# Автоматизация и Современные Технологии

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ МЕЖОТРАСЛЕВОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ИЗДАЁТСЯ С 1947 ГОДА

**Главный редактор**
**В.Л. Белоусов** — д.э.н., проф., МГУПИ

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:**

**Букаченко А.Л.** — д.х.н., проф., ИПХФ РАН
**Гусев А.А.** — д.т.н., проф., МГТУ "СТАНКИН"
**Дегтярев Ю.И.** — д.т.н., проф., МАИ
**Елисеев В.А.** — д.т.н., Ин-т инновац.-технологич. менеджмента
**Иванов А.П.** — д.э.н., проф., МГУПС (МИИТ)
**Мальцева С.В.** — д.т.н., проф., НИУ ВШЭ
**Нефедов Е.И.** — д.ф.-м.н., ИРЭ РАН
**Шебалин И.Ю.** — к.ф.-м.н., ООО "Изд-во Машиностроение" (заместитель главного редактора)
**Янович Е.Л.** — д.э.н., проф., Кошалинский политехнич. ин-т (Польша)

Редактор-организатор — **Осипова В.Г.**
Редактор — **Селихова Е.А.**
Компьютерная вёрстка — **Конова Е.В.**

**9**

**2014**

**УЧРЕДИТЕЛИ:**
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
РЕСПУБЛИКАНСКИЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ НАУЧНО-КОНСУЛЬТАЦИОННЫЙ ЦЕНТР ЭКСПЕРТИЗЫ

Журнал зарегистрирован 9 апреля 1999 г. за № 018684 в Комитете Российской Федерации по печати

Журнал входит в перечень утверждённых ВАК РФ изданий для публикации трудов соискателей ученых степеней

ООО «Издательство Машиностроение»

***Адрес редакции:***
***107076, Москва,***
***Стромынский пер., 4.***
***Тел.: (499) 748 0290.***
***E-mail: ast@mashin.ru; http://www.mashin.ru***

***Адрес издательства:***
***107076, Москва,***
***Стромынский пер., 4.***
***Тел.: (499) 268 3858,***
***факс: (499) 269 4897***

**© Издательство "Машиностроение",**
**"Автоматизация и современные технологии", 2014 г.**

# СОДЕРЖАНИЕ


## АВТОМАТИЗАЦИЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

**Сагдатуллин А.М.** Разработка схемы комплексной автоматизации электропривода насосной станции . . . . 3

**Воробьёв Е.И., Хатунцев Д.И.** Прямая и обратная задача кинематической точности промышленных роботов . . . 7

## СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

**Петроченков А.Б., Кычкин А.В., Темичев А.А.** Интегрированная диагностическая поддержка распределенной системы мониторинга энергоданных . . . . . 10

**Чернышев А.Б., Кравцова А.Л., Соха Е.Ю.** Анализ устойчивости процесса стабилизации температурного поля нелинейной распределенной системы . . . . . 16

**Уразбахтин Ф.А., Уразбахтина А.Ю., Чебкасов М.С.** Технология поиска экспертным методом способа преодоления критических ситуаций в технических объектах . . 22

**Корнеев Н.В., Корнеева Ю.В.** Система дистанционного управления рекламным стендом на базе современных программных платформ . . . . . 29

**Ульянов М.В.**, **Сметанин Ю.Г.** Псевдоединицы в расширении мультипликативной группы по модулю криптосистемы RSA . . . . . 34

**Митяшин Н.П., Томашевский Ю.Б., Денисов А.В., Дмитриев А.А.** Использование нечёткой меры ценности критериев при многокритериальном выборе . . 38

## ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ НАУЧНОЙ И ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

**Долгов В.А., Луцюк С.В., Подкидышев А.А.** Организация сбора и верификации информации при проведении обследования машиностроительного предприятия . 43

## ОБЗОР ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ПЕЧАТИ

**По страницам** журналов . . . . . 47


# CONTENTS


## AUTOMATION OF SCIENTIFIC-RESEARCH AND PRODUCTION

**Sagdatullin A.M.** Development scheme of the complex automation for the pump station electric drive . . . . . 3

**Vorobev E.I., Khatuntsev D.I.** Direct and return task of the industrial robots kinematic accuracy . . . . . 7

## MODERN TECHNOLOGIES

**Petrochenkov A.B., Kychkin A.V., Temichev A.A.** Integrated diagnostic support of the energy date distributed monitoring system . . . . . 10

**Chernyshev A.B., Kravtsova A.L., Sokha E.Yu.** Analysis of the temperature field stabilization process steadiness for non-linear distributed system . . . . . 16

**Urazbakhtin F.A., Urazbakhtina A.Yu., Chebkasov M.S.** Search technology by the expert method of the critical situations overcoming way in technical objects . . . . . 22

**Korneev N.V., Korneeva Yu.V.** Display remote control system on the basis of modern program platforms . . . 29

**Ulyanov M.V., Smetanin Yu.G.** Pseudounits in eth expansion of a multiplicative group modulo rsa cryptosystem . . . . . 34

**Mityashin N.P., Tomashevskiy Yu.B., Denisov A.V., Dmitriev A.A.** Using of fuzzy measure valuables of criteria to multicriteria choice . . . . . 38

## ECONOMICS AND ORGANIZATION OF SCIENTIFIC AND ECONOMIC ACTIVITIES

**Dolgov V.A., Lutsyuk S.V., Podkidyshev A.A.** The organization of collecting and information verification when carrying out machine-building enterprise inspection . . . . . 43

## SURVEY OF PERIODICALS

**Periodicals** review . . . . . 47



**Журнал распространяется по подписке, которую можно оформить в любом почтовом отделении (индекс по каталогу "Роспечать" — 70537, по каталогу "Пресса России" — 27838, по каталогу российской прессы "Почта России" — 60267) или непосредственно в издательстве по факсу (499)269 4897, по e-mail: realiz@mashin.ru, на сайте www.mashin.ru (без почтовых наценок, с любого месяца, со своего рабочего места); телефоны для справок: (499) 269 6600, 269 5298**

Сдано в набор 01.07.2014. Подписано в печать 25.08.2014.
Формат 60 × 88 1/8. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 5,88. Цена свободная

Отпечатано в ООО «Канцлер»,
150008, г. Ярославль, ул. Клубная, д. 4, кв. 49



**Перепечатка материалов из журнала "Автоматизация и современные технологии" возможна при обязательном письменном согласии редакции журнала. При перепечатке материалов ссылка на журнал "Автоматизация и современные технологии" обязательна. За содержание рекламных материалов ответственность несёт рекламодатель**

**© Издательство "Машиностроение", "Автоматизация и современные технологии", 2014 г.**

УДК 681.5+681.6:004.942

**А.М. Сагдатуллин**
(Альметьевский государственный нефтяной институт)
saturn-s5@mail.ru

# РАЗРАБОТКА СХЕМЫ КОМПЛЕКСНОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА НАСОСНОЙ СТАНЦИИ

*Представлена схема комплексной автоматизации электропривода насосной станции, включающая низковольтный преобразователь частоты, повышающий и понижающий трансформаторы, синусоидальный фильтр и сглаживающий дроссель на выходе преобразователя частоты для управления высоковольтными асинхронными электродвигателями, а также гидравлическую систему с электроцентробежным насосом, датчиками, измерительными приборами и трубопроводной арматурой.*

**Ключевые слова:** система автоматизации, насосная станция, электропривод, преобразователь частоты, асинхронный электродвигатель.

*The complex automation scheme of the pump station electric drive, including the low-voltage frequency converter, raising and lowering transformers, the sinusoidal filter and smoothing throttle at the exit of the frequency converter for control of high-voltage asynchronous electric motors, and also hydraulic system with the electrocentrifugal pump, sensors, measuring devices and pipeline fittings is introduced.*

**Key words:** automation system, pump station, electric drive, frequency converter, asynchronous electric motor.

**Введение.** Технологические процессы транспорта углеводородного сырья характеризуются высокой энергоёмкостью. Основными потребителями электроэнергии в магистральных нефтепроводах (МН) являются основные и вспомогательные насосные агрегаты, расход электроэнергии которых составляет 30—65 % и более от общих затрат электроэнергии. Дожимная насосная станция (ДНС) МН осуществляет сбор, сепарацию, предварительное обезвоживание, учёт и дальнейшую транспортировку нефти и попутного газа до центральных пунктов сбора [1]. В большинстве случаев электроприводы технологических установок транспорта углеводородного сырья являются нерегулируемыми. Регулирование давления и производительности перекачки, осуществляется комбинированными способами (ступенчатым регулированием путём отключения и включения насосных агрегатов, а также эпизодическим регулированием с помощью заслонки или клапана), которые не обеспечивают режим рационального электропотребления. Рабочие машины этих установок, выбранные по максимальной производительности, значительную часть времени работают с нагрузкой меньшей, чем номинальная, т. е. превышением удельного расхода электроэнергии на транспорт перекачиваемого сырья [2].

Высоковольтные электроприводы получили широкое распространение в России и в мире за счёт более высокой эффективности при больших мощностях. Однако проблема выбора оптимальной структурной схемы высоковольтного электропривода для насосной станции остается актуальной, и существует необходимость исследования новых схем автоматизации, новых технических решений по их построению [3].

**Анализ схемы электроснабжения электропривода насосной станции системы транспорта нефтепродуктов.** Основу электроприводов ДНС составляют регулируемые и нерегулируемые высоковольтные асинхронные электродвигатели (ВАД) большой мощности (до десятков МВт). На рис. 1 представлен общий вид рассматриваемого объекта.

Объектом исследования данной работы является насосная станция (НС), включающая высоковольтные асинхронные электродвигатели (ВАД), мощностью 315 кВт и рассчитанные на напряжение 6 кВ. Задачей данной работы является создание математической модели насосной станции с частотно-регулируемым электропри-

**Рис. 1. Общий вид электроснабжения ДНС**

водом и ВАД с целью моделирования режимов работы НС [4].

На рис. 2 представлена структурная схема электроснабжения ДНС с одной ветвью автоматизации, используемая на практике в настоящее время.

Схема содержит: участок воздушной линии (ВЛ) *1*, понижающий трансформатор *2*, низковольтный преобразователь частоты (НПЧ) *5*, фильтр (Ф) *6*, повышающий трансформатор *8*, коммутационные аппараты (контакторы КМ1 *12*, КМ2 *4*, КМ3 *7* и КМ4 *9*, выключатели QF1 *11*, QF2 *13* и QF3 *3*), участки кабельных линий *10* и *15*,

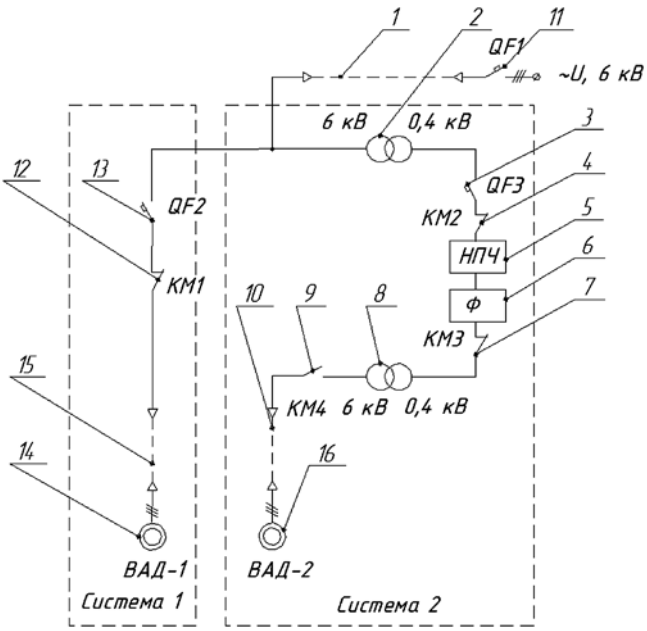



**Рис. 2. Структурная схема электроснабжения ДНС с одной ветвью автоматизации**

высоковольтные асинхронные электродвигатели ВАД-1 *14* (резервный) и ВАД-2 *16* (основной).

Технологический процесс регулирования расхода и давления на ДНС осуществляется автоматизированным участком (рис. 2, система 2) при непрерывной работе электродвигателя ВАД-2 *16* и постоянной регулировке скорости от низковольтного преобразователя частоты *5*, получающего сигналы от датчика уровня в резервуаре.

Недостатками существующей схемы являются: повышенный и неравномерный износ ВАД-2 *16*, структурная схема не поддерживает включение системы 2 прямым подключением к электрической сети, что ограничивает функциональность схемы, например, при отказе НПЧ *5*, ресурс ВАД-1 *14* не вырабатывается, но ВАД-1 *14* также требует постоянного обслуживания, а следовательно, дополнительных затрат, при прямом подключении к питающей сети происходит повышенный износ обмоток и изоляции ВАД-1 *14*, что со временем приводит к его поломке [5].

ВАД-1 *14* (рис. 2, система 1) является резервным двигателем и не используется в нормальных режимах работы. Система 1 является нерегулируемой схемой, а пуск осуществляется прямым подключением электродвигателя ВАД-1 *14* в электрическую сеть.

**Разработка схемы комплексной автоматизации насосной станции.** Целью заявляемого технического решения является комплексная автоматизация электропривода насосной станции, предполагающая обеспечение возможности управления высоковольтными асинхронными электродвигателями с помощью низковольтного преобразователя частоты, а также осуществление их прямого пуска от электрической сети, например, при поломке НПЧ или невозможности запуска основного электродвигателя по данной ветви структурной схемы с сохранением всех их возможностей.

Автоматизация резервного электродвигателя позволяет осуществлять частотный пуск (безударный или плавный пуск), а также регулировать режимы работы электропривода насосной станции, плавно распределяя нагрузку между приводами и осуществляя попеременную работу высоковольтных электродвигателей насосной станции введением алгоритма управления насосной станцией, включающей режим попеременной работы.

Поставленная цель достигается применением заявляемой схемы комплексной автоматизации

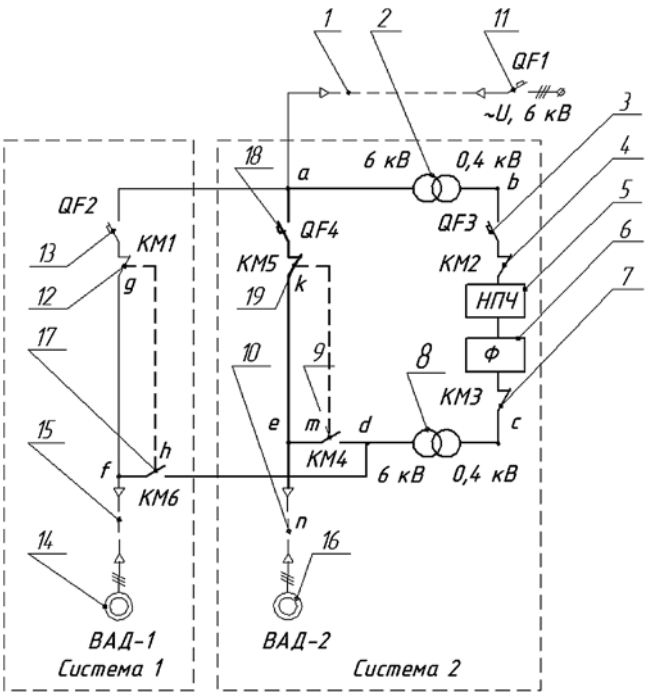



**Рис. 3. Структурная схема комплексной автоматизации электропривода насосной станции**

электропривода насосной станции. На рис. 3 представлена структурная схема комплексной автоматизации электропривода насосной станции [6].

Схема комплексной автоматизации (рис. 3) содержит: участок воздушной линии (ВЛ) *1*, понижающий трансформатор *2*, низковольтный преобразователь частоты (НПЧ) *5*, фильтр (Ф) *6*, повышающий трансформатор *8*, коммутационные аппараты (контакторы КМ1 *12*, КМ2 *4*, КМ3 *7*, КМ4 *9*, КМ5 *19*, КМ6 *17*, выключатели QF1 *11*, QF2 *13* и QF3 *3*, QF4 *18*), участки кабельных линий *10* и *15*, высоковольтные асинхронные электродвигатели ВАД-1 *14* (резервный) и ВАД-2 *16* (основной).

Новизной разработанной схемы является:

1) Введение в структурную схему комплексной автоматизации дополнительной ветви (aken), питающей ВАД-2 *16*, состоящей из коммутационной (выключателя QF4 *18*, контактора КМ5 *19*, кабеля *10*) и управляющей аппаратуры (ветви km и gh с контактором КМ6 *17*).

Это позволяет осуществлять прямой пуск с прямым подключением электродвигателя ВАД-2 *16* в электрическую сеть без использования автоматизированной ветви (abcd) введением режима непосредственного пуска ВАД-2 *16* от электрической сети и режима попеременной работы ВАД-1 *14* и ВАД-2 *16*. Данный режим заключается в равномерном распределении времени работы данных электродвигателей и попеременном переключении с помощью коммутационной аппаратуры, что позволяет равномерно распределять время работы между электродвигателями насосов в режиме попеременного включения без использования ветви автоматизации с НПЧ *5* и частотным управлением.

2) Введение в структурную схему комплексной автоматизации (abcd) дополнительной ветви (emdhf), питающей ВАД-1 *14*. Данная ветвь состоит из коммутационной и управляющей аппаратуры, что позволяет осуществлять режим непосредственного пуска ВАД-1 *14* от электрической сети и от НПЧ *5*.

3) Введение дополнительного режима работы насосной станции, реализующего функцию переключения между электродвигателями насосов. Используя ветви автоматизации (abcdme и abcdhf) с НПЧ *5* и частотное управление в режиме попеременного включения, данный режим позволяет реализовать режим попеременной работы ВАД-1 *14* и ВАД-2 *16*, а также применять режим их совместной работы при превышении уровня жидкости в резервуарах. Режим переключения ВАД управляется системой управления, включающей датчики уровня жидкости резервуаров. Это расширяет функциональность работы системы автоматизации насосной станции, позволяя управлять режимами работы основного и резервного электродвигателей от одного низковольтного преобразователя частоты *5*.

**Принцип работы предлагаемой схемы комплексной автоматизации насосной станции.** Предлагаемая схема комплексной автоматизации работает следующим образом.

Автоматизированная система электроприводов получает питание от сети 6 кВ, 50 Гц по участку воздушной линии 1. Контроль, выбор режимов работы электродвигателей ВАД-1 *14* и ВАД-2 *16* осуществляется как в автоматическом, так и в ручном режиме с помощью панели управления электроприводом насосной станции. По участку воздушной линии *1* запитывается автоматизированная ветвь (abcdmen), включающая понижающий трансформатор *2*, низковольтный преобразователь частоты (НПЧ) *5*, фильтр (Ф) *6*, повышающий трансформатор *8*, коммутационные аппараты (контакторы КМ2 *4*, КМ3 *7*, КМ4 *9*, выключатели QF1 *11*, и QF4 *18*), участок кабельной линии *10* и ВАД-2 *16*.

С помощью понижающего трансформатора *2*, напряжение понижается с 6 до 0,4 кВ для питания НПЧ *5*, который варьирует частоту и питаю-

щее напряжение после выхода с НПЧ *5* на основе широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Искажение гармоник тока и напряжения обуславливает необходимость установки фильтра (Ф) *6* в схему комплексной автоматизации между НПЧ *5* и повышающим трансформатором *8*, что позволяет получить практически синусоидальные кривые напряжения на выходе повышающего трансформатора *8*, повышающего напряжение с 0,4 до 6 кВ и запитывающего электродвигатель ВАД-2 *16*.

В случае аварийной ситуации:

1) Если уровень в резервуарах резко возрастает, система управления включает резервный электродвигатель ВАД-1 *14*, питая его по автоматизированной ветви, что позволяет исключить пусковые токи в электрической цепи, ударные моменты и перегрузки (гидроудары) в трубопроводных системах.

2) Если отказывает схема автоматизации, система управления автоматически подключает работающий в данный момент электродвигатель напрямую в сеть, реализуя прямой пуск, а попеременный режим работы попеременно включает и отключает электродвигатели ВАД-1 *14* и ВАД-2 *16*, регулируя износ оборудования.

3) Если пропадает питание в электрической сети, надежность схемы комплексной автоматизации любого из включенных электродвигателей обеспечивается подхватом скорости работающего в данный момент электродвигателя с помощью датчика скорости установленного на электродвигателях ВАД-1 14 и ВАД-2 *16*.

Промышленная применимость полезной модели определяется тем, что предлагаемый высоковольтный регулируемый электропривод переменного тока может быть изготовлен в соответствии с приведённым описанием и схемой (рис. 3) на базе известных комплектующих изделий и технологического оборудования, что обуславливает относительную доступность и дешевизну предлагаемого технического решения.

При использовании предлагаемой схемы с высоковольтным электродвигателем (например, типа ВАО 2 мощностью 315 кВт и напряжением 6 кВ), низковольтным преобразователем частоты, фильтром, понижающим и повышающим трансформаторами, ударный ток снижается на 83,75 % с системой НПЧ по сравнению с прямым пуском ВАД. Пусковой ток снижается на 66,15 % с системой НПЧ по сравнению с прямым пуском ВАД. Пусковой момент снижается на 54,55 % с системой НПЧ по сравнению с прямым пуском ВАД. Критический момент снижается на 32 % с системой НПЧ по сравнению с прямым пуском ВАД. Время выхода на рабочую угловую скорость увеличивается на 125 % с системой НПЧ. Время окончания переходного процесса увеличивается на 42,86 % с системой НПЧ по сравнению с прямым пуском ВАД [7].

**Выводы.** Предлагаемая схема гарантирует высокую работоспособность, снижение износа оборудования, равномерное распределение наработки электродвигателей, снижение стоимости оборудования за счет питания от одного НПЧ и его долговечность, уменьшение влияния схемы на питающую сеть, плавный пуск, торможение и регулирование режимов работы электродвигателей, оптимизацию режимов их работы при сохранении высоких качественных характеристик и повышении коэффициента полезного действия всей системы в целом.

***Библиографические ссылки***

1. **Тугов В.В., Пищухин А.М., Трибунский А.В.** Оптимальное управление готовностью системы сбора и подготовки нефти к использованию // Автоматизация и современные технологии. 2010. № 3. С. 3—5.

2. **Каяшев А.И., Емекеев А.А., Сагдатуллин А.М.** Анализ энергоэффективности систем автоматизации высоковольтного электропривода насосной станции // Газовая Промышленность. 2013. № 699. С. 47—50.

3. **Каяшев А.И., Емекеев А.А., Сагдатуллин А.М.** Аналитическое исследование системы автоматизации электропривода насосной станции // Нефтяное хозяйство. 2014. № 1. С. 94—97.

4. **Сагдатуллин А.М.** Моделирование пуска погружного электродвигателя при выводе на рабочий режим установки электроцентробежного насоса // Бурение и нефть. 2014. № 2. С. 27—29.

5. **Сагдатуллин А.М.** Анализ подходов к построению автоматизированных систем нефтегазодобывающего предприятия // Ползуновский Вестник. 2013. № 4—2. С. 78—83.

6. **Сагдатуллин А.М., Емекеев А.А.** Схема комплексной автоматизации электропривода насосной станции // Патент России № 136504, заявка № 2013131974/07 (047770). Дата приоритета: 09.07.2013.

7. **Сагдатуллин А.М.** Система управления высоковольтным асинхронным электроприводом // Свидетельство № 2014612227. Зарегистрировано 21 февраля 2014 г. М.: Роспатент, 2014.

УДК 621.757

**Е.И. Воробьёв,** д-р техн. наук, проф., **Д.И. Хатунцев**
(Институт Машиноведения РАН (г. Москва))
katev@bk. ru

# ПРЯМАЯ И ОБРАТНАЯ ЗАДАЧА КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ТОЧНОСТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ

*Рассмотрены вопросы кинематической точности манипуляционных промышленных роботов. Получены зависимости, связывающие суммарную погрешность позиционирования робота через погрешности координат, параметры программируемого манипулятора и его положение в рабочей зоне. Поставлена и решена прямая и обратная задачи кинематической точности манипуляционных роботов.*

**Ключевые слова:** кинематическая точность, погрешность позиционирования, линейная и угловая ошибки программирования, прямая и обратная задачи кинематической точности.

*Kinematical accuracy questions of manipulation industrial robots are considered. The dependences connecting a total positioning error of the robot through coordinates errors, the programmable manipulator parameters and robot disposition in the working zone are received. It is raised and solved direct and return task of the manipulation robots kinematical accuracy.*

**Key words:** kinematical accuracy, positioning error, linear and angular programming errors, direct and return task of kinematical accuracy.

При выполнении роботом различных операций важное значение имеет реализация заданных положений схвата с необходимой точностью.

Точность позиционирования робота оценивается его погрешностью позиционирования, отклонением фактического положения выходного звена исполнительного механизма от установившегося значения.

Погрешность позиционирования может оцениваться в линейных и угловых величинах [1, 2].

Точность позиционирования промышленных роботов является его важнейшей и комплексной характеристикой, от которой непосредственно зависит выполнение заданной технологической операции.

Погрешность позиционирования робота зависит от многих фактов: точности обработки системой управления, управляемых, обобщённых координат исполнительного механизма, точности обработки деталей конструкции, деформации звеньев основного и передаточного механизмов и факторов.

Ниже рассмотрим одну из важнейших составляющих точности позиционирования робота — кинематическую точность робота.

**Кинематическая точность робота.** Под кинематической точностью робота будем понимать ошибку (погрешность) положения выходного звена исполнительного механизма робота, возникающую за счёт ошибок обработки приводами и системы управления программных значений обобщённых управляемых координат.

Для большинства промышленных роботов средней грузоподъёмности от 10 до 50 кг эти ошибки являются основными, влияющими на суммарную погрешность позиционирования. Под программируемыми значениями обобщённых координат будем понимать их значения, найденные для заданного положения захватного устройства робота. Эти значения обычно определяются решением обратных задач о положениях манипулятора [2]. Действительные значения обобщённых координат манипулятора отличаются от про-

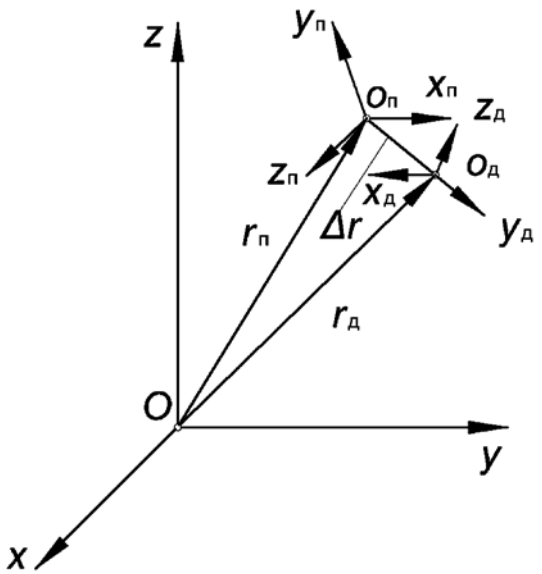



**Рис. 1. К расчёту ошибки позиционирования робота**

граммных на величину $\Delta q_i$ ($i = 1, ..., n$), где $n$ — число степеней свободы системы, поэтому действительное положение схвата отличается от заданного. Будем различать линейную и угловую ошибки робота. Для определения этих ошибок свяжем систему координат $Oxyz$ с заданным программным положением захватного устройства $O_п x_п y_п z_п$ и с отличающимся от заданного действительным положением $O_д x_д y_д z_д$ (рис. 1).

Величину $\overline{\Delta r} = \overline{r_п} - \overline{r_д}$ будем называть линейной ошибкой манипулятора, а угол, на который следует повернуть систему $O_i x_i y_i z_i$, чтобы сделать её оси параллельными соответствующим осям системы $O_j x_j y_j z_j$, будем называть угловой ошибкой манипулятора. Такой поворот всегда возможен на основе известной теоремы Эйлера—Даламбера [3].

**Линейная ошибка манипулятора.** Радиус-вектор произвольной точки захватного устройства можно записать в виде:

$$\overline{\Delta r} = \overline{r}(q_i),\ i = 1, ..., n, \tag{1}$$

где $n$ — число степеней подвижности манипулятора.

Продифференцировав выражение (1), получим:

$$d\overline{r} = \sum_{i=1}^{n} \frac{\partial \overline{r}}{\partial q_i} dq_i. \tag{2}$$

Заменяя дифференциалы конечными приращениями, определим линейную ошибку:

$$\overline{\Delta r} = \sum_{i=1}^{n} \frac{\partial \overline{r}}{\partial q_i} \Delta q_i, \tag{3}$$

где $q_i$ — ошибки приращённых координат.

Координаты вектора $\overline{r}$ в неподвижной системе координат можно определить с использованием умножения столбца координат точки схвата в системе координат, связанной со схватом на матрицы, определяющие относительное положение звеньев, следующим образом:

$$\|\overline{r}\| = M_1, M_2, ..., M_n, \|\overline{r_n}\|, \tag{4}$$

где $\|\overline{r}\|$ — столбец координат вектора $\overline{r}$ в неподвижной системе координат; $\|\overline{r_n}\|$ — столбец координат точки схвата в системе координат, связанной со схватом; $M_i$ ($i = 1, ..., n$) — матрицы перехода четвёртого порядка от звена $i$ и звена $i_{-1}$.

При большом числе степеней свободы выражения для вектора $\overline{r}$ оказываются весьма громоздкими. Кроме того, для получения выражения линейной ошибки эти выражения необходимо дифференцировать, что является трудоёмким процессом. Поэтому получим формулу для определения линейной ошибки, не содержащую операцию дифференцирования. Считая векторы относительных угловых скоростей свободными, запишем выражение вектора линейной скорости точки схвата в виде:

$$\overline{v} = \sum_j \overline{\omega_j} \times \overline{r_{jn}} + \sum_i \overline{v_i}, \tag{5}$$

где $j$ — номер вращательной пары; $i$ — номер поступательной пары; $\omega_j$ — линейная скорость вращательной пары; $v_i$ — линейная скорость поступательной пары.

В свою очередь

$$\overline{\omega_j} = \dot{\varphi}\,\overline{e_j},\ \text{а}\ \overline{v_i} = \dot{s}_i\,\overline{e_i},$$

где $\overline{e_j}$, $\overline{e_i}$ — орты соответственно вращательных и поступательных пар; $\dot{\varphi}$, $\dot{s}_i$ — углы поворотов и перемещения в поступательных парах, определяемые по формулам:

$$\dot{\varphi} = \frac{d\varphi_j}{dt};\ \dot{s}_i = \frac{ds_i}{dt}. \tag{6}$$

Тогда на основании формулы (5) получим:

$$d\overline{r} = \sum_j d\varphi \overline{e_j} \times \overline{r_j} + \sum_i ds_i \overline{e_i}, \tag{7}$$

или в конечной форме выражение для линейной ошибки манипулятора запишем в виде:

$$\Delta\overline{r} = \sum_j \Delta\varphi_j \overline{e_j} \times \overline{r_j} + \sum_i \Delta s_i \overline{e_i}, \tag{8}$$

где $\Delta\varphi_j$, $\Delta s_i$ — ошибки во вращательных и поступательных парах.

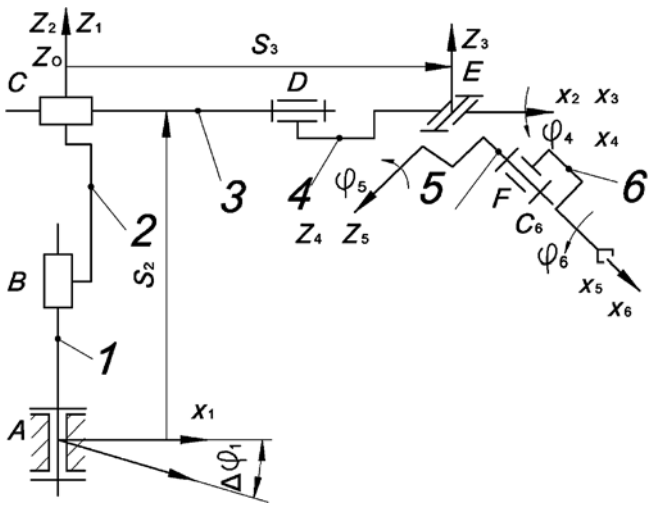



**Рис. 2. Схема компоновки манипулятора:**
*1—6* — кинематические пары манипулятора; *A*, *B*, *C*, *D*, *E*, *F* — подвижные звенья манипулятора

В частности ошибка положения выходного звена модульного робота РПМ-25, показанного на рис. 2, может быть представлена в виде:

$$\overline{\Delta r_6} = \Delta\varphi_6(\overline{e_1} \times \overline{r_{16}}) + \Delta s_2\overline{e_2} + \Delta s_3\overline{e_3} + \\ + \Delta\varphi_4(\overline{e_4} \times \overline{r_{46}}) + \Delta\varphi_5(\overline{e_5} \times \overline{r_{56}}) + \Delta\varphi_6(\overline{e_6} \times \overline{r_6}), \quad (9)$$

где $\overline{r_{46}}$, $\overline{r_{56}}$, $\overline{r_6}$ — радиус-векторы, определяющие положение точки схвата, относительно центров пар $D$, $E$ и $F$ соответственно.

Угловую ошибку и положение твёрдого тела в пространстве (как одну величину) можно определить как вектор конечного поворота, считая угол поворота малым. Тогда на основании известного правила сложения малых поворотов твёрдого тела можно записать:

$$\overline{\Delta\varphi} = \sum_j \overline{\Delta q_j} = \sum_j \Delta q_j \overline{e_j}, \quad (10)$$

где $\Delta q_j$ — ошибка обобщённой координаты во вращательной кинематической паре; $\overline{e_j}$ — орта оси шарнира $j$.

Так как векторы $\Delta q_j$ и $\overline{e_j}$ заданы в системах координат звеньев $j$, последняя формула будет иметь вид:

$$\overline{\Delta\varphi} = \sum_j \prod L_j \Delta q_j \overline{e_j}, \quad (11)$$

где $L_j$ — матрица перехода третьего порядка от системы номера $j$ к системе $j_{-1}$.

Возможность выполнения роботом заданной технологической операции определяется соотношением ошибки позиционирования задаваемой операцией и суммарной ошибкой позиционирования робота.

**Обратная задача кинематической точности.** Практически важной является задача распределения ошибки позиционирования обычно задаваемой выполняемой технологической операцией на допустимые ошибки отработки приводами и системами управления обобщённых координат манипулятора.

В случае модульных промышленных роботов речь идет о назначении допустимых ошибок позиционирования модулей.

Эта задача является достаточно неопределённой, так как заданную точность позиционирования робота можно обеспечить, устанавливая по-разному предельные ошибки модулей.

Одно из решений может быть построено на основе принципа равного влияния ошибок модулей на ошибку позиционирования схвата.

Пусть величина предельной абсолютной погрешности робота задана [4]:

$$\Delta r \leqslant \sum_{j=1}^{n} \left|\frac{\partial r}{\partial q_j}\right| |\Delta q_j|. \quad (12)$$

Потребуем, чтобы все слагаемые суммарной погрешности позиционирования от ошибок модулей были равны, тогда:

$$\left|\frac{\partial r}{\partial q_1}\right| \Delta q_1 = \left|\frac{\partial r}{\partial q_2}\right| \Delta q_2 = \left|\frac{\partial r}{\partial q_3}\right| \Delta q_3 = \\ = \left|\frac{\partial r}{\partial q_n}\right| \Delta q_n = \frac{\Delta r}{n}, \quad (13)$$

где $\Delta q_1$, $\Delta q_2$, $\Delta q_3$, $\Delta q_n$ — ошибки обобщённых координат; $\overline{r}$ — радиус-вектор произвольной точки захватного устройства.

Отсюда

$$\Delta q_i = \frac{\Delta r}{n\left|\frac{\partial \overline{r}}{\partial q_n}\right|}; \ (i = 1, ..., n). \quad (14)$$

Последняя формула позволяет назначить требование по точности на обработку приводами значений обобщённых координат манипулятора.

Сформулированы прямая и обратная задачи точности промышленного робота. Вводится понятие "кинематическая точность" робота, выясняется механический смысл понятий "линейная ошибка" и "угловая ошибка" робота. Получены аналитические выражения для линейной и угловой ошибок робота. Приведён пример решения прямой и обратной задач точности робота.

***Библиографические ссылки***

1. **Козырев Ю.П.** Промышленные роботы: Справочник. М.: Машиностроение, 1983. 376 с.

2. **Воробьёв Е.И., Козырев Ю.П., Царенко В.И.** Промышленные роботы агрегатно-модульного типа. М.: Машиностроение, 1988. 240 с.

3. **Лурье А.И.** Аналитическая механика. М.: Физматгиз, 1961. 824 с.

4. **Демидович Б.П., Марон И.А.** Основы вычислительной математики, М.: Физматгиз, 1963. 660 с.

УДК 681.3:681.5

**А.Б. Петроченков,** канд. техн. наук, доц., **А.В. Кычкин,** канд. техн. наук, **А.А Темичев**
(Пермский национальный исследовательский политехнический университет)
Andrey.Temichev@yandex.ru

# ИНТЕГРИРОВАННАЯ ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ ПОДДЕРЖКА РАСПРЕДЕЛЁННОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ЭНЕРГОДАННЫХ

*Предложены метод и программное средство диагностической поддержки распределённой системы мониторинга энергоданных JEQTS, позволяющие проводить имитацию регистрирующих узлов с поддержкой потоков ошибок в каналах мониторинга, их подключение к системе и нечёткую оценку полученных состояний.*

**Ключевые слова**: мониторинг, энергоданные, диагностика, распределённая система, My-JEVis, регистратор, нечёткая кластеризация.

*The methods and software for diagnostic support of the energy date JEQTS distributed monitoring system, permitting recording unit simulation with errors current support in the monitoring canals, its connection to system and received states fuzzy valuation are proposed.*

**Key words:** monitoring, energy data, diagnostics, distributed system, My-JEVis, datalogger, fuzzy clustering.

**Введение.** Ключевым направлением повышения энергетической эффективности в промышленности, жилищно-коммунальном хозяйстве (ЖКХ), транспорте и других энергоёмких секторах антропогенной деятельности является улучшение качества энергопотребителей, генераторов, сетевой инфраструктуры и связанных с ними процессов. Поэтому важную роль играют системы долгосрочного мониторинга и методы автоматического контроля исследуемых параметров.

Применение систем мониторинга повышает достоверность и оперативность обработки энергоданных — измеряемых (регистрируемых с помощью специальных приборов учёта) и вычисляемых величин, характеризующих состояния объектов энергетики. Мировая практика доказывает это высокой энергетической эффективностью отдельных автоматизированных зданий, производственных площадок и др. Мониторируемые данные таких объектов постоянно анализируются, результаты используются специалистами при оценке состояния оборудования и качеств его эксплуатации. Накопленный опыт позволяет вовремя настраивать, оптимизировать, модернизировать, ремонтировать или проводить замену элементов энергетической системы предприятия, поддерживая энергопотребление на технологически обоснованном уровне [1].

Несмотря на общую глобализацию и интеллектуализацию энергетических сетей использование систем мониторинга в составе наиболее энергоэффективных проектов носит локальный характер. Их масштабирование или применение в других приложениях крайне затруднительно. Кроме того, отечественная и зарубежная практика энергосбережения показывает, как высока стоимость ошибок принятия решений по неточным или несвоевременным исходным данным, получаемым в результате сбоев в работе регистраторов и передатчиков.

Данная ситуация свидетельствует о несоответствии между задачами энергосбережения и состоянием инструментальных средств мониторинга. Отсюда возникает потребность в исследовании и разработке технологий автоматического диагностирования, встраиваемых в системы мониторинга энергоданных, обеспечивающих возможности наращивания систем и гарантирующих функционирование при распределённых архитектурах.

**Архитектура распределённой системы мониторинга энергоданных на примере продукта My-JEVis.** Рассмотрим наиболее распространённую архитектуру распределённой системы мониторинга энергетических показателей на примере продукта My-JEVis компании Envidatec GmbH (Германия). Данное техническое решение, архитек-

тура которого приведена на рис. 1, обеспечивает автоматический энергоучёт, контроль показателей энергопотребления объектов, что особо значимо при выявлении нерациональных расходов энергоресурсов. Сбор данных в My-JEVis является комплексной операцией удалённого взаимодействия с серверами системы через защищённые каналы связи, сети Интернет и включает автоматизированные (с участием оператора и персонального компьютера (ПК)) и автоматические процедуры [2].

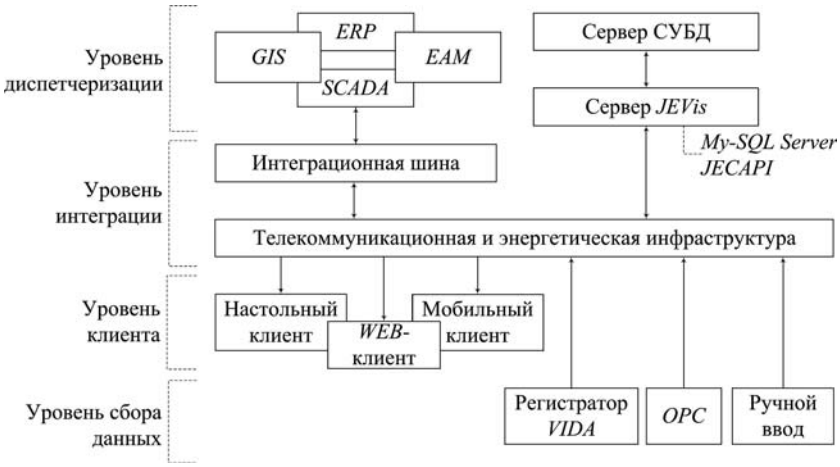



**Рис. 1. Архитектура системы мониторинга энергоданных продукта My-JEVis:** *GIS* — геоинформационная система; *ERP* — система планирования ресурсов предприятия; *EAM* — система управления активами предприятия; *SCADA* — система диспетчерского управления и сбора данных

Автоматический сбор данных реализуется на основе измерительных контроллеров — регистраторов VIDA либо с применением интерфейсов OPC (OLE for Process Control).

My-JEVis свойственны проблемы, аналогичные проблемам других известных систем мониторинга. Сеть регистраторов и ПК сбора данных имеет большую географию и постоянно растёт за счёт увеличения количества исследуемых точек и наблюдаемых энергетических объектов. В этом случае обеспечение точности, адекватности и своевременности получения данных в произвольный момент времени при заданном количестве регистраторов, случайном состоянии сети и возможном наличии ошибок в каналах связи, является сложной процедурой.

Наряду с достоверностью регистрируемых параметров целесообразно обеспечить и точность вычисляемых величин. Такие характеристики недоступны для прямых измерений, но являются определяющими при корректном принятии решений и обеспечении эффективной эксплуатации энергообъекта. В отличие от измеряемых параметров, погрешность которых определяется погрешностью измерительного тракта, определение точности расчётных параметров ещё более затруднительно.

**Формализованная модель интегрированной диагностической поддержки распределённой системы мониторинга энергоданных.** Известно, что для повышения эффективности функционирования технических объектов применяют автоматическое диагностирование их состояния. В связи с этим для решения приведённых выше проблем распределённых систем мониторинга является перспективным подход к оценке их качества на основе интегрированной диагностической поддержки. В качестве решения для системы My-JEVis предлагается сервис JEQTS (JEVis Quality Test Systems), суть которого заключается в программном тестировании процедур выявления и исправления некорректных, несвоевременных или утерянных энергоданных, оценке текущей работоспособности системы мониторинга, её отказоустойчивости и потенциале масштабирования с сохранением работоспособного состояния [3]. В качестве источника эталонных данных, в том числе данных с шаблонными ошибками, выступает масштабируемая имитационная сеть регистраторов, реализующая каналы связи и потоки ошибок. Обрабатывая имитируемые классы регистраторов и формируемые в каналах мониторинга ошибки, осуществляется классификация состояния My-JEVis.

Для формализации модели интегрированной диагностической поддержки распределённой системы мониторинга энергоданных с помощью встраиваемого в My-JEVis сервиса JEQTS проведём её теоретико-множественное описание. Выделим в качестве основных следующие множества элементов My-JEVis и JEQTS:

$\tilde{V} = V \cup \underline{V}$ — множество источников данных, рассматриваемых в системе мониторинга с диагностической поддержкой; при этом $V = \{V_1, V_2, ..., V_i\}$ — множество установленных регистраторов VIDA системы мониторинга My-JEVis; $\underline{V} = \{\underline{V}_1, \underline{V}_2, ..., \underline{V}_i\}$ — множество регистраторов, имитируемых JEQTS, с которыми система мониторинга осуществляет взаимодействие;

$\tilde{C} = C \cup \underline{C} \cup \underline{\underline{C}}$ — множество каналов связи, по которым осуществляется взаимодействие элементов в рамках системы мониторинга с интегрированной диагностической поддержкой; при этом $C = \{C_1, C_2, ..., C_i\}$ — множество каналов

сбора данных с установленных регистраторов VIDA системы мониторинга My-JEVis; $\underline{C} = \{\underline{C}_1, \underline{C}_2, ..., \underline{C}_j\}$ — множество каналов сбора данных с имитируемых регистраторов JEQT*S*; $\underline{\underline{C}} = \{\underline{\underline{C}}_1, \underline{\underline{C}}_2, ..., \underline{\underline{C}}_j\}$ — множество каналов управления регистраторами, имитируемыми JEQTS;

$\tilde{F} = F \cup \underline{F}$ — множество информационных ресурсов (сигналы, данные), используемых при распределённом мониторинге; при этом $F = \{F_1, F_2, ..., F_l\}$ — множество ресурсов, регистрируемых $\tilde{V}_x$, которые передаются и сохраняются на сервере JEVis; $\underline{F} = \{\underline{F}_1, \underline{F}_2, ..., \underline{F}_n\}$ — множество ресурсов, сохраняемых на сервере JEQTS;

$D = \{D_1, D_2, ..., D_k\}$ — множество операций, выполняемых в системе мониторинга и характеризующих взаимодействие с регистратором $\tilde{V}_x$;

$M = \{M_1, M_2, ..., M_r\}$ — множество возможных структур диагностической поддержки, в качестве которых выделяются структуры математического, алгоритмического, программного, информационного обеспечения, реализуемого с помощью *TCU* — управляющего модуля системы тестирования.

Опираясь на положения теории множеств, построим обобщённую многоструктурную модель распределённой системы мониторинга с интегрированной диагностической поддержкой, связывающую перечисленные выше множества:

$$A = <\tilde{V}, \tilde{C}, \tilde{F}, D, M, I, K, S>, \quad (1)$$

где $I = \{I_1, I_2, ..., I_m\}$ — множество измерительных ситуаций в моменты времени $t \in T$; $K = \{K_1, K_2, ..., K_o\}$ — множество критериев оценки результатов измерений; $S = \{S_1, S_2, ..., S_p\}$ — множество известных допустимых состояний системы мониторинга.

С позиций теории графов построим граф-ориентированную архитектуру системы, объединяющую ключевые элементы модели (1) (рис. 2).

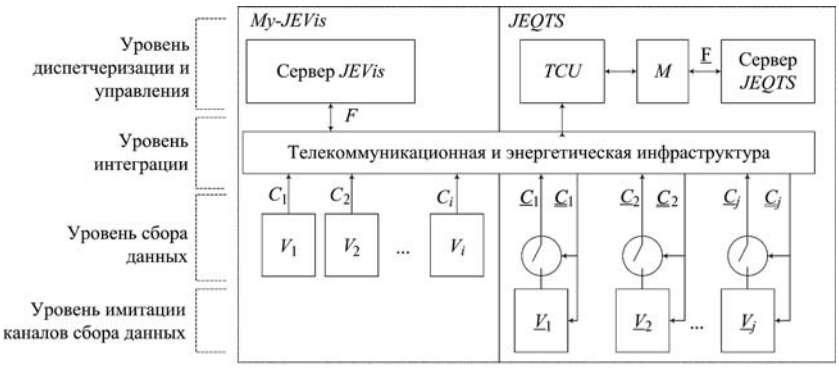



**Рис. 2. Архитектура интегрированной диагностической поддержки распределённой системы мониторинга энергоданных**

При построении модели (1) и архитектуры интегрированной диагностической поддержки распределённой системы мониторинга должны учитываться критерии стоимости, вычислительные ресурсы и др. согласно: $(K_{cost}, K_{cpu}, K_x) \to \min$, а критерии производительности, надёжности, времени автономной работы и др. согласно: $(K_p, K_n, K_t, K_y) \to \max$ [4].

Формальную постановку задачи диагностической поддержки с помощью JEQTS запишем, как отображение *f* декартова произведения множеств значений и характеристик $a_x$ на множество состояний системы мониторинга:

$$f: \prod_{x=1}^{m} a_x \to S, \quad (2)$$

где $a_x \in A$; *f* — функция диагностирования, ставящая в соответствие множеству характеристик системы мониторинга значение её состояния.

**Математическое описание энергоданных имитируемой сети регистраторов.** Конкретизируем приведённую обобщённую модель. Для этого дадим математическое описание данных имитируемой сети регистраторов распределённой системы, а для общего случая введём в каналы мониторинга источник ошибок. Будем использовать следующие обозначения: $t_{csr}$ — период измерений вектора параметров $F_x = \{F_{x1}, F_{x2}, ..., F_{xN}\}$, где $N$ — число одновременно регистрируемых энергопараметров; $t_p$ — период передачи пакета данных $F_{1..x}$ с источника $\tilde{V}_x$ на сервер JEVis, при этом $x = t_p/t_{csr}$; $v_m$ — заданное максимальное значение $F_{ij}$; $e_k$ — булевый индикатор ошибки *k*-го типа.

Тогда множественную модель пакета энергоданных *F*, поступающих в систему с регистратора $\tilde{V}_x$ за время $t_p$, с учётом возможных ошибок можно представить в виде:

$$F = e_1 \bigcup_{i=1}^{x} \left[ \bigcup_{j=1}^{N} F_{ij} d_{ij}(e_{2ij}, e_{3ij}, ..., e_{kj}) \right], \quad (3)$$

где $x = t_p/t_{csr}$.

Значение функции $d_{ij}(e_{2ij}, e_{3ij}, ..., e_{kij})$ представляет собой вектор ошибок, накладываемый на измерения за время $t_{csr}$. Значение функции *F* — это совокупность всех векторов измерений, сформированных за время $t_p \in t$:

$$F(t) \subset \begin{cases} \text{Данные без ошибок, если} \\ e_{1ij} \,\&\, e_{2ij} \,\&\, ... \,\&\, e_{kij} = 0; \\ \text{Данные с ошибками, если} \\ e_{1ij} \vee e_{2ij} \vee ... \vee e_{kij} = 1. \end{cases}$$

Булевы индикаторы для наиболее распространённых ошибок $e_1$, $e_2$, $e_3$, $e_4$ опишем с позиций теории вероятности:

$$e_1 = \begin{cases} 0, \text{ если передача данных прошла успешно,} \\ 1, \text{ если был сбой при передаче данных;} \end{cases}$$

$$e_2 = \begin{cases} 0, \text{ если } t_{csr} \text{ не изменяется в течение } t_p, \\ 1, \text{ если } t_{csr} \text{ изменяется в течение } t_p; \end{cases}$$

$$e_3 = \begin{cases} 0, \text{ если } F_{ij} \leqslant v_m \text{ в течение } t_p, \\ 1, \text{ если } F_{ij} \geqslant v_m \text{ в течение } t_p \text{ хотя бы} \\ \text{один раз.} \end{cases}$$

Вероятность ошибки 1 — "сбой передачи данных по каналу связи", вызванной отказом сети мониторинга как резервируемой системы, запишем:

$$P_{e_1} = 1 - (1 - [1 - P(t)]^{m+1}) = [1 - P(t)]^{m+1},$$

где $P(t) = e_p^{-\lambda t}$ — вероятность безотказной работы нерезервированной системы при экспоненциальном законе распределения надёжности; $m$ — кратность резервирования.

Вероятность ошибки 2 — "нарушение периода измерений параметров энергетического объекта", запишем в виде:

$$P_{e_2} = 1 - \left[1 - \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t_{csr}}{t_p} - 1}\right] = 1 - \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t_{csr}}{t_p} - 1}.$$

Такой же вероятностью может характеризоваться и появление ошибок, связанных с неправильно отформатированным временным периодом снятия показаний, а также ошибок типа 3 — "превышением допустимого значения измеряемой величины".

Как правило, ошибки в системе мониторинга, функционирующей на пределе своих возможностей, комбинируются, что также можно описать математически. Например, вероятность одновременного проявления нескольких совместных, но независимых ошибок можно записать в виде:

$$P\left(\sum_{i=1}^{k} e_i\right) = 1 - \prod_{i=1}^{k} (1 - P_{e_i}).$$

**Распознавание состояний распределённой системы мониторинга.** Система My-JEVis в каждый момент времени $t \in T$ может находиться только в одном состоянии $S_i$ из множества $S$

**Состояния системы My-JEVis и их характеристики**

| Класс | Наименование | Характеристика | Множество параметров модели (1), соответствующих состоянию |
|---|---|---|---|
| $S_1$ | Простой | Сервер и сеть не загружены | $I = \{a_1, a_2, ..., a_{i1}\}$, где $i_1 = \overline{1, n_1}$ |
| $S_2$ | Низкая нагрузка | Сервер и сеть загружены менее 30 % | $LL = \{a_1, a_2, ..., a_{i2}\}$, где $i_2 = \overline{1, n_2}$ |
| $S_3$ | Средняя нагрузка | Сервер и сеть загружены на 30—70 % | $ML = \{a_1, a_2, ..., a_{i3}\}$, где $i_3 = \overline{1, n_3}$ |
| $S_4$ | Высокая нагрузка | Сервер и сеть загружены более 70 % | $HL = \{a_1, a_2, ..., a_{i4}\}$, где $i_4 = \overline{1, n_4}$ |
| $S_5$ | Авария | Сбой в работе сервера и сети | $C = \{a_1, a_2, ..., a_{i5}\}$, где $i_5 = \overline{1, n_5}$ |

(рис. 3). Состояние системы характеризуется оценкой комплекса параметров, в том числе загрузкой сети, использованием базы данных, вычислительных ресурсов сервера и т. д. с помощью типовых утилит администрирования. Поведение параметров, влияющих на состояние My-JEVis, обуславливается изменением количества одновременно функционирующих регистраторов и характеристик потоков ошибок в каналах мониторинга.

На графе переходов состояний используются обозначения, приведённые в таблице.

Формируя множества параметров модели (1), можно создать условия нахождения системы в том или ином состоянии или вызвать переход из одного состояния в другое. Решив эту задачу, определим условия наблюдаемых состояний системы, т.е. получим искомую функцию диагностирования (2).

Так как данные о характеристиках состояния системы носят расплывчатый характер, для рас-

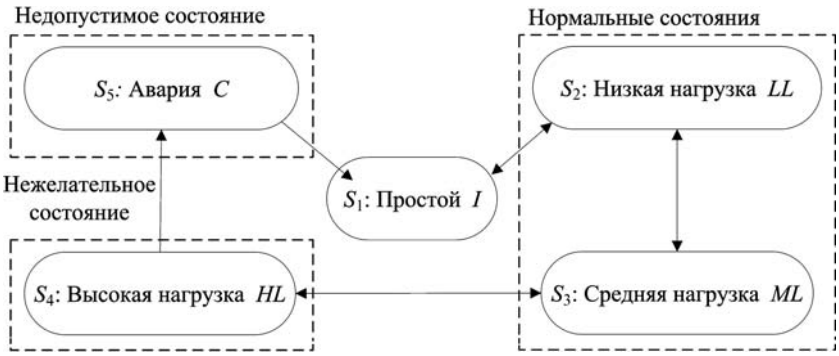



**Рис. 3. Граф переходов состояний системы My-JEVis**

познавания применим метод нечёткой кластеризации, имеющей высокую эффективность в различных приложениях диагностики и измерений [5]. Работа интегрированной диагностической поддержки JEQTS будет заключаться в следующем.

На первом этапе осуществляется формирование эталонных классов имитационной сети регистраторов и ошибок в каналах мониторинга с изменяемыми настройками и характеристиками, описываемыми в выражении (3). Полученные параметры системы мониторинга образуют матрицу исходных структур $A$ модели (1) размерности $i \times n$:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{i1} & a_{i2} & \dots & a_{in} \end{bmatrix},$$

где $i$ — количество измерительных ситуаций (мощность множества объектов кластеризации); $n$ — количество признаков системы мониторинга, определяемых составом регистраторов и параметрами ошибок каналов связи согласно выражению (3).

Имитируемые сети автоматически подключаются к системе мониторинга. После инициализации устройств My-JEVis начинает с ними взаимодействовать, передавать данные, проводить их обработку, обнаруживать ошибки и т. д., вследствие чего изменяется нагрузка на сервер и сеть. Сервис JEQTS, варьируя параметры системы мониторинга, будет формировать ситуации, когда система может переходить из одного состояния в другое в соответствии с указанными в таблице характеристиками. В этом случае под мерой близости двух состояний системы будем понимать расстояние между векторами признаков — параметров модели (1). Тогда метод нечёткой кластеризации позволит описать принадлежность параметров модели системы к нескольким или всем состояниям одновременно с различной степенью [6].

Структуру состояний опишем матрицей принадлежности $M$ размерностью $c \times i$:

$$M = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & \dots & m_{1i} \\ m_{21} & m_{22} & \dots & m_{2i} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ m_{c1} & m_{c2} & \dots & m_{ci} \end{bmatrix},$$

где $m_{xy}$ — степень принадлежности $x$-го набора признаков системы $y$ — состоянию $S$, одному из пяти известных (см. табл.).

В ходе нечёткой кластеризации множеств параметров модели системы мониторинга будет проводиться минимизация целевой функции $J$, описывающей сумму расстояний от векторов характеристик до центров кластеров с соответствующими степенями принадлежности [6]:

$$J = \sum_{x=1}^{c} \sum_{y=1}^{i} (m_{xy})^w d(v_x, a_y),$$

где $d(v_x, \alpha_y)$ — Евклидово расстояние между $y$-м вектором характеристик $\alpha_y = (\alpha_{y1}, \alpha_{y2}, ..., \alpha_{ym})$ и $x$-м центром кластера $v_x = (v_{x1}, v_{x2}, ..., v_{xn})$; $w \in (1, \infty)$ — экспоненциальный вес, определяющий нечёткость кластеров (самая большая размытость при $w \to \infty$, при этом $m_{xy} = \frac{1}{c}$, т. е. все векторы признаков распределены по кластерам с одинаковой степенью, примем $w = 2$).

Матрица принадлежности должна удовлетворять следующим условиям:

$$m_{xy} \in [0, 1];$$

$$\sum_{x=1}^{c} m_{xy} = 1, x = \overline{1, i},$$

т. е. каждый вектор признаков системы должен быть охарактеризован принадлежностью ко всем известным состояниям;

$$0 < \sum_{y=1}^{i} m_{xy} < i, x = \overline{1, c},$$

т. е. ни один кластер состояний не должен быть пустым или содержать все наблюдения.

Координаты центров кластеров определяются по формуле:

$$v_{xk} = \frac{\sum_{y=1}^{i} (m_{xy})^w x_{yk}}{\sum_{y=1}^{i} (m_{xy})^w}, k = \overline{1, n}.$$

Для минимизации критерия $J$ используется алгоритм нечётких с-средних. В результате разбиения получим карту соответствий векторов параметров состояниям системы. Полученная зависимость может служить одной из форм функции диагностирования My-JEVis и обеспечить многозначный вывод её состояния в зависимости от числа одновременно функционирующих

регистраторов, а также возможных ошибок в каналах мониторинга.

С помощью сформированной диагностической карты определить актуальное состояние в реальной ситуации не очень трудно. Для этого необходимо получить информацию о количестве одновременно функционирующих регистраторов, получить числовые характеристики потоков ошибок согласно модели (3). Затем необходимо решить задачу классификации, т. е. определить, к какому классу состояний *S* будет относиться исследуемое множество параметров системы.

**Заключение.** На основании приведённых математических моделей реализованы подпрограммы JEQTS на языке программирования JAVA с использованием инструментальной среды для математических исследований GNU Octave. Это свободно распространяемый аналог более известного продукта — Matlab.

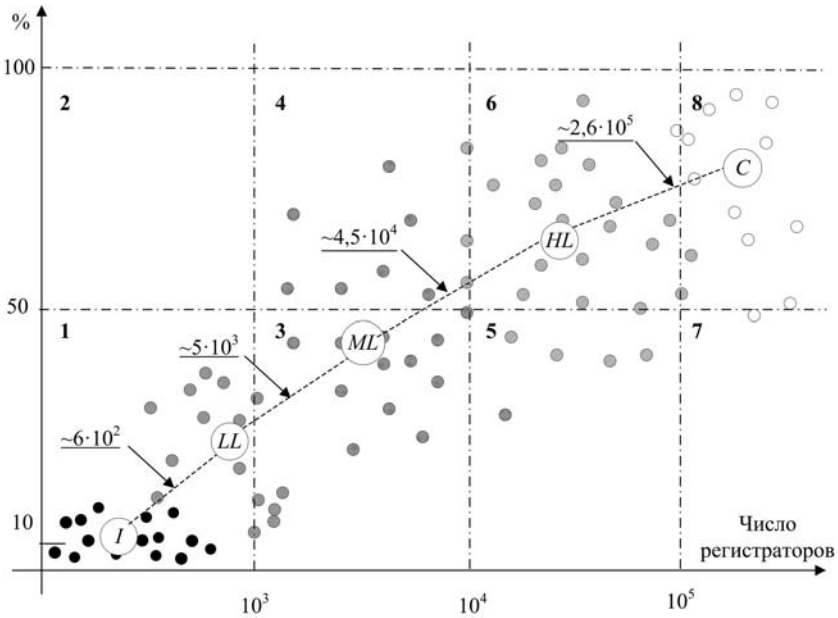



**Рис. 4. Результат нечёткой кластеризации параметров системы мониторинга My-JEVis, имитируемых JEQTS**

Было проведено более 100 тестовых испытаний распределённой системы мониторинга энергоданных My-JEVis с различными имитируемыми параметрами структуры [7]. В результате кластеризации предложенным методом получены числовые данные о соответствии каждого набора параметров к одному из состояний. Результаты приведены на рис. 4.

По оси абсцисс указано число имитируемых регистраторов, по оси ординат — процентное соотношение пакетов данных с ошибками к общему числу формируемых пакетов. Между центрами кластеров, обозначенных согласно таблице как *I*, *LL*, *ML*, *HL* и *C*, показано число регистраторов.

Из результатов расчёта видно, какие наборы параметров способны значительно повлиять на работу My-JEVis, переведя её в соответствующее состояние. Также видно, что максимальное число регистраторов, при которых происходит переход в аварийное состояние, составляет около $10^5$, что показывает хорошую масштабируемость системы. Чётко видно состояние простоя, ограниченное работой 800 регистраторов, и низкой загрузки, ограниченной чуть более $10^3$ устройствами. Кластеры, соответствующие средней, высокой нагрузке и аварии более размыты. Центры кластеров *I* и *LL* находятся близко друг к другу, но остальные центры значительно отдалены друг от друга и располагаются на кривой, характеризуемой нелинейным законом. При данном числе эталонных выборок кластеры *ML*, *HL* и *C* значительно распределены по графику, иногда пересекаются, что может затруднить диагностирование.

Процент данных с ошибками при большом значении регистраторов (см. рис. 4) влияет на изменение состояния в меньшей степени, чем число устройств. Это говорит о высокой стрессоустойчивости алгоритмов выявления ошибок.

Практическая значимость данного метода заключается в возможности оценки потенциала развития распределённой системы, характеристик хранилища данных и внесения в программное обеспечение необходимых доработок на ранних этапах жизненного цикла — до ввода в эксплуатацию или без использования на реальном энергетическом оборудовании.

Дополнение системы мониторинга пакетом JEQTS позволяет выявить граничные условия эффективной работы системы My-JEVis и оценить показатели надёжности при поступлении нестандартных/некорректных входных данных; данных, содержащих ошибки; многократно масштабированных источников данных (более $10^5$); данных, одновременно поступающих по сети Интернет.

Применение предложенного программного средства в значительной степени повышает оперативность адаптации системы к различным условиям работы.

***Библиографические ссылки***

1. **Казанцев В.П., Петроченков А.Б., Ромодин А.В., Хорошев Н.И.** Некоторые аспекты технологии эксплуатации электротехнических объектов на основе методов краткосрочного прогнозирования технического состояния // Электротехника. 2011. № 11. С. 28—34.

2. **Нилс Г., Темичев А.А., Кычкин А.В.** Сетевое взаимодействие компонентов системы энергоменеджмента MY-JEVIS // Инновационные технологии: теория, инструменты, практика (INNOTECH 2011): материалы III Междунар. интернет-конф. молодых учёных, аспирантов, студентов. Пермь: 2012. С. 322, 323.

3. **Темичев А.А., Кычкин А.В.** Метод программного тестирования для распределённой системы мониторинга энергоданных // Измерение. Контроль. Информатизация: материалы 13-й Междунар. науч.-техн. конф. Т. 2. С. 156—159.

4. **Кычкин А.В.** Модель синтеза структуры автоматизированной системы сбора и обработки данных на базе беспроводных датчиков // Автоматизация и современные технологии. 2009. № 1. С. 15—20.

5. **Кычкин В.И., Кычкин А.В., Болотов Д.А.** Прибор для оценки сцепных качеств дорожных покрытий на основе нечёткой логики // Мехатроника, автоматизация, управление. 2008. № 11. С. 19—23.

6. **Höppner F., Klawonn F., Kruse R., Runkler T.** Fuzzy Cluster Analysis: Methods for Classification, Data Analysis and Image Recognition. New York: John Wiley & Sons, LTD, 1999. 288 p.

7. **Темичев А.А., Кычкин А.В.** Программный симулятор ПЛК VIDA350 системы энергоменеджмента // Вестник ПГТУ. Электротехника, информационные технологии, системы управления. 2011. № 5. С. 210—220.

УДК 681.5

**А.Б. Чернышев,** д-р техн. наук, доц., **А.Л. Кравцова, Е.Ю. Соха**
(Северо-Кавказский федеральный университет, филиал в г. Пятигорске)
chalbor@rambler.ru

# АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ ПРОЦЕССА СТАБИЛИЗАЦИИ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ НЕЛИНЕЙНОЙ РАСПРЕДЕЛЁННОЙ СИСТЕМЫ

*Приведён пример исследования устойчивости процесса стабилизации температурного поля объекта с распределёнными параметрами. Рассмотрено представление распределённого объекта в виде совокупности передаточных функций. Установлена зависимость устойчивости нелинейной распределённой системы от величины шага дискретизации управляющих воздействий.*

**Ключевые слова:** температурное поле, устойчивость, дискретизация, нелинейная система.

*A research example of the temperature field stabilization process steadiness for object with distributed parameters is adduced. Distributed object representation as a transfer function totality is considered. The dependence of the nonlinear distributed system stability from discretization step size of the control actions is established.*

**Key words:** temperature field, steadiness, discretization, non-linear system.

Рассмотрим класс нелинейных систем управления, структурная схема которых представляется последовательным соединением нелинейного блока и линейной части. В этом случае можно использовать аппарат передаточных функций линейной части системы, а также исследовать устойчивость системы, используя частотный критерий абсолютной устойчивости, адаптированный для систем с распределёнными параметрами [1, 2]. Синтез линейных систем управления температурными полями объектов с распределёнными параметрами при помощи частотных методов основан на построении распределённого высокоточного регулятора [3, 4].

Рассмотрим процесс стабилизации температурного поля на основе теории импульсных переходных функций. Структурная схема замкнутой системы управления представлена на рис. 1.

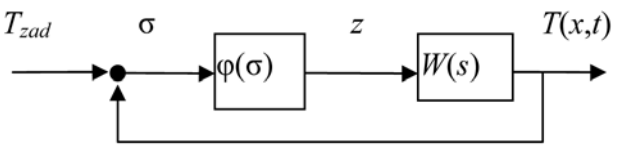



**Рис. 1. Структурная схема системы управления с последовательным соединением нелинейного элемента и линейной части:** $T_{zad}$ — требуемое значение температуры; σ — входное воздействие; $z = \varphi(\sigma)$ — нелинейная функция; $W(s)$ — передаточная функция линейной части системы; $s$ — оператор Лапласа; $T(x, t)$— функция выхода

Определим зависимость между отклонением функции от заданного значения в момент включения источников и реакцией на это отклонение в момент максимального значения сигнала в точке наблюдения.

Входным сигналом нелинейного звена будет отклонение функции выхода системы от заданного значения (рис. 2.) $\sigma(x, t) = T(x, t) - T_{zad}$. Известно, что величина температуры с течением времени уменьшается по экспоненциальному закону.

При выполнении условия $T(\xi_{kr}, \tau_1) - T_{zad} = 0$ в крайних точках расположения источников $\xi_1$ и $\xi_2$, в некоторый момент времени $\tau_1$, в точке наблюдения $x_m$ значение входного сигнала будет иметь вид (рис. 3):

$$\sigma(x_m, \tau_1) = T(x_m, \tau_1) - T_{zad}.$$

При условии:

$$2\sin\frac{\pi}{l}x_m \sum_{i=1}^{d} \sin\frac{\pi}{l}\xi_i \geqslant lT_{zad},$$

где $2\sin\frac{\pi}{l}x_m \sum_{i=1}^{d} \sin\frac{\pi}{l}\xi_i \geqslant lT_{zad}$; $a$ — коэффициент температуропроводности материала; $d$ — количество слагаемых ряда Фурье.

Выразим значение сигнала:

$$\sigma(x_m, \tau_1) = \\ = \frac{2}{l}\exp\left[-\left(\frac{\pi a}{l}\right)^2 \tau_1\right]\sin\frac{\pi}{l}x_m \sum_{i=1}^{d} \sin\frac{\pi}{l}\xi_i - T_{zad}. \quad (1)$$

Изменение отклонения выходного значения функции от заданного, происходящее в момент времени поступления максимального значения сигнала, вырабатываемого источниками в крайних точках, наблюдаемое в середине отрезка, показано на рис. 4.

Реакцией нелинейного элемента $\varphi(\sigma(x,t))$ будет суммарное значение импульсных воздействий вырабатываемых в крайних точках $\xi_1$ и $\xi_2$, которые можно представить в виде функции Грина:

$$G(x, t, \xi, \tau) = \\ = \frac{2}{l}\sum_{n=1}^{\infty} \exp\left[-\left(\frac{\pi n a}{l}\right)^2 (t - \tau_1)\right]\sin\frac{\pi n}{l}x \sin\frac{\pi n}{l}\xi. \quad (2)$$

Для точки наблюдения $x_m$, являющейся серединой отрезка, при симметричном расположении источников, можно записать:

$$\varphi(\sigma(x, t)) = 2G(x, t, \xi_{kr}, \tau_1).$$

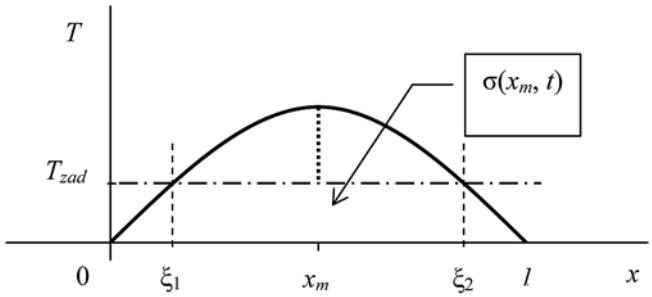



**Рис. 2. Отклонение функции от заданного значения в точке наблюдения:**
$\xi_1$, $\xi_2$ — точки приложения импульсных воздействий; $x_m$ — точка наблюдения; $l$ — длина стержня

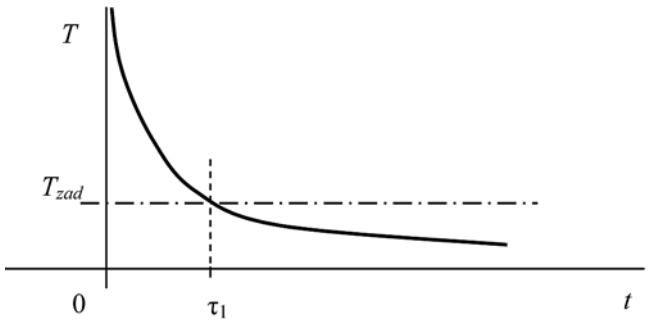



**Рис. 3. Время достижения функцией заданного значения в крайних точках:**
$\tau_1$ — время включения первого импульсного воздействия

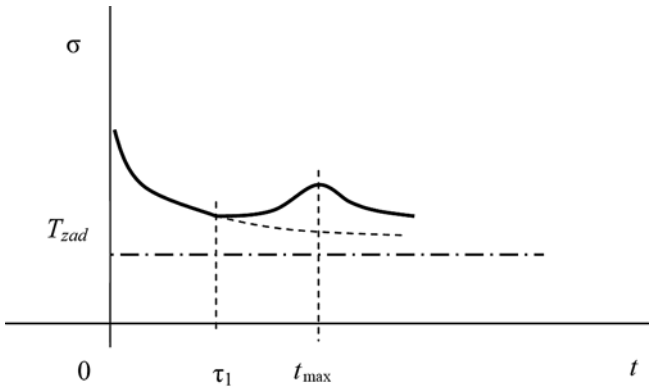



**Рис. 4. Изменение отклонения в точке наблюдения**

Выходная функция нелинейного элемента может быть представлена как сумма двух значений дельта функции в точке наблюдения $x$. Воспользуемся формулой (2):

$$\varphi(\sigma(x, t)) = \\ = \frac{4}{l}\sum_{n=1}^{\infty} \exp\left[-\left(\frac{\pi n a}{l}\right)^2 (t - \tau_1)\right]\sin\frac{\pi n}{l}x_m \sin\frac{\pi n}{l}\xi_1.$$

Максимальное значение этих воздействий в точке $x_m$ будет наблюдаться в момент времени $t_{\max}$. Время поступления максимума сигнала от

источника к точке наблюдения, определяется по формуле:

$$t_{\max} = \begin{cases} \dfrac{\left(\dfrac{l}{2}-\xi_1\right)^2}{2a^2}+\tau_1; & \dfrac{3l}{10}\leqslant\xi_1\leqslant\dfrac{l}{2}; \\ -\dfrac{\left(\dfrac{l}{10}-\xi_1\right)^2}{2a^2}+\dfrac{l^2}{25a^2}+\tau_1; & \dfrac{l}{10}\leqslant\xi_1\leqslant\dfrac{3l}{10}; \\ \dfrac{\left(\dfrac{l}{10}-\xi_1\right)^2}{4a^2}+\dfrac{l^2}{25a^2}+\tau_1; & 0\leqslant\xi_1\leqslant\dfrac{l}{10}. \end{cases}$$

Таким образом, выражением функции выхода нелинейного элемента в точке наблюдения, будет значение функции:

$$\varphi(\sigma(x_m, t_{\max})) = \frac{4}{l}\sum_{n=1}^{\infty}\exp\left[-\left(\frac{\pi n a}{l}\right)^2(t_{\max}-\tau_1)\right]\times \sin\frac{\pi n}{l}x_m\sin\frac{\pi n}{l}\xi_1. \quad (3)$$

Выражения (1) и (3) определяют неявную зависимость между входным и выходным сигналами нелинейного элемента.

Угловой коэффициент прямой, ограничивающей сектор, в котором располагается нелинейная характеристика, определим как отношение значения $\varphi(\sigma(x_m, t_{\max}))$ к $\sigma(x_m, \tau_1)$ (рис. 5), т. е.

$$k = \frac{\varphi(\sigma(x_m, t_{\max}))}{\sigma(x_m, \tau_1)}.$$

В системах с распределёнными параметрами усилительное звено может быть представлено в виде [5]:

$$K(G) = E_1\left[\frac{n_1-1}{n_1}+\frac{1}{n_1}G\right], 0\leqslant G\leqslant\infty,$$

где $E_1$ — общий коэффициент усиления; $n_1$ — весовой коэффициент; $G$ — обобщённая координата.

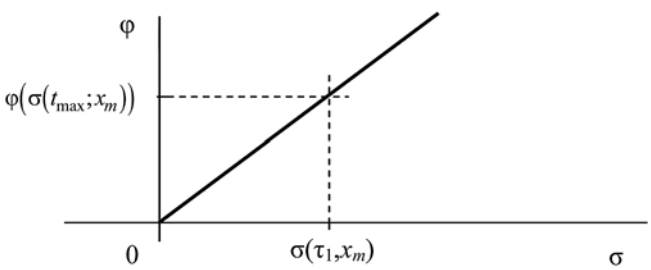



**Рис. 5. Угол, ограничивающий сектор нелинейной характеристики**

Приняв $E_1 = k$ и $n_1 = 1$, определим значения угловых коэффициентов для каждой пространственной моды ($n = \overline{1, \infty}$):

$$K_n = E_1 G_n.$$

Подобрав действительное число $q$, можно построить для каждой пространственной моды прямую Попова, проходящую через точку $\left(-\frac{1}{K_n}, 0\right)$ действительной оси и точку $(0, q)$ мнимой оси комплексной плоскости.

Предположим, что процесс распространения тепла осуществляется в отрезке пластины конечных размеров. Математическая модель двумерного объекта описывается уравнением:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 T}{\partial y^2}\right), 0 < x < l_x, 0 < y < l_y, \quad (4)$$

где $T(x, y, t)$ — фазовая переменная; $x, y$ — пространственные координаты; $a$ — заданный коэффициент; $l_x$, $l_y$ — заданные числа.

Граничные и начальные условия для уравнения (4) имеют вид:

$$T(0, y, t) = T(l_x, y, t) = 0; \quad (5)$$

$$\frac{\partial T(x, 0, t)}{\partial y} = 0; \quad (6)$$

$$T(x, l_y, t) = U(x, t); \quad (7)$$

$$T(x, y, 0) = 0. \quad (8)$$

Функцией выхода является значение температурного поля $T(x, y = \overline{y}, t)$, где $\overline{y}$ — заданное число ($0 < \overline{y} < l_y$). Разложим входное воздействие $U(x, t)$ в ряд Фурье. Учитывая граничные условия (6), входное воздействие может быть представлено в виде [6]:

$$U(x, t) = \sum_{n=1}^{\infty} C_n\sin(\psi_n x), \quad (9)$$

где $\psi_n = \frac{\pi n}{l_x}$.

Определим реакцию объекта на каждую составляющую ряда (9):

$$T_n(x, y, t) = H_n(y, t)\sin(\psi_n x). \quad (10)$$

Подставляя (10) в уравнение (4) и преобразуя, получим следующий результат:

$$\frac{\partial H(y,t)}{\partial t}\sin(\psi_n x) =$$

$$= a\left(-H_n(y,t)\psi^2\sin(\psi_n x) + \frac{\partial^2 H_n(y,t)}{\partial y^2}\sin(\psi_n x)\right),$$

$$(n = \overline{1,\infty});$$

$$\frac{\partial H(y,t)}{\partial t} = a\left(-H_n(y,t)\psi^2 + \frac{\partial^2 H_n(y,t)}{\partial y^2}\right),$$

$$(n = \overline{1,\infty});$$

$$\frac{\partial H(y,t)}{\partial t}\frac{1}{a} + H_n(y,t)\psi^2 - \frac{\partial^2 H_n(y,t)}{\partial y^2} = 0,$$

$$(n = \overline{1,\infty}). \qquad (11)$$

Преобразуем выражение (11) по Лапласу при нулевых начальных условиях:

$$-\frac{\partial^2 \overline{H}_n(y,s)}{\partial y^2} + \left(\frac{s}{a} + \psi_n^2\right)\overline{H}_n(y,s) = 0,$$

$$(n = \overline{1,\infty}), \qquad (12)$$

где $\overline{H}_n(y, s)$ — изображение по Лапласу функции $H_n(y, t)$ при нулевых начальных условиях.

Решение уравнения (12) можно представить в виде:

$$\overline{H}_n(y,s) = D_{1,n}\exp(\beta_n y) + D_{2,n}\exp(-\beta_n y),$$

$$(n = \overline{1,\infty}), \qquad (13)$$

где $\beta_n = \left(\frac{s}{a} + \psi_n^2\right)^{1/2}$, $(n = \overline{1,\infty})$.

Из граничных условий (6), (7) получим:

$$D_{1,n} = D_{2,n}, \qquad (14)$$

$$D_{1,n} = \frac{\overline{C}_n(s)}{\exp(\beta_n l_y) + \exp(-\beta_n l_y)}, \ (n = \overline{1,\infty}), \qquad (15)$$

где $\overline{C}_n(s)$ — изображение по Лапласу функции $C_n(t)$ при нулевых начальных условиях $(n = \overline{1,\infty})$.

Учитывая выражения (13), (14), (15) и вид реакции объекта (10), получим:

$$\overline{T}_n(x,y,s) =$$

$$= \frac{(\exp(\beta_n y) + \exp(-\beta_n y))\overline{C}_n(s)\sin(\psi_n x)}{\exp(\beta_n l_y) + \exp(-\beta_n l_y)},$$

где $\overline{T}_n(x, y, s)$ — преобразование по Лапласу функции $T_n(x, y, t)$.

Передаточная функция объекта по $n$-й $(n = \overline{1,\infty})$ моде входного воздействия имеет вид:

$$W_n(s) = \frac{\overline{T}_n(x,\overline{y},s)}{\overline{C}_n(s)\sin(\psi_n x)},$$

или

$$W_n(s) = \frac{\exp(\beta_n \overline{y}) + \exp(-\beta_n \overline{y})}{\exp(\beta_n l_y) + \exp(-\beta_n l_y)}. \qquad (16)$$

Таким образом, рассматриваемый распределённый объект может быть представлен в виде совокупности передаточных функций вида (16).

Рассмотрим частный случай приведённого примера, когда пластина имеет форму квадрата. Тогда передаточная функция объекта по $n$-й моде входного воздействия может быть представлена в виде:

$$W_n(s) = \frac{\exp[\beta_n x_m] + \exp[-\beta_n x_m]}{\exp[\beta_n l] + \exp[-\beta_n l]},$$

$$(n = \overline{1,\infty}), \qquad (17)$$

где $\beta_n = \left(\frac{s}{a} + \varphi_n^2\right)^{1/2}$.

Для частотного анализа положим $s = j\omega$. При изменении частоты $\omega$ от 0 до $\infty$ функция $W_n(j\omega)$ опишет годограф каждой пространственной моды. Для анализа абсолютной устойчивости используется модифицированная частотная характеристика $W^*(j\omega)$. Известно, что при изменении частоты $\omega$ от нуля до бесконечности, вектор $W^*(j\omega) = \mathrm{Re}(W(j\omega)) + \omega\mathrm{Im}(W(j\omega))$ также опишет годограф каждой пространственной моды. Исследование нескольких пространственных мод позволит проводить анализ абсолютной устойчивости рассматриваемого класса нелинейных систем.

Рассмотрим объект управления при следующих заданных параметрах: $l = 0{,}45$ м — длина стержня; $x_m = l/2$ — точка наблюдения; $a = 0{,}0044$ — коэффициент температуропроводности материала.

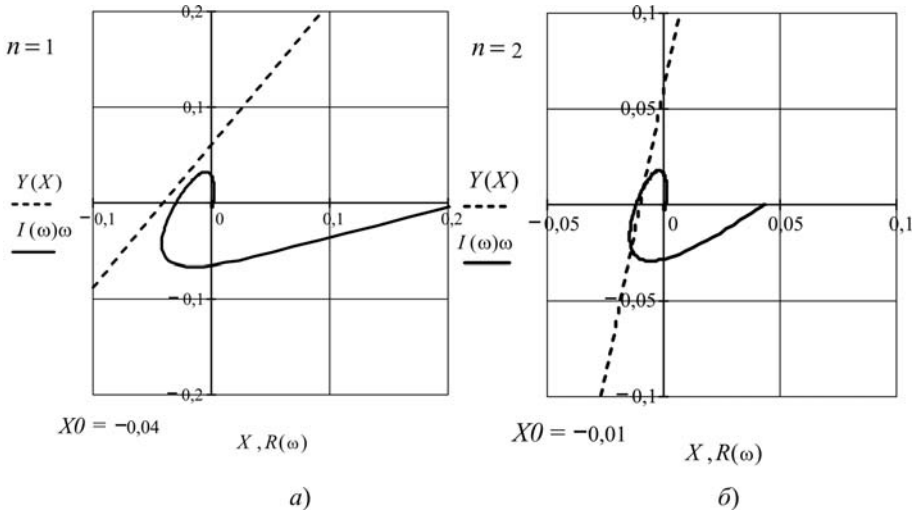



**Рис. 6. Взаимное расположение годографа и прямой Попова при $r = 20$, $n = 1$, $n_1 = 1$ (*а*); при $r = 20$, $n = 2$, $n_1 = 1$ (*б*)**

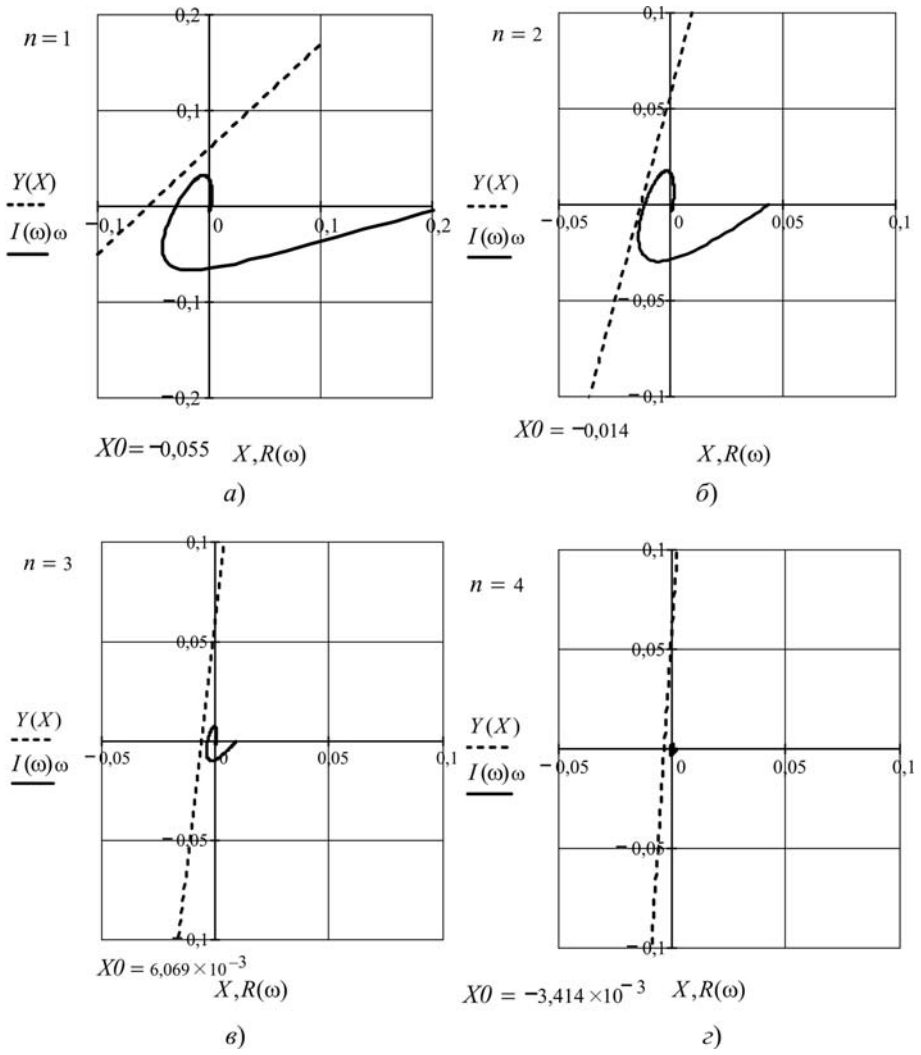



**Рис. 7. Взаимное расположение годографа и прямой Попова при $r = 23$, $n = 1$, $n_1 = 1$ (*а*); при $r = 23$, $n = 2$, $n_1 = 1$ (*б*); при $r = 23$, $n = 3$, $n_1 = 1$ (*в*); при $r = 23$, $n = 4$, $n_1 = 1$ (*г*)**

Пусть количество секций нагревателя $r = 20$, тогда $\xi_1 = l/20 = 0{,}0225$ — середина левой крайней секции, $\xi_{20} = l - \xi_1 = 0{,}4275$ — середина правой крайней секции. Для второй моды годограф пересекает прямую Попова (рис. 6), следовательно, при количестве секций, равном 20, система неустойчива. Пусть количество секций равно 23, тогда анализ четырёх пространственных мод показывает, что система будет устойчивой (рис. 7). Возьмем в формуле значение весового коэффициента $n_1 = 2$. Тогда значения угловых коэффициентов для каждой из пространственных мод будут выражаться по формуле:

$$K_n = \frac{1}{2} E_1 + \frac{1}{2} E_1 G.$$

Проанализируем устойчивость системы на примере трёх пространственных мод (рис. 8). Система будет устойчивой при количестве точек дискретизации $r = 20$. Прямая Попова не пересекает годограф второй пространственной моды. Увеличение весового коэффициента позволяет увеличить запас устойчивости системы.

Возьмём значение весового коэффициента бесконечно большим: $n_1 \to \infty$. Тогда формула, выражающая значения угловых коэффициентов для каждой из пространственных мод, примет вид:

$$K_n = E_1,$$

т. е. коэффициент усиления для каждой пространственной моды не зависит от пространственных координат. В этом случае запас устойчивости значительно повышается (см. рис. 8).

Количество точек дискретизации, с практической точки зрения, для рассматриваемого объекта можно интерпретиро-

вать как количество секций секционного нагревателя. Увеличение шага дискретизации, начиная с некоторого значения, приводит к тому, что устойчивая система становится неустойчивой. Рассмотренный подход позволяет выбирать геометрические параметры секций нагревателей температурных камер и тепловых печей различного назначения, исходя из требуемой точности регулирования. Позволяет определять устойчивый режим функционирования объектов при нелинейных воздействиях.

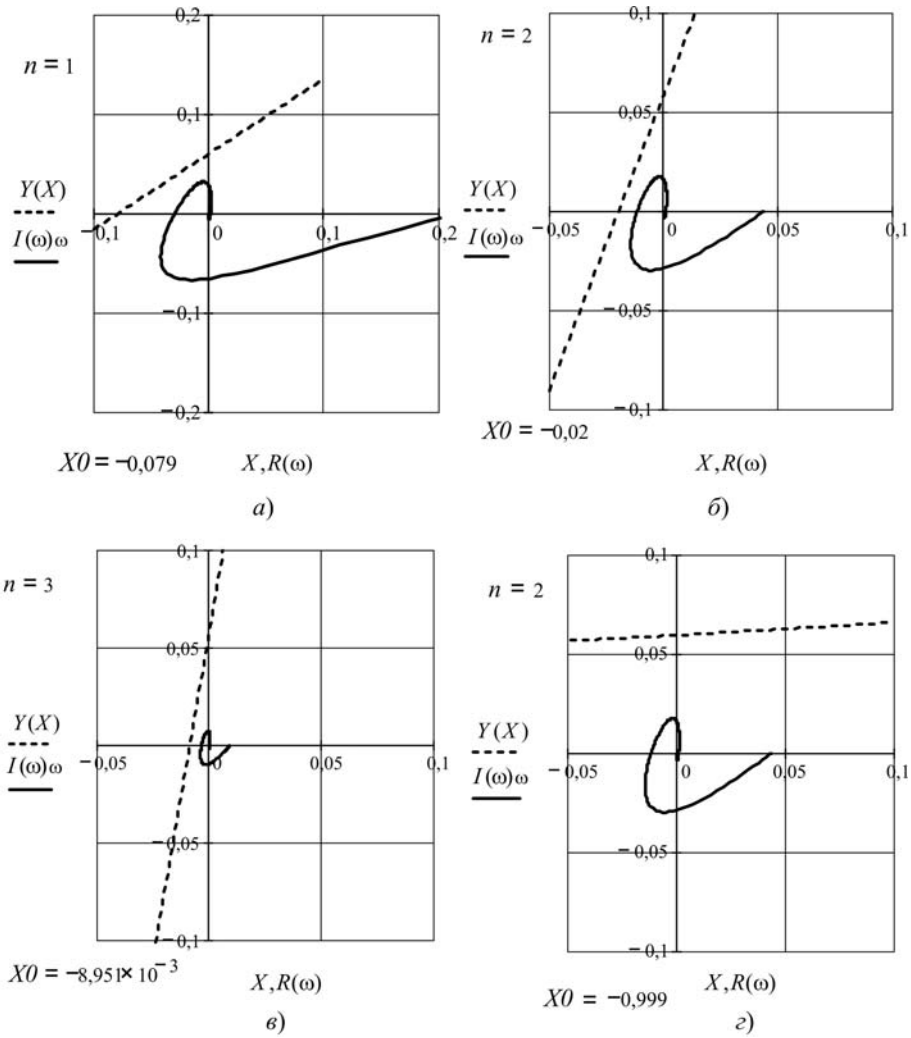



**Рис. 8. Взаимное расположение годографа и прямой Попова при $r = 20$, $n = 1$, $n_1 = 2$ (*а*); при $r = 20$, $n = 2$, $n_1 = 2$ (*б*); при $r = 20$, $n = 3$, $n_1 = 2$ (*в*); при $r = 20$, $n = 2$, $n_1 \to \infty$ (*г*)**

***Библиографические ссылки***

1. **Чернышев А.Б.** Интерпретация критерия абсолютной устойчивости для нелинейных распределённых систем // Автоматизация и современные технологии. 2010. № 2. С. 28—32.

2. **Чернышев А.Б.** Исследование абсолютной устойчивости нелинейных распределённых систем // Автоматизация и современные технологии. 2010. № 4. С. 21—26.

3. **Минкина Т.В., Павлюк Д.Н.** Математическое моделирование распределённого высокоточного регулятора для системы управления температурным полем кольцевой роторной печи // Вестник СевКавГТИ. 2012. № 12. С. 42—47.

4. **Воронин А.Ю., Першин И.М.** Синтез распределённой системы управления магнитным полем тороидальной камеры. Часть 1 // Мехатроника, автоматизация, управление. 2006. № 8. С. 51—56.

5. **Чернышев А.Б.** Модифицированный годограф пространственно-апериодического звена // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2010. № 2(1). С. 159—163.

6. **Першин И.М.** Синтез систем с распределёнными параметрами. Пятигорск: РИА-КМВ, 2002. 212 с.

Вниманию авторов!

Требования к оформлению статей, присылаемых для публикации,

можно найти на сайте **www.mashin.ru**

УДК 001; 608.1

**Ф.А. Уразбахтин,** д-р техн. наук, проф., **А.Ю. Уразбахтина,** канд. техн. наук, доц., **М.С. Чебкасов**
(Ижевский государственный технический университет им. М.Т. Калашникова,
Воткинский филиал, г. Воткинск)
vtkbox246@udm.net

# ТЕХНОЛОГИЯ ПОИСКА ЭКСПЕРТНЫМ МЕТОДОМ СПОСОБА ПРЕОДОЛЕНИЯ КРИТИЧЕСКИХ СИТУАЦИЙ В ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТАХ

*Предложена технология поиска методов преодоления критических ситуаций в жизненном цикле высококачественных объектов машиностроения, основанная на специальной организации творческой работы совета экспертов-специалистов. Доказано, что творческий экспертный совет является сложной системой, которая состоит из взаимосвязанных элементов — кадры, база знаний, классификатор критических ситуаций, организация функционирования совета.*

**Ключевые слова:** технология творчества, экспертный совет, критические ситуации, элементы системы, конструктивная схема.

*The search technology of the critical situations overcoming methods in life cycle of the mechanical engineering high-quality objects, based on the creative work special organization of the specialists experts council is offered. It is proved that the creative advisory council is difficult system which consists of the interconnected elements — personnel, the knowledge base, the critical situations classifier, the council functioning organization.*

**Key words:** creativity technology, expert council, critical situations, system elements, constructive scheme.

Установлено, что в жизненном цикле технических объектов возникают критические ситуации [1]. Однако даже в этих случаях, такими объектами необходимо выполнение своего функционального назначения. Это можно осуществить, используя методики оценки критических ситуаций и поиска способов их преодоления.

Появление и развитие критических ситуаций обычно происходит в условиях неопределённости, что существенно усложняет выполнение процедуры их выявления. Тем не менее, для ответственных технических объектов, таких как элементы ракетной техники, важным является преодоление возникающих критических ситуаций.

Вариантов преодоления критических ситуаций существует множество. В данной статье предлагается в поиске этих вариантов использовать творческое мышление группы специалистов. Это мышление должно быть целенаправленным, что можно достигнуть, используя специальную технологию, организацию.

В этой технологии группа специалистов составляет экспертный совет, который принимается за систему [2], функционирование которой обязательно должно быть управляемым. В такой системе происходит управляемое преобразование энергетических и информационных потоков [3]. Система имеет входные параметры воздействия внешней среды $z_i$. Качество функционирования оценивается характеристиками (показателями), а связь осуществляется с помощью параметров состояния $x_i$.

Параметры воздействия внешней среды составляют вектор $Z = \{z_i, i = \overline{1, n}\}$, с помощью элементов которого выполняются описания критической ситуации, ограничения на функционирование рассматриваемого объекта, технические требования и нормативы.

Считается, что критическая ситуация имеет место при неполном выполнении требований и нормативов, определённых заказчиком этого технического объекта. Например, для объектов ракетной техники это может быть нерасчётное положение центра масс в период полёта, неприемлемые габариты, технико-экономические показатели, среди которых чрезмерная масса конструкции, или неприемлемое функционирование по продолжительности или выполнению своего функционального назначения.

Составляющими вектора состояния $X = \{x_i, i = \overline{1, m}\}$ являются характеристики, оценивающие творческие способности экспертного совета в предварительно принятых количественных шкалах измерений. В целом вектор $X$ определяет творческие способности экспертного совета в виде таких умений, как целенаправленность, объём имеющихся знаний, распределённых по

иерархическим уровням, а также доступность и продолжительность их получения и воспроизведения.

Носителями этих способностей являются эксперты. Каждый эксперт совета обладает набором индивидуальных способностей: максимально краткое изложение своих умозаключений; наличие опыта и навыков для решения поставленных задач; умение объединять сведения об объекте познания с приобретённым ранее "багажом" знаний и ассоциировать понятия как в сторону "усиления", так и "отдаления"; наличие "чутья" на своевременный отказ от "скомпроментированной" (неприемлемой) гипотезы; умение переключаться с одного на другой классы явлений в природе, но, самое главное, генерировать идеи, выделять малозаметные особенности функционирования технического объекта и обладать навыками "бокового" мышления, состоящее в умении "думать около".

Как сложная система творческий экспертный совет состоит из основных элементов: база знаний, кадры, классификатор критических ситуаций, организация работы (рис. 1).

База знаний содержит информацию, которая используется в процессе логического мышления, связанную с поиском способа преодоления критической ситуации. Информация в базе разделена на две большие группы.

В первой группе находятся знания, отражающие известные обстоятельства, которые хорошо формализованы и систематизированы. Носителями этих знаний являются как члены экспертного совета, так и специальные средства (книги, фотографии, файлы, системы искусственного интеллекта и ресурсы Интернет). В последнем виде носители знаний находятся и хранятся в закодированном виде.

Во второй группе находятся знания, которые являются эмпирическими, полученными из собственного опыта экспертов в результате наблюдения за окружающей средой, но они не обладают достаточным уровнем формализации [4, 5]. Эти знания хранятся в памяти специалистов-экспертов, творческая деятельность которых происходит в соответствующей предметной области. Однако получить эти знания из памяти экспертов в необходимый момент времени работы затруднительно.

Знания являются наиболее важными и непосредственно используются в поиске способов преодоления критических ситуаций. Но пользоваться ими следует осмотрительно. Однако из-за недостаточной научной обоснованности и отсутствия исчерпывающих сведений эти знания не всегда достоверны.

Как элемент, база знаний является и подсистемой более низкого уровня. Для неё характерны целенаправленность, так как отражает конкретные свойства: объёмность, что позволяет проводить количественную оценку знаний; сохраняемость в памяти экспертов и на носителях технических устройств; доступность для участников творческого процесса при поиске способов преодоления критических ситуаций, а также способность представления в виде алгоритмов.

Следующим элементом творческого экспертного совета являются кадры, которые выполняют функцию носителя и переработчика знаний. В свою очередь, как подсистема более низкого уровня этот элемент состоит из экспертов-специалистов, эксперта-аналитика, который является носителем знаний и менеджером в области психологии общения, а также персонала, обеспечивающего функционирование сложной системы в целом.

**Рис. 1. Структура сложной системы — творческий экспертный совет**

Эксперты-специалисты в совете составляют группу. Непосредственная работоспособность экспертного совета определяется численностью экспертов, материальными и интеллектуальными затратами, а также продолжительностью проведения работ по поиску способов преодоления критических ситуаций. Интеллектуальные затраты связаны с деловыми качествами и компетентностью экспертов в области знаний, связанных с объектом исследования.

Деловые качества и компетентность экспертов определяются заблаговременно в ходе поиска способов преодоления критических ситуаций для других объектов познания. Указанные выше качества определяются методом тестирования [7], в ходе которого у эксперта устанавливаются уровень знаний об объекте исследования и аналитические способности эксперта.

Каждый эксперт в совете должен обладать способностью творческого мышления, которая проявляется последовательно в два этапа. На первом этапе мышление происходит по логической цепочке "определение → связь → суждение А", а на втором — "определение и представление → → связь → суждение Б".

Эти цепочки имеют [8] следующие логические элементы: *сомнение*, при котором осознаётся недостаточность и недостоверность имеющихся знаний; *вера*, построенная на доверии знаниям, созданным предшественниками; *убеждение*, возникающее в ходе подтверждения части знаний при поиске способа преодоления критической ситуации или устранении элементов риска; *юмор*, вскрывающий ошибки, заблуждения и устанавливающий истину на данном уровне знаний; *распознавание* содержания критической ситуации, в которой пребывает объект исследования; *изложение критической ситуации* объекта исследования; *рутинное мышление*, в ходе которого критическая ситуация "расчленяется" на элементы и проводится поиск способов среди ранее встречавшихся критических ситуаций; использование *методом проб и ошибок* фрагментов критических ситуаций, встречающихся ранее; *догадки*, применяемые к новым, не встречающимся ранее фрагментам критической ситуации для поиска новых свойств и сокращения поля знаний о критической ситуации; *фантазии*, которые сопровождаются преобразованиями, изменяющими взаимоотношения элементов в критической ситуации в виде комбинирования, варьирования, экстраполирования, поляризации или создания новых концепций преодоления критических ситуаций противопоставлением, идеализацией, символизацией, типизацией и транспозицией.

Считается, что мышление эксперта совета происходит по алгоритму [9], в котором последовательно по определённым правилам преобразуется информация.

Эксперт-аналитик в совете организует активный диалог, направленный на поиск способов преодоления критических ситуаций, возникающих в объекте исследования, поддерживает обсуждение проблемы, заинтересовывает экспертов в решении поставленной задачи. В ходе заседаний совета он проводит ранжирование предложенных экспертами решений, оперативно реагирует на перспективные способы преодоления критических ситуаций даже при наличии неопределённости.

Эксперт-аналитик перед началом заседаний совета изучает по литературным источникам предметную область критической ситуации. Однако это изучение поверхностное. В ходе заседаний творческого совета он выслушивает экспертов, задает вопросы для получения наибольшей информации на заданную тему обсуждения.

Эксперт-аналитик, как элемент подсистемы — кадры, в творческом совете должен разбираться в моделях психологического поведения экспертов. Ему предстоит из знаний экспертов выделять чёткие структуры, которые используются при поиске методов преодоления критических ситуаций [5], создавать ситуации, при которых у экспертов осуществлялось бы нешаблонное мышление.

Результатом такого мышления являются новые идеи, более простые, эффективные и глубокие по значимости способы преодоления рассматриваемой критической ситуации [10].

Технический персонал контролирует и поддерживает в рабочем состоянии все технические устройства, необходимые для работы творческого экспертного совета. Для этого используется и проводится (при необходимости) поиск требуемого программного обеспечения, с помощью которого формально обрабатываются изложенные мнения экспертов. Технические устройства осуществляют поиск информации по ключевым словам, проводят вычислительные эксперименты, тестирование и опросы экспертов [7].

Ключевым элементом творческого совета является *классификатор критической ситуации объекта исследования*, составленный на основе

анализа ранее свершившихся критических ситуаций, для которых найдены способы их преодоления. Этот элемент сложной системы является также подсистемой, в составе которой содержатся методики, определяющие уровень сложности, степень охвата и найденные способы преодоления критической ситуации.

В классификаторе сложной системы выделены следующие уровни сложности критических ситуаций: простые, при решении которых используются стандартные положения и процедуры; формально-логические, построенные на законах логики и поддающиеся алгоритмизации; эвристические, отличающиеся непредсказуемостью; оригинальные, которые принимаются в условиях неопределённости [11].

По классификационному признаку степени охвата критические ситуации делятся на общие и специальные. В первой группе объединены критические ситуации, в которых возникают противоречия между принципами построения и функционирования объекта исследования. Во второй группе противоречия возникают только внутри объекта исследования.

Немаловажным является классификационный признак — осуществимость способов преодоления критических ситуаций. В нём шкала определяется тремя состояниями: лёгкие, трудные и неосуществимые критические ситуации.

Следующим элементом творческого экспертного совета является *организация работы*. Этот элемент является связующим между элементами системы, определяется соответствующими нормативными документами и инструкциями, обеспечивающими работу экспертного совета на всех этапах (подготовительный, основной и заключительный).

В ходе *подготовительного этапа* эксперт-аналитик, после получения задания о поиске способов преодоления конкретной критической ситуации определяет её степень сложности, охвата и значимость для объекта, где она происходит. Затем на конкурсной основе отбираются эксперты и формируется творческий совет [3], оцениваются возможности (ресурсы), которые будут использованы во время поиска способов преодоления критических ситуаций [6]. Эксперты совета по литературным источникам (в основном, популярным) знакомятся с предметной областью критической ситуации.

По существу в подготовительный период экспертами в первом приближении создаётся поле знаний, а экспертом-аналитиком — сценарий работы совета по поиску способа преодоления критической ситуации [5].

Непосредственная работа творческого экспертного совета происходит в период *основного этапа*. Согласно сценарию проводятся заседания, в ходе которых эксперты предлагают способы преодоления критической ситуации. Форма предложений может быть описательной, расчётной, графической, а характер найденных способов преодоления критических ситуаций — теоретическим, экспериментальным или смешанным [11].

Каждое заседание экспертного совета состоит из последовательности событий [5, 8, 11, 14—17]: "накачка" поля знаний предметной области, осуществляющаяся интервьюированием, протоколированием мыслей экспертов, произнесённых вслух или на электронные носители информации; "домашняя работа", в ходе которой эксперт-аналитик выделяет в рассуждениях остальных экспертов причинно-следственные связи (из которых составляется словарь предметной области) и готовит новые вопросы для экспертов. В то же время эксперты, работая над литературными источниками, пополняют собственную базу знаний; "подкачка" поля знаний, которая происходит при обсуждении с экспертами прототипа поля знаний, результатов, достигнутых при выполнении "домашней работы" и ответов на вопросы аналитика-эксперта; формализация способов преодоления критической ситуации стандартными методами и с помощью известных математических моделей; построение поля знаний следующего приближения (для следующего заседания), которое будет использоваться в дальнейшем в работе творческого экспертного совета.

*На заключительном этапе* работы творческий экспертный совет констатирует достигнутые результаты: определяется общее количество и содержание способов преодоления критических ситуаций, при необходимости выявляются их достоинства и недостатки, устанавливается степень новизны каждого способа. Результаты могут быть представлены в виде протокола заседаний экспертного совета.

В качестве примера рассмотрим работу творческого экспертного совета по поиску конструктивных схем устройства по обеспечению сохранности полезного груза при полёте ракеты дальностью не менее 8000 км, которое должно являться достаточно прочным, жёстким, технологичным и удовлетворяющим заданным техническим требованиям. Во время полёта ракеты

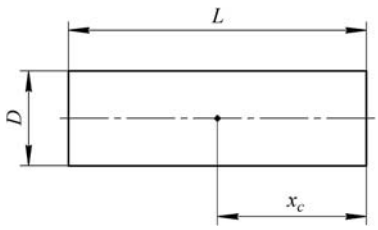



**Рис. 2. Габаритные характеристики полезного груза:**
$L$ — длина груза; $D$ — диаметр груза; $x_c$ — расстояние от торца груза до его центра масс

полезный груз подвергается тепловому воздействию (силы аэродинамического трения), силовым нагрузкам, создаваемым скоростным напором воздушного потока и тягой двигателя. Полезный груз представляется в виде цилиндра с заданными габаритными размерами и положением центра тяжести (рис. 2).

Критические ситуации возникают сразу после представления очередного варианта такого устройства (конструктивной схемы). Творческий экспертный совет, предлагая способы преодоления критической ситуации, по существу будет разрабатывать новую конструктивную схему устройства. Результаты работы такого экспертного совета представлены в виде протокола (см. таблицу).

В результате *первого заседания* экспертный совет предложил две конструктивные схемы этого устройства В1 и В2. В первой схеме В1 полезный груз располагается между двумя дисками, которые стягиваются тягами-стержнями с помощью болтовых соединений. Один из дисков соединен шпангоутом. Во второй схеме В2 полезный груз располагается в стакане, и винтами жёстко крепится к силовому шпангоуту. В обоих случаях устройства располагаются внутри головного обтекателя ракеты.

В этих конструктивных схемах эксперты выявили следующие критические ситуации: чрезмерно большая масса технического устройства; не обеспечивается защита полезного груза от воздействия внешней среды (пыли, газов, нагрева, скоростного напора воздуха, вибраций). Экспертам предложено подумать над способами предотвращения выявленных критических ситуаций в этих конструктивных схемах.

На *втором заседании* продолжилось обсуждение критических ситуаций в схемах В1 и В2. После ознакомления с литературными источниками эксперты предложили новые конструктивные схемы В1.1 и В2.1 устройства для обеспечения сохранности полезного груза при полёте ракеты. В варианте В1.1 стержни тяги заменены пружинами и один диск — крестовиной. В варианте В2.1 полезный груз располагается в "опрокинутом стакане". Дно этого стакана защищало полезный груз от пыли, газов, воздуха. Стакан с полезным грузом фиксируется на диске, который выполняет и функцию шпангоута, соединяющего головной обтекатель с корпусом ракеты.

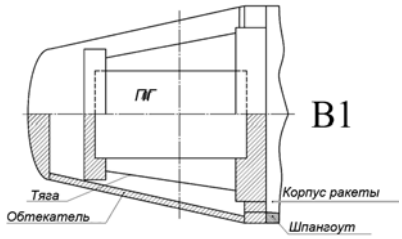
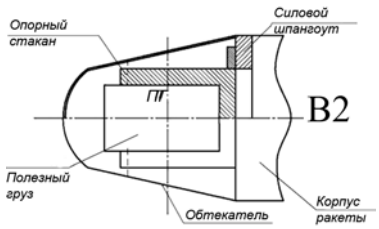
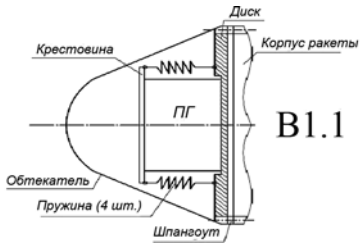
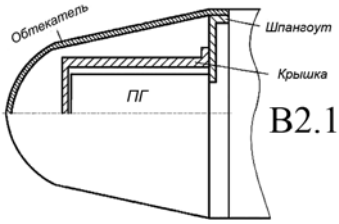
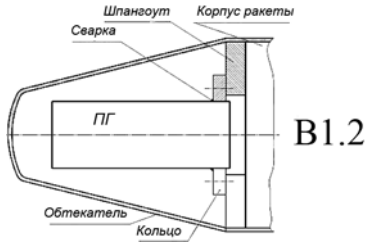
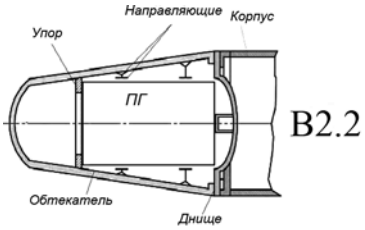
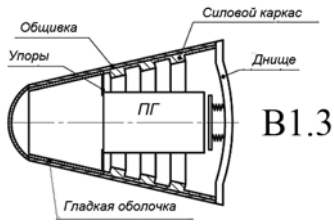
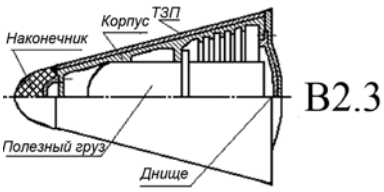
В ходе анализа этих конструктивных схем эксперты выявили следующие критические ситуации: не удалось уменьшить массу устройства и обеспечить тепловую защиту полезного груза, а в варианте В1.1 — ещё и защиту от пыли, газов и скоростного напора воздуха.

В ходе *третьего заседания* экспертный совет предложил конструктивные схемы — В1.2 и В2.2 устройства, в которых учтены критические ситуации в предыдущих вариантах (В1.1 и В2.1). В варианте В1.2 полезный груз крепится по схеме "балочной консоли". Одним концом он "насаживается" в консольно-закреплённую пластину. Крепление пластины осуществляется жёстко болтовым соединением с силовым шпангоутом головного обтекателя. В конструктивной схеме В2.2 во внутренней полости головного обтекателя устанавливаются кольцевые пластины, которые фиксируют положение полезного груза в вертикальном направлении. Положение по горизонтали фиксируется упором и днищем.

В предложенных конструктивных схемах внутренняя полость герметизируется. Проанализировав эти конструктивные схемы, тем не менее, эксперты выявили новые критические ситуации: обеспечение прочности и жёсткости крепления бруса (В1.2), увеличение толщины стенок оболочки (В2.2) приводит к утяжелению устройства, используемого для сохранности полезного груза.

На *четвёртом заседании* эксперты рассматривали критические ситуации, выявленные в конструктивных схемах В1.2 и В2.2. В процессе заседания предложены новые конструктивные схемы В1.3 и В2.3. В конструктивной схеме В1.3 оболочка обтекателя представляется в виде силового каркаса из шпангоутов и стрингеров. На этот каркас "насаживается" обшивка, фиксирующаяся заклёпками. Полезный груз непосредственно располагается между упорами в виде кольца, соединённого силовым каркасом и днищем. Внутренняя полость обтекателя герметизируется. Во втором варианте конструктивной схемы В2.3 оболочка обтекателя представляется в виде гладкой конической оболочки. Для крепления полезного груза внутри оболочки

**Краткий протокол заседаний творческого экспертного совета**

| Содержание критической ситуации. Задание экспертам. | Описание способов преодоления критической ситуации | Выявление новых критических ситуаций |
|---|---|---|
| Первое заседание. Эксперты предложили разработать конструктивную схему устройства, обеспечивающего сохранность полезного груза при полёте ракеты. Предложено два варианта В1 и В2 | | |
|  |  | Чрезмерно большая масса технического объекта. Не обеспечена защита полезного груза от воздействия внешней среды (пыли, газов, нагрева, скоростного напора воздуха). Недостаточная виброустойчивость |
| Второе заседание. Эксперты рассмотрели способы преодоления критических ситуаций в конструктивных схемах В1 и В2. Предложены новые варианты конструктивных схем В1.1 и В2.1 | | |
|  |  | Критические ситуации связаны с чрезмерно высокой массой устройства и с недопустимым нагревом полезного груза, а также не обеспечена защита от воздействия внешней среды (пыли, газов, скоростного напора воздуха) и теплового воздействия. |
| Третье заседание. Эксперты рассмотрели способы преодоления критических ситуаций в проектах В1.1 и В2.1. На этой основе они предложили новые варианты конструктивных схем В1.2 и В2.2 | | |
|  |  | Критические ситуации вызваны: недостаточной прочностью в узле крепления полезного груза с кольцом и корпуса полезного груза из-за изгибающего момента; чрезмерно большого прогиба центра тяжести полезного груза относительно оси симметрии (неприемлемо для измерительной аппаратуры); с чрезмерным весом головной части из-за увеличения толщины оболочки головного обтекателя; с нагревом полезного груза при полете головной части в слоях атмосферы. |
| Четвертое заседание. Эксперты рассмотрели способы преодоления критических критических ситуаций в проектах В1.2 и В2.2. На этой основе они предложили новые варианты конструктивных схем В1.3 и В2.3 | | |
|  |  | Критическая ситуация связана с недостаточной точностью изготовления силового корпуса (из-за клёпки), чрезмерной трудоёмкостью и нагревом полезного груза при полете головной части в слоях атмосферы. |
| Пятое заседание. Эксперты рассмотрели способы преодоления критических ситуаций в проектах В1.3 и В2.3. На этой основе они предложили новые варианты конструктивных схем В3 | | |
| | | ***Критические ситуации не выявлены.*** |

располагается силовой шпангоут. На внешней поверхности оболочки нанесено теплозащитное покрытие. Герметичность во внутренней полости обтекателя обеспечивается присоединённым болтовым соединением днища.

В ходе обсуждения этих конструктивных схем эксперты, тем не менее, выявили критические ситуации, которые связаны с технологичностью изготовления устройства, недостаточной точностью изготовления силового корпуса (из-за применения клёпки), чрезмерной трудоёмкостью, нагревом полезного груза (В2.3) при полёте головной части в слоях атмосферы, а также чрезмерным весом конструкции и недостаточной защитой от теплового воздействия слоем теплозащитного материала (В1.3).

На *пятом заседании* эксперты пришли к единой конструктивной схеме В3, в которой головной обтекатель является оболочкой, а её внутренняя поверхность — вафельной, внешняя — теплозащитным покрытием. Полезный груз в герметичной внутренней полости фиксируется по краям упором и днищем. Эта конструкция является более технологичной с точки зрения изготовления. За счёт отсутствия дополнительных соединений на создание силового каркаса "освободившуюся" массу позволили использовать на увеличение толщины теплозащитного покрытия, что обеспечило необходимую теплозащиту полезного груза.

Существенных критических ситуаций по этой предложенной конструктивной схеме экспертами не было выявлено.

Таким образом, экспертный совет в ходе своей работы по созданию конструктивной схемы устройства для хранения полезного груза предложил девять вариантов конструктивных схем, которые были тщательно проанализированы. Последний из этих вариантов оказался наилучшим, что показало эффективную работу экспертного совета.

На основании изложенного можно сделать следующие выводы:

создана новая технология поиска способов преодоления критических ситуаций в жизненном цикле высококачественных объектов машиностроения, основанная на управлении творческим процессом экспертов-специалистов;

доказано, что творческий экспертный совет является сложной системой, которой присущи такие взаимосвязанные элементы, как кадры, база знаний, классификатор критических ситуаций, организация функционирования совета;

предложенная модель творческого совета позволяет находить способы преодоления критических ситуаций с помощью эффективного управления интеллектом экспертов-специалистов.

*Работа выполнена в рамках реализации ФЦП "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009—2013 гг."*

***Библиографические ссылки***

1. **Уразбахтин Ф.А.** Создание технических устройств с учётом функционирования в критических состояниях // Автоматизация и современные технологии. 1999. № 4. С. 25—27.

2. **Уразбахтин Ф.А.** Сложная система — Экспертный совет. Ижевск, Ижевский мех. ин-т, 1992. 12 с. (Рукопись деп. в ВИНИТИ, № 819-В92. 1992).

3. **Уразбахтин Ф.А.** Оценка функционирования сложных технических устройств // Автоматизация и современные технологии. 1996. № 9. С. 10—12.

4. **Альтшуллер Г.С.** Творчество как точная наука. М.: Советское радио, 1979. 176 с.

5. **Ручкин В.Н.** Универсальный искусственный интеллект и экспертные системы. С-Пб.: БХВ-Петербург, 2009. 240 с.

6. **Елтаренко Е.А.** Методы оценки и выбора инженерных и управленческих решений. М.: МИФИ, 1987. 60 с.

7. **Ирзаев Г.Х.** Экспертные методы управления технологичностью промышленных изделий. Вологда: Инфра-Инженерия, 2010. 192 с.

8. **Крон Ю.** Лаборатория технического творчества. Ставрополь: Книжное изд-во, 1974. 143 с.

9. **Напалков А.В., Прагина Л.Л.** Мозг человека и искусственный интеллект. М.: МГУ, 1985. 126 с.

10. **Боно Э.** Рождение новой идеи. М.: Прогресс, 1976. 142 с.

11. **Моисеева Н.К.** Выбор технических решений при создании новых изделий. М.: Машиностроение, 1980. 181 с.

12. **Мюллер И.** Эвристические методы в инженерных разработках. М.: Радио и связь, 1984. 144 с.

13. **Науман Э.** Принять решение — но как? М.: Мир, 1987. 197 с.

14. **Розенталь Э.З.** Основы методов поиска новых технических решений. Рига: Знание, 1978. 25 с.

15. **Ирзаев Г. Х.** Система отбора компетентных экспертов для решения проектно-производственных задач // Автоматизация и современные технологии. 2008. № 1. С. 40—46.

16. **Горбань А.В.** Автоматизация проектирования сложных технических объектов и систем. Харьков: ХАИ, 1979. 106 с.

17. **Загоруйко Н.Г.** Искусственный интеллект и эмпирическое предсказание. Новосибирск: изд-во НГУ, 1975. 82 с.

УДК 621.398

**Н.В. Корнеев,** д-р техн. наук, **Ю.В. Корнеева,** канд. историч. наук
(Поволжский государственный университет сервиса, г. Тольятти)
niccyper@mail.ru

# СИСТЕМА ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ РЕКЛАМНЫМ СТЕНДОМ НА БАЗЕ СОВРЕМЕННЫХ ПРОГРАММНЫХ ПЛАТФОРМ

*Предложено программное и аппаратное обеспечение системы дистанционного управления рекламным стендом на базе платформ Arduino и Android, которое может быть установлено практически на любые рекламные конструкции. Рассматриваемое решение имеет высокую гибкость в использовании и широкую область применения — от управления слаботочными светодиодными индикаторами до управления электроприводами мощностью до 2—3 кВт и потребляемым током до 10 А.*

**Ключевые слова:** система дистанционного управления, рекламный стенд, программная платформа, Arduino, Android

*It and hardware for display remote control system on the basis of the arduino and android platforms are offered program. They can be established practically on any advertizing designs. The considered decision has high flexibility in use and a wide scope — from control of low-current led indicators to control of electric drives with power up to 2—3 kW and consumed current to 10 A.*

**Key words:** remote control system, display, program platform, Arduino, Android

В настоящее время системы телеуправления (СТУ) занимают значительное место среди систем интеллектуального управления различного назначения, в том числе, для рекламных целей [1—7]. В сфере наружной рекламы заказчик всё чаще и чаще отказывается от стандартных средств доставки информации потенциальным клиентам в пользу высокотехнологичных рекламных установок, таких как:

видеоэкраны;

сложные световые конструкции, использующие светодиоды;

разнообразные кинематические конструкции;

средства взаимодействия с аудиторией (например, сенсорные панели).

Системы управления для этих конструкций (как программная составляющая, так и аппаратная) изготавливаются производителем самих конструкций. Естественно, что и обслуживание, и перенастройка выполняются либо фирмой производителем, либо подрядной организацией. Это накладывает ряд проблем ввиду невозможности:

оперативной перенастройки конструкции;

оперативного ремонта конструкции;

повторного использования аппаратной части.

Вследствие вышеуказанных причин происходит потеря времени и денежных средств.

Рассмотрим предметно аппаратную и программную части СТУ, предлагаемых в данных момент на рынке. СТУ состоят, в основном, из двух компонентов.

1. Какие-либо микроконтроллеры, компьютеры, программируемые реле или таймеры, которые непосредственно управляют периферийными устройствами (светодиодами, двигателями, сервомоторами и т. д.) [5]. Как правило, они устанавливаются непосредственно на рекламной конструкции.

2. Программно-аппаратные средства управления, обеспечивающие связь пользователя с аппаратными средствами управления (пультами, переключателями и подобными устройствами).

Микроконтроллерные сборки и платы изготавливаются непосредственно под каждую рекламную конструкцию. Зачастую перепрограммировать микроконтроллеры своими силами для использования в других рекламных конструкциях невозможно, и, в первую очередь, из-за того, что в этом не заинтересован их производитель. Проведение необходимых работ своими силами не представляется возможным для непрофильной организации.

Программно-аппаратные средства управления изготавливаются отдельно для каждого типа конструкции. Однако для их эксплуатации требуется обученный персонал. Можно привести пример кинетической конструкции, подвешенной под потолком зала. Для доступа к пульту управления необходимо подниматься на большую высоту, проводные технологии здесь не подойдут, а беспроводные либо слишком дороги, либо вообще не предусмотрены фирмой-изготови-

телем. Персоналу приходится тратить время для получения доступа к управляющим системам. Зачастую необходим частичный демонтаж облицовки, получение разрешений сторонних организаций для доступа к рекламной установке.

В связи с отмеченными недостатками существующих технологий управления рекламными конструкциями было принято решение разработать СТУ на базе платформ Arduino и Android с использованием технологий беспроводной связи.

В то же время, актуальной инженерной задачей является реализация интеллектуального управления такими объектами с целью учёта параметров состояния окружающей среды. Простым примером может служить факт выпадения атмосферных осадков на незащищённые элементы конструкции, их воровство, а также очень распространенные случаи вандализма.

Входными данными для системы телеуправления служат команды, вводимые пользователем на персональном мобильном устройстве. Часть команд заранее назначены на определённые кнопки и вводятся путем нажатия на соответствующую кнопку на сенсорном экране. Часть команд реализуются методами интеллектуального управления, описанными ниже.

Выходными данными является управляющий сигнал, передаваемый по беспроводному каналу связи в принимающее устройство, которое, в свою очередь, преобразует его согласно заложенной программе в электрические импульсы, управляющие стендом.

Новизна разработанного решения помимо очевидных практических и экономических факторов определяется методами интеллектуального управления по специально разработанной программе. В работе [7] приведена блочно-функциональная схема подобной системы.

Непосредственное отображение состояния объекта и среды основано на диагностической информации по объекту и наиболее полной по состоянию среды доступной для системы управления:

$$\tilde{X}[k+1] = \tilde{\Phi}(\tilde{X}, U, \tilde{F}, t)\tilde{X}[k] + \tilde{\Gamma}(t)U[k] + \tilde{G}(t)\tilde{F}[k], \quad (1)$$

где $\tilde{X}[k+1]$, $\tilde{X}[k]$ — наиболее точные возможные оценки векторов состояния объекта и среды; $\tilde{\Phi}(\tilde{X}, U, \tilde{F}, t)$ — функция перехода, определяемая наиболее точно известными параметрами состояния объекта и среды; $\tilde{\Phi}[k]$ — оценка вектора непосредственных воздействий окружающей среды; $\tilde{\Gamma}(t)U[k]$, $\tilde{G}(t)\tilde{F}[k]$ — интегральные преобразования наиболее точно представленных управляющих и возмущающих воздействий.

Вторичным отображением будем называть уравнения вторичных моделей, отображающих в системе управления внутренние модели пользователя. Их можно записать в виде, аналогичном (1), с использованием для обозначения вторичных модельных функций и оценок переменных двойной черты сверху символа:

$$\overline{\overline{X}}[k+1] = \overline{\overline{\Phi}}(\overline{\overline{X}}, U, \overline{\overline{F}}, t)\overline{\overline{X}}[k] + \overline{\overline{\Gamma}}(t)U[k] + \overline{\overline{G}}(t)\overline{\overline{F}}[k],$$

где $\overline{\overline{X}}[k+1]$, $\overline{\overline{X}}[k]$ — оценки вектора состояния объекта и среды во вторичных моделях; $\overline{\overline{\Phi}}(\overline{\overline{X}}, U, \overline{\overline{F}}, t)$ — функция перехода вторичной модели, $\overline{\overline{F}}[k]$ — оценка вектора возмущающих воздействий во вторичной модели; $\overline{\overline{\Gamma}}(t)U[k]$, $\overline{\overline{G}}(t)\overline{\overline{F}}[k]$ — преобразования воздействий вторичной модели; $\overline{\overline{Y}}[k]$ — вектор переменных вторичных моделей состояния: $\overline{\overline{Y}}[k] = \overline{\overline{C}}\,\overline{\overline{X}}[k] + \overline{\overline{\upsilon}}[k]$, здесь $\overline{\overline{\upsilon}}[k]$ — вектор помех измерений; $\overline{\overline{C}}$ — матрица формирования оценок измеримых переменных.

Уравнения вторичной личностной модели пользователя строятся аналогично с учётом уже известных из моделей объекта и среды функций:

$$\tilde{\tilde{Y}}[k+1] = \tilde{\tilde{\psi}}(\tilde{\tilde{Y}}, t)\tilde{\tilde{Y}}[k] + \tilde{\tilde{\psi}}(\overline{\overline{X}}, t)\overline{\overline{X}}[k+1] + \overline{\overline{\Gamma}}(t)(U[k]) + \overline{\overline{G}}(\mathrm{t})\overline{\overline{F}}[k], \quad (2)$$

где $\tilde{\tilde{Y}}[k+1]$, $\tilde{\tilde{Y}}[k]$ — векторы действий пользователя по его вторичной модели; $\tilde{\tilde{\psi}}(\tilde{\tilde{Y}}, t)$ — функция перехода вторичной личностной модели пользователя.

Согласно выражению (2) действия пользователя строятся на основе его внутреннего состояния и прогноза состояния объекта и среды. Таким образом, отдельно учитывается влияние прогноза состояния объекта и окружающей среды на формирование вектора управляющих действий пользователя.

СТУ представляет из себя клиент (приёмник), выполненный на базе платформы Arduino и сервер (передатчик) на базе платформы Andtroid (рис. 1).

Для реализации телеуправления был выбран радиоканал Bluetooth. Приёмники и передатчики, основанные на этой технологии, — дёшевы, находятся в свободной продаже и присутствуют практически в любом мобильном устройстве (планшетные компьютеры, ноутбуки, смартфо-

**Рис. 1. Общая структурная схема СТУ**

ны и т. д.). Выбор этой технологии связи фактически освобождает от разработки аппаратной части СТУ, так как в её качестве может быть применён типичный мобильный телефон. Главной задачей является создание программной системы, которую возможно установить на серийные мобильные устройства.

Операционные системы (ОС) мобильных устройств различаются, и создать универсальные программно-аппаратные средства СТУ не представляется возможным. Поэтому был выбран класс устройств на ОС Android. Одним из главных её преимуществ является распространённость: на начало 2012 г. используется около 210 млн мобильных устройств с данной ОС. При этом их стоимость значительно ниже, чем у мобильных устройств с другими ОС. Дополнительным обоснованием такого выбора можно назвать тот факт, что у ОС Android открытый код, что позволяет свободно разрабатывать приложение на любом персональном компьютере и вести их тестирование на реальных устройствах, а не на симуляторах. В качестве языка программирования ОС Android использует Java. Комплект программного обеспечения (ПО), необходимый для разработки приложений, является бесплатным.

Главный компонент приложения для ОС Android называется Activity. Этот компонент представляет собой визуальный пользовательский интерфейс для приложения (окно). Как правило, окно полностью заполняет собой экран мобильного устройства. Компонент Activity может также использовать дополнительные окна, например всплывающее диалоговое окно, которое запрашивает пользовательский ответ для основного компонента Activity. В компоненте Activity помещается весь рабочий код, а разметка положения графических элементов производится в отдельном файле.

На рис. 2 показан интерфейс главного компонента Activity для разработанного приложения CarControl. Всего в приложении используется три компонента Activity:

CarControl — основной компонент Activity; через него проводится вся работа с другими компонентами Activity, в нём же находится весь интерфейс приложения;

CarControlService — компонент Activity по работе с Bluetooth; в нем осуществляются методы для отправки команд в приемник;

DeviceListActivity — компонент Activity для поиска и отображения Bluetooth-устройств (рис. 3).

**Рис. 2. Интерфейс основного компонента Activity — CarControl**

**Рис. 3. Интерфейс компонента Activity для поиска и отображения Bluetooth-устройств**

Сервер (передатчик) на базе ОС Android может быть установлен на любое мобильное приложение с версией не ниже Android 2.0, большинство мобильных устройств попадают под этот критерий, и это обеспечивает низкие требования сервера к устройствам, на которые его можно установить.

Клиент (приемник) реализован на платформе Arduino. Arduino — это комплектные наборы и инструментарий для создания электронных устройств на базе однокристальных микроконтроллеров. Платформа Arduino имеет открытый программный код, построена на простой печатной плате и снабжается современной средой для разработки программного обеспечения. Arduino применяется для создания электронных устройств с возможностью приёма сигналов от различных

цифровых и аналоговых датчиков, которые могут быть подключены к нему, и управления различными исполнительными устройствами.

Устройства, основанные на Arduino, могут работать самостоятельно или взаимодействовать с программным обеспечением на компьютере (например, Flash, Processing, MaxMSP). Платы могут быть собраны пользователем самостоятельно или куплены в сборе. Среда разработки программ с открытым исходным текстом доступна бесплатно. Язык программирования Arduino является реализацией Wiring, схожей платформы для "physical computing", основанной на мультимедийной среде программирования Processing.

Существует множество микроконтроллеров и платформ для осуществления "physical computing": Parallax Basic Stamp, Netmedia's BX-24, Phidgets, MIT's Handyboard и многие другие, предлагающие схожую функциональность. Все эти устройства объединяют разрозненную информацию о программировании и заключают её в простую в использовании сборку. Arduino в свою очередь тоже упрощает процесс работы с микроконтроллерами, однако имеет ряд преимуществ перед другими устройствами:

низкая стоимость: платы Arduino относительно дёшевы по сравнению с другими платформами; самая недорогая версия модуля Arduino может быть собрана вручную, а некоторые даже готовые модули стоят менее 50 долларов США;

кросс-платформенность: программное обеспечение Arduino работает под ОС Windows, Macintosh OSX и Linux; большинство микроконтроллеров ограничивается ОС Windows;

простая и понятная среда программирования: среда Arduino основана на среде программирования Processing и подходит как для начинающих, так и для опытных пользователей.

Программное обеспечение Arduino с возможностью расширения и открытым исходным кодом выпускается как инструмент, который может быть дополнен опытными пользователями. Язык может дополняться библиотеками C++. Пользователи, желающие понять технические нюансы, могут перейти на язык AVR-C, на котором основан язык C++. Соответственно, можно добавить код из среды AVR-C в программу Arduino.

Аппаратной основой Arduino являются микроконтроллеры ATMEGA8 и ATMEGA168 с возможностью расширения и открытыми принципиальными схемами. Схемы модулей выпускаются с лицензией Creative Commons, а значит, опытные инженеры имеют возможность создания собственных версий модулей, расширяя и дополняя их. Даже обычные пользователи могут разработать опытные образцы с целью экономии средств.

Сама платформа Arduino не имеет устройств для работы с Bluetooth, но существуют модули расширения, которые восполняют этот недостаток базового функционала. Для реализации системы использованы модули:

DFRobot Bluetooth V.3 — модуль Bluetooth, устанавливаемый на плату;

DFRobot I/O Expansion Shield — модуль приемопередатчика данных по протоколу Bluetooth 2.0;

Motor Drive — модуль расширения, предназначенный для подсоединения модуля Bluetooth, датчиков и сервоприводов.

Указанные модули обеспечивают поддержу радиоканала Bluetooth клиентом и двухстороннюю связь с сервером.

Для демонстрации работы системы была собрана подвижная двухколесная платформа, приводимая в движение двумя электромоторами с встроенными редукторами (рис. 4). Сверху закреплена платформа Arduino UNO с модулями расширений I\O Expension Shield, Motor Drive и Bluetooth адаптером. Ниже расположен батарейный отсек на пять элементов питания типа AA.

Прямое подключение двигателей к плате Arduino невозможно, поэтому была использована плата расширения DFRobot (2A Motor Shield For Arduino. Motor Shield) на базе чипа L298P, позволяющая управлять двумя моторами постоянного тока с напряжением 7—12 В и током до 2 А по каждому каналу. Поскольку двигатели явля-

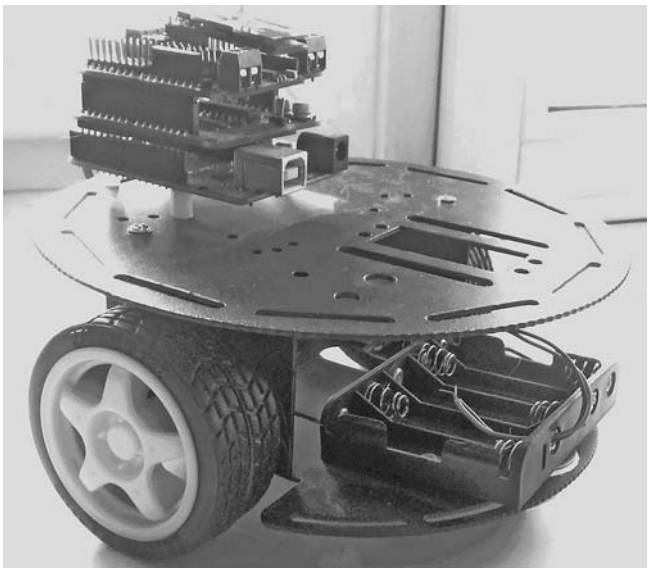


**Рис. 4. Демонстрационная часть СТУ**

ются мощными потребителями, они не могли быть подключены к выходам Arduino напрямую (как минимум, включение должно осуществляться через мощный транзистор). Для возможности изменять направление вращения потребовалась более сложная схема, так называемая H-Bridge. Кроме того, так как при разгоне и торможении двигатели индуцируют кратковременный большой ток, который может вывести микроконтроллер из строя, потребовалась установка защитных диодов. Все эти особенности были реализованы с использованием цельной платы расширения Motor Shield.

Созданные программно-аппаратные СТУ демонстрационным стендом на базе платформ Arduino и Android позволяют вести удалённое управление конструкцией, что экономит время, затрачиваемое персоналом на её обслуживание. Предложенное решение снижает материальные затраты, так как позволяет устанавливать предлагаемую СТУ практически на любые рекламные конструкции. Доработка программного кода клиента (приемника) для каждой конкретной конструкции не требует привлечения специалистов высокой квалификации ввиду относительной простоты средств программирования. Рассматриваемое решение имеет высокую гибкость в использовании и широкую область применения — от управления слаботочными светодиодными индикаторами до управления электроприводами мощностью до 2—3 кВт и потребляемым током до 10 А.

Разработанная СТУ может получить практическое применение при решении других аналогичных задач [6].

***Библиографический список***

1. **Винер Н.** Кибернетика, или управление и связь в животном и машине. М.: Наука, 1983. 344 с.

2. **Воронов А.А.** Введение в динамику сложных управляемых систем. — М.: Наука, 1985. 697 с.

3. **Нечёткие** множества в моделях управления и искусственного интеллекта / А.Н. Аверкин, В.Б. Тарасов и др. Под ред. Д.А. Поспелова. М.: Наука, 1986. 312 с.

4. **Острем К., Виттенмарк М.** Системы управления с ЭВМ. М.: Мир, 1987. 480 с.

5. **Корнеев Н.В.** Микропроцессорный блок управления и контроля движения автомобиля // Автомобильная промышленность, 2008, № 8. С. 19—21.

6. **Корнеев Н.В.** Принципы разработки и создания интеллектуальных систем управления на транспорте с учётом алгоритмизации взаимодействия оператора, объекта, окружающей среды и системы управления на базе современных высокопроизводительных микропроцессоров // Ученые записки РГСУ, 2011, № 9. С. 211—215.

7. **Корнеев Н.В., Кустарев Ю.С., Морговский Ю.Я.** Теория автоматического управления с практикумом. М.: Академия, 2008. 224 с.

ИЗДАТЕЛЬСТВО МАШИНОСТРОЕНИЕ

**ОСНОВЫ НАНОТЕХНОЛОГИЙ**

**Ю.И. Головин**

2012 г. Объем 656 с. Формат 60x88 1/16 Переплет ISBN 978-5-94275-662-8 Цена 800 р.

Изложены физико-химические основы нанотехнологии. Особенное внимание уделено размерным эффектам различной природы и путям их практического использования в различных наноструктурах и изделиях. Рассмотрены современные методы получения, исследования и определение свойств наноматериалов. Систематизированы и описаны основные направления развития нанотехнологий и нанотехники: физическое наноматериаловедение и наномеханика, наноэлектроника и нанобиотехнологии.

Наряду с общими положениями приведено большое число примеров конкретных разработок, доведенных до промышленного производства. Автор использовал как литературные, так и собственные данные. Книга содержит обширный ссылочный аппарат, включающий зарубежные и отечественные источники.

Для инженерно-технических работников, осваивающих и использующих нанотехнологические процессы, а также может быть полезна студентам и аспирантам, специализирующимся в этой области.

**Приобрести книгу в издательстве можно, прислав заявку:**

по почте: 107076, г. Москва, Стромынский пер., 4; по факсу: (499) 269-48-97; по e-mail: realiz@mashin.ru

Дополнительная информация по телефонам: (499) 269-52-98, 269-66-00 и на сайте WWW.MASHIN.RU

УДК 511.1

**М.В. Ульянов,** д-р техн. наук, проф. (Национальный исследовательский университет Высшая школа экономики, г. Москва),
**Ю.Г. Сметанин,** д-р физ.-мат. наук (Вычислительный центр РАН им. А.А. Дородницына, г. Москва)
muljanov@mail.ru

# ПСЕВДОЕДИНИЦЫ В РАСШИРЕНИИ МУЛЬТИПЛИКАТИВНОЙ ГРУППЫ ПО МОДУЛЮ КРИПТОСИСТЕМЫ RSA

*Рассматривается расширение до полной системы вычетов мультипликативной группы, порождённой составным модулем, соответствующим модулю в криптосистеме RSA. Вводится понятие псевдоединицы по модулю RSA и исследуются свойства псевдоединиц. Приводится формула для вычисления псевдоединиц по модулю RSA. Описанные в статье свойства псевдоединиц полезны в современных информационных технологиях при построении и анализе криптостойкости модифицированных схем цифровой подписи и обеспечении информационной безопасности и отказоустойчивости информационных и инфо-коммуникационных систем.*

**Ключевые слова:** группы, системы вычетов, RSA, китайская теорема об остатках, псевдоединицы.

*Expansion of a multiplicative group modulo composite number in RSA cryptosystem up to the complete residual system is considered. A notion of pseudounit is proposed. Properties of pseudounits are investigated. A formula for pseudounits modulo RSA is presented.*

**Key words:** groups, residual systems, RSA, Chinese residue system, pseudounits.

**Введение.** Вопросы построения и анализа криптосистем с открытым ключом и схем электронной подписи, основанных на теоретико-числовых методах, привели к расширению интереса к свойствам сравнений по модулю составного числа. В классической теории чисел этот вопрос не относился к числу вопросов, вызывающих наибольший интерес, и авторам не удалось найти опубликованных результатов о числе решений степенных уравнений в кольцах по модулю составного числа. В связи с этим в статье рассматривается расширение мультипликативной группы, порождённой составным модулем, соответствующим модулю в криптосистеме RSA, до полной системы вычетов. Элементы этого расширения обладают рядом особенностей, но основной является наличие чисел, обладающих свойствами единицы. Изучению особенностей этого расширения, введению понятия псевдоединицы в расширении группы по модулю RSA и исследованию свойств псевдоединиц и посвящена настоящая статья.

Обозначения и терминология. Далее в тексте статьи будем использовать следующие, как общепринятые в теории чисел [1], так и оригинальные обозначения; рассматриваются только неотрицательные целые числа:

$Z_+ = N \cup \{0\}$ — множество неотрицательных целых чисел;

$n = pq$ — модуль криптосистемы RSA [2], $p$, $q$ — простые нечетные числа;

$\varphi(n) = (p-1)(q-1)$ — функция Эйлера для $n = pq$;

$a\mathrm{mod}_m = r$ — неотрицательный остаток от деления: $a = km + r$, $0 \leqslant r \leqslant m-1$;

$a \equiv b(\mathrm{mod}_m)$ — символ сравнения (К.Ф. Гаусс): числа $a$, $b$ принадлежат одному классу эквивалентности по модулю $m$, т. е. $a\mathrm{mod}_m = b\mathrm{mod}_m$;

$a = [\alpha, \beta]_{p,\,q}$ — представление числа $a$ в системе счисления в остатках [3] по модулям $p$ и $q$, при этом $\alpha = a\mathrm{mod}_p$, $\beta = a\mathrm{mod}_q$;

НОД$(a, b)$ — наибольший общий делитель $a$ и $b$;

$*_{\mathrm{mod}_n}$ — операция умножения по модулю $n$:

$a(*_{\mathrm{mod}_n})b = (ab)\mathrm{mod}_n$;

$Z_n^* = \{z | z \in Z_+, z < n, \text{НОД}(z, n) = 1\}$ — множество чисел, меньших и взаимно простых с $n$;

$Z_n = \{z | z \in Z_+, z < n\}$ — расширение $Z_n^*$ до полной системы вычетов по модулю $n$.

$\langle Z_n^*, *_{\mathrm{mod}_n} \rangle$ — алгебраическая структура — мультипликативная группа вычетов по модулю $n$. Исторически эта структура также обозначается через $\mathbf{Z}_n^*$ (в жирном начертании), и далее под $\mathbf{Z}_n^*$ авторы понимают именно мультипликативную группу;

$a^{-1}(\mathrm{mod}n)$ — элемент, обратный к $a$ в группе $\mathbf{Z}_n^*$;

$\langle Z_n, *_{\mathrm{mod}_n} \rangle$ — алгебраическая структура, определённая на полной системе вычетов по модулю $n$. Мы будем обозначать эту структуру через $\mathbf{Z}_n$, по аналогии с $\mathbf{Z}_n^*$. Заметим, что $\mathbf{Z}_n$ уже не является группой, поскольку содержит числа, кратные $p$ и $q$, для которых не существует обратных элементов в $Z_n$. Структура $\mathbf{Z}_n$ с операцией умножения по модулю $n$ является моноидом и содержит делители нуля;

$D_n$ — подмножество чисел множества $Z_n \backslash \{0\}$, не входящих в группу $\mathbf{Z}_n^*$. Очевидно, что эти числа имеют вид $a = kp$, $k \in \{1, ..., q-1\}$ или $a = lq$, $l \in \{1, ..., p-1\}$ и являются делителями нуля в $\mathbf{Z}_n$. Собственно говоря, множество $D_n$ и есть расширение множества $Z_n^*$ до $Z_n \backslash \{0\}$.

**Особенности моноида $\mathbf{Z}_n$** при $n = pq$. Моноид $\mathbf{Z}_n$ при $n = pq$ является основной структурой, на которой действует криптосистема RSA. В соответствии с теоремой Эйлера $\forall a \in Z_n^*\ a^{\varphi(n)} \equiv 1(\mathrm{mod}_n)$, и, следовательно, $a^{\varphi(n)+1} \equiv a(\mathrm{mod}_n)$, а если $a < n$, то $a^{\varphi(n)+1}\mathrm{mod}_n = a$, что и обеспечивает работоспособность RSA в том случае, если $a \in Z_n^*$. Однако основное (в смысле криптосистемы RSA) свойство расширения множества $Z_n^*$ состоит в том, что криптосистема работает для любых чисел из $Z_n$.

*Утверждение* 1.

$$\forall a \in Z_n^*\ a^{\varphi(n)+1}\mathrm{mod}_n = a. \qquad (1)$$

Приведём доказательство этого утверждения, содержащееся в [2].

Полагая $1 \leqslant a < n$, и учитывая, что $\varphi(n) = (p-1)(q-1)$, имеем

$$a^{\varphi(n)+1} = aa^{\varphi(n)} = aa^{(p-1)(q-1)},$$

и, следовательно, применяя теорему Эйлера отдельно для числа $p$, получаем

$$a^{\varphi(n)+1}(\mathrm{mod}p) \equiv a(a^{(p-1)})^{(q-1)}(\mathrm{mod}p) \equiv$$
$$\equiv a1^{(q-1)}(\mathrm{mod}p) \equiv a(\mathrm{mod}p), \qquad (2)$$

аналогично, для числа $q$:

$$a^{\varphi(n)+1}(\mathrm{mod}q) \equiv a(\mathrm{mod}q). \qquad (3)$$

В силу китайской теоремы об остатках из (2) и (3) следует, что

$$\forall a \in Z_n\ a^{\varphi(n)+1} \equiv a(\mathrm{mod}pq) \Rightarrow a^{\varphi(n)+1}\mathrm{mod}_{pq} = a,$$

и, поскольку $n = pq$, то (1) доказано.

**Понятие псевдоединицы в расширении $Z_n^*$.** Отметим одну интересную особенность моноида $Z_n$ с носителем $Z_n = Z_n^* \cup D_n \cup \{0\}$ при $n = pq$, т. е. для модуля криптосистемы RSA. Очевидно, что при $a \notin Z_n^*$, т. е. при $a \in D_n$ или при $a = 0$, теорема Эйлера несправедлива, следовательно, мы имеем

$$a^{\varphi(n)}\mathrm{mod}_n = x.$$

Очевидно, что $x \in Z_n$, однако значение $x$ может быть как равно нулю или единице, так и принадлежать группе $\mathbf{Z}_n^*$, или же быть элементом из множества $D_n$. Теорема Эйлера не отвечает на этот вопрос.

*Утверждение* 2.

$$\forall a \in D_n\ a^{\varphi(n)}\mathrm{mod}_n = x \Rightarrow x \in D_n. \qquad (4)$$

Докажем, что $x \neq 1$. В предположении, что $x = 1$, положим $a = kp$ и, подставляя в (4), получаем

$$(kp)^{\varphi(n)} = rpq + 1 \Rightarrow (kp)^{\varphi(n)} - rpq = 1,$$

но слева $((kp)^{\varphi(n)} - rpq)\mathrm{mod}_p = 0$, в то время как справа $1\mathrm{mod}_p = 1$, следовательно $x \neq 1$. Другая возможность для $a \in D_n$ — значения $a = lg$ рассматривается аналогично.

Докажем, что $x \notin Z_n^*$. Предположим, что $a = kp$ и $x \in Z_n^*$, тогда в силу теоремы Эйлера

$$x^{\varphi(n)}\mathrm{mod}_n = 1 \Rightarrow (kp)^{\varphi(n)\varphi(n)} = rpq + 1,$$

невозможность этого доказывается аналогично случаю $x = 1$, точно также проводится и доказательство для значений $a$ вида $lq$.

Остаются два случая: $x = 0$ или $x \in D_n$. Случай $x = 0$ невозможен, поскольку при $a = kp$ значение $k < q$, а при $a = lg$ значение $l < p$, и, следовательно, $a^{\varphi(n)}$ не делится нацело на $n = pq$, поскольку $p$ и $q$ — простые нечётные числа. Следовательно, $x \in D_n$.

Таким образом, для $a \in D_n$ $a^{\varphi(n)}\mathrm{mod}_n = x$, и в силу утверждения 2 значение $x \in D_n$, но с другой стороны, выполняется свойство RSA: $a^{\varphi(n)+1}\mathrm{mod}_n = a$, что приводит к равенству

$$(ax)\mathrm{mod}_n = a, x \in D_n, x \in D_n, \qquad (5)$$

причём нас интересует значение $x$, порождённое условием

$$x = a^{\varphi(n)}\mathrm{mod}_n. \quad (6)$$

Значения $x$, обладающие свойством единицы в силу (5), и порождённые соотношением (6), сами при этом не равные единице, и принадлежащие расширению группы $Z_n^*$ до моноида $\mathbf{Z}_n$, мы будем называть далее *псевдоединицами* по модулю криптосистемы RSA.

**Постановка задачи.** Таким образом, *объектом исследования* в настоящей статье является алгебраическая структура, состоящая из множества $Z_n$ и операции умножения по модулю $n$ — $\mathbf{Z}_n = \langle Z_n, {}^*\mathrm{mod}_n\rangle$. *Предметом* исследования являются псевдоединицы в структуре $\mathbf{Z}_n$.

Авторы ставят перед собой следующие задачи:

определить число псевдоединиц в $\mathbf{Z}_n$;

указать способ вычисления значений этих псевдоединиц;

исследовать свойства псевдоединиц.

**Исследование псевдоединиц по модулю криптосистемы RSA.** Прежде всего отметим, что при $a\mathrm{mod}_n = 0$ любое значение $x$ удовлетворяет равенству (5), а значение $x = 0$ удовлетворяет и условию (6). Таким образом, $x = 0$ при $a\mathrm{mod}_n = 0$ является вырожденной псевдоединицей и далее рассматриваться не будет.

Рассмотрим далее значения $x \in D_n$. Предположим, что $a = kp$ и подставим это значение в (5) при $n = pq$

$$(kpx)\mathrm{mod}_{pq} = kp \Rightarrow kpx = mpq + kp \Rightarrow$$

$$\Rightarrow x = \frac{mq}{k} + 1. \quad (7)$$

Поскольку $x \in Z_n$, т. е. является целым, то в (7) число $m$ должно иметь вид $m = rk$, и, следовательно, $x$ представим в виде $x = rq + 1$, т. е.

$$x\mathrm{mod}_q = 1. \quad (8)$$

Поскольку $x \in D_n$ по утверждению 2, и $x$ не может быть кратен $q$ в силу (8), то $x\mathrm{mod}_p = 0$, поскольку числа не кратные $q$ в $D_n$ имеют вид $kp$. Таким образом, для $a = kp$ псевдоединица $x$ представима в системе счисления в остатках по $p$ и $q$ в виде:

$$x = [0,1]_{p,\,q}. \quad (9)$$

Обозначим певдоединицу для значений $a$ вида $kp$ через $1_p$. Рассуждая аналогично при $a = lq$, из $D_n$ получаем представление псевдоединицы для элементов из $D_n$ вида $lq$:

$$x = [1,0]_{p,\,q} \quad (10)$$

и вводим соответствующее обозначение — $1_q$.

Легко видеть, что в $D_n$ существует ровно две псевдоединицы — $1_p$ и $1_q$.

В системе счисления в остатках для двух модулей существует красивая формула перевода в обычное представление [3]:

$$[\alpha, \beta]_{p,\,q} \equiv$$
$$\equiv (pp^{-1}(\mathrm{mod}q)\beta + qq^{-1}(\mathrm{mod}p)\alpha)(\mathrm{mod}pq). \quad (11)$$

Поскольку псевдоединицы имеют представление (9) и (10), т. е. $\alpha \in \{0,1\}$, $\beta \in \{0,1\}$ и

$$pp^{-1}(\mathrm{mod}q) < pq, \text{ и } qq^{-1}(\mathrm{mod}p) < pq,$$

то (11) эквивалентно

$$[\alpha, \beta]_{p,\,q} = pp^{-1}(\mathrm{mod}q)\beta + qq^{-1}(\mathrm{mod}p)\alpha.$$

С учётом (9) и (10) мы получили явные формулы для вычисления значений псевдоединиц:

$$\begin{aligned} 1_p &= [0,1]_{p,\,q} = pp^{-1}(\mathrm{mod}q), \\ 1_q &= [1,0]_{p,\,q} = qq^{-1}(\mathrm{mod}p). \end{aligned} \quad (12)$$

Отметим, что помимо указанных свойств, псевдоединицы обладают также свойством, характерным для обычной единицы ($1^2 = 1$):

$$(1_p)^2\mathrm{mod}_{pq} = 1_p,\ (1_q)^2\mathrm{mod}_{pq} = 1_q,$$

так и особыми свойствами, характерными только для псевдоединиц:

$$(1_p 1_q)\mathrm{mod}_{pq} = 0,$$

т. е. псевдоединицы являются делителями нуля, и

$$(1_p + 1_q)\mathrm{mod}_{pq} = 1 \Rightarrow 1_p + 1_q = pq + 1,$$

последнее равенство справедливо в силу того, что и $1_p < pq$ и $1_q < pq$.

**Числовой пример.** Рассмотрим модуль RSA $n = pq$, образованный простыми числами $p = 7$, $q = 11$. При этом $\varphi(n) = (p-1)(q-1) = 6 \cdot 10 = 60$. Вычислим псевдоединицы для данного модуля RSA по формулам (12):

$$1_7 = [0,1]_{7,11} = 7 \cdot 7^{-1}(\mathrm{mod}11) = 7 \cdot 8 = 56,$$

$$1_{11} = [1,0]_{7,11} = 11 \cdot 11^{-1}(\mathrm{mod}7) = 11 \cdot 2 = 22.$$

Фрагмент расчёта по формуле (1) для чисел из $Z_n$ приведён в таблице. Строки, выделенные

**Псевдоединицы для модуля RSA $p = 7$, $q = 11$**

| $a$ | $a \bmod_7$ | $a \bmod_{11}$ | $a^{60} \bmod_{77}$ | $a^{61} \bmod_{77}$ |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | 2 | 2 | 1 | 2 |
| 3 | 3 | 3 | 1 | 3 |
| 4 | 4 | 4 | 1 | 4 |
| 5 | 5 | 5 | 1 | 5 |
| 6 | 6 | 6 | 1 | 6 |
| **7** | **0** | **7** | **56** | **7** |
| 8 | 1 | 8 | 1 | 8 |
| 9 | 2 | 9 | 1 | 9 |
| 10 | 3 | 10 | 1 | 10 |
| **11** | **4** | **0** | **22** | **11** |
| 12 | 5 | 1 | 1 | 12 |
| 13 | 6 | 2 | 1 | 13 |
| **14** | **0** | **3** | **56** | **14** |
| 15 | 1 | 4 | 1 | 15 |
| 16 | 2 | 5 | 1 | 16 |
| 17 | 3 | 6 | 1 | 17 |
| 18 | 4 | 7 | 1 | 18 |
| 19 | 5 | 8 | 1 | 19 |
| 20 | 6 | 9 | 1 | 20 |
| **21** | **0** | **10** | **56** | **21** |
| **22** | **1** | **0** | **22** | **22** |
| 23 | 2 | 1 | 1 | 23 |
| 24 | 3 | 2 | 1 | 24 |

жирным начертанием соответствуют элементам из $D_n$, и иллюстрируют равенство (5).

**Заключение.** Таким образом, в статье введено понятие псевдоединицы в расширении мультипликативной группы по модулю криптосистемы RSA, дано определение псевдоединицы, показано, что при модуле вида $n = pq$ имеется всего две псевдоединицы — $1_p$ и $1_q$. Указана формула для прямого вычисления значений псевдоединиц и исследованы их свойства.

Данная статья имеет теоретический характер, однако описанные в ней свойства псевдоединиц полезны в современных информационных технологиях при построении и анализе криптостойкости модифицированных схем цифровой подписи и обеспечении информационной безопасности и отказоустойчивости информационных и инфо-коммуникационных систем. В частности, псевдоединицы играют важную роль в реконструкции закодированной информации при возникновении её искажений. Конкретные приложения полученных результатов в современных информационных и инфо-коммуникационных технологиях представляют предмет дальнейших исследований авторов.

***Библиографические ссылки***

1. **Манин Ю.И., Панчишкин А.А.** Введение в теорию чисел. М.: ВИНИТИ, 1990. Т. 49. 341 с. (Итоги науки и техники. Серия "Современные проблемы математики. Фундаментальные направления".).

2. **Кормен Т., Лейзерсон Ч., Ривест Р.** Алгоритмы: построение и анализ. М.: МЦНМО, 1999. 960 с.

3. **Дэвенпорт Г.** Высшая арифметика: введение в теорию чисел. Пер. с англ. / Под ред. Ю.В. Линника. Изд 2-е. М.: Книжный дом "ЛИБРОКОМ", 2010. 176 с.

## Уважаемые авторы и читатели журнала!

В соответствии с решениями президиума Высшей аттестационной комиссии Минобрнауки России журнал «Автоматизация и современные технологии» включён в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание учёных степеней кандидата и доктора наук.

УДК 621.865

**Н.П. Митяшин,** д-р техн. наук, проф., **Ю.Б. Томашевский,** д-р техн. наук, проф.,
**А.В. Денисов, А.А. Дмитриев** (Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина)
yurytomash@mail.ru

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЧЁТКОЙ МЕРЫ ЦЕННОСТИ КРИТЕРИЕВ ПРИ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОМ ВЫБОРЕ

*Предложена методика сведения задачи многокритериального выбора к однокритериальному, основанная на введении нечёткой (неаддитивной) меры ценности критериев и учёте требований заказчика к их значениям. Неаддитивность меры выражается в том, что сочетания свойств объекта могут увеличивать их совместную ценность по сравнению с суммой их индивидуальных ценностей, рассматриваемых по отдельности.*

**Ключевые слова:** многокритериальный выбор, нечёткая мера, ценности критериев.

*A method of reducing of the multicriteria choice problem to the one criteria choice problem, based on the introduction of fuzzy (non-additive) measure of the valuation of criteria and customer requirements to the values of the criteria. Nonadditivity of measure reflected in the fact that a combination of object properties can increase their joint valuation compared to the sum of their individual valuations considered separately.*

**Key words:** multicriteria choice, fuzzy measure, valuables of criteria.

**Введение.** Один из возможных подходов к решению проблемы многокритериального выбора основывается на применении меры ценности критериев [1]. В частности, представляет интерес нечёткая мера [2], определение которой в случае конечного множества имеет следующий вид. Нечёткой мерой называется неотрицательная функция $g(\bullet)$, определённая на подмножествах конечного множества $X$, и обладающая следующими свойствами:

а) $g(\varnothing) = 0$, $g(X) = 1$;

б) если $A, B \in 2^X$ и $A \subset B$, то $a(A) \leqslant g(B)$ (свойство монотонности).

Существенно, что в определении нечёткой меры отсутствует требование аддитивности. Частным случаем нечёткой меры является $\lambda$-нечёткая мера $g_\lambda(\bullet)$, введённая Сугено с помощью $\lambda$-правила, состоящим в следующем [2]. Для каждой пары непересекающихся подмножеств $E$, $F$ множества $X$

$$g_\lambda(E \cup F) = g_\lambda(E) + g_\lambda(F) + \lambda g_\lambda(E) g_\lambda(F);$$
$$-1 < \lambda < \infty.$$

В нашем случае множество $X$ есть множество критериев некоторой задачи выбора. При $\lambda > 0$ происходит усиление степени ценности подмножества критериев по сравнению с суммой меры ценностей всех его элементов (супераддитивная мера), $\lambda < 0$ — ослабление степени ценности (субаддитивная мера). Неаддитивность меры может быть полезна для отображения того факта, что в определённых сочетаниях отдельные критерии могут усиливать или ослаблять ценность совокупности критериев.

**Теоретический анализ.** В настоящей работе рассматривается интегральный показатель качества образцов оборудования некоторой предметной области (далее альтернативы), построенный на основе нечёткой меры ценности критериев. Пусть $\Xi = \{\Phi_i\}$ — множество критериев оценки альтернатив некоторой предметной области, на множестве подмножеств которого $2^\Xi$ задана нечёткая мера $g[\Upsilon]$, где $\Upsilon \subset \Xi$ есть некоторое подмножество критериев. Все критерии для определённости считаем максимизируемыми. Значение $i$-го критерия на альтернативе $x$ будем обозначать через $\Phi_i(x)$.

Для каждого критерия введём границу предпочтения заказчика $\alpha_i$, так что если для альтернативы $x$ выполняется неравенство $\Phi_i(x) < \alpha_i$, то она не удовлетворяет предпочтению заказчика по данному критерию [3]. Вектор $\vec{\alpha}$, компонентами которого являются границы $\alpha_i$, назовём вектором границ. В работе [3] используется жёсткий подход, при котором альтернатива $z$, для которой $\Phi_i(z) < \alpha_i$ хотя бы для одного $i$ выбывает из множества выбора. Предлагаемый в данной работе интегральный показатель $g_{\vec{\alpha}}(z)$ позволяет на основе нечёткой меры ценности критериев и любого вектора границ осуществлять компромиссный однокритериальный выбор из всего исходного множества альтернатив даже в условиях, когда каждая альтернатива не удов-

летворяет предпочтению заказчика, по крайней мере, по одному критерию.

Для каждой альтернативы $x$ положим

$$g_{\vec{\alpha}}(z) = g[\Xi_{\vec{\alpha}}(x)],$$

где $\Xi_{\vec{\alpha}}(x) = \{\Phi_i | \Phi_i(x) \geqslant \alpha_i\}$.

Таким образом, $\Xi_{\vec{\alpha}}(x)$ есть множество критериев, для которых альтернатива $x$ удовлетворяет требованиям заказчика, а $g_{\vec{\alpha}}(x)$ есть ценность этого множества критериев. Такую оценку назовём оценкой альтернатив по вектору границ критериев $\vec{\alpha}$. Целесообразность введения такой границы следует из её следующих свойств, которые сформулируем в виде утверждений.

*Утверждение 1.* Для любой альтернативы $x$ $g_{\vec{\alpha}_1}(x) \geqslant g_{\vec{\alpha}_2}(x)$, если для всех соответствующих компонент векторов $\vec{\alpha}_1$ и $\vec{\alpha}_2$ выполняется следующее условие $\alpha_{1i} \leqslant \alpha_{2i}$.

Доказательство:

Пусть $\Phi_i$ любой критерий из $\Xi_{\vec{\alpha}_2}(x)$. Тогда $(\Phi_i \in \Xi_{\vec{\alpha}_2}(x)) \to \Phi_i(x) \geqslant \alpha_{2i})$. Поскольку $\alpha_{2i} \geqslant \alpha_{1i}$, то отсюда следует $\Phi_i(x) \geqslant \alpha_{1i}$. Следовательно, $\Phi_i \in \Xi_{\vec{\alpha}_1}(x)$. Поскольку мы рассмотрели любой критерий $\Phi_i$ из $\Xi_{\vec{\alpha}_2}(x)$, то $\Xi_{\vec{\alpha}_2}(x) \subset \Xi_{\vec{\alpha}_1}(x)$ и по свойству монотонности меры имеем $g[\Xi_{\vec{\alpha}_1}(x)] \geqslant g[\Xi_{\vec{\alpha}_2}(x)]$, что равносильно доказываемому неравенству. Это соответствует естественному факту, согласно которому снижение требований приводит к повышению численного значения оценки альтернативы.

*Утверждение 2.* Если $\forall i \Phi_i(x) \geqslant \alpha_i$, то $g_{\vec{\alpha}}(x) = 1$.

Доказательство очевидно: при выполнении указанного условия $\Xi_{\vec{\alpha}}(x) = \Xi$, но $g[\Xi] = 1$ по свойству нечёткой меры.

*Утверждение 3.* Если $\forall i \Phi_i(x) < \alpha_i$, то $g_{\vec{\alpha}}(x) = 0$.

Доказательство:

Если выполняется условие $\Xi_{\vec{\alpha}}(x) = \varnothing$, тогда $g(\varnothing) = 0$ по свойству нечёткой меры.

Таким образом, альтернатива, удовлетворяющая заказчика по всем критериям, имеет наивысшую оценку. Напротив, минимально возможную оценку получают альтернативы, не удовлетворяющие ни одному из предъявляемых требований.

*Утверждение 4.* Если $\forall i \Phi_i(x_1) \geqslant \Phi_i(x_2)$, то $g_{\vec{\alpha}}(x_1) \geqslant g_{\vec{\alpha}}(x_2)$.

Доказательство:

Рассмотрим некоторый критерий, для которого $\Phi_i \in \Xi_{\vec{\alpha}}(x_2)$. Это означает, что $\Phi_i(x_2) \geqslant \alpha_i$. Из условия $\Phi_i(x_1) \geqslant \Phi_i(x_2) \geqslant \alpha_i$ очевидно $\Phi_i(x_1) \geqslant \alpha_i$ и, следовательно, $\Phi_i \in \Xi_{\vec{\alpha}}(x_1)$.

Итак, $\Phi_i \in \Xi_{\vec{\alpha}}(x_2) \to \Phi_i \in \Xi_{\vec{\alpha}}(x_1)$, т. е. $\Xi_{\vec{\alpha}}(x_2) \subset \Xi_{\vec{\alpha}}(x_1)$ и по свойству монотонности $g[\Xi_{\vec{\alpha}}(x_1)] \geqslant g[\Xi_{\vec{\alpha}}(x_2)]$, т. е. $g_{\vec{\alpha}}(x_1) \geqslant g_{\vec{\alpha}}(x_2)$.

Из доказанных выше утверждений следует, что при заданных векторе границ допустимости $\vec{\alpha}$ и нечёткой мере ценности критериев интегральный показатель $g_{\vec{\alpha}}(x)$ позволяет линейно упорядочить множество альтернатив, т. е. свести многокритериальный выбор к однокритериальному.

**Методика задания нечёткой меры.** Наиболее трудоёмким этапом процедуры оценивания альтернатив с помощью нечёткой меры ценности критериев является задание самой этой меры. Представим методику задания нечёткой меры, основанную на экспертной оценке важности критериев и её изменении при их совокупном рассмотрении.

Прежде всего, следует учесть, что не все критерии набора критериев участвуют во "взаимодействии" при их совместном рассмотрении. В общем случае они могут образовывать несколько групп, внутри которых происходит взаимное усиление ценностей, в то время как критерии разных групп не взаимодействуют. Представим множество всех критериев в виде объединения таких групп, в каждой из которых действует внутренняя нечёткая мера ценностей:

$$\Xi = \bigcup_i Q_i.$$

Каждая группа критериев $Q_i$ в совокупности имеет меру ценности $G_i$ внутри множества $\Xi$, которую будем считать аддитивной, т. е.

$$\sum_i G_i = 1.$$

Таким образом, нечёткая мера задается отдельно внутри каждой группы в соответствии со степенью взаимного усиления ценности критериев в данной группе.

Проиллюстрируем процедуру нахождения параметров меры для группы из четырёх критериев $Q = \{\Phi_1, \Phi_2, \Phi_3, \Phi_4\}$ с совокупной ценностью $G$.

Задание нечёткой меры $g[\Upsilon]$ сводится к определению ценностей отдельных критериев $g_i = g(\{\Phi_i\})$ и параметра $\lambda$, позволяющего определить меру

ценности любого подмножества критериев $\Upsilon$ из $Q$ по формуле Сугено [2]

$$g[\Upsilon] = \frac{1}{\lambda}\left(\prod_{i \in I}(1 + \lambda g_i) - 1\right), \quad (1)$$

где — $I$ — множество номеров критериев, входящих в $\Upsilon$.

Для задания меры эксперт указывает относительные ценности $\beta_1$, $\beta_2$, $\beta_3$, $\beta_4$ критериев $\Phi_1$, $\Phi_2$, $\Phi_3$, $\Phi_4$ внутри группы так, что

$$\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4 = 1; \beta_i > 0,$$

а также коэффициент $\nu$, характеризующий степень уменьшения ценности суммы собственных ценностей всех критериев группы по отношению к их совокупной ценности, т. е.

$$\nu = \sum_{i=1}^{4} g_i/G.$$

Этот коэффициент можно назвать показателем аддитивности меры, так как для аддитивной меры он равен 1, а для супераддитивной меры он всегда меньше 1.

Из предыдущего следует, что

$$g_i = \beta_i \nu G. \quad (2)$$

Для нахождения параметра $\lambda$, отвечающего заданным значениям параметров $\nu$, $G$ и набору $\beta_1$, $\beta_2$, $\beta_3$, $\beta_4$ применим формулу (1) для всего множества $Q$, чья совокупная ценность равна $G$:

$$g(Q) = \frac{1}{\lambda}\left(\prod_{i=1}^{4}(1 + \lambda g_i) - 1\right) = G.$$

С учётом (2) эту формулу можно переписать так:

$$\frac{1}{\lambda G}\left(\prod_{i=1}^{4}(1 + \lambda \beta_i \nu G) - 1\right) = 1.$$

Введя промежуточный параметр $\mu = \lambda G$, после упрощений для его нахождения получим следующее алгебраическое уравнение третьей степени

$$\mu^3 + a\mu^2 + b\mu + c = 0, \quad (3)$$

где

$$a = \frac{\beta_1\beta_2 + \beta_1\beta_3 + \beta_1\beta_4 + \beta_2\beta_3 + \beta_2\beta_4 + \beta_3\beta_4}{\nu\beta_1\beta_2\beta_3\beta_4};$$

$$b = \frac{\beta_1\beta_2\beta_3 + \beta_1\beta_3\beta_4 + \beta_1\beta_2\beta_4 + \beta_2\beta_3\beta_4}{\nu^2\beta_1\beta_2\beta_3\beta_4};$$

$$c = \frac{\nu - 1}{\nu^4\beta_1\beta_2\beta_3\beta_4}.$$

В общем случае, когда в группу входят $n$ критериев, мы получаем уравнение $(n - 1)$-й степени.

Можно показать, что уравнение (3) всегда имеет один положительный корень $\mu_0$, найдя который, мы определяем параметр $\lambda$ по формуле

$$\lambda = \mu/G,$$

что совместно с (2) завершает процесс задания нечёткой меры критериев группы $Q$.

Для обеспечения практического применения нечёткой меры были проведены расчёты, позволяющие находить параметр $\mu$ графически без решения уравнения вида (3). В результате получены зависимости параметра $\mu$ от коэффициента аддитивности $\nu$ (табл. 1). При этом учтено, что этот параметр зависит также от набора относительных ценностей критериев внутри группы $\beta_1$, $\beta_2$, $\beta_3$, $\beta_4$. Однако проведенные исследования показали, что с погрешностью, не превышающей 5 %, параметр $\mu$ определяется не конкретными значениями $\beta_i$, а их разбросом. Это позволило задать указанные зависимости при различных значениях среднеквадратичного показателя разброса

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_i(\beta_i - \beta_0)^2},$$

где $\beta_0 = 1/n$ — среднее значение коэффициента относительной ценности в группе, $n$ — число критериев группы (см. табл. 1).

Поскольку в общем случае необходимо рассчитывать ценность любого множества критериев, входящих в разные группы $Q_i$, формула (1) принимает следующий вид:

$$g[\Upsilon] = \sum_{j=1}^{m}\frac{1}{\lambda_j}\left(\prod_{i \in I_j}(1 + \lambda_j g_i^j) - 1\right), \quad (4)$$

где $m$ — число групп $Q_i$; $\lambda_j$ и $g_i^j$ — параметры меры в $i$-й группе.

Последняя формула применима и в том случае, когда одна или несколько групп состоят из единственного критерия, ценность которого не зависит от других критериев. В этом случае в правой части формулы имеются слагаемые, равные собственным ценностям этих критериев.

Таблица 1

**Зависимость параметра μ от коэффициента аддитивности ν при различных значениях показателя разброса σ для группы из 4 критериев**

| σ | μ = *f*(ν, σ) | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,52 | ν | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 0,95 |
| | μ | 135,23 | 42,11 | 19,71 | 10,78 | 6,32 | 3,78 | 2,22 | 1,19 | 0,49 | 0,22 |
| 0,41 | ν | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 0,95 |
| | μ | 112,35 | 34,94 | 16,34 | 8,93 | 5,23 | 3,13 | 1,83 | 0,98 | 0,41 | 0,18 |
| 0,33 | ν | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 0,95 |
| | μ | 103,21 | 32,01 | 14,94 | 8,15 | 4,77 | 2,85 | 1,67 | 0,89 | 0,37 | 0,16 |
| 0,3 | ν | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 0,95 |
| | μ | 100,61 | 31,17 | 14,54 | 7,92 | 4,63 | 2,77 | 1,62 | 0,87 | 0,35 | 0,16 |
| 0,22 | ν | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 0,95 |
| | μ | 90,27 | 28,22 | 13,25 | 7,27 | 4,27 | 2,56 | 1,51 | 0,81 | 0,33 | 0,15 |
| 0,17 | ν | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 0,95 |
| | μ | 84,64 | 26,67 | 12,59 | 6,94 | 4,09 | 2,46 | 1,45 | 0,78 | 0,32 | 0,15 |
| 0,1 | ν | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 0,95 |
| | μ | 81,74 | 25,79 | 12,19 | 6,72 | 3,97 | 2,39 | 1,41 | 0,76 | 0,31 | 0,14 |

**Пример применения методики.** Пусть образцы оборудования идентичного назначения $\Lambda_1$, $\Lambda_2$, $\Lambda_3$, $\Lambda_4$, $\Lambda_5$ оцениваются семью максимизируемыми критериями $Q_1$, $Q_2$, ..., $Q_7$. При этом эксперт, учитывая характер и интенсивность взаимного влияния ценности критериев при решении заданной технологической задачи, разбил это множество на две группы. Первая группа $\{Q_1, Q_2, Q_3, Q_4\}$ с совокупной ценностью $G_1 = 0{,}7$, коэффициентом аддитивности $\nu_1 = 0{,}5$ имеет оценки относительных ценностей соответствующих критериев $\beta_1^{(1)} = 0{,}2$, $\beta_2^{(1)} = 0{,}5$, $\beta_3^{(1)} = 0{,}3$, $\beta_4^{(1)} = 0{,}1$. Критерии второй группы $\{Q_5, Q_6, Q_7\}$ с совокупной ценностью $G_2 = 0{,}3$ и коэффициентом аддитивности $\nu_2 = 0{,}2$ получили оценки относительных ценностей $\beta_1^{(2)} = 0{,}2$, $\beta_2^{(2)} = 0{,}5$, $\beta_3^{(2)} = 0{,}3$.

Применение описанной выше методики позволяет во введённых группах ввести нечёткие λ-меры, параметры которых приведены в табл. 2. В табл. 3 приведены экспертные оценки пяти образцов оборудования $\Lambda_1$, $\Lambda_2$, $\Lambda_3$, $\Lambda_4$, $\Lambda_5$ по указанным семи максимизируемым критериям.

Условный заказчик на основании анализа решаемой технологической задачи и табл. 2 установил значения границ предпочтения по всем критериям, т. е. компоненты вектора $\vec{\alpha}$, компоненты которого приведены в табл. 4.

Таблица 2

**Параметры нечёткой меры ценностей критериев**

| № группы | $G_k$ | Состав группы | $\beta_i^{(k)}$ | $\nu_k$ | $\mu_k$ | $\lambda_k$ | Ценность критерия $g_i^{(k)}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0,7 | $Q_1$ | 0,2 | 0,5 | 4,275 | 6,1 | 0,07 |
| | | $Q_2$ | 0,4 | | | | 0,14 |
| | | $Q_3$ | 0,3 | | | | 0,105 |
| | | $Q_4$ | 0,1 | | | | 0,035 |
| 2 | 0,3 | $Q_5$ | 0,2 | 0,2 | 37,42 | 124,7 | 0,012 |
| | | $Q_6$ | 0,5 | | | | 0,03 |
| | | $Q_7$ | 0,3 | | | | 0,018 |

Таблица 3

**Экспертные оценки образцов оборудования по критериям $Q_i$**

| | $Q_1$ | $Q_2$ | $Q_3$ | $Q_4$ | $Q_5$ | $Q_6$ | $Q_7$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\Lambda_1$ | 0,85 | 1 | 1 | 0,43 | 0,67 | 0,33 | 0,50 |
| $\Lambda_2$ | 1 | 0,72 | 0,23 | 0,10 | 1 | 1 | 0,90 |
| $\Lambda_3$ | 0,75 | 0,82 | 0,50 | 1 | 0,80 | 0,20 | 1 |
| $\Lambda_4$ | 0,67 | 0,73 | 0,30 | 0,60 | 0,72 | 0,26 | 0,55 |
| $\Lambda_5$ | 0,74 | 0,65 | 0,60 | 0,40 | 0,53 | 0,70 | 0,5 |

Таблица 4

**Компоненты вектора границ предпочтения заказчика**

| Критерии | $Q_1$ | $Q_2$ | $Q_3$ | $Q_4$ | $Q_5$ | $Q_6$ | $Q_7$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\alpha_i$ | 0,7 | 0,75 | 0,55 | 0,5 | 0,7 | 0,5 | 0,6 |

В соответствии с описанной методикой строятся множества $\Xi_{\vec{\alpha}}(\Lambda_i)$ для каждого образца оборудования $\Lambda_i$:

$$\Xi_{\vec{\alpha}}(\Lambda_1) = \{Q_1, Q_2, Q_3\};$$

$$\Xi_{\vec{\alpha}}(\Lambda_2) = \{Q_1, Q_5, Q_6, Q_7\};$$

$$\Xi_{\vec{\alpha}}(\Lambda_3) = \{Q_1, Q_2, Q_4, Q_5, Q_7\};$$

$$\Xi_{\vec{\alpha}}(\Lambda_4) = \{Q_1, Q_6\};\ \Xi_{\vec{\alpha}}(\Lambda_5) = \{Q_1, Q_3, Q_6\}.$$

Расчёт ценностей этих множеств, а следовательно, соответствующих образцов оборудования, проводим по формуле (4):

$$g_{\vec{\alpha}}(\Lambda_1) = g_{\vec{\alpha}}(\{Q_1, Q_2, Q_3\}) = \frac{1}{6,1}((1 + 6,1 \cdot 0,07)(1 + 6,1 \cdot 0,14) \times (1 + 6,1 \cdot 0,105) - 1) = 0,547;$$

$$g_{\vec{\alpha}}(\Lambda_2) = g_{\vec{\alpha}}(\{Q_1, Q_5, Q_6, Q_7\}) = 0,07 + 0,3 = 0,37;$$

$$g_{\vec{\alpha}}(\Lambda_3) = g_{\vec{\alpha}}(\{Q_1, Q_2, Q_4, Q_5, Q_7\}) = \frac{1}{6,1}((1 + 6,1 \cdot 0,07)(1 + 6,1 \cdot 0,14) \times (1 + 6,1 \cdot 0,035) - 1) + \frac{1}{124,7}((1 + 124,7 \cdot 0,012)(1 + 124,7 \cdot 0,018) - 1) = 0,419;$$

$$g_{\vec{\alpha}}(\Lambda_4) = g_{\vec{\alpha}}(\{Q_1, Q_6\}) = 0,07 + 0,03 = 0,1;$$

$$g_{\vec{\alpha}}(\Lambda_5) = g_{\vec{\alpha}}(\{Q_1, Q_3, Q_6\}) = \frac{1}{6,1}((1 + 6,1 \cdot 0,07)(1 + 6,1 \cdot 0,105) - 1) + 0,03 = 0,25.$$

На основании этих расчётов образцы оборудования упорядочиваются по убыванию их ценности следующим образом: $\Lambda_1$, $\Lambda_3$, $\Lambda_2$, $\Lambda_5$, $\Lambda_4$.

Несмотря на то, что в примере оценки сравниваемых образцов оборудования нормализованы, предлагаемая методика без изменения применима для случая, когда значения критериев (см. табл. 2) имеют конкретный физический смысл и, следовательно, границы предпочтения (см. табл. 3) задаются заказчиком в абсолютных значениях.

**Заключение.** Предложена методика сведения многокритериальной задачи выбора к однокритериальной на основании неаддитивной меры ценностей критериев, учитывающая взаимное влияние ценностей критериев при их совместном рассмотрении, а также учёте вектора границ предпочтений заказчика. Таким образом, методика является обобщением методов, рассмотренных в [1] и [3], позволяющая объединить их преимущества. Трудности, связанные с построением нечёткой меры [4], преодолеваются табличным методом задания её параметров.

***Библиографические ссылки***

1. **Митяшин Н.П.** Применение λ-нечёткой меры при многокритериальном выборе оборудования // Автоматизация и управление в приборо- и машиностроении: межвуз. науч. сб. Саратов: СГТУ, 2003. С. 146—149.

2. **Sugeno M.** Fuzzy measure and fuzzy integral // Trans. SICE. 1972. V. 8. P. 95—102.

3. **Статников Р.Б., Матусов Н.Б.** Многокритериальное проектирование машин. М.: Знание, 1989. 48 с.

4. **Резчиков А.Ф., Митяшин Н.П., Кузьмиченко Б.М.** и др. Выбор оборудования на основе неаддитивной меры ценности критериев // Мехатроника, автоматизация и управление. 2010. № 1. С. 54—58.

УДК 658.5.012.1

**В.А. Долгов,** д-р техн. наук, доц., **С.В. Луцюк,** канд. техн. наук, доц.
(Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»),
**А.А. Подкидышев**
(ООО «ГЕТНЕТ Консалтинг», г. Москва)
v-dolgov@yandex.ru

# ОРГАНИЗАЦИЯ СБОРА И ВЕРИФИКАЦИИ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ОБСЛЕДОВАНИЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

*Рассмотрена организация процесса сбора информации, обеспечивающего получение достоверных исходных данных для проведения обследования предприятия.*

**Ключевые слова:** сбор информации, обследование машиностроительных предприятий, верификация данных.

*The organization of the information collection process providing reliable initial data receipt for carrying out the enterprise inspection is considered.*

**Key words:** information collection, machine-building enterprises inspection, data verification.

**Введение.** Одной из основных задач, решаемых при проведении обследований машиностроительных предприятий, является сбор информации о предприятии и проведение её последующей верификации [1, 2].

Под верификацией информации будем понимать подтверждение (на основе представления объективных свидетельств) того, что установленные требования выполнены [ГОСТ Р ИСО 9000—2001].

Основные требования к информации следующие:

информация должна быть необходимой и достаточной для проведения обследования машиностроительного предприятия;

информация должна быть достоверной и непротиворечивой.

Этап сбора информации об исследуемом машиностроительном предприятии — это один из наиболее трудоёмких и ответственных этапов проведения обследования, содержащий работы по подготовке и печати необходимых для проведения обследования анкет, их обработку и ввод результатов анкетирования в программную систему.

Широко применяемой практикой организации сбора информации является подготовка анкет специализированными организациями, а их заполнение — сотрудниками предприятия.

Опыт проведения подобного рода работ выявил некоторые проблемы сбора информации.

Во-первых, это неоднозначное понимание специалистами структурных подразделений машиностроительного предприятия терминов и параметров, указываемых в анкетах.

Во-вторых, используемые на каждом предприятии методики определения значений ряда параметров могут существенно отличаться от методик, которые применяются при проведении обследования.

В-третьих, актуальность информации, которой располагают специалисты структурных подразделений предприятия, может быть различной.

В-четвертых, недостаточное информационное обеспечение отечественных машиностроительных предприятий. Запрашиваемая информация может быть не задокументирована или вообще отсутствовать. В этом случае сотрудники предприятия могут непреднамеренно ввести недостоверную информацию.

**Сущность метода.** С учётом сказанного выше разработаны основные подходы к подготовке анкет и организации сбора информации.

Под информацией понимаются параметры, определяющие исследуемые производственные процессы или системы машиностроительного предприятия. Параметры могут иметь численные, символьные, текстовые и другие значения.

Этап сбора информации об исследуемом машиностроительном предприятии состоит из следующих шагов:

1-й шаг. Подготовка анкет.

2-й шаг. Организация заполнения анкет.

3-й шаг. Организация сбора и верификации информации.

Рассмотрим выделенные шаги более подробно.

*1-й шаг. Подготовка анкет.* Основным требованием к подготовке анкет является определение необходимого и достаточного для выполнения обследования состава исходных данных, которые должны разрабатываться в соответствии с алгоритмами, установленными для расчёта значений параметров, определённых для достижения целей.

На этом этапе уточняются и согласовываются с ответственными за проведение обследования сотрудниками предприятия названия параметров и их определения. При необходимости в анкетах приводятся расшифровки описаний параметров. Для параметров, значения которых задаются численно, должна указываться их размерность.

Определённые таким образом структуры параметров группируются. Для каждой группы определяется подразделение предприятия, ответственное за предоставление их значений.

Наименование (код) подразделения предприятия, а также фамилия, имя, отчество и должность ответственного за заполнение анкеты, указывается на анкете.

*2-й шаг. Организация заполнения анкет.* Анкеты раздаются в соответствующие структурные подразделения машиностроительного предприятия.

Заполненные анкеты распечатываются в двух экземплярах и подписываются ответственным лицом за их заполнение.

Анкеты, заполненные в электронном и бумажном виде, передаются специалистам организации, проводящей обследование.

Второй экземпляр бумажного вида заполненной анкеты передаётся сотруднику машиностроительного предприятия, назначенного ответственным за проведение обследования.

Ответственность за достоверность исходных данных несёт лицо, ответственное за заполнение анкеты.

*3-й шаг. Организация проведения сбора и верификации информации.* Заполненные анкеты в электронном виде вводятся в базу данных. Значение каждого исходного параметра должно вводиться в программную систему однократно [3].

Опыт показывает, что в структурных подразделениях предприятия могут использоваться различные значения одних и тех же параметров, что приводит к получению и использованию при обследовании предприятия недостоверных и противоречивых данных.

Поэтому на этом шаге сбора информации проводится верификация значений перекрёстных параметров, перечень которых определён ранее.

Верификация значений параметров основана на том, что достоверность исходных данных определяется их проверкой на противоречивость.

Верификация значений параметров включает следующие виды деятельности [ГОСТ Р ИСО 9000—2001]:

сравнение значений параметров, представленных в разных анкетах;

проведение альтернативных расчётов.

В соответствии с видами деятельности перекрёстные параметры объединены в группы: частные и комплексные параметры.

Частные параметры указываются в анкетах, предназначенных для заполнения различными подразделениями.

Алгоритм верификации значений частных параметров приведён на рис. 1.

**Рис. 1. Алгоритм сравнения значений частного параметра *A***

**Рис. 2. Алгоритм верификации значений комплексного параметра *Б* и аргументов б$_i$**

Комплексные параметры — это параметры, значения которых получаются выполнением арифметических операций над исходными данными.

Для каждого комплексного параметра определяется аналитическое выражение. Функция и аргументы аналитического выражения приводятся в различных анкетах.

В структурных подразделениях одного предприятия могут использоваться различные алгоритмы для определения значений одних и тех же параметров. Поэтому применяемые алгоритмы для определения значений комплексных параметров должны быть согласованы со специалистами, проводящими обследование. Алгоритм верификации значений комплексных параметров приведён на рис. 2.

Значения аргументов функции также могут быть предварительно верифицированы как частные параметры.

**Пример реализации метода.** Одно из основных направлений обследования машиностроительных предприятий — это оценка показателей производительности. Ключевым требованием к исходным данным является обеспечение достоверности и непротиворечивости значений трудоёмкости технологических процессов, которые используются многими структурными подразделениями машиностроительных предприятий: планово-диспетчерским отделом, отделом главного технолога, отделом труда и заработной платы, технологическими бюро цехов и др.

Трудоёмкость технологического процесса изготовления изделия определяется как сумма трудоёмкостей всех операций, которые могут группироваться по технологическим переделам или по производственным подразделениям предприятия [4].

Поэтому значение трудоёмкости определено в качестве перекрёстного комплексного параметра. Ниже приведён пример оценки трудоёмкости $T_{Б12}$ изготовления изделия База в сборочном цехе № 12:

$$T_{Б12} = \sum_{i=1}^{n} T_{шт i},$$

где $T_{шт i}$ — штучное время $i$-й операции; $n$ — количество операций технологического процесса изготовления Базы, выполняемых в цехе № 12.

Учитывая существующую на предприятии децентрализованную структуру технологической службы, были подготовлены две анкеты. В анкете № 1 указан комплексный параметр $T_{Б12}$. В анкете № 2 необходимо указать значение штучного времени операций, выполняемых в цехе № 12. Анкета № 1 была направлена в отдел главного технолога, а анкета № 2 — в технологическое бюро цеха № 12.

В анкете № 1 указано значение параметра $T_{A12}$ = 208 мин.

Расчёт данных, приведённых в анкете № 2, показал, что $T_{A12}$ = 180 мин.

На основании сравнения значений параметра $T_{A12}$ сделано заключение, что исходные данные недостоверны и противоречивы. Для получения достоверных данных специалистами, проводившими сбор исходных данных, принято решение провести верификацию значений штучного времени операций, выполняемых в цехе № 12 ($T_{шт i}$).

Для этого в отдел главного технолога направлена анкета, содержащая $T_{шт i}$.

Полученные значения $T_{шт i}$ приведены в таблице.

Для установления достоверных значений комплексного параметра $T_{A12}$ и частных параметров $T_{шт i}$ был сформирован и отправлен запрос ответственному лицу за проведение обследования от предприятия.

**Значения трудоёмкости операций изготовления изделия База, выполняемых в цехе № 12**

| № операции | Наименование операции | Трудоёмкость $T_{шт i}$, мин | | Разница, мин |
|---|---|---|---|---|
| | | Технологическое бюро цеха № 12 | Отдел главного технолога | |
| 115 | Комплектация сборки | 8 | 8 | 0 |
| 120 | Дробеочистка | 30 | 30 | 0 |
| 125 | Монтаж, установка | 16 | 22 | 6 |
| 127 | Очистка водным раствором | 30 | 30 | 0 |
| 130 | Сборка, прихватка | 30 | 35 | 5 |
| 133 | Зачистка | 4 | 4 | 0 |
| 135 | Сборка, сварка | 20 | 30 | 10 |
| 137 | Сварка полуавтоматическая | 14 | 14 | 0 |
| 140 | Зачистка, вырезка отверстий | 16 | 20 | 4 |
| 145 | Прихватка, сварка | 12 | 15 | 3 |
| Итого | | 180 | 208 | 28 |

Причина противоречивости значений этих параметров обусловлена различной актуальностью информации, которой располагают специалисты этих подразделений. Технологические операции усовершенствованы специалистами технологического бюро цеха № 12. Однако эти изменения не отражены в документации, которой располагали специалисты отдела главного технолога.

**Выводы.** Отличительной чертой предлагаемой схемы проведения и сбора информации является введение перекрёстных частных и комплексных параметров. Верификация информации за счёт выделения перекрёстного параметра повышает степень достоверности полученных значений исходных данных.

Разработанный метод сбора и верификации информации при проведении обследования машиностроительного предприятия позволяет:

структурировать процесс, разбив его предварительно на этапы;

сузить круг локальных задач и значительно сократить трудоёмкость выявления несоответствий;

повысить достоверность получаемой информации при сокращении сроков на её верификацию.

***Библиографические ссылки***

1. **Кутин А.А., Долгов В.А., Милькин В.А.** Метод оценки производственного потенциала многономенклатурного машиностроительного производства // Автоматизация и современные технологии. 2014. № 6. С. 27—33.

2. **Червяков Л.М., Долгов В.А., Ананьев А.В.** Оценка технологической возможности выполнения технологической системой задания выпуска изделия // Экономика и управление в машиностроении. 2010. № 5. С. 24—49.

3. **Долгов В.А.** Использование и перспективы развития CALS-технологий в многономенклатурном производстве // Автоматизация и современные технологии. 2011. № 9. С. 26—31.

4. **Кутин А.А., Луцюк С.В.** Анализ структуры временных связей машиностроительного производства // Технология машиностроения. 2011. № 3. С. 58—62.

Уважаемые читатели!

Перепечатка материалов из журнала «Автоматизация и современные технологии» возможна при обязательном письменном согласии редакции журнала. При этом ссылка на журнал обязательна

## ПО СТРАНИЦАМ ЖУРНАЛОВ

**Динамика волны рабочей жидкости в трубопроводе.** *Вестник машиностроения,* 2013, № 6.

Аналитически решена задача пропускной способности для части трубы при неизменных давлении и расходе жидкости на начальный момент времени.

**Оценка устойчивости гидромеханической системы постоянной частоты вращения и способы её повышения.** *Вестник машиностроения,* 2013, № 6.

Предложен способ повышения устойчивости гидромеханической системы постоянной частоты вращения, разработанной для наземной транспортной машины, который основан на использовании динамического гасителя колебаний в центробежном маятнике.

**О работоспособности металлорежущего инструмента при обработке материалов, используемых в химическом и нефтегазовом машиностроении.** *Вестник машиностроения,* 2013, № 6.

Рассматриваются технологические процессы изготовления рационального металлорежущего инструмента для обработки труднообрабатываемых сталей и эффективные приёмы его упрочнения.

**Обеспечение требуемой шероховатости обработанной поверхности при развертывании отверстий.** *Вестник машиностроения,* 2013, № 6.

Рассмотрены механизмы процесса развёртывания отверстий в заготовках из конструкционных сталей, установлены режимы обработки, исключающие образования нароста на обрабатываемой поверхности и преимущества скоростного развёртывания.

**Анализ тенденций развития промышленного оборудования для формирования тонкоплёночных наноструктур в вакууме.** *Наноинженерия*. 2013. № 6.

Проанализированы этапы развития и современное состояние оборудования для нанесения тонких плёнок в вакууме. Приведены примеры отечественного и зарубежного оборудования, способного выпускать нанотехнологическую продукцию в промышленных масштабах.

**Наноструктурирование поверхностей из алюминиевых сплавов при электроискровом легировании.** *Наноинженерия*. 2013. № 6.

Показано, что в условиях электроискрового легирования поверхности алюминиевого сплава (Д1) электродом-инструментом из сплава Al—Sn (20 % Sn) в поверхностном слое образуются нанонити из оксида олова. Тестовые испытания таких поверхностей в паре трения с контртелом из закалённой стали как в условиях сухого трения, так и трения со смазкой, показали, что износ контртела на порядок и более превышает износ полученных после электроискрового легирования поверхностей алюминиевого сплава. Показаны возможности использования подобных поверхностей в качестве абразивных.

**Технология нанесения упрочняющего нанопокрытия с целью повышения износостойкости поверхностей трения.** *Наукоёмкие технологии в машиностроении*. 2013. № 6.

Приведена сущность и основные характеристики метода модификации поверхностей изнашиваемых деталей путём осаждения нанопокрытия с использованием технологии финишного плазменного упрочнения (ФПУ). Приведены режимы нанесения покрытия по параметрам наноиндентирования. Даны результаты исследования физико-механических и триботехнических характеристик нанопокрытия.

**Топографии ультразвуковых полей, создаваемые различными типами колебательных систем.** *Наукоёмкие технологии в машиностроении*. 2013. № 6.

Проведены исследования топографии ультразвукового поля поршневого, цилиндрического и пластинчатого излучателей. За критерий оценки принималась эрозионная активность ультразвукового поля и расположение в объёме эрозионной кавитационной области. На основе исследования топографии выявлена эффективность применения различных колебательных систем.

**Применение аддитивных технологии при проектировании и производстве деталей аэрокосмических объектов.** *Полёт*. 2013. № 6.

Описаны основные методы создания прототипов и деталей агрегатов и узлов авиационной техники. Показаны перспективы применения метода аддитивных технологий в промышленности.

**Постановка задачи и проблемные вопросы обслуживания навигационных КА системы ГЛОНАСС на орбите.** *Полёт*. 2013. № 6.

Статья посвящена задаче выбора стратегии и оценки эффективности периодической заме-

ны отработавших элементов бортовой целевой, командно-измерительной и обслуживающей аппаратуры навигационных КА системы ГЛОНАСС. Определены особенности задачи орбитального обслуживания навигационных КА и сформулированы основные проблемы, решение которых необходимо для обоснования технической и экономической целесообразности перехода к стратегии орбитального обслуживания в системе ГЛОНАСС. Приведён вариант схемы обслуживания КА, включая его конструктивные особенности, отражающий самые общие принципы обслуживания.

**Технология получения функциональных нанокомпозитных систем на основе растительного и минерального сырья.** *Вестник машиностроения,* 2013, № 7.

Рассмотрено получение функциональных нанокомпозитных систем из растительного и минерального сырья. Показаны перспективы их применения в качестве анодных электродов литий-полимерных аккумуляторов, сорбентов и углеродных агентов для синтеза карбида титана.

**Получение и строение поликластерных плёнок алмаза и алмазоподобных углеродных плёнок.** *Наноинженерия*. 2013. № 7.

Рассмотрены условия формирования поликластерных плёнок алмаза и алмазоподобных углеродных плёнок методами тонкоплёночной технологии. Изучено строение пленок углеродных материалов методами электронной микроскопии, спектроскопии комбинационного рассеяния света и рентгеновской дифрактометрии.

**Инновационное обрабатывающее оборудование на базе параллельных структур: перспективы и направления коммерциализации.** *Наукоёмкие технологии в машиностроении*. 2013. № 7.

Представлены результаты исследования состояния и тенденции развития российского рынка станкостроения. Определена его готовность к восприятию инноваций. Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований манипулятора-трипода с шестью степенями свободы. Приведён сравнительный анализ теоретических и экспериментальных исследований динамических свойств манипулятора.

**Дистанционный метод измерения эффективной температуры на основе многооткликовых моделей.** *Полёт*. 2013. № 7.

Для повышения точности дистанционного косвенного метода измерения эффективной температуры используется многооткликовая регрессионная модель зависимости амплитуд пикселей тепловизионного изображения от температуры. Полученная модель позволяет рассчитать общую оценку температуры, её дисперсию по всем пикселям и с учётом корреляционных связей ошибок наблюдения амплитуд.

ИЗДАТЕЛЬСТВО МАШИНОСТРОЕНИЕ

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ**

**В.И. Васильев**

2013 г. Объём 172 с. Формат 60x88 1/16 ISBN 978-5-94275-667-3 Цена 250 р.

Рассмотрены основы построения интеллектуальных систем защиты информации в корпоративных информационных системах. Особое внимание уделено построению биометрических систем идентификации личности, систем обнаружения и предотвращения вторжений, анализа и управления информационными рисками. Изложены современные подходы к созданию данного класса систем с использованием методов теории нейронных сетей, искусственных иммунных систем, нечетких когнитивных моделей.

Допущено Учебно-методическим объединением по образованию в области информационной безопасности в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специализациям специальности "Комплексное обеспечение информационной безопасности автоматизированных систем".

**Приобрести книгу в издательстве можно, прислав заявку:**

по почте: 107076, г. Москва, Стромынский пер., 4; по факсу: (499) 269-48-97; по e-mail: realiz@mashin.ru

Дополнительная информация по телефонам: (499) 269-52-98, 269-66-00 и на сайте WWW.MASHIN.RU