствующее воздействие АПК, не связанное с целевым назначением объекта, но свойства, проявляющиеся при этом воздействии, обеспечивают дополнительное влияние изделия на потребителя и внешнюю среду.

Таким образом, функциональному профилю, изображенному на рис. 3, мож-

но поставить в соответствие статистический индекс

$$R_{\Sigma} = \frac{RUE - RHE + RAF}{E_{\Sigma}}.$$

Отклонение R_{Σ} от единицы как в большую, так и в меньшую сторону свидетельствует о наличии ошибок и дефектов, допущенных на разных стадиях жизненного цикла объекта:

$$R_{\Sigma} = \frac{RUE - RHE}{E_{\Sigma}} + \frac{RAF}{E_{\Sigma}} = R_{\Sigma}^{(real)} + R_{\Sigma}^{(П.3)}. \quad (5)$$

Заметим, что составляющая $R_{\Sigma}^{(real)}$ в виде $\frac{RUE}{E_{\Sigma}}$ представляет собой показатель, именуемый «интегральным показателем качества продукции» [6].

Первой составляющей статистического индекса (5) могут быть поставлены в соответствие ошибки и дефекты формирования внешнего облика объекта конструирования и реализации, обуславливающие отклонение реального поведения АПК от базового. Проявлением дефектов является то, что значение $\omega_i (i = \overline{1; MU})$ отклоняется от единицы в меньшую сторону, а значение $\beta_j (j = \overline{1; MH})$ отклоняется от единицы в большую сторону. Вследствие этого $R_{\Sigma}^{(real)}$ также может отклоняться от «базового» значения «единица» в меньшую сторону (область изменения $R_{\Sigma}^{(real)} \in (-\infty; 1]$).

Второй составляющей статистического индекса могут быть поставлены в соответствие неожиданные (как положительные, так и отрицательные) эффекты. Эта составляющая может трактоваться как характеристика риска, связанного с использованием АПК. Иными словами, $R_{\Sigma}^{(П.3)}$ характеризует предсказуемость поведения АПК, т. е. насколько свойства изделия соответствуют тому окружению, в котором оно фактически используется. С $R_{\Sigma}^{(П.3)}$ ассоциируются ошибки и дефекты формирования функционального профиля АПК, а также дефекты формирования профиля окружающей среды. Область изменения $R_{\Sigma}^{(П.3)} \in (-\infty, \infty)$. Чем больше величина $R_{\Sigma}^{(П.3)}$ отличается от нуля, тем менее предсказуемо поведение изделия, т. е. тем больше дефектов в упомянутых профилях.

Сопоставление значений $R_{\Sigma}^{(real)}$, $R_{\Sigma}^{(П.3)}$ с заранее установленными граничными значениями $R_{\Sigma}^{(real)}$ и $R_{\Sigma}^{(П.3)}$ служит основанием для принятия решения о функциональной пригодности АПК на стадиях верификации и валидации [14].

Таким образом, разным составляющим модели (5) могут быть поставлены в соответствие разные классы дефектов [15, 16].

Ограничениями модели (5) являются:

– допущение о том, что базовые свойства E_{Σ} не меняются во времени, из чего следует, что полное число функций F_{Σ} , реализуемых системой, не меняется во времени;

– допущение о том, что события – реализация вредных, полезных, «нуль-

функций» – составляют полные группы независимых событий;

– наличие количественных оценок возможности реализации функций (в виде вероятностей), а также выражаемых в сопоставимых единицах (например, денежном эквиваленте, количестве времени), величин положительных и отрицательных эффектов от реализации функций.

Заключение

Предложенный подход позволяет повысить степень формализации процедуры анализа функциональной пригодности АПК. Основу подхода составляет положение о том, что в каждом режиме функционирования объектом реализуются как «полезные», так и «вредные» функции, причем различные потребители могут относить одни и те же функции к разным классам. Во-первых, предложенный подход создает основу для реализации унифицированной схемы оценивания свойств АПК разными классами потребителей. Это, в свою очередь, делает возможным формирование интегральной оценки потребителями свойств АПК при верификации и валидации объектов с учетом различия в оценках их потребительских свойств разными пользователями. Во-вторых, он делает возможным формирование обоснованных заключений о значимости дефектов, ассоциируемых с разными стадиями жизненного цикла АПК. Это, в свою очередь, создает основу для принятия решений о целесообразности внесения изменений в систему управления качеством АПК.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Нагибин С.Я., Пальчун Б.П., Ухлинов Л.М.* Технологическая безопасность программного обеспечения – новая проблема в области создания информационных систем // Вестник Российского общества информатики и вычислительной техники. – 1995. – № 6. – С. 45-49.
2. *Бородакий Ю.В., Юсупов Р.М., Пальчун Б.П.* Проблема имитационного моделирования дефектоскопических свойств компьютерной инфосферы // Имитационное моделирование. Теория и практика: Сборник докладов третьей Всерос. науч.-практич. конф. – СПб.: ФГУП ЦНИИТС, 2007. – Т. 1. – С. 87-92.
3. *Чекмарев А.И.* Квалиметрия и управление качеством. Часть 1. Квалиметрия: Учеб. пособие. – Самара: СГАУ, 2010. – 172 с.
4. ГОСТ Р 51901.4-2005. Менеджмент риска. Руководство по применению при проектировании. – М.: Стандартинформ, 2005. – 16 с.
5. Учебник 4СЮ. Версия 1.0 / *Кирюшин С.* и др. – М.: Алексей Кравченко, 2011. – 383 с.
6. ГОСТ Р ИСО/МЭК 15288-2005. Информационные технологии. Системная инженерия. Процессы жизненного цикла систем. – М.: Стандартинформ, 2007. – 57 с.
7. *Лапыгин Ю.Н.* Стратегический менеджмент: Учеб. пособие. – М.: Высшее образование, 2007. – 174 с.
8. *Липаев В. В.* Функциональная безопасность программных средств. – М.: СИНТЕГ, 2004. – 348 с.
9. *Черняховская Л.Р., Малахова А.И.* Разработка моделей и методов интеллектуальной поддержки принятия решений на основе онтологии организационного управления программными проектами // Онтология проектирования. – 2013. – № 4 (10). – С. 42-52.
10. *Гвоздев В.Е., Субхангулова А.С., Бежаева О.Я.* Оценивание количества дефектов в программных компонентах на основе показателя сложности // Сб. трудов третьей междунар. конф. «Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений» (ITIDS'2015). Уфа: УГАТУ, 2015. – Т. 2. – С. 55-60.
11. *Палий И.А.* Прикладная статистика: Учеб. пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 2004. – 176 с.
12. *Гаскаров Д.В., Голинкевич Т.А., Мозгалеvский А.В.* Прогнозирование технического состояния и надежности РЭА. – М.: Сов. радио, 1974. – 224 с.
13. *Луи M.R.* Handbook of Software Reliability Engineering. – IEEE and McGraw-Hill Publ., 1996. – 850 p.
14. *Вентцель Е.С.* Исследование операций: задачи, принципы, методология. 2-е изд. – М.: Наука, 1988. – 208 с.

15. Гвоздев В.Е., Блинова Д.В. Онтологический анализ дефектов при проектировании компонентов аппаратно-программных комплексов // *Онтология проектирования*. – 2015. – Т. 5. – № 4 (18).– С. 399-410.
16. Гвоздев В.Е., Блинова Д.В. Элементы теории управления непреднамеренными дефектами в информационно-коммуникационных системах // *Системная инженерия*. – 2015. – № 2. – С. 104-113.

Статья поступила в редакцию 29 декабря 2016 г.

THE ANALYSIS OF FUNCTIONAL SUITABILITY OF HARDWARE-SOFTWARE COMPLEXES BASED ON APPARATUS OF STATISTICAL INDEXES

V.E. Gvozdev, D.V. Blinova, A.S. Davlieva

Ufa State Aviation Technical University
12, K. Marks st., Ufa, 450077, Russian Federation

The problems of functional safety of hardware-software complexes are discussed, causes of inadvertent defects are revealed, the standard structure of defects management process is given. "Functional profile" of hardware-software complexes taking into account existence as "useful" and "harmful" functions from the viewpoints of various stakeholders groups is offered. The model allowing to estimate functional efficiency of hardware-software complexes and representing a kind of a statistical index is described.

Keywords: *Statistical index, hardware-software complex, defect of hardware-software complex, functional profile, functional safety.*

*Vladimir E. Gvozdev (Dr. Sci. (Techn.)), Professor.
Darya V. Blinova (Ph.D. (Techn.)), Associate Professor.
Alla S. Davlieva, Postgraduate Student.*

УДК 005

СТРУКТУРНЫЙ ПОДХОД К ПОСТРОЕНИЮ МЕТОДОЛОГИИ ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМ

Б.Г. Ильясов, И.Б. Герасимова, А.Г. Карамзина, Г.А. Саитова

Уфимский государственный авиационный технический университет
Россия, 450008, г. Уфа, ул. К. Маркса, 12

Представлен взгляд авторов на содержание методологии исследования систем различной физической природы. В основу классификации методологии положена структура ее построения, которая отражает специфику решаемой проблемы. Выделены следующие структуры: иерархическая, сетевая, многосвязная, матричная. Рассмотрены примеры построения методологий на базе данных структур. В иерархической структуре все методы, структуры, концепции, системы взглядов расположены согласно их соподчиненности по уровню познания. Сетевая модель представлена в виде соединяющей триад с общей обратной связью, каждая из которых отражает соответствующий этап жизненного цикла. Показано, что управление организационной системой может быть эффективно организовано на основе многосвязной структуры. При распределении ресурсов в основу методологии решения задачи может быть положена пространственная матричная структура. Для каждого вида деятельности, в том числе и научной, может быть построена своя методология как системная интеллектуальная технология научного познания, как система взглядов, концепций и как система действий, направленных на достижение целей.

Ключевые слова: методология, система, учение, структурный подход, концепция, иерархия, сеть, матрица, многосвязная система.

Исследователи часто сталкиваются с определенными сложностями в понимании методологии. Нередко встречается упрощенное понимание методологии как некоторой абстрактной области философии, не имеющей прямого отношения ни к конкретным научным исследованиям, ни к потребностям практики [1].

Эти неясности связаны с историей развития науки и с многозначными нечеткими толкованиями методологии. Сначала рассмотрим понятие методологии, данное в советских энциклопедических словарях [2, 3, 4]:

- «методология (от «метод» и «логия») – учение о структуре, логической организации, методах и средствах деятельности»;
- «методология – система принципов и способов организации и построения теоретической и практической деятельности, а также учение об этой системе».

Согласно первому определению методология есть триада: «Структура – организация – методы и средства», то есть элементарная система. При этом под

Барый Галеевич Ильясов (д.т.н., проф.), профессор кафедры «Техническая кибернетика».

Ильмира Барыевна Герасимова (д.т.н., доц.), профессор кафедры «Автоматизированные системы управления».

Анастасия Геннадьевна Карамзина (к.т.н., доц.), доцент кафедры «Техническая кибернетика».

Гузель Асхатовна Саитова (к.т.н., доц.), доцент кафедры «Техническая кибернетика».

организацией понимается форма организации как различных видов деятельности, а также распределения методов и средств познания. Отметим, что методология как система должна обладать свойством эмерджентности, то есть принципиально отличаться от свойств образующих ее методов.

Распространенная ошибка в понимании методологии – сужение этого понятия. Например, методологию понимают только как множество приемов, способов, методов и средств деятельности, или как учение о методе познания и преобразования мира. В первом случае методология выступает как система взаимосвязанных способов, методов и приемов познания, применяемых в той или иной сфере деятельности. Во втором случае методология выступает как учение об этой системе, как общая теория метода познания и ее реализация в деятельности.

Из этих определений вытекает важный вывод, что методология нужна не только для научной деятельности (науки и ее разделов) или для мыслительной познавательной деятельности (философии), но и для всех других видов деятельности: планирования, управления, контроля, прогнозирования, проектирования, обеспечения надежности и безопасности, обучения, принятия решений и т. д. Поэтому прежде чем приступить к какому-либо виду деятельности, человек должен четко представлять, каково содержание методологии, которой он должен придерживаться, то есть каким формам структурной организации мышления и деятельности он должен отдать предпочтение, чтобы достичь поставленной цели.

Следовательно, структура организации мышления и деятельности играет важнейшую, базовую роль в формировании методологии.

Выделим четыре типа структур, которые наиболее часто используются при формировании методологий (рис. 1):

- иерархическая (многоуровневая);
- сетевая, или сеть;
- многосвязная;
- матричная.

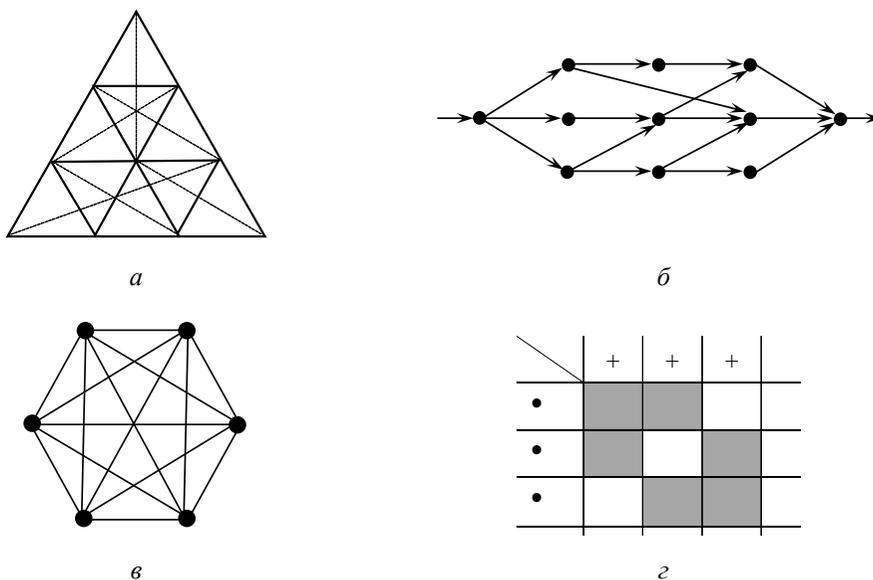


Рис. 1. Структуры формирования методологии:
a – иерархическая (многоуровневая); *б* – сетевая (сеть); *в* – многосвязная; *z* – матричная

В первой структуре методология рассматривается как иерархическая система-объект (объектовый подход), представляющая собой множество методов, способов и средств познания, направленных на достижение цели, расположенных в пространстве по иерархии, взаимосвязанных друг с другом и образующих единое целое.

В этом определении присутствуют все необходимые системные факторы методологии: структура, связи, методы (способы) и средства, цель.

Пример 1. На иерархической структуре построено понятие методологии как трехуровневой системы познания [4]:

– философский (общий) уровень, для которого характерны такие методы познания, как диалектический, исторический, эволюционный, революционный, метафизический и другие;

– общенаучный (специальный) уровень, в котором можно выделить системный, структурный, функциональный, целевой, динамический, социальный, экономический, информационный и другие способы научного познания;

– методический уровень, который характеризуется множеством конкретных методических и технологических приемов и средств исследования (прикладных методик), характерных для конкретной предметной области.

Поскольку все методы и способы познания представляют единство и тесно связаны друг с другом, образуя указанную иерархическую структуру, то иногда бывает трудно провести границу между методами высшего и среднего уровней или среднего и низшего уровней.

Данная структура отражает не только иерархию распределения и взаимосвязи методов, но и иерархию действий по их изучению и использованию.

При сетевой структуре методология рассматривается как система-процесс (процессный подход), представляющая собой множество взаимосвязанных видов организационной деятельности (процессов), реализуемых во времени, образующих единое целое и направленных на достижение как локальных целей, так и глобальной.

Здесь методология выступает как учение об организации познавательной и практически преобразующей деятельности [1]. Третий системный фактор методологии – методы, способы – скрыты как элементы в содержании структуры деятельности и определяют свойства методологии.

В работах [1, 5] подчеркивается, что методология должна быть направлена, во-первых, на формирование структуры деятельности, во-вторых, на формирование условий, при которых эта деятельность может быть осуществлена, в-третьих, на согласование этой деятельности с поведением внешней среды. Отсутствие любого элемента этой триады «Структура деятельности – условия деятельности – внешняя среда» делает любую деятельность невозможной.

Пример 2. Рассмотрим методологию научно-исследовательской деятельности как процесс получения во времени новых знаний в ходе решения научно-прикладной проблемы (НПП). Представим этот процесс в виде сетевой модели, представляющей собой оргграф последовательного соединения триад как трехэлементных множеств (рис. 2). Выделим в этом процессе следующие этапы.

Этап 1. Решение НПП воспринимается как цель исследования. При этом многие ученые, в частности У.Р. Эшби, указывают на необходимость учета взаимодействия между изучаемой системой (научной проблемой) и исследователем

[6]. Но первое определение, в которое включен наблюдатель, дал Ю.И. Черняк: «Система есть отражение в сознании субъекта (исследователя, наблюдателя) свойств объектов и их отношений в решении задач исследования, познания». Далее Ю.И. Черняк стал учитывать и язык (Ln) наблюдателя N (исследователя), который является средством отображения НПП в сознании наблюдателя [7].

Поэтому на первом этапе формируется триада «НПП – язык наблюдателя – наблюдатель». Эта триада отражает восприятие НПП в сознании наблюдателя, который описывает проблему на своем языке исследований.

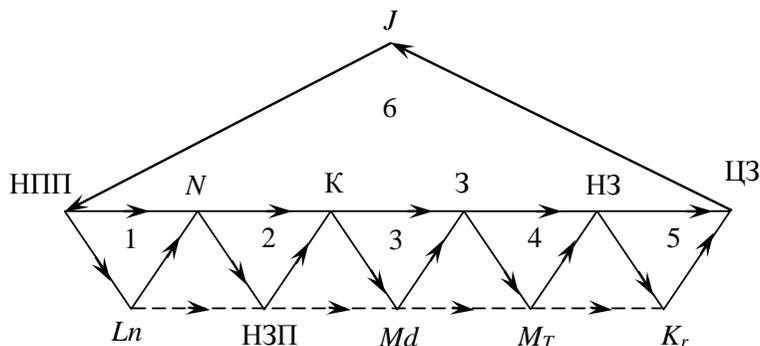


Рис. 2. Методология как системная модель решения НПП в форме соединения триад

Этап 2. На втором этапе наблюдатель как активный элемент системы формирует концепции (K) решения НПП. При формировании концепций обычно используются известные научные законы и принципы ($НЗП$), в частности системные. Итак, на втором этапе формируется триада «Наблюдатель – научные законы и принципы – концепции». Эта триада формирует методологию решения НПП с точки зрения наблюдателя (исследователя).

Этап 3. Концепции, как правило, ориентированы на выбор и использование определенных классов моделей (Md), что позволяет перейти к формальной формулировке (постановке) задач (3), связанных с решением НПП. Таким образом, на этом этапе рассматривается триада «Концепции – модели – задачи». Данная триада показывает возможности реализации концепции через решение множества задач.

Этап 4. В процессе решения множества задач на основе выбранного множества (M_T) методов исследований, технологий, которые зависят от используемого множества (Md) моделей, получается множество новых знаний ($НЗ$). При этом применяемые методы исследования могут быть как формализованными (аналитическими), так и неформализованными, а также экспериментальными, в т. ч. метод моделирования. Итак, на данном этапе формируется триада «Задачи – методы исследования – новые знания», которая показывает, что в результате решения задач должны быть получены новые знания.

Этап 5. Далее научная новизна, а также научная и практическая ценность полученных знаний ($ЦЗ$) оцениваются с помощью разработанных систем критериев и технологий оценок (K_r). В качестве критерия, в частности, выступает мера полезности полученных знаний для различных видов деятельности человека. Часто эту оценку проводят экспертным путем. При оценке новизны и научной ценности полученных знаний их сравнивают экспертным путем с системой знаний в

данной предметной области, определяют их место, а также учитывают форму представления знаний. Практическая ценность полученных знаний определяется в основном эффективностью технологий их использования в конкретной предметной области. Таким образом, сформирована триада «Новые знания – критерии – ценность знаний», которая дает оценку полученным знаниям.

Этап 6. На последнем этапе по новизне и ценности полученных знаний оценивают полноту, непротиворечивость, правильность и эффективность решения исходной НПП (этап рефлексии). Замыкающей является триада «Ценность знаний – оценка полноты решения – НПП», которая оценивает научный уровень и степень решения НПП.

На рис. 2 показана системная модель получения новых знаний в виде соединения триад. При этом свободные вершины триад могут быть соединены между собой, что приводит к образованию новых триад, которые способствуют более глубокому осмыслению процесса решения НПП. Например, триада «Научные законы, принципы – концепция – модели» позволяет легче ориентироваться при выборе класса моделей для реализации данной концепции. Триада «Модели – задачи – методы» нацеливает на правильный выбор методов, адекватных выбранным моделям. Триада «Методы – новые знания – критерии» позволяет оценить влияние методов получения знаний на выбор критериев их оценки.

Следует обратить внимание на многообразие форм представления научных знаний (в виде законов, правил, формул, принципов, моделей, схем, графиков, структур и т. д.), что является следствием многообразия областей научной деятельности человека и принятых в них форм представления знаний, которые со временем могут меняться и корректироваться.

Полученные знания должны быть истинными, достоверными, полными, непротиворечивыми, нетавтологичными, независимыми и новыми. При этом они должны связываться с ранее полученными знаниями, расширяя, обобщая, корректируя или опровергая их. Новые знания должны расширять наши первоначальные представления о решаемой НПП, предсказывать перспективные пути развития научных исследований, формировать новые цели и задачи. А это значит, что весь пройденный цикл (6 триад) организации решения НПП должен вновь повториться. И это будет происходить до тех пор, пока НПП не переродится или не сольется с новой, более сложной НПП.

Представление процесса решения НПП в форме замкнутой системы триад позволяет ученому правильно и эффективно организовать процесс проведения научных исследований.

При многосвязной структуре методология рассматривается как сложная система (системный подход), представляющая собой множество взаимосвязанных и взаимодействующих друг с другом методов, способов, средств, форм организаций и видов деятельности, образующих единое целое (целостность) и направленных на достижение цели.

Многосвязная структура отражает в большей степени, как и иерархическая, строение, организацию методологии как системы знаний. При формировании методологии как многосвязной системы важно решить следующие системные задачи:

- согласование используемых методов, способов и средств для достижения наибольшей эффективности в процессе деятельности;
- исключение конфликта и противоречий между формами организации и видами деятельности, направленной на достижение целей;

– обеспечение устойчивости движения к цели при одновременном выполнении различных видов деятельности.

Методология на основе многосвязных систем широко используется при проектировании систем управления не только техническими, но и различными организационными объектами, а также при анализе свойств когнитивных систем.

Пример 3. В качестве примера применения методологии многосвязных систем рассмотрим построение многосвязной системы коллективного управления научной школой как динамическим объектом.

Руководство научной школой (НШ) может быть построено по иерархической структуре «Научный руководитель – исполнители (научные сотрудники) – научная проблема». Такой подход к руководству НШ является наиболее распространенным, менее распространен многосвязный подход.

В этом случае НШ рассматривается как многомерный объект управления, у которого есть три управляемых переменных, отражающих три цели функционирования: x_1 – подготовка научных кадров; x_2 – количество написанных статей и монографий; x_3 – количество выполняемых научных программ, грантов и проектов (рис. 3). Здесь x_i^0 – значения планируемых результатов.

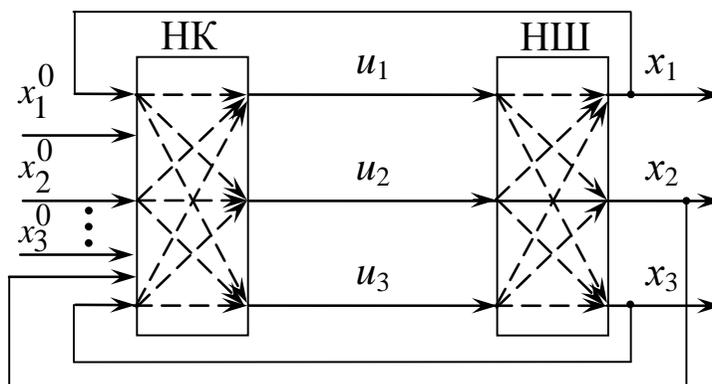


Рис. 3. Методология как многосвязная система управления деятельностью научной школы

В качестве управляющих факторов (u_i) выступают различные виды знаний научного коллектива в целом, которые одновременно используются для достижения всех трех целей. Здесь коллектив выступает как управляющий элемент, принимающий коллективные решения, и как исполнительный элемент, реализующий эти коллективные решения для достижения трех целей (см. рис. 3).

Таким образом, реализуется методология многосвязного управления деятельностью научной школой, основанная на знаниях коллектива. Такая методология эффективно реализуется на практике и при управлении организационными, социальными, экономическими, техническими, технологическими и другими динамическими объектами.

Матричная структура чаще всего используется при разработке методологии планирования, распределения функций, ресурсов, заказов, задач. На практике используются многомерные матричные структуры, которые могут быть преобразованы в иерархические структуры типа дерева.

Пример 4. Пусть три цеха A, B, C для достижения общей цели используют пять видов ресурсов по следующей схеме (рис. 4, a).

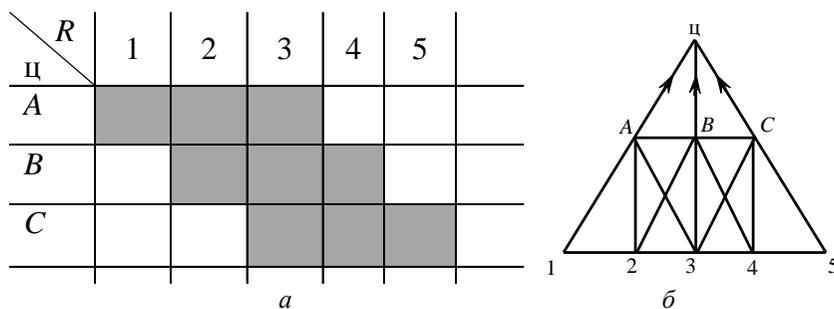


Рис. 4. Методология как матричная структура

Этой матрице можно противопоставить эквивалентную иерархическую структуру в виде «дерева» (рис. 4, b). Такие матрицы составляются для каждого вида ресурсов: материально-технических, временных, энергетических, информационных, кадровых, транспортных и т. д. с участием различных исполнителей.

Проблема заключается в качественном выполнении всех функций в этих многомерных матрицах. В общем случае могут быть рассмотрены разные варианты распределения множества ресурсов, задач, заказов между различными исполнителями. Выбор оптимального варианта из полученного многообразия матриц по сформированному критерию является достаточно сложной задачей.

Обобщая вышеизложенные подходы к формированию методологий, рассмотрим методологию как более сложную систему, сформированную из шести системообразующих факторов:

$$M_{\text{гд}} = \langle M, D, H, Str, Q, Z \rangle,$$

где M – множество методов, способов, средств, моделей, являющееся объектовой элементной базой для методологии;

D – множество видов деятельности, операций, технологий, алгоритмов, являющееся функциональной элементной базой для методологии;

H – множество связей между элементами, образованное на основе научных законов и принципов и способствующее формированию структуры методологии как научной ее части;

Str – множество структур, способствующих организации элементов и связей в единую целую неизменяемую часть методологии;

Q – множество эмерджентных свойств методологии, которое заключается в том, что она обладает такими свойствами, которых нет ни у одного из ее элементов (объектовых и функциональных);

Z – множество целей, которых достигают с помощью методологии в конкретной сфере деятельности или области знаний.

Графически методологию представим в виде трехуровневой иерархической системы (рис. 5).

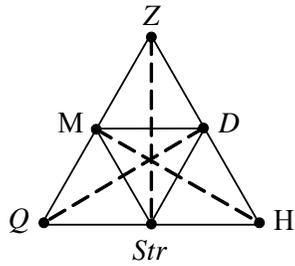


Рис. 5. Методология как система

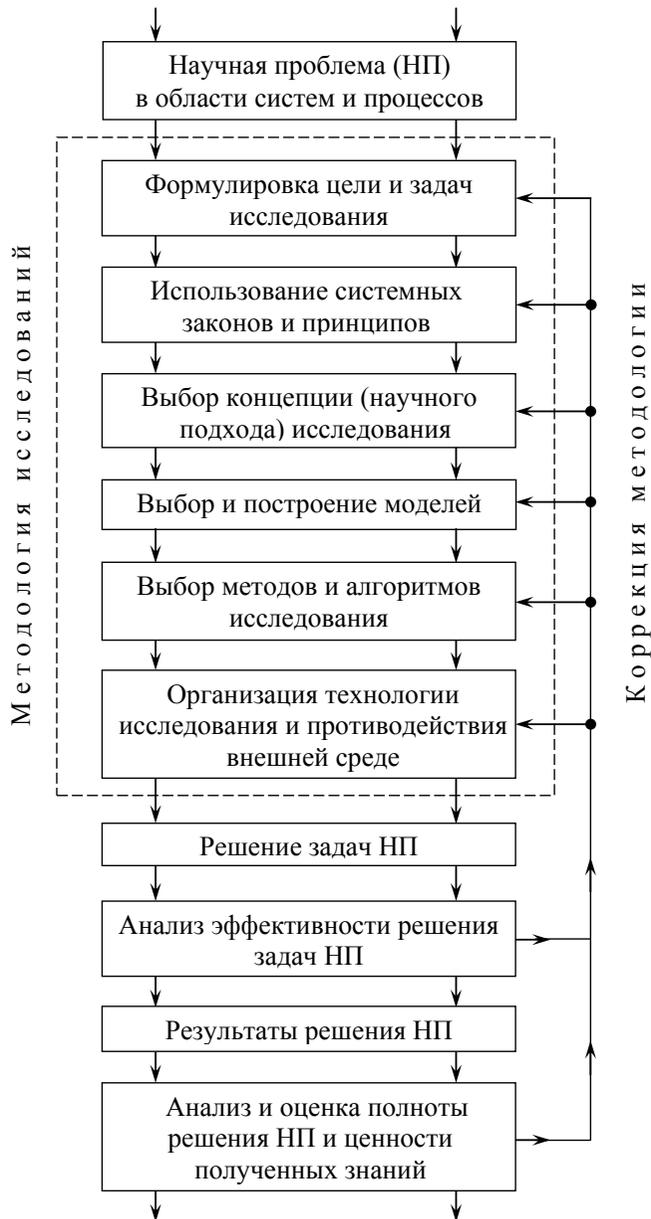


Рис. 6. Стратифицированная структура методологии научно-исследовательской деятельности по решению научной проблемы

Отметим, что методология проявляет свои эмерджентные свойства в каждой сфере человеческой деятельности (математике, физике, технике, производстве, культуре и т. д.) и способствует получению новых знаний. Методология – это важнейший интеллектуальный инструмент науки.

Методологию также можно стратифицировать по М. Месаровичу [8] и представить ее место в процессе решения научной проблемы (рис. 6).

Таким образом, структурная организация методологии из множества взаимосвязанных объектовых и функциональных элементов формирует ее эмерджентные свойства, содержание которых определяется той областью знаний, для получения которых и предназначена методология.

Заключение

1. Методологию следует рассматривать, во-первых, как систему с определенной структурой и с присущими ей системообразующими факторами (атрибутами), во-вторых, как учение о системной организации (иерархической, сетевой, многосвязной) этих атрибутов (объектов, средств, понятий, технологий, моделей, методов, алгоритмов, действий), необходимых для достижения цели, в-третьих, как учение о деятельности, направленной на достижение цели и на организацию процесса познания, т. е. получения новых знаний.

2. Методология выступает как системная интеллектуальная технология научного познания, как система взглядов, концепций и как система целенаправленных действий.

3. Поскольку существует большое многообразие видов деятельности, то можно говорить о разработке методологии для каждого вида деятельности как системы и как процесса познания в различных областях знаний.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Новиков А.М., Новиков Д.А.* Методология. – М.: СИНТЕГ, 2007. – 668 с.
2. Большая советская энциклопедия. 3-е изд. Т. 16. – М.: Советская Энциклопедия, 1974. – 616 с.
3. Советский энциклопедический словарь. 4-е изд. – М.: Советская Энциклопедия, 1990. – 1600 с.
4. *Философский словарь / Под ред. И.Т. Фролова*, 5-е изд. – М.: Издательство политической литературы, 1987. – 206 с.
5. *Могилевский В.Д.* Методология систем. – М.: Экономика, 1999. – 252 с.
6. *Эшби У.Р.* Конструкция мозга: происхождение адаптивного поведения. – М.: Мир, 1962. – 398 с.
7. *Черняк Ю.И.* Системный анализ и управление экономикой. – М.: Экономика, 1975. – 191 с.
8. *Месарович М., Мако Д., Такахара И.* Теория иерархических многоуровневых систем. – М.: Наука, 1973. – 344 с.

Статья поступила в редакцию 13 марта 2017 г.

STRUCTURAL APPROACH TO CONSTRUCTION METHODOLOGY RESEARCH SYSTEMS

B.G. Ilyasov, I.B. Gerasimova, A.G. Karamzina, G.A. Saitova

Ufa State Aviation Technical University
12, K. Marks st., Ufa, 450008, Russian Federation

In the paper the authors' view on the content of the methodology of research of systems of various physical nature is presented. The classification of methodology is based on the structure of its construction. This structure reflects the specifics of the problem being solved. The following structures are distinguished: hierarchical, network, multiply connected, matrix. Examples of constructing methodologies based on these structures are considered. In the hierarchical structure, all methods, structures, concepts, systems of views are located according to their subordination in terms of cognition. The network model is represented as a connection of triads with common feedback, each of which reflects the corresponding stage of the life cycle. It is shown that the control of the organizational system can be effectively organized on the basis of a multiply connected structure. When allocating resources a spatial matrix structure can be used as the basis of the methodology for solving the problem. For each type of activity, including scientific activity, its methodology can be built as a system of intellectual technology of scientific knowledge, as a system of views, concepts and as a system of actions for goals achieving.

Keywords: *methodology, system, teaching, structural approach, concept, hierarchy, network, matrix, multiply connected system.*

*Bary G. Ilyasov (Dr. Sci. (Techn.)), Professor.
Ilmira B. Gerasimova (Dr. Sci. (Techn.)), Professor.
Anastasiya G. Karamzina (Ph.D. (Techn.)), Associate Professor.
Guzel A. Saitova (Ph.D. (Techn.)), Associate Professor.*

УДК 62-523.8

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА РУЧНОЙ И МЕХАНИЗИРОВАННОЙ АРГОНОДУГОВОЙ СВАРКИ КАК ОБЪЕКТА АВТОМАТИЧЕСКОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ

В.В. Мюллер

Самарский государственный технический университет
Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

Приведены результаты исследования ручного процесса аргонодуговой электросварки неплавящимся электродом как объекта автоматической стабилизации и управления. В ходе работы выявлена многокритериальность процесса, предложена система оценки качества процесса сварки, а также функциональная схема и механизм горелки для реализации системы автоматической стабилизации процесса.

Ключевые слова: *аргонодуговая сварка, неплавящийся электрод, многокритериальный объект управления, контролируемые возмущения, неконтролируемые возмущения, параметры режима сварки, геометрические размеры сварного шва, горелка для дуговой сварки.*

Введение

Аргонодуговая сварка неплавящимся электродом в данный период развития сварочного производства является одним из наиболее прогрессивных и применяемых способов получения неразъемных соединений. Благодаря высокому качеству и высокому уровню автоматизации данный способ получил широкое распространение во всех отраслях отечественной промышленности. В то же время из-за специфики процесса, применяемого оборудования и формы сварных узлов не всегда возможно выполнить автоматическую сварку – доля ручной сварки зачастую достигает 70 %.

Процесс аргонодуговой сварки неплавящимся электродом как многокритериальный объект управления

Процесс аргонодуговой сварки неплавящимся электродом характеризуется наличием взаимосвязанных параметров процесса. Некоторые выходные параметры технологического процесса (например, ширина и высота шва, ширина и высота обратного валика) могут быть измерены в процессе сварки прямым или косвенным путем. Такие параметры являются контролируруемыми. Но большинство качественных показателей (например, склонность к горячим или холодным трещинам, степень дендритной ликвации) в ходе сварки измерить невозможно – данные параметры относят к неконтролируемым. Таким образом, технологический процесс аргонодуговой сварки является многокритериальным объектом с не полностью контролируемым выходом.

В нормативно-технической документации [1, 2] к критериям качества сварного соединения, независимо от категории сварного шва, предъявляются требования по геометрическим характеристикам.

Вместе с этим значение критериев качества зависит также от режима сварки,

Виктор Иванович Мюллер, аспирант.

толщины собранных под сварку деталей, марки материала деталей и их состояния поставки, а также некоторых других факторов. Следовательно, для аргонодуговой сварки характерен многомерный вход, который включает в себя контролируемые и неконтролируемые параметры. Контролируемые входные параметры состоят из контролируемых возмущений и управляющих переменных.

В случае необходимости отдельного изменения компонентов показателей качества сварного шва количество управляющих воздействий должно быть не меньше числа регулируемых показателей. Однако на современном этапе развития сварочного производства разработанные системы управления процессами аргонодуговой сварки неплавящимся электродом таковы, что число управляющих воздействий меньше числа регулируемых показателей. Поэтому технологический процесс аргонодуговой сварки относится к не полностью управляемым объектам.

Непосредственно в процессе аргонодуговой сварки одновременно протекает множество сложных взаимосвязанных физико-химических процессов (возбуждение и горение электрической дуги, формирование термического поля, перенос и смешивание металла, дегазация металла, структурные превращения и т. д.). Во время сварки все эти процессы подвергаются воздействию исходных переменных процесса, что приводит к конечному формированию сварного шва. В связи с этим разделить процесс сварки как объект управления на несколько отдельных процессов меньшей сложности на практике не представляется возможным.

Система оценки качества стабилизации процесса ручной и механизированной аргонодуговой сварки

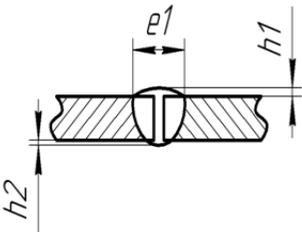
Технологический процесс аргонодуговой сварки неплавящимся электродом вполне изучен – определены оптимальные режимы и приемы выполнения, которые позволяют с большой долей вероятности гарантировать получение качественного соединения [3, 4, 5, 6]. Но в реальном производстве действуют различные возмущения, напрямую влияющие на качество сварного шва. Поэтому в итоге сварной шов может быть сформирован с дефектами, которые в зависимости от их характера классифицируются как допустимые без доработки, допустимые с доработкой и недопустимые.

На АО «Авиаагрегат» качество сварного шва определяется производственными инструкциями, разработанными ОАО «НИАТ», – ПИ 1.4.1898-2003 [2] и ПИ 1.4.75-2000 [1]. Для однопроходной ручной или механизированной сварки бескосового стыкового соединения толщиной S от 2,0 до 3,0 мм требования к геометрическим размерам сварного шва (ширина шва e_1 , высота шва h_1 , высота обратного валика шва h_2) приведены в таблице.

Анализ литературных источников [7, 8] показывает, что равномерное формирование геометрических размеров сварного шва приводит к повышению качества соединения.

Основываясь на вышеизложенном, для построения системы стабилизации ручной и механизированной аргонодуговой сварки неплавящимся электродом при разработке системы автоматической стабилизации за основной параметр качества принимаем e_1 – ширину сварного шва. Дополнительным параметром качества, обеспечивающим постоянство термического цикла, принимаем постоянство длины/напряжения электрической дуги.

Форма и размеры шва

	Производственная инструкция	S	e1	h1	h2
	ПИ 1.4.75-2000	2,0–2,9	$\leq 7,5$	1,0(+0,5; -1,0)	0 ^{+0,1}
ПИ 1.4.1898-2003	2,0–3,0	$\leq 14,0$	0,5 ^{+0,5}	0,3 ^{+0,3}	

Ручная и механизированная сварка как объект автоматической стабилизации. Классификация возмущений

При рассмотрении автоматической дуговой сварки как объекта управления применяется система «источник питания – дуга – сварочная ванна», разработанная в МГТУ им. Н.Э. Баумана [7, 9, 10, 11, 12, 13, 14]. Основу данного метода составляет последовательный анализ динамических связей в системах «источник питания – дуга» и «дуга – сварочная ванна». В качестве объекта управления рассматривается сварочная ванна, ее динамические и статические характеристики. Основные результаты, полученные при реализации этого подхода, нашли свое применение при автоматизации процессов сварки неплавящимся электродом [15].

Данная система адекватна также для автоматической стабилизации процесса ручной и механизированной аргодуговой сварки неплавящимся электродом. Структурная схема рассматриваемой системы приведена на рис. 1.

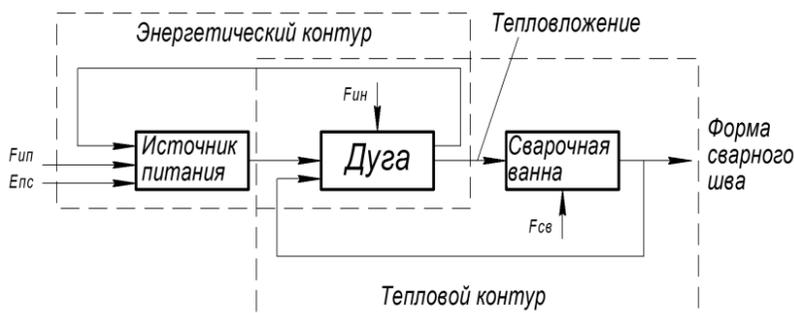


Рис. 1. Структурная схема системы «источник питания – дуга – сварочная ванна»:

$E_{пс}$ – питающая сеть; $F_{ип}$ – возмущения в источнике питания; $F_{ин}$ – возмущения в источнике нагрева (дуге); $F_{св}$ – возмущения в сварочном контуре

Источник питания (выпрямитель, трансформатор и т. д.) преобразует электроэнергию промышленной сети в форму источника нагрева (в рассматриваемом случае – в электрическую дугу), который осуществляет термическое воздействие на свариваемый и присадочный материал, поэтому формирование сварного шва рассматривается как результат функционирования этой системы [7, 16]. Объект автоматической стабилизации включает в себя источник питания, электрическую дугу и сварочную ванну [13].

Все элементы системы «источник питания – дуга – сварочная ванна» образуют двухконтурную электрогидродинамическую систему, при этом объект автоматической стабилизации является многомерным и многосвязным – воздействие любого возмущения на систему приводит к одновременному изменению всех ее элементов. В данной системе принято выделять два независимых контура [7]:

- энергетический (система «источник питания – дуга»), обеспечивающий преобразование и поступление энергии к дуге;
- тепловой (система «дуга – сварочная ванна»), обеспечивающий передачу энергии дуги в свариваемый металл.

В ходе сварки в зависимости от воздействия возмущений на независимые контуры возможны длительные, кратковременные и периодические отклонения параметров режима от номинальных. Исходя из состава применяемых в автоматической системе стабилизации датчиков возмущения могут быть контролируемые и неконтролируемые.

В приведенной на рис. 1 структурной схеме плохо поддаются анализу входные управляющие (стабилизирующие) воздействия и воздействия возмущений, а также выходные параметры качества соединения. На рис. 2 представлен способствующий решению данной проблемы процесс ручной и механизированной сварки как объект автоматической стабилизации с указанием входных координат, выходных координат и возмущающих воздействий.

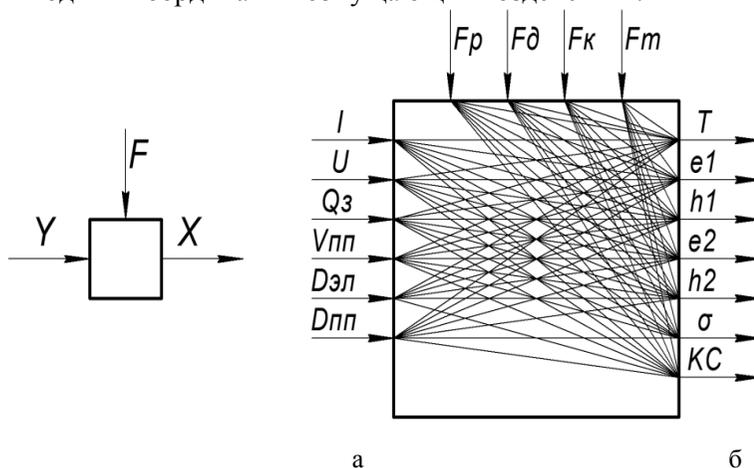


Рис. 2. Структурная схема процесса ручной и механизированной сварки как объекта автоматической стабилизации

Здесь (рис. 2, а) Y – вектор контролируемых входных воздействий (регулируемые режимы процесса сварки – сила тока, величина напряжения, скорость подачи защитного газа и т. д.); F – вектор возмущающих воздействий, вызванных

конструктивными особенностями собранного под сварку изделия, отклонениями параметров режима от заданных, междуговым промежутком и прочими причинами; X – вектор контролируемых и неконтролируемых выходных координат, в качестве которых выступают геометрические размеры шва и качественные показатели сварного соединения (прочность сварного шва, ударная вязкость сварного шва, требуемая структура шва и зоны термического влияния и прочие параметры).

На рис. 2, б применительно к источникам питания для ручной и механизированной аргонодуговой сварки неплавящимся электродом в качестве контролируемых заданных входных воздействий (заданный режим сварки) Y выступают: величина сварочного тока I , величина напряжения дуги U , величина подачи аргона Q_3 , скорость подачи присадочной проволоки $V_{пп}$, диаметр вольфрамового электрода $D_{эл}$ и диаметр присадочной проволоки $D_{пп}$. Возмущающие воздействия, возникающие в процессе формирования шва при аргонодуговой сварке, разделены на возмущения по параметрам режима F_p , возмущения по форме и расположению дуги F_d , конструктивные возмущения F_k и технологические возмущения F_t . В качестве выходных координат принимаются: температура сварочной ванны T , ширина шва e_1 , высота шва h_1 , ширина обратного валика шва (проплава) e_2 , высота обратного валика шва (проплава) h_2 , прочность сварного шва σ и ударная вязкость соединения KC . В связи с тем, что аргонодуговая сварка является специальным технологическим процессом, механические и физико-химические свойства шва (прочность, ударная вязкость, микро- и макроструктура, склонность к трещинообразованию и т. п.) не контролируются в ходе сварки, поэтому гарантировать качество шва можно только соблюдением требований нормативно-технической документации, а отклонения от требуемых параметров могут быть выявлены только в ходе применения методов разрушаемого контроля [17, 18]. Данное обстоятельство обуславливается тем, что на современном этапе развития сварочного производства не разработаны устройства автоматического контроля и стабилизации геометрических характеристик шва в процессе сварки, что делает невозможным построение автоматических систем стабилизации или управления с обратной связью по отклонению этих показателей. Поэтому для качественного формирования соединения применяются системы косвенной стабилизации.

При изучении результатов многочисленных исследований [3, 7, 13, 19, 20, 21] определены возмущения, наиболее сильно влияющие на качество шва. В энергетическом контуре это возмущения по параметрам режима – величина силы сварочного тока, величина напряжения дуги и скорость сварки. В тепловом контуре это неравномерность зазора, смещение дуги, неравномерность толщины изделия, а также структурная и химическая неоднородность свариваемого материала.

По аналогии с работой [22] на рис. 3 и 4 показаны косвенные параметры (температуры сварочной ванны T , длины дуги L , скорости сварки V и скорости подачи присадочной проволоки $V_{пп}$) технологического процесса ручной и механизированной аргонодуговой сварки неплавящимся электродом как объекта автоматической стабилизации. Скорость сварки рассматривается условно – данный параметр выполняется вручную непосредственно рабочим-сварщиком, скорость подачи присадочной проволоки на рис. 3 не рассматривается – при ручной аргонодуговой сварке она подается в зону сварки рабочим-сварщиком вручную.

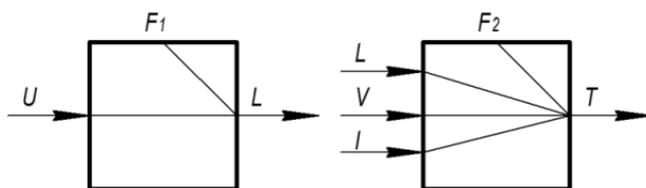


Рис. 3. Технологический процесс ручной аргодуговой сварки неплавящимся электродом как объект автоматической стабилизации

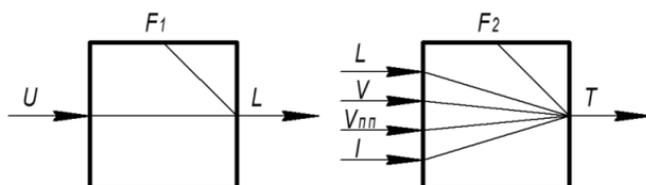


Рис. 4. Технологический процесс механизированной аргодуговой сварки неплавящимся электродом как объект автоматической стабилизации

Здесь F_1 и F_2 – неконтролируемые возмущения, вызванные колебаниями в питающей сети и источнике питания, неточностями сборки, нестабильностью выполнения своих функций рабочим-сварщиком и прочими причинами; контролируемые входные воздействия: I – величина сварочного тока, U – величина напряжения дуги.

Из рис. 4 видно, что изменение температуры шва возможно следующими входными координатами: L , V , $V_{пп}$ и I . Любая из приведенных координат может быть использована как управляющая в автоматической системе стабилизации. При принятии одной координаты как управляющей остальные станут контролируемыми возмущающими воздействиями.

Методы теории автоматического управления позволяют нивелировать влияние возмущений в тепловом контуре на выходные параметры качества соединения. В данном случае не требуется измерять возникшее возмущение, построенная система автоматического регулирования должна помещать точку приложения возмущения внутри замкнутого контура системы регулирования. В том случае, если возмущение легко измеримое, его воздействие можно ослабить построением системы регулирования с управлением непосредственно по возмущению или построением комбинированной системы регулирования по отклонению выходной величины и управлению по возмущению. В определенных условиях данная система является полностью инвариантной по отношению к рассматриваемому возмущению [13].

Другим способом повышения качества сварного шва является применение систем стабилизации по параметрам режима сварки, компенсирующих одно или несколько возмущений в энергетическом контуре. Однако при возникновении возмущений, действующих на сварочную ванну, такие системы малоэффективны.

Еще одним подходом является использование системы регулирования температуры зоны термического влияния, что обеспечивает компенсацию возмущений в тепловом контуре.

Оптимальным вариантом является построение системы автоматического ре-

гулирования, совмещающей в себе два последних способа, – это позволяет уменьшить действие контролируемых возмущений и за счет обратной связи снизить влияние неконтролируемых возмущений и неточностей в самой системе регулирования [23, 24, 25].

При разработке системы автоматической стабилизации процесса ручной и механизированной аргонодуговой сварки неплавящимся электродом необходимо учитывать только доминирующие технологические возмущения, оказывающие непосредственное влияние на свойства сварного шва.

В процессе ручной и механизированной сварки неплавящимся электродом в функции рабочего-сварщика входит управление скоростью сварки, управление траекторией движения сварочной горелки и поддержание длины дуги. Наиболее важным является стабильное поддержание длины дуги, изменение которой является доминирующим технологическим возмущением.

Учитывая [7, 13, 14] прямую пропорциональную зависимость длины дуги и величины напряжения дуги, за управляющий параметр разрабатываемой системы принимаем величину напряжения дуги. Напряжение дуги должно стабилизироваться путем поддержания постоянства ее длины.

Функциональная схема и механизм горелки для реализации системы автоматической стабилизации процесса ручной и механизированной аргонодуговой сварки

В работах по стабилизации процесса автоматической сварки [24, 25] для упрощения системы управления многомерным объектом автоматизации система управления искусственно разделяется на несколько независимых контуров регулирования, каждый из которых решает свою задачу.

На данный момент в условиях ручной и механизированной сварки неплавящимся электродом возможно выделить только два контура регулирования (автоматической стабилизации):

I – контур стабилизации режима сварки, который управляет рабочим циклом сварки и длиной дуги по величине ее напряжения;

II – контур стабилизации формы шва, который использует физическую информацию о ходе процесса сварки и стабилизирует геометрическую форму шва при действии различных возмущений в энергетическом и тепловом контурах (см. рис. 1).

Функциональная схема двухконтурной системы стабилизации приведена на рис. 5.

В каждом контуре формируются стабилизирующие воздействия на основании сравнения требуемых величин параметров режима, которые заданы в базе данных, и значений фактических параметров, поступающих с контрольных датчиков. Сварочное оборудование воздействует на систему «дуга – сварочная ванна» для стабилизации формообразования шва. Таким образом, реализуется замкнутая система стабилизации качественных характеристик сварного шва. Данная система может быть реализована только при использовании микропроцессоров и микроконтроллеров, позволяющих реализовать сложные законы управления.

Схема (рис. 6) управления длиной дуги в контуре I реализуется следующим образом: величина напряжения дуги через канал обратной связи поступает в датчик контроля U (измерительный преобразователь сигнала напряжения), где преобразуется в нормированный сигнал. С выхода датчика контроля U подается вы-

ходной сигнал в автоматическую систему стабилизации формирования сварного шва, а именно на первый аналоговый вход платы управления электродвигателем. На второй аналоговый вход платы управления электродвигателем подается опорное напряжение с контроллера системы управления энергетическими параметрами режима сварки. Измеряемое напряжение сравнивается с опорным в ПИД-регуляторе платы управления электродвигателя, и выдается управляющий сигнал рассогласования, который управляет электродвигателем. Знак рассогласования определяет направление вращения (перемещение вниз или вверх), а величина – скорость вращения (скорость перемещения).

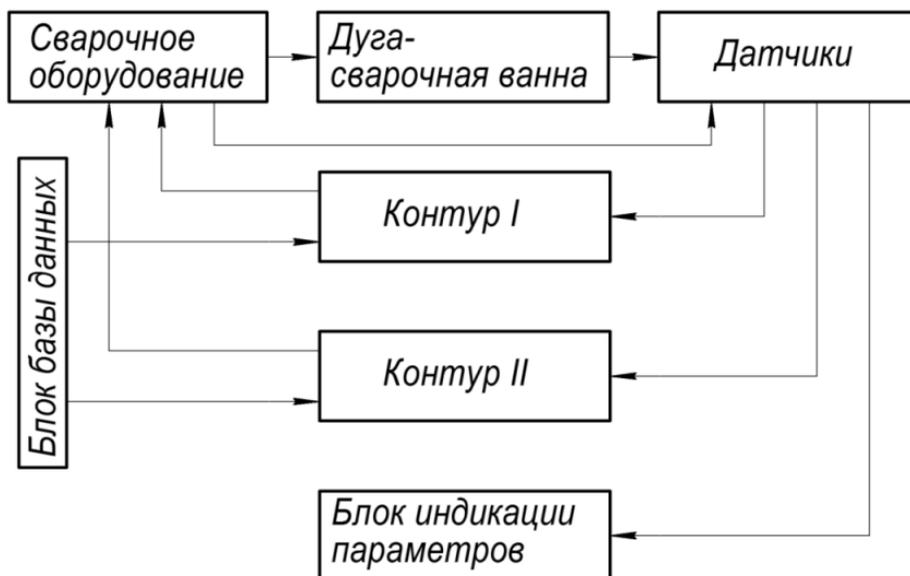
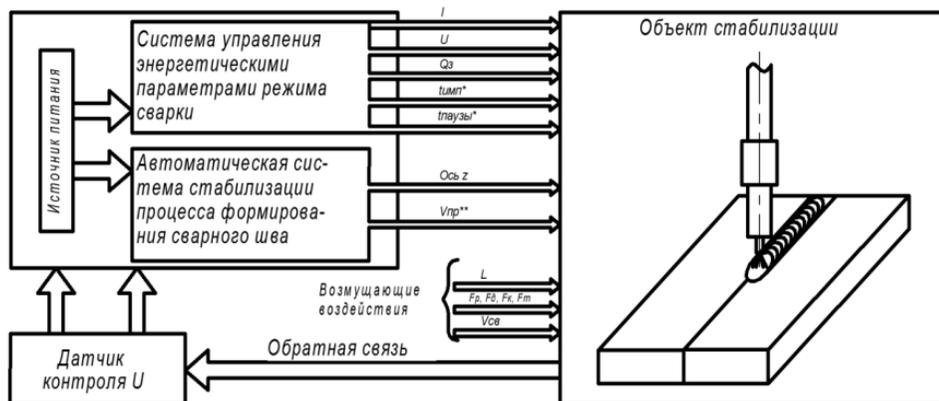


Рис. 5. Функциональная схема двухконтурной автоматической системы стабилизации процесса ручной и механизированной аргодуговой сварки



* при импульсной аргодуговой сварке.

** - при использовании горелки с автоматической подачей присадочной проволоки (механизированная аргодуговая сварка).

Рис. 6. Управление длиной дуги

Существующие горелки [26] не могут быть применены в разработанной системе, потому что их конструкция не позволяет перемещать сопло горелки для управления длиной дуги, так как сопло закрепляется на монолитной медной (токопроводящей) трубке. В связи с этим спроектирована конструкция горелки (рис. 7), позволяющая осуществить автоматическое управление длиной дуги.

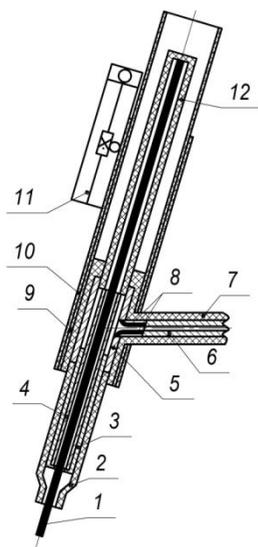


Рис. 7. Конструкция устройства горелки для реализации системы автоматической стабилизации ручной и механизированной аргонодуговой сварки

Конструкция устройства представляет собой горелку для аргонодуговой сварки, содержащую керамическое сопло 2, в котором закреплена медная цапга 3, вмещающая медный прижим 4 с вольфрамовым электродом 1. Медная цапга закреплена в подвижном токопроводящем корпусе горелки 5, что обеспечивает устойчивое положение электрода. Подвижный токопроводящий корпус соединен универсальным силовым кабелем 8 с неподвижным токопроводящим корпусом 6, что обеспечивает возможность автоматического регулирования длины дуги. Для предотвращения поражения рабочего-сварщика электрическим током токопроводящие корпуса и универсальный силовой кабель покрыты резиновой изоляцией 7, для предотвращения интоксикации аргоном предусмотрен тыльный колпачок 12, закрепляемый в подвижном токопроводящем корпусе. На участок резиновой изоляции, покрывающей подвижной токопроводящий корпус, приклеена подвижная пластиковая трубка 9, движение которой придает электродвигатель с червячной передачей 11, закрепленный на неподвижной пластиковой трубке 10, которая, в свою очередь, жестко крепится к изолированному резиной неподвижному токопроводящему корпусу (крепление не показано). Для предотвращения появления возмущений процесса сварки, связанных с замедлением регулирования величины дугового промежутка и вызванных трением пластиковых трубок, они выполнены с точностью посадки H11/h11 относительно друг друга.

Выводы

1. Анализ технологического процесса аргонодуговой сварки позволил отнести его к многомерному многокритериальному объекту с не полностью управляемым и наблюдаемым выходом.

2. На основе анализа требований к геометрии сварного шва и отсутствию дефектов в нем для построения системы автоматической стабилизации за основной параметр качества принимается e_1 – ширина сварного шва. Дополнительным параметром качества, обеспечивающим постоянство термического цикла, принимается постоянство длины/напряжения электрической дуги.

3. Процесс ручной и механизированной аргодуговой сварки как объект автоматической стабилизации представляет собой сложную многосвязную систему, которая представлена в виде блок-схем с указанием входных управляющих воздействий, выходных переменных и возмущающих воздействий.

4. На основе анализа существующих систем регулирования параметров технологического процесса дуговой сварки разработана функциональная схема двухконтурной автоматической системы стабилизации процесса ручной и механизированной аргодуговой сварки, содержащая контуры, которые могут быть описаны физико-математическими моделями: контур стабилизации режима сварки и контур стабилизации формы шва для получения требуемого качества сварного шва. Для понимания особенностей контура стабилизации режима сварки приведена схема управления длиной дуги.

5. В связи с тем, что типовая конструкция существующих горелок для ручной и механизированной сварки не позволяет перемещать сопло горелки, управляя длиной дуги, предложено принципиально новое устройство горелки для реализации системы автоматической стабилизации процесса аргодуговой сварки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дуговая сварка в среде защитных газов конструкционных, нержавеющей и жаропрочных сталей и сплавов ПИ 1.4.75-2000: Производственная инструкция. – М.: ОАО НИАТ, 2000. – 115 с.
2. Сварка дуговая сплавов титана в среде защитных газов ПИ 1.4.1898-2003: Производственная инструкция. – М.: ОАО НИАТ, 2003. – 122 с.
3. Труды НИКИМТ. Сварка в атомной промышленности и энергетике / Под ред. Л.Н. Щавелева. – М.: ИздАТ, 2002. – 320 с.
4. Акулов А.И. Сущность и техника различных способов сварки плавлением: Учеб. пособие. – М.: МГИУ, 2006. – 104 с.
5. Сварка. Резка. Контроль: Справочник. В 2 т. / Под общ. ред. Н.П. Алешина, Г.Г. Чернышева. – М.: Машиностроение, 2004. Т. 1. – 624 с.
6. Технология и оборудование сварки плавлением и термической резки: Учебник для вузов / Под ред. А.И. Акулова. – М.: Машиностроение, 2003. – 560 с.
7. Гладков Э.А. Управление процессами и оборудованием при сварке: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений – М.: Академия, 2006. – 432 с.
8. Овчинников В.В. Дефекты сварных соединений: Учеб. пособие. – М.: Академия, 2009. – 64 с.
9. Акулов А.И., Гладков Э.А., Гуслистов И.А. и др. Динамика температурного поля поверхности металла сварочной ванны // Управление сварочными процессами. – Тула, 1979. – С. 82-92.
10. Гладков Э.А. Основы теории автоматизации сварочных процессов. Ч. I. – М.: Изд. МВТУ им. Н.Э. Баумана, 1976. – 67 с.
11. Гладков Э.А., Акулов А.К., Юхин Н.А., Гуслистов К.А. Схемы электрогидродинамической системы «источник питания – дуга сварочная – ванна» // Изв. вузов. Машиностроение. – 1977. – № 9. – С. 17-21.
12. Львов Н.С. Автоматизация контроля и регулирования сварочных процессов. – М.: Машиностроение, 1973. – 127 с.
13. Львов Н.С., Гладков Э.А. Автоматика и автоматизация сварочных процессов. – М.: Машиностроение, 1982. – 302 с.
14. Автоматизация сварочных процессов: Учебник / Э.А. Гладков, В.Н. Бродягин, Р.А. Перковский. – М.: Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. – 421 с.: ил.
15. Сас А.В., Гладков Э.А., Чернов Л.В. Автоматизированная система управления качеством аргодуговой сварки труб // Технология, контроль качества и прочность сварных конструкций: Тр. МВТУ. – 1980. – № 337. – С. 81-88.

16. *Перковский Р.А., Киселев О.Н., Малолетков А.В.* Автоматизированная система исследования качества дуговой сварки // Современные проблемы сварочной науки и техники: Тезисы докладов международной научно-технической конференции. – Ростов н/Д, 1993. – С. 26.
17. Специальные технологические процессы. Разработка и оформление документации на процессы дуговой сварки при подготовке производства, изготовлении и ремонте авиационной техники МУ 1.4.2126-2003: Методические указания. – М.: НИАТ, 2003. – 46 с.
18. *Моисеенко В.П.* Материалы и их поведение при сварке. – Ростов н/Д: Феникс, 2009. – 300 с.
19. *Деев Г.Ф., Пацкевич И.Р.* Дефекты сварных швов. – Киев: Наук. думка, 1984. – 208 с.
20. *Семистенов Д.А.* Стабильность проплавления стыковых швов при возмущениях в процессе автоматической аргонодуговой сварки: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.03.06 / Тольятти: ТГУ, 2005. – 20 с.
21. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением / Под ред. акад. Б.Е. Патона. – М.: Машиностроение, 1974. – 768 с.
22. *Вохрышев В.Е., Омеляненко К.Н.* Дискретно-непрерывная система автоматического управления технологическим процессом сварки // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2013. – Том 15, № 4. – С. 267-270.
23. *Киселев О.Н.* Стабилизация геометрии проплавления при аргонодуговой сварке трубных изделий с применением систем энергетического и магнитного управления параметрами источника нагрева и сварочной ванны: дис. ... канд. техн. наук. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. – 196 с.
24. *Перковский Р.А.* Разработка физико-математических моделей и микропроцессорных систем контроля и управления процессом аргонодуговой сварки тонкостенных изделий ответственного назначения: дис. ... канд. техн. наук. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. – 139 с.
25. *Омеляненко К.Н.* Синтез дискретно-непрерывных систем автоматического управления процессом электросварки в среде защитных газов: дис. ... канд. техн. наук. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2013. – 139 с.
26. ГОСТ 5.917-71. Горелки ручные для аргонодуговой сварки типов РГА-150 и РГА-400. Требования к качеству аттестованной продукции / Введ. 1971-06-30. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1971. – 6 с.: ил.

Статья поступила в редакцию 10 февраля 2017 г.

ANALYSIS OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF MANUAL AND MECHANIZED ARGON-ARC WELDING AS OBJECT OF AUTOMATIC STABILIZATION AND CONTROL

V. V. Myuller

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russian Federation

This paper is devoted to the investigation of the manual process of argon-arc welding by a non-consumable electrode as an object of automatic stabilization and control. In the course of the work, a multicriteria process was revealed. A system for assessing the quality of the welding process was proposed. A classification of the disturbances was given. A functional diagram and the burner mechanism for implementing the automatic process stabilization system was proposed.

Keywords: Argon-arc welding, non-consumable electrode, multicriteria control object, controlled disturbances, uncontrolled disturbances, welding mode parameters, geometric dimensions of the weld, arc welding torch.

Viktor V. Myuller, Postgraduate Student.

УДК 681.5

ПОСТРОЕНИЕ ГИБРИДНОЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ИНТЕГРАЦИИ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ОБРАБОТКИ ВЫСОКОТОЧНЫХ ДЕТАЛЕЙ

Е.М. Самойлова

Саратовский государственный технический университет имени Ю.А. Гагарина
Россия, 410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77

E-mail: helen_elenka@mail.ru

Представлена концепция интеграции интеллектуальных технологий экспертных систем и нейросетевых структур в управлении качеством продукции на всех стадиях жизненного цикла, способствующая повышению качества изделий и эффективности производства в целом. Рассматривается построение гибридной интеллектуальной системы на основе структуры динамической экспертной системы с применением нейросетевых технологий для принятия решения о состоянии технологической системы по результатам анализа информации о качестве поверхности деталей подшипников для различных сочетаний обрабатываемых деталей и инструмента. Разработаны алгоритмы работы информационно-измерительного канала вихретокового контроля при идентификации поверхностного слоя деталей и последовательности диагностирования основных подсистем станка на основании выявленных дефектов поверхности качения подшипников как критериев качества технологической системы.

Ключевые слова: гибридная интеллектуальная система, экспертная система, нейронная сеть, управление, интеллектуальные технологии, качество, дефект, алгоритм, технологическая система, шлифование, детали подшипников.

Требования потребителей рынка высокоточной машино- и приборостроительной продукции в соответствии с мировыми тенденциями и научно-техническим прогрессом XXI века постоянно увеличиваются, что приводит к повышенным требованиям к обеспечению надежности, качества, безопасности изделий и, соответственно, внесению новых концепций и аспектов в управление качеством продукции на всех стадиях жизненного цикла (ЖЦ) с применением интеллектуальных технологий (ИТ) для решения проблемы повышения качества изделий и эффективности производства в целом.

ИТ дают практически значимые результаты и по многим технологическим направлениям, в особенности при управлении сильносвязанными системами, сложными объектами и многопараметрическими технологическими процессами (ТП), когда необходимо решение трудноформализуемых, а порой и неформализуемых задач, что позволяет существенно повысить эффективность производства за счет снижения (ликвидации) брака при изготовлении изделий, увеличения периода нормальной работы технологического оборудования (межналадочный период), реализации системы гибкого технического обслуживания объектов, а также снижения издержек производства.

Интеграция ИТ разного типа, как, например, экспертные системы (ЭС)

Елена Михайловна Самойлова (к.т.н., доц.), доцент кафедры «Автоматизация, управление, мехатроника».

и нейросетевые структуры (НС), является междисциплинарным направлением и позволяет добиться увеличения быстродействия и гибкости ЭС и нечеткой логики – сокращения объема БЗ на порядок и носит название гибридной интеллектуальной системы (ГиИС). Применение интеграции в данном аспекте позволяет использовать индивидуальную силу ИТ для решения специфических частей задачи. Технологии, внедряемые в ГиИС, зависят от особенностей решаемой задачи. Из пяти основных стратегий разработки ГиИС, основываясь на предыдущих исследованиях [1, 2] и условиях решаемой проблемы, выбираем интегрированную модель, используя ее преимущества в совместном использовании структур данных и представлении знаний, реализуемом в среде единого информационного пространства (ЕИП) с обеспечением оперативного доступа к информации и компонентам, осуществляемого посредством двойственной природы структур.

Мировой опыт использования ГиИС в медицине и обучении как одной из типов архитектур, представляющей собой интеграцию ЭС и НС и соединяющей как формализуемые (в ЭС), так и неформализуемые знания (в НС), отражает целесообразность применения интеграции ИТ для решения специфических частей задачи, в частности задачи контроля качества обработки высокоточных деталей.

В рамках создания ГиИС различными учеными предложены методы и технология ее разработки для решения сложных задач интеллектуального управления в различных областях, однако применительно к машино- и приборостроению, в частности при организации неразрушающего контроля и идентификации дефектов поверхности качения деталей подшипников, этот вопрос проработан недостаточно, что подчеркивает актуальность и необходимость дополнительных исследований [1–5].

Для контроля физико-механического состояния поверхностного слоя высокоточных деталей изготавливаются специализированные устройства и применяются различные методики неразрушающего контроля. Применение автоматизированного вихретокового метода контроля, являющегося относительно новым с точки зрения компьютерной обработки сигнала, обосновано тем, что он удовлетворяет основным требованиям информационно-измерительного канала ГиИС по информативности и выявлению основных дефектов поверхностей качения, быстродействию и встраиваемости.

Принимая во внимание, что распознавание образов является одним из направлений искусственного интеллекта, а идентификация образа дефекта по сигналу вихретокового преобразователя (ВП) представляет собой на сегодняшний момент визуальный контроль на основе сканограммы детали с применением специального классификатора, осуществляемый обученным персоналом, который принимает решение о качестве поверхностного слоя и наличии и типе дефекта, делаем вывод о необходимости методики автоматизированного контроля поверхностей качения колец.

В соответствии с методикой построения динамической ЭС поддержки принятия решения [6], а также с учетом мирового опыта в области создания ГиИС разработана гибридная система на основе динамической ЭС с применением НС для принятия решения о состоянии технологической системы (ТС) по результатам анализа информации о качестве поверхности деталей подшипников для различных сочетаний обрабатываемых деталей и инструмента (рис. 1).

Разработанная модель комбинированной ГиИС содержит помимо традиционных составляющих структуры ЭС реальный объект управления (ОУ) – ТС на базе автоматизированных шлифовальных станков SIW – 3, 4, 5 и SWaAGL – 50,

подсистему связи с внешним миром, подсистему моделирования внешнего мира и непрерывную составляющую управляющей части системы; кроме того, осуществляется идентификация объекта, создается база знаний (БЗ), включающая в себя базу правил (БП), базу алгоритмов (БА) и базу данных (БД), блок НС, механизм логического вывода (МЛВ) и блок объяснений, что позволяет лицу, принимающему решение (ЛПР), оперативно реагировать на изменяющиеся условия осуществления ТП, а также получать необходимые пояснения по алгоритму принятия решения. ГиИС сочетает в себе численное и лингвистическое представления знаний, реализованные при построении БЗ. Подсистема моделирования на этапе разработки ГиИС имитирует показания реальных объектов, а в процессе эксплуатации обеспечивает верификацию показаний датчиков во время исполнения приложения и подстановку модельных значений переменной при невозможности получения реальных, что повышает жизнеспособность и надежность приложений на базе ЭС.

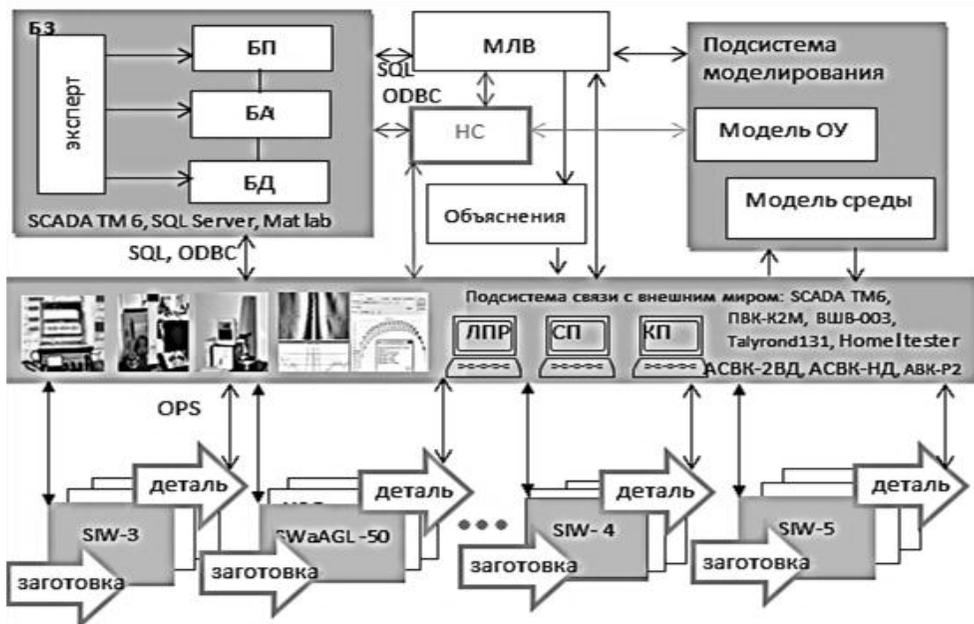


Рис. 1. Структура ГиИС как пример интеграции технологий ЭС и ИС:

СП – системный пользователь; КП – конечный пользователь; ВШВ-003 – виброизмеритель; АСВК-2ВД, АСВК-НД, АВК-Р2, ПВК-К2М – автоматизированные приборы вихретокового контроля; Talyrond 131 – кругломер; Homel tester – профилограф; SCADA TM6 – интегрированная российская информационная система со встроенными программными интерфейсами ODBC и OPC; SQL Server – система управления реляционными базами данных; Matlab – пакет прикладных программ

Интеграция разрабатываемой ГиИС в структуру интегрированной автоматизированной системы управления предприятием представляет научный и практический интерес и осуществляется путем реализации подсистемы связи с внешним миром в виде специализированного программного обеспечения (ПО) в соответствии с концепцией ЕИП по использованию открытых архитектур, международных стандартов и апробированных коммерческих продуктов обмена данными [7].

Практический интерес представляет реализация разработанного алгоритма работы информационно-измерительного канала вихретокового контроля ГиИС

(рис. 2), который можно разделить на два этапа: проведения обучающего эксперимента (накопления БЗ) с формированием эталонных оценок и идентификации по анализу образной информации для принятия решения по качеству поверхностного слоя изделия и состоянию ТП. НС способствует быстрому обучению, ЭС поддержки принятия решения реализует интерпретацию нечетких данных и объясняет полученное решение.



Рис. 2. Алгоритмизация идентификации дефектов шлифования деталей по интеллектуальному анализу образной информации

Внешние входные данные поступают в гибридную систему как через ЭС, так и через НС. В качестве комплекса автоматизированных аппаратных средств, способных измерять и анализировать значения контролируемых признаков, используются автоматизированные приборы вихретокового контроля ПВК-К2М [8]. Выходные данные поступают на вход модуля, находящего и объясняющего решения. Интерфейс реализуется специально разработанной программой Image (рис. 3) [9].

На основе информационно-структурной модели технологической системы шлифовального станка [10], результатов анализа проблемной области при организации информационно-измерительного канала вихретокового контроля и алгоритмизации идентификации дефектов по интеллектуальному анализу образной информации (см. рис. 2) построен алгоритм диагностирования основных подсистем шлифовального станка (с глубиной диагностирования до функционального узла) с последующим формированием БП и БД (рис. 4).

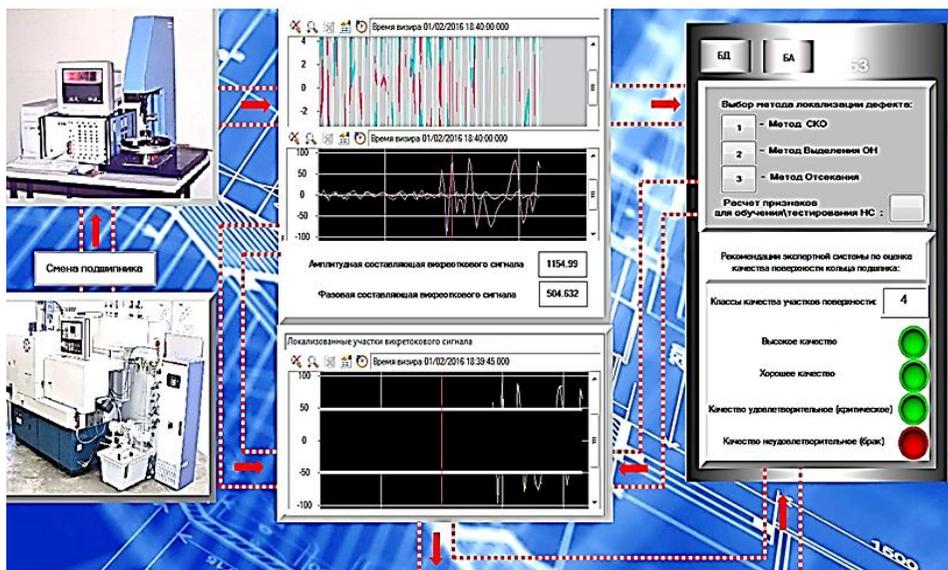


Рис. 3. Рабочий экран программы Image

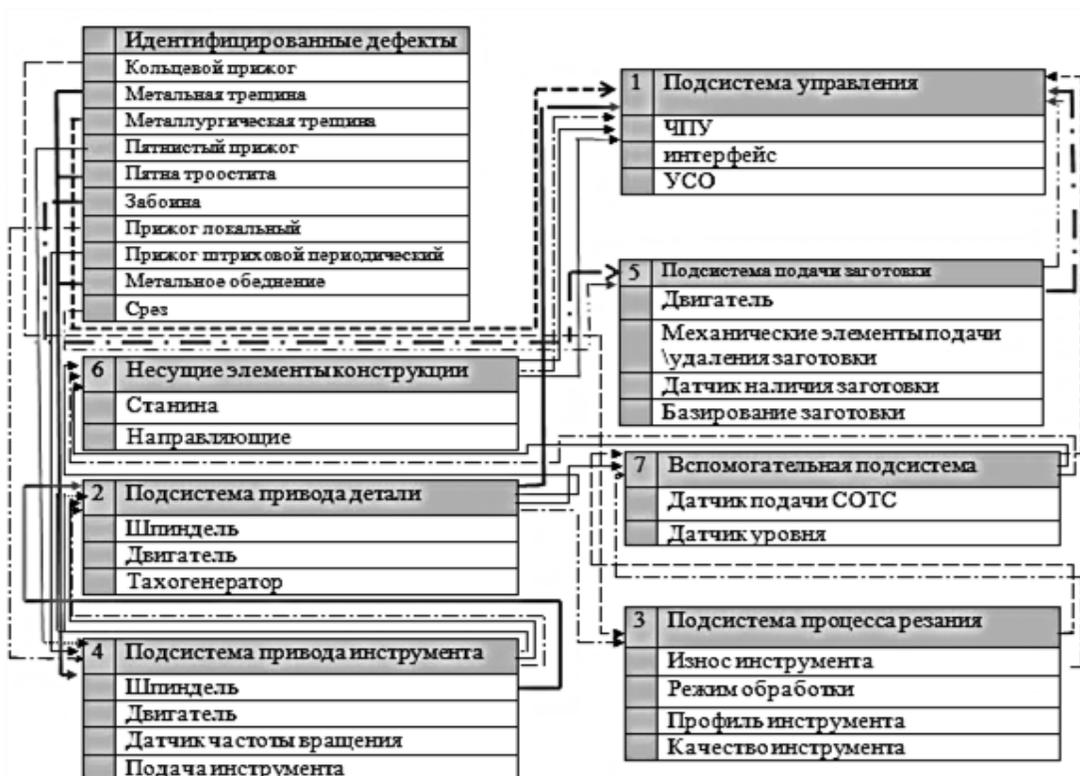


Рис. 4. Алгоритм диагностирования основных подсистем станка на основании идентифицируемых дефектов поверхности качения деталей подшипников как критериев качества технологической системы: СОТС – смазочно-охлаждающее технологическое средство

Формирование производственных правил производится на основании идентифицируемых дефектов поверхности качения деталей подшипников как критериев качества ТС для корректировки ТП или подналадки станка. В соответствии с алгоритмизацией идентификации дефектов по интеллектуальному анализу вихревого сигнала дополняется база алгоритмов БЗ ГиИС в составе системы мониторинга интегрированной автоматизированной системы управления.

Адаптация ГиИС к изменениям в предметной области реализуется путем обновления фактов, правил или алгоритмов БЗ, а также обучающей выборки и конфигурации НС, производимых системным пользователем. Т. е. структура ГиИС, включая комплекс технических средств и средств связи, строится однократно, а БЗ обновляется при смене объекта управления.

Построенная интеллектуальная система позволяет использовать преимущества традиционных средств искусственного интеллекта, такие как обучаемость НС и знания ЭС, преодолевая некоторые их недостатки, и может решать специализированные задачи, не решаемые отдельными методами искусственного интеллекта, что отражает ее актуальность и целесообразность применения для задач контроля качества обработки высокоточных деталей, корректировки технологического режима и ремонтно-восстановительных работ в системе мониторинга технологического процесса и оборудования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Колесников А.В. Гибридные интеллектуальные системы: Теория и технология разработки. – СПб: Изд-во СПб ГТУ, 2001. – 711 с.
2. Гаврилов А.В. Гибридные интеллектуальные системы. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003. – 168 с.
3. Ярушкина Н.Г. Основы теории нечетких и гибридных систем. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 320 с.
4. Тугенгольд А.К., Лукьянов Е.А. Интеллектуальное управление мехатронными технологическими системами. – Ростов н/Д: ДГТУ, 2004. – 117 с.
5. Гейценредер А.А. Мониторинг состояния станочной системы токарной обработки при интеллектуальном управлении: автореф. дисс. ... канд. техн. наук – 05.03.01. – Ростов н/Д, 2006. – 18 с.
6. Самойлова Е.М. Построение экспертной системы поддержки принятия решения как интеллектуальной составляющей системы мониторинга технологического процесса // Вестник ПНИПУ. Машиностроение, материаловедение. – 2016. – № 2 (18). – С. 128-142.
7. Самойлова Е.М. Интеграция базы данных SCADA TRACE MODE в систему мониторинга технологического процесса // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2015. – № 3 (80). – С. 85-88.
8. Самойлова Е.М., Игнатъев С.А. Интеллектуальный мониторинг качества механической обработки деталей // Контроль. Диагностика. – 2013. – № 4. – С. 68-72.
9. Программа интеллектуального анализа образной информации при организации информационно-измерительного канала неразрушающего контроля ЭСППР (Image) / Е.М. Самойлова, Т.В. Цыбина, А.А. Игнатъев / Свидетельство о регистрации в Реестре программ для ЭВМ № 2016616445; дата гос. рег. 10.06.2016.
10. Самойлова Е.М. Построение информационно-структурной модели технологической системы автоматизированного станочного модуля с позиций системного подхода // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2016. – №1 (17). – С. 318-325.

Статья поступила в редакцию 13 февраля 2017 г.

BUILDING HYBRID INTELLIGENT SYSTEMS BASED ON THE INTEGRATION OF TECHNOLOGY FOR SOLVING PROBLEMS OF QUALITY CONTROL PROCESSING OF HIGH-PRECISION PARTS

E.M. Samoilova

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov
77, Polytechnicheskaya st., Saratov, 410054, Russian Federation

The concept of integration of intelligent technologies of expert systems and neural network architectures in the management of product quality at all stages of the life cycle, contributing to the improvement of product quality and production efficiency in General. Discusses the construction of the hybrid intelligent system based on the structure of dynamic expert systems with neural network technology for decision-making on the state of the technical system the results of the analysis of information on the surface quality of the bearing components for different combinations of workpiece and tool. The algorithms of information-measuring channel eddy current inspection for identification of the surface layer and the sequence of diagnosis of the main subsystems of the machine on the basis of the detected surface defects of rolling bearings as the quality criteria of the technological system.

Keywords: *hybrid intelligent system, expert system, neural network control, intelligent technology, quality, defect, algorithm, technological system, the grinding, the bearing parts.*

УДК 330.46, 519.834

АГРЕГИРОВАНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ИНВЕСТИЦИЯМИ**В.Г. Саркисов**Самарский государственный технический университет
Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

Предложен обобщенный подход к формированию системы управления инвестициями путем объединения нескольких существующих систем. Выделены основные способы объединения: формирование портфеля систем и объединение на основе логических операций. Представлены основные организационные формы индивидуальных и коллективных инвестиций, проведена их классификация по характерным способам агрегирования подсистем. Предложен метод выбора способа агрегирования на основе анализа коалиционной игры, порождаемой объединением на основе логических операций. Агрегирование и последующая оптимизация порождают проблему переобучения (overfitting) системы. Рассмотрены основные меры по ограничению переобучения.

Ключевые слова: инвестиционный портфель, агрегирование подсистем, коллективные инвестиции, граф системы, переобучение.

Введение

Развитие инфраструктуры финансовых рынков и вовлечение в инвестиционный процесс большого количества физических и юридических лиц привело к повышению конкуренции и необходимости применения все более сложных систем принятия инвестиционных решений. Обычно такая система формируется путем агрегирования нескольких более простых ранее известных систем.

Все действия системы принятия инвестиционных решений в конечном итоге приводят к изменению состава и структуры инвестиционного портфеля. Поэтому, абстрагируясь от содержательной стороны инвестиций, будем считать, что k -тая система формирует непосредственно вектор $x_k = (x_{k1}, x_{k2}, \dots, x_{kN})$ долей инвестиционных активов в портфеле ($x_{kn} \in R$ – доля n -го актива в портфеле k -той системы в момент t , N – количество доступных активов). Агрегированная система также формирует портфель, описываемый вектором аналогичного вида: $y = (y_1, y_2, \dots, y_N)$.

При агрегировании K систем метод агрегирования можно охарактеризовать отображением $F: R^{NK} \rightarrow R^N$, ставящим в соответствие совокупности K векторов x_1, \dots, x_K портфелей агрегируемых систем вектор портфеля агрегированной системы y .

В настоящее время можно выделить два основных способа агрегирования систем принятия инвестиционных решений: формирование портфеля подсистем и логические операции над портфелями подсистем. Рассмотрим эти способы более подробно.

Портфель подсистем

Формирование портфеля подсистем предполагает, что каждой из подсистем в управление передается некоторая доля капитала (обозначим долю капитала, управляемую k -той системой, через γ_k , $\sum_{k=1}^K \gamma_k = 1$). При этом портфель агрегированной системы представляет собой линейную комбинацию портфелей подсистем:

$$y = \sum_{k=1}^K \gamma_k x_k. \quad (1)$$

Формирование портфеля подсистем получило широкое распространение в силу простоты математического описания и практической реализации. При математическом описании портфель каждой подсистемы рассматривается в качестве единого актива, что позволяет использовать математический аппарат для портфелей инвестиционных активов, базирующийся на работах Г. Марковица [1] и У. Шарпа [2].

Можно выделить следующие варианты практической реализации.

1. Производится расчет векторов x_k портфелей подсистем, затем рассчитывается по (1) и реализуется на практике портфель агрегированной системы y . Этот вариант используется специалистами, осуществляющими самостоятельное управление портфелем. Данный вариант называют диверсификацией по системам управления портфелем.

2. Средства распределяются между подсистемами, производится формирование портфелей каждой из подсистем. При этом некоторые подсистемы формируются и реализуются сторонними специалистами, а инвестор лишь выбирает доли, передаваемые в управление подсистемам. Инфраструктура современного финансового рынка предоставляет множество механизмов для реализации этого варианта. Наиболее популярными [3] являются коллективные инвестиции в паевые инвестиционные фонды (ПИФ), общие фонды банковского управления (ОФБУ) и модули управления процентным распределением (РАММ или ПАММ-счета) [4], а также в стратегии индивидуального доверительного управления, позволяющие управляющему более тонко учесть предпочтения инвестора. Каждый из механизмов предполагает предоставление инвестору ретроспективной информации о результатах управления, на основе которой можно проанализировать основные свойства подсистем и зависимости между подсистемами. По результатам этого анализа производится распределение долей портфеля агрегированной системы между подсистемами.

Агрегирование систем на основе логических операций

Этот метод в общем случае предполагает использование аппарата нечеткой логики. В настоящей статье в качестве примера рассматривается частный случай, позволяющий обойтись средствами булевой алгебры.

Рассмотрим агрегирование двух подсистем, портфель каждой из которых может находиться в одном из двух состояний: (0, 1) или (1, 0), то есть подсистема вкладывает все средства в один из двух активов. Такие бинарные подсистемы называются механическими торговыми системами (МТС). Чаще всего в качестве второго актива рассматривается безрисковый актив, например денежные средства. Будем полагать, что агрегированная система также является МТС. Тогда правило агрегирования портфелей x_1 и x_2 в портфель y можно задать с помощью таблицы (см. таблицу).

Пример таблицы агрегирования и таблицы соответствующей логической функции

x_1	x_2	y
(0, 1)	(0, 1)	(0, 1)
(0, 1)	(1, 0)	(0, 1)
(1, 0)	(0, 1)	(0, 1)
(1, 0)	(1, 0)	(1, 0)

 \Rightarrow

x_{11}	x_{21}	y_1
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Если рассматривать только первые координаты векторов x_1 , x_2 и y , то таблице агрегирования можно поставить в соответствие одну из логических функций. С практической точки зрения это означает, что средства вкладываются в первый актив лишь в том случае, когда он входит в портфели обеих подсистем.

Простым примером реализации подобного принципа служит агрегированная система, подсистемы которой ориентированы на выявление краткосрочных и долгосрочных трендов цены некоторого инвестиционного актива [5, с. 73]. Покупка актива производится только тогда, когда одновременно существуют тенденции краткосрочного и долгосрочного роста цены. Если хотя бы одна из этих тенденций прекращается, производится продажа актива.

Другим вариантом является агрегирование подсистемы, которая выявляет тренд с системой, выбирающий более предпочтительный из пары активов [6].

Применение аппарата нечеткой логики позволяет производить агрегирование для подсистем более сложных, чем МТС.

Выбор способа агрегирования и граф агрегированной системы

При агрегировании любого набора подсистем стоит вопрос выбора способа агрегирования: портфель подсистем или логические операции. Рассмотрим возможность построения процедуры выбора на основе анализа коалиционной игры, порождаемой агрегированием с помощью логических операций.

В качестве примера рассмотрим агрегирование трех подсистем. Будем полагать, что каждая из систем или подсистем оценивается скалярной величиной, описывающей ее эффективность (например, средняя доходность при ретроспективном тестировании). Для анализа предлагаемой коалиционной игры необходимы оценки максимальной эффективности v_{123} тотальной коалиции (объединения всех трех подсистем с помощью логических операций) и всех возможных подкоалиций – сольных v_1 , v_2 , v_3 и парных v_{12} , v_{13} , v_{23} . Оценим вклады u_1 , u_2 и u_3 подсистем в эффективность тотальной коалиции. Эти вклады должны отвечать следующим естественным ограничениям, определяющим S -ядро [7] коалиционной игры, то есть множество сочетаний вкладов подсистем, в котором вклад каждой подкоалиции в эффективность всей системы не меньше, чем эффективность этой подкоалиции вне системы:

$$u_1 + u_2 + u_3 = v_{123}; \quad (2)$$

$$u_1 \geq v_1; u_2 \geq v_2; u_3 \geq v_3; \quad (3)$$

$$u_1 + u_2 \geq v_{12}; u_1 + u_3 \geq v_{13}; u_2 + u_3 \geq v_{23}. \quad (4)$$

Сопоставляя (2) и (4), получим более простые ограничения:

$$u_1 \leq v_{123} - v_{23}; u_2 \leq v_{123} - v_{13}; u_3 \leq v_{123} - v_{12}. \quad (5)$$

Перепишем (3) и (5) более компактно:

$$v_1 \leq u_1 \leq v_{123} - v_{23}; v_2 \leq u_2 \leq v_{123} - v_{13}; v_3 \leq u_3 \leq v_{123} - v_{12}. \quad (6)$$

Если система (6) совместна, то тотальная коалиция на основе логических операций является лучшим вариантом объединения подсистем, чем любой портфель подкоалиций.

В некоторых случаях система ограничений (6) оказывается несовместной, а определяемое ею S -ядро – пустым. Это означает, что существует хотя бы одно разбиение тотальной коалиции, которое при формировании портфеля подкоалиций обеспечивает более высокую эффективность, чем тотальная коалиция на основе логических операций. В этом случае подсистемы целесообразно объединять, формируя портфель подсистем.

В общем случае при построении агрегированной системы из множества подсистем оба рассмотренных метода могут использоваться многократно. Структуру полученной системы можно представить в виде связного ориентированного графа без циклов – дерева. Каждый из истоков графа соответствует одной из агрегируемых систем. Сток соответствует агрегированной системе. Остальные вершины соответствуют применению того или иного способа агрегирования.

Проблема переобучения

При агрегировании большого количества подсистем управления инвестициями, как и при других способах построения сложного алгоритма с множеством настраиваемых параметров (например, на базе нейронных сетей), часто возникает проблема переобучения, или переподгонки (*overfitting*). Переобученная система показывает очень хорошие результаты на данных, используемых для ее настройки (обучающая выборка), а при тестировании и реальной эксплуатации теряет эффективность. Переобучение можно условно интерпретировать как косвенную аппроксимацию незначимых особенностей временных рядов обучающей выборки.

Эффект переобучения в той или иной мере присутствует в любой системе управления инвестициями, поэтому важным является принятие мер по его ограничению. В [8, с. 168] выделяются следующие предпосылки переобучения:

- слишком большое количество параметров, правил и условий в системе;
- слишком маленькая обучающая выборка;
- неправильные цели оптимизации;
- ошибки в интерпретации результатов оптимизации.

Иными словами, для ограничения переобучения необходимо:

1. Обеспечить достаточно высокое отношение объема обучающей выборки к количеству ограничений степеней свободы, накладываемых подсистемами. Объем выборки можно оценить количеством сделок, то есть изменений долей портфеля. Ограничения от подсистемы оцениваются количеством используемых ею элементов выборки и параметров, связанных с принятием решения.

2. Обеспечить не только объем, но и достаточную вариативность обучающей выборки. Обучающая выборка должна обеспечивать многократное использование при формировании инвестиционного портфеля всех правил всех подсистем. Если какое-либо правило подсистемы или подсистема целиком участвует в совершении сделки на обучающей выборке существенно реже остальных или во-

обще не участвует, то такое правило (или подсистему целиком) целесообразно исключить из агрегированной системы.

3. Построить сбалансированный критерий оптимальности, который учитывает не только доходность и риск, но и равномерность распределения этих показателей по подсистемам, равномерность получения прибыли во времени.

4. После завершения оптимизации провести анализ результатов на тестовой выборке. Для устранения влияния разбиения данных на обучающую и тестовую выборку целесообразно провести кросс-тестирование [9] с анализом стабильности эффективности агрегированной системы [10].

Заключение

Предложенный подход позволяет осуществить обобщение и формализацию широко распространенных способов объединения нескольких существующих систем управления инвестициями в общую систему с более высоким качеством управления. В качестве дальнейшего обобщения предполагается использование для расчета портфеля агрегированной системы более широкого спектра методов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Markowitz H.M.* Portfolio Selection // Journal of Finance. – 1952. – 7. № 1. – pp. 71-91
2. *Шарп У.Ф., Александер Г.Дж., Бэйли Дж.В.* Инвестиции. – М.: Инфра-М, 2001. – 1028 с.
3. *Гетманская А.Д.* Анализ деятельности институтов коллективного инвестирования на российском фондовом рынке // Финансовые исследования. – 2013. – № 3 (40). – С. 85-100.
4. *Борщ Л.М., Салиева А.С.* Инвестирование в ПАММ-счета как одно из новых направлений на российском рынке // Научный вестник: финансы, банки, инвестиции. – 2016. – № 2 (35). – С. 110-117.
5. *Найман Э.-Л.* Малая энциклопедия трейдера. – М.: Альфа Капитал, 1999. – 236 с.
6. *Саркисов В.Г., Саркисов Г.А.* Синтез системы управления инвестиционным портфелем на основе моделирования виртуальных финансовых инструментов // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – 2011. – № 3(31). – С. 33-39.
7. *Петросян Л.А., Зенкевич Н.А., Шевкопляс Е.В.* Теория игр. – СПб.: БХВ-Петербург, 2012. – 432 с.
8. *Пардо Р.* Разработка, тестирование, оптимизация торговых систем для биржевого трейдера. – М.: Минакс, 2002. – 224 с.
9. Алгоритмы и программы восстановления зависимостей / *В.Н. Вапник, Т.Г. Глазкова, В.А. Кощеев, А.И. Михальский, А.Я. Червоненкис.* – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1984. – 816 с.
10. *Саркисов В.Г., Саркисов Г.А.* Метод оценки и выбора алгоритма принятия инвестиционных решений на основе его параметрической оптимизации // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – 2009. – № 2(24). – С. 39-46.

Статья поступила в редакцию 15 февраля 2017 г.

AGGREGATION OF INVESTMENT MANAGEMENT SYSTEMS

V.G. Sarkisov

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russian Federation

A generalized approach to the formation of an investment management system based on combining of several existing systems is proposed. The main ways of combining are: portfolio of systems and logical operations. The main organizational forms of individual and collective investments are presented. Their classification according to the characteristics of ways of subsystems' aggregation is carried out. A method for selecting the way of aggregation is proposed. It's based on the analysis of the coalition game generated by the logical operations' aggregation. Aggregation and subsequent optimization are followed by overfitting. Some methods of overfitting restriction are considered.

Keywords: *investment portfolio, aggregation of subsystems, collective investment, system graph, overfitting.*