

Автоматизация и Современные Технологии

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ МЕЖОТРАСЛЕВОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ИЗДАЁТСЯ С 1947 ГОДА

Главный редактор
В.Л. Белоусов

9
—
2013

РЕДАКЦИОННАЯ
КОЛЛЕГИЯ:
Бучаченко А.Л.
Гусев А.А.
Дегтярев Ю.И.
Елисеев В.А.
Иванов А.П.
Мальцева С.В.
Нефедов Е.И.
Шебалин И.Ю.
(заместитель главного редактора)

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
учёных степеней

ООО «Издательство Машиностроение»

РЕДАКЦИЯ:
Шебалин И.Ю. — зам. главного редактора
Осипова В.Г. — научный редактор
Богус С.В. — секретарь

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

СОДЕРЖАНИЕ

АВТОМАТИЗАЦИЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Сафронов Р.Ю., Софиев А.Э. Обзор беспроводных решений для автоматизации	3
Берман А.Ф., Николайчук О.А., Павлов Н.Ю., Юрин А.Ю. Методы и средства автоматизированного построения деревьев событий и отказов	8

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Попов А.П. Системное проектирование интегрированных АСУ машиностроительного производства	17
Садыков С.С., Савичева С.В. Идентификация наложенных плоских объектов	20
Микаева С.А., Абрамова Л.В., Михайлова Е.М. Оценка условий освещения, создаваемого светодиодными источниками излучения	24
Сергеев А.С., Плотников А.Л., Зайцева Н.Г. Разработка математического обеспечения для расчёта параметра шероховатости в САПР ТП многоглезвийной обработки ...	28
Никиторов С.О., Мархадаев Б.Е., Никифоров Б.С. Разработка инновационного продукта на примере создания безреверсных мехатронных манипуляторов	33

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ НАУЧНОЙ И ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Халафян А.А., Пелипенко Е.Ю. Оценка финансового состояния предприятия на основе метода нейронных сетей	40
---	----

ВЫСТАВКИ И ПРЕЗЕНТАЦИИ

В Гиперкубе Сколково начал работу Центр технологий Cisco	44
В Совете Федерации прошёл круглый стол по выставочно-ярмарочной и конгрессной деятельности в России	46

ОБЗОР ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ПЕЧАТИ

По страницам журналов	48
-----------------------------	----

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 27.06.13. Подписано в печать 27.08.13.
Формат 60×88 1/8. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 5,88. Цена свободная

CONTENTS

AUTOMATION OF SCIENTIFIC-RESEARCH AND PRODUCTION

Safronov R.Yu., Sofiev A.E. Wireless decisions survey for automation	3
Berman A.F., Nikolaychuk O.A., Pavlov N.Yu., Yurin A.Yu. Methods and means for automatic construction of the fault and event trees	8

MODERN TECHNOLOGIES

Popov A.P. Integrated ACS system projecting of the machine-building production	17
Sadykov S.S., Savicheva S.V. Identification of the superimposed flat objects	20
Mikaeva S.A., Abramova L.V., Mikhaylova E.M. Lighting conditions valuation created by light-emitting radiation sources	24
Sergeev A.S., Plotnikov A.L., Zaitseva N.G. Mathematical providing development for roughness parameters calculation in the CAD TP (САПР ТП) multiblade processing	28
Nikiforov S.O., Markhadaev B.E., Nikiforov B.S. Innovation product development as an example of reverseless mechatronic manipulators creature	33

ECONOMICS AND ORGANIZATION OF SCIENTIFIC AND ECONOMIC ACTIVITIES

Halafyan A.A., Pelipenko E.Y. The assessment of the enterprise financial state from a neural network method	40
--	----

EXHIBITIONS AND PRESENTATIONS

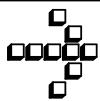
Technology centre Cisco have began to work in the Gypercub Skolkovo	44
The round table went off in the Federation Council relative to exhibition, fair and congress activity in Russia	46

SURVEY OF PERIODICALS

Periodicals review	48
--------------------------	----

Отпечатано в ООО «Белый ветер»
115407, Москва, Нагатинская наб., 54

**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**



УДК 004.772

Р.Ю. Сафонов, А.Э. Софьев, д-р техн. наук, проф.
(Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ))

roman37@live.ru

ОБЗОР БЕСПРОВОДНЫХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ

Рассмотрены основные особенности, достоинства и недостатки беспроводных сетей для решения задач автоматизации, а также вопросы, связанные с обеспечением питания для датчиков, и проблемы безопасности.

Ключевые слова: автоматизация, беспроводные сети, датчики.

The main features, advantages and disadvantages of wireless networks for automation tasks decision, as well questions associated with providing power supply for sensors and security problems are considered.

Key words: automation, wireless networks, sensors.

Введение. Построение разнообразных систем, применяющих в качестве линий связи беспроводные каналы там, где раньше использовались провода, приобретает всё более значимую роль в самых разных прикладных областях. Для распределённых систем сбора данных, управления и автоматизации, где число устройств в сети может достигать сотен и тысяч, это особенно актуально.

Применение беспроводных каналов связи решает целый комплекс задач. Часто прокладку проводных линий просто невозможно осуществить технологически или по организационным причинам. В этих ситуациях трудно переоценить значение беспроводных каналов связи. С их помощью можно передавать данные как от движущихся и вращающихся объектов (конвейеров, роботов), так и от объектов, находящихся под высоким напряжением. Связь без проводов также широко применяется для отслеживания перемещения товаров и в складской логистике. Помимо вышеуказанного, беспроводные системы передачи данных позволяют повысить безопасность работы за счёт устранения разъёмных соединений во взрыво- и пожароопасных условиях. Не менее насыщенным является применение указанных технологий для целей вертикальной интеграции.

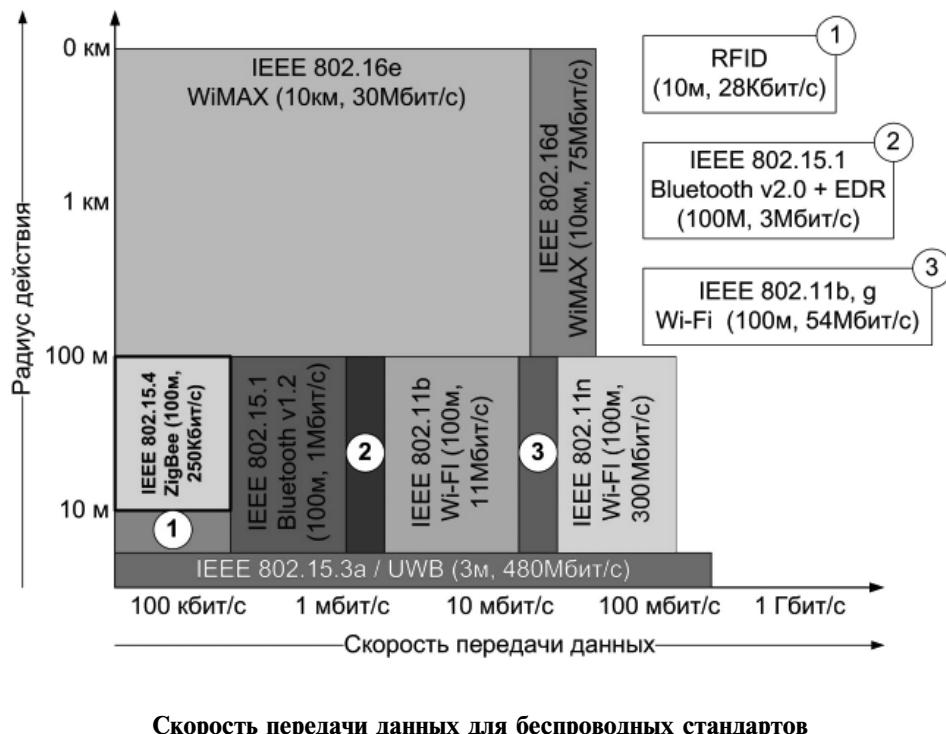
Долгое время практическое использование беспроводных систем было затруднительно из-за низкой надёжности радиоканала по сравнению с проводным соединением, высокой стоимости и высокого энергопотребления элементной базы, а также из-за сложностей с установкой и настройкой системы на объекте установки.

Сейчас беспроводные системы сбора данных, управления и автоматизации и им подобные стали реальностью благодаря технологиям беспроводных сетей и появлению на рынке наборов микросхем, радиомодулей и модемов, а также развитого программного обеспечения, поддерживающего стандартные протоколы управления и передачи данных [1].

Беспроводные решения для LAN, PAN и WAN-сетей. В настоящее время доступно или находится в разработке множество беспроводных технических решений для локальных (LAN – Local Area networks), персональных (PAN – Personal Area Networks) и глобальных (WAN – Wide Area Networks) вычислительных сетей. Дальность PAN-сетей не превышает нескольких метров, LAN-сетей – варьируется от нескольких десятков до нескольких сотен метров, а дальность WAN-сетей исчисляется километрами. Ниже рассмотрены самые используемые беспроводные технологии передачи информации и их значимость в удовлетворении современным требованиям к автоматизации [2]. (см. рисунок).

При необходимости иметь высокую дальность передачи сигнала может использоваться WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) – беспроводная WAN-сеть, основанная на стандарте IEEE 802.16. Принцип её работы состоит в использовании сфокусированного микроволнового излучения, способного осуществлять радиально-узловые многоточечные передачи информации.

WiMax имеет не только высокую дальность передачи информации (до 75 км), но также может



применяться и в широкополосной связи «последней мили». Скорость передачи информации достигает 75 Мбит/с. Используется диапазон частот 1,5 – 11 ГГц, основанный на стандарте 802.16-2004 (известен также как 802.16d и фиксированный WiMAX), и диапазон частот 2,3 – 13,6 ГГц, основанный на стандарте 802.16-2005 (известен также как 802.16e и мобильный WiMAX). Эти более низкие диапазоны частот представляют интерес тем, что сигнал может проходить сквозь стены и большинство неметаллических препятствий, не требуя прямой видимости [3].

WiMAX широко используется операторами телекоммуникационных сетей для осуществления доступа в отдалённые точки с последующим местным распределением сигнала по Wi-Fi. Что же касается автоматизации, то представляется, что WiMAX может быть интересен для использования в аналогичных ситуациях (в отдалённых точках с затруднённым физическим доступом), но не сможет найти применения для цеха с непрерывным производственным процессом.

Другой стандарт, обеспечивающий высокую дальность передачи сигнала, GSM (Groupe Special Mobile) – глобальный цифровой стандарт для мобильной сотовой связи. Телекоммуникационные услуги GSM обеспечивает больший охват и более высокие показатели с GPRS или UMTS. Технологии требуют наличия сетевого оборудования поставщика услуг, они также сильно зависят от качества связи, которое не всегда может достигаться в автоматизации.

Так же, как и WiMax, эти решения представляют больший интерес для поставщиков телекоммуникационных услуг, чем для задач автоматизации. С другой стороны, на удалённых производственных объектах, таких как системы водоснабжения, ветроэнергоустановки, солнечные энергетические установки, где стоимость местных процедур техобслуживания высока, добиться уменьшение стоимости можно с помощью внедрения сетей на основе GSM. В этих случаях объём передаваемой информации невелик, в пределах нескольких байт в секунду или даже минуту, и допускается потеря связи на короткое время. Следовательно, можно сделать вывод о целесообразности использования указанных сетей с целью уменьшения стоимости дорогостоящего обслуживания.

Если вопрос цены имеет решающее значение и не предъявляется высоких требований к дальности передачи сигнала, возможно использование WiFi. Данное решение основано на стандарте IEEE 802.11. Скорость передачи данных может быть до 11 Мбит/с (802.11b), 54 Мбит/с (802.11g) и 300 Мбит/с (802.11n) с радиусом действия до 30 м внутри помещений и до 100 м на открытом пространстве. Поскольку используется не требующая лицензирования частота 2,4 ГГц, могут возникать помехи от других устройств, например микроволновых печей и телефонов. На частоте 5 ГГц стандарта 802.11a может возникать гораздо меньше помех, но, с другой стороны, сигнал хуже проходит сквозь стены [4].

Данная технология является хорошо апробированной, и её применение для вертикальной интеграции в автоматизации вполне целесообразно.

Тем не менее, для задач автоматизации Wi-Fi-устройства обладают слишком большим энергопотреблением, что не позволяет использовать Wi-Fi для создания сетей датчиков. Для построения сетей датчиков подойдут стандарты, конечные устройства которых обладают низким энергопотреблением.

Одним из таких стандартов является беспроводная PAN-сеть Bluetooth. Это набор протоколов, основанный на стандарте IEEE 802.15.1. Используется не требующая лицензирования частота 2,4 ГГц. Bluetooth-устройства потребляют гораздо меньше электроэнергии, чем Wi-Fi-устройства, но и область покрытия у них тоже значительно меньше. Bluetooth 1.2 поддерживает скорость передачи данных до 1 Мбит/с, а Bluetooth 2.0 поддерживает скорость передачи данных до 3 Мбит/с. Дальность передачи сигнала определяется мощностным режимом устройств и может в зависимости от него варьироваться от 1 до 100 м [5].

Для задач автоматизации Bluetooth может быть приемлемым вариантом замены проводных решений для построения сетей датчиков и использоваться совместно с человеко-машинными интерфейсами для технического обслуживания и проверки исправности оборудования.

Главным достоинством Bluetooth для использования в сети контроля датчиков является достаточно низкое энергопотребление. Однако в настоящее время существуют другие технологии, например ZigBee, которые обладают не только меньшим энергопотреблением, но и более низкой ценой, и поэтому являются более подходящим решением для построения сети датчиков. ZigBee – ещё одна беспроводная PAN-сеть. Это набор протоколов, который основывается на стандарте IEEE 802.15.4. Для работы устройств по стандарту ZigBee выделены три диапазона частот: 868 МГц, 915 МГц и 2,4 ГГц. По сравнению с Bluetooth-устройствами ZigBee имеет более высокую дальность передачи сигнала (10–100 м), но при этом меньшую скорость передачи данных (20–250 Кбит/с) [6].

ZigBee нацелена на приложения, которым требуется большее время автономной работы от батареи и высокая степень безопасности при относительно небольших скоростях передачи данных. Протокол ZigBee изначально разрабатывался для объединения в сеть большого количества автономных устройств, например датчиков и выключателей с батарейным питанием.

Основное достоинство технологии ZigBee заключается в том, что при относительно невысо-

ком энергопотреблении она поддерживает не только простые топологии беспроводной связи («точка – точка» и «звезда»), но и сложные беспроводные сети с ячеистой топологией с ретрансляцией и маршрутизацией сообщений.

Устройства ZigBee способны находиться в «режиме сна» большую часть времени. Тем самым достигается низкое энергопотребление. Замена батарей может производиться один раз в два – три года [7].

В 2007 г. организация ZigBee Alliance_приняла спецификацию ZigBee PRO. В данной спецификации можно выделить следующие улучшенные характеристики: поддержка масштабируемости сетей; поддержка фрагментации – возможности разделения длинных сообщений на части для реализации взаимодействия с другими протоколами и системами; повышенная стабильность частоты и средства автоматизированного управления адресами устройств [6].

На сегодняшний день ZigBee является наиболее перспективной технологией для построения беспроводных сетей с небольшими объёмами передаваемой информации. Если ZigBee находит своё применение для построения сетей датчиков, то для задач отслеживания объектов идеально подходит использование RFID-меток.

RFID (Radio Frequency Identification) – технология идентификации объектов, в которой посредством радиосигналов считываются или записываются данные. Любая RFID-система состоит из считывающего устройства и транспондера (RFID-метки) [8]. RFID-метки делятся на пассивные и активные.

Пассивные RFID-метки не имеют встроенного источника энергии. Микроволновый сигнал, который излучается антенной от считывателя, обеспечивает достаточную мощность для функционирования RFID-метки и передачи ответного сигнала.

Активные RFID-метки обладают собственным источником питания и не зависят от энергии считывателя, вследствие чего они читаются на дальнем расстоянии, имеют большие размеры и могут быть оснащены дополнительной электроникой. Однако такие метки наиболее дороги, а у батарей ограничено время работы.

В сравнении с этикетками со штрих-кодом не требуется прямой видимости метки, чтобы считать её данные. Данные RFID-метки могут перезаписываться и дополняться много раз, тогда как данные на штрих-коде не могут быть изменены – они записываются сразу при печати. Также RFID-метки могут считываться на значительно большем расстоянии. В зависимости от модели метки и считывателя радиус считывания может составлять до нескольких десятков метров.

Это делает RFID-метки идеальным устройством для отслеживания товаров. С другой стороны, активные RFID-метки обладают довольно высокой ценой. Это не относится к пассивным RFID-меткам, чья цена не превышает нескольких рублей. Используется несколько диапазонов частот от 125 КГц до 2,45 ГГц.

Для задач автоматизации RFID-метки могут применяться для отслеживания перемещения товаров и в складской логистике. Например, встроенные в оборудование или его части, они могут находиться там неограниченное время и подтверждать своё присутствие при запросе. RFID-метки находят своё применение для передачи малого объёма данных на большое расстояние, если стоит задача передать большой объём данных на малое расстояние, подойдёт использование UWB.

UWB (Ultra-Wide Band – сверхширокая полоса) – это беспроводная технология высокоскоростной связи на малые расстояния при очень низких затратах энергии.

Использование широкой полосы частот (не менее 500 МГц) позволяет UWB достичь скорости до 480 Мбит/с на расстоянии до 3 м. На дистанциях до 10 м технология позволяет достичь лишь 110 Мбит/с. Технология UWB идеально подходит для передачи информации на коротких дистанциях. Например, может использоваться для подключения периферийных устройств к компьютеру [9].

Из-за низкой дальности передачи сигнала данная беспроводная технология малопригодна для задач автоматизации.

Энергоснабжение. Свобода выбора места установки беспроводных датчиков в производственном помещении или в здании ограничивается, если эти устройства должны быть подключены к основному источнику питания. Хотя на объектах автоматизации электроэнергия обычно есть, часто она не подведена к тому месту, где необходимо построить сети датчиков [10]. Есть несколько решений для обеспечения автономного энергоснабжения.

Устройства, работающие на батареях, – это самое простое и логичное решение, если благодаря низкому энергопотреблению устройства батарея может прослужить от трёх до пяти лет. Такие решения применяются для построения сети датчиков, например для контроля температуры в пределах одного здания с целью снижения затрат на обогрев, кондиционирование, вентиляцию, а также для систем пожаротушения и контроля загазованности [10].

Есть решения, действующие микроволновое излучение. Эти решения используют пассивные RFID-метки. Источником питания сенсоров является энергия излучаемого микроволнового сигнала [8].

Возможно также преобразование энергии. К этой категории относятся устройства, способные обходиться без батареи, используя энергию, получаемую из окружающей среды. Энергия может производиться побочными механическими, тепловыми или электромагнитными воздействиями окружающей среды и преобразовываться в электрический ток, необходимый для питания устройства [10, 11].

Вопросы безопасности. Все беспроводные технологии сталкиваются с проблемами безопасности. Электромагнитные волны подвержены помехам и могут быть перехвачены. Использование современных стандартов шифрования и разнообразных методов защиты практически исключает возможность несанкционированного доступа к информации. Что же касается помех, то преднамеренные помехи могут быть устраниены при переходе на свободную частоту. С преднамеренными помехами справиться гораздо сложнее. Беспроводные технологии могут продолжать работать, когда в результате преступного действия будет оборвана проводная связь, но они не смогут функционировать при глушении рабочего диапазона частот.

Заключение. Рассмотрены основные беспроводные решения и проанализирована возможность их применения для решения задач построения промышленных сетей. Можно сделать вывод, что устройства Wi-Fi, имея слишком высокое энергопотребление, которое ограничивает их применение в промышленных условиях на уровне построения сетей датчиков, хорошо подходят для решения задач вертикальной интеграции. У устройств Bluetooth более низкое энергопотребление, но и более низкая дальность. При небольшом диапазоне Bluetooth может разместить большое количество устройств в одном районе, в результате чего достигается более эффективное использование доступного диапазона частот. Эти же достоинства имеет и ZigBee, которое обладает не только ещё более низким энергопотреблением, но и большей дальностью передачи сигнала. Большинство из этих решений используют одну и ту же, не требующую лицензирования, частоту 2,4 ГГц. Сетевой протокол CSMA позволяет избежать возникновения серьёзных помех. Однако, интерференция неизбежна, и уже было проведено несколько исследований с целью расчёта снижения эффективности функционирования при совместном использовании нескольких решений [12].

В настоящее время также исследуются вопросы автономного энергоснабжения для беспроводных датчиков. Классическим решением является использование батарей, которые обеспечивают работу датчиков в течение трёх или даже пяти лет.

Существует ряд других интересных решений, например преобразование энергии, получаемой из окружающей среды. К этой категории могут быть причислены технологии RFID, поскольку RFID-метки получают необходимое для работы сенсоров питание из излучаемого микроволнового сигнала. Возможность определения точного местоположения является важным достоинством этих устройств. RFID-метки могут найти широкое применение в условиях, где важно знать физическое местоположение устройств, например в отслеживании объектов, логистике, безопасности и техническом обслуживании.

Следует отметить, что существует некий скептицизм в отношении использования промышленных беспроводных сетей. Однако, несмотря на некоторые недостатки, беспроводные сети обладают неоспоримыми достоинствами, которые открывают новые возможности для решения задач автоматизации.

Библиографические ссылки

1. Гринченко С. Использование технологии ZigBee в беспроводной охранной системе загородного коттеджного участка. М.: Моск. гос. ин-т электронной техники, 2009. 10 с.
2. Cardeiraa C., Colombob A., Schoop R. Analysis of wireless technologies for automation networking. Cardiff, UK: Cardiff university, 2006. 5 p.

3. Романченко В. WiMAX: беспроводная магистраль в будущее. 3DNews.Ru. 2005. (дата обращения: 11.2011).

4. Stallings W. IEEE 802.11: wireless LANs from a to n. // IT Professional. 2004. Vol. 6. № 5. P. 32–37.

5. Kardach J. How Bluetooth got its name. 2008. URL: <http://eetimes.com/electronics-news/4182202/Tech-History-How-Bluetooth-got-its-name> (дата обращения: 07.2011).

6. ZigBee Alliance. ZigBee Specification. URL: <http://www.zigbee.org>. (дата обращения: 06. 2011).

7. Еркин А. Разработка распределенных систем контроля датчиков на основе защищенных низкопотребляющих беспроводных ZigBee-сетей на базе микроконтроллеров фирмы Jennic // Chip News. 2010. № 1. С. 1–9.

8. Want R. RFID – A Key to Automating Everything // Scientific American. 2004. January Issue. P. 56–65.

9. Лурье С. Сверхширокополосная связь UWB: что это такое и для чего это нужно. 2004. URL: <http://www.ixbt.com/comm/uwb-tech.shtml>. (дата обращения: 07.2011).

10. Kintner-Meyer M., Conant R. Opportunities of Wireless Sensors and Controls for Building Operation // Energy Engineering Journal. 2005. Vol. 102. P. 27–48.

11. Roslindale M.A. Energy Harvesters and Sensors. URL: http://ferrossi.com/files/FS_product_sheet_wint04.pdf. (дата обращения: 08.2011).

12. Willig A., Matheus K., Wolisz A. Wireless Technology in Industrial Networks // Proceedings of the IEEE. 2005. Vol. 93. № 6. P. 1130–1151.



ИЗДАТЕЛЬСТВО МАШИНОСТРОЕНИЕ

ПРИПУСКИ НА МЕХАНИЧЕСКУЮ ОБРАБОТКУ

Г.А. Харламов, А.С. Тарапанов

2013 г. Объем 256 с. Формат 60x88 1/16 ISBN 978-5-94275-607-9 Цена 800 р.



Приведены нормативные материалы, необходимые технологу-машиностроителю для расчета и выбора припусков на механическую обработку, даны рекомендации по выбору вида заготовок, составлению маршрута обработки, нормы точности, а также операционные припуски на обработку различных поверхностей деталей.

Для инженеров-технологов заводов, проектно-конструкторских организаций, а также может быть полезна преподавателям и студентам вузов.

Приобрести книгу в издательстве можно, прислав заявку:

по почте: 107076, г. Москва, Строгинский 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 004.89

А.Ф. Берман, д-р техн. наук, проф., **О.А. Николайчук**, д-р техн. наук, доц., **Н.Ю. Павлов**
(Институт динамики систем и теории управления СО РАН (ИДСТУ СО РАН), г. Иркутск)
А.Ю. Юрин, канд. техн. наук, доц. (Национальный исследовательский Иркутский
государственный технический университет (НИ ИрГТУ)

iskander@icc.ru

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПОСТРОЕНИЯ ДЕРЕВЬЕВ СОБЫТИЙ И ОТКАЗОВ

Разработан подход, обеспечивающий автоматизацию и интеллектуализацию построения деревьев отказов и событий непрограммирующими пользователями без непосредственного участия экспертов. Подход заключается в формализации и представлении знаний о причинно-следственном комплексе развития опасных процессов в виде продукции и прецедентов. Приведено описание программного комплекса, реализующего предложенный подход.

Ключевые слова: деревья событий, отказы, автоматизация, прецеденты, продукция, программная система.

An approach providing the construction automation and intellectualization of the fault and event trees by nonprogramming users without the direct participation of experts is developed. The approach consists in knowledge formalization and presentation about the causative advance complex of the dangerous processes development in the kind of produce and precedents. The program complex description that implements the introduced approach is presented.

Key words: event and failure trees, refusal, automation, precedents, produce, program system.

Введение. Исследование и обеспечение техногенной безопасности является одним из важных аспектов, обеспечивающих устойчивое развитие регионов и страны в целом. При этом техногенная безопасность рассматривается как защищённость опасных объектов и граждан от угроз возникновения техногенных аварий и катастроф.

Ключевыми моментами (понятиями) в исследовании техногенной безопасности являются чрезвычайная ситуация (ЧС) и анализ риска. Анализ риска ЧС направлен на идентификацию причин возникновения и масштаба последствий ЧС, а также на обоснование комплекса мероприятий, направленных на уменьшение риска возникновения ЧС. При анализе риска опасного объекта эксперту в области безопасности требуется решать следующие задачи: определить последовательность возможных событий (базовые сценарии), которые могут нарушить безопасность производственного объекта; определить вероятность (частоту) их возникновения и рассчитать величину последствий. Ошибочное, несвоевременное или неточное решение этих задач приводит к недостоверной оценке риска и, следовательно, к необоснованному принятию мер безопасности, а значит, увеличению последствий аварий и ЧС. Эффективность, точность и оперативность решения данных задач можно значительно повысить благодаря комплексному применению современных методов исследования анализа риска (например, метода деревьев отказов и собы-

тий, «что будет, если...?», анализа видов и последствий отказов, проверочного листа, анализа опасности и работоспособности и др.) [1, 2], а также благодаря автоматизации и интеллектуализации этих методов за счёт использования искусственного интеллекта (в частности, интеллектуальных (экспертных) систем поддержки принятия решений).

Одними из наиболее точных, но трудоёмких (требующих экспертов высокой квалификации) методов анализа риска являются методы, базирующиеся на построении деревьев событий и отказов (ДС, ДО), которые, являясь разновидностью графов, визуализируют направленные связи между событиями. Целью построения деревьев является выявление причинных взаимосвязей между событиями, обусловливающими какое-либо конечное событие, отказ или аварию (вершина дерева). Деревья могут быть подвергнуты качественному и количественному анализам, в результате которых выявляются опасные события и состояния, обосновываются методы и средства повышения безопасности объектов, а значит, снижается техногенный риск. Деревья являются одним из основных научных методов, используемых в зарубежной практике и рекомендованных отечественной нормативно-технической документацией для оценки техногенного риска. Однако высокая трудоёмкость процессов построения и верификации моделей в виде ДС/ДО для анализа риска сложных систем значительно понижает эф-

фективность практического применения большинства методик и требует разработки специализированного программного обеспечения.

Существует ряд программных систем моделирования и расчёта показателей надёжности и безопасности систем, в которые включены аналитические модули, использующие графические и логические возможности деревьев и графов связности для поддержки структурных методов анализа риска и определения причин отказов и аварий: Risk Spectrum, RELEX, CRISS, Fault-Tree+, SAPPHIRE, REY, ПК АСМ СЗМА, РизЭкс-2 и др. В большинстве случаев подобные системы представляют собой универсальные графические редакторы, инвариантные к предметной области. Отдельные системы обеспечивают возможность проведения специализированных расчётов (ПК АСМ СЗМА): построение и анализ минимальных сечений, в том числе вычисление вероятности и (или) частоты отказа (события); коэффициента неготовности и др. Подобная проблемная ориентация обеспечивает универсальность и широкое применение таких программных систем для структурно-логического моделирования.

Однако рассмотренные системы не предусматривают возможности автоматизированного формирования и построения деревьев на основе моделей предметной области, представленных, например, в виде баз знаний, что, в свою очередь, обеспечило бы возможность построения множества различных графов большой размерности и высокой структурной сложности с высокой точностью. В связи с этим актуальна задача интеллектуализации методов и систем обработки информации, используемых при построении ДС/ДО для анализа техногенного риска.

Предлагается подход, обеспечивающий автоматизацию и интеллектуализацию построения деревьев отказов и событий непрограммирующими пользователями, без непосредственного участия экспертов на основе модели динамики технического состояния объекта, информационных технологий и методов искусственного интеллекта. Применение этого подхода позволяет повысить эффективность и точность процесса анализа риска за счёт автоматизации процесса построения ДС/ДО на основе экспертных знаний о причинно-следственном комплексе развития опасных процессов, представленных в виде продукции [3], и информации об уже произошедших авариях и ЧС, представленной в виде прецедентов [3].

Модель динамики технических состояний. В качестве основы для разработки подхода к автоматизации и интеллектуализации построения деревьев использована модель динамики технического состояния [4], обеспечивающая полное и детальное

описание процесса деградации технических систем (приводящего к катастрофическим отказам), учёт комплекса воздействующих факторов и определение (уточнение) закономерности изменения технического состояния на субмикро-, микро- и макроуровнях. При этом учёт комплекса воздействующих факторов достигается за счёт перехода от понятия «состояние» к понятию «процесс» и структуризации знаний о возможных нежелательных (деградационных) процессах и событиях их составляющих. Структуризация заключается в выделении механизмов, кинетики и признаков нежелательных (деградационных) процессов.

Под нежелательными (деградационными) процессами понимаются объективные физико-химические процессы, обусловленные как протеканием различных технологических (рабочих) процессов, так и несовершенствами и нарушениями конструктивного, производственного и эксплуатационного происхождений, приводящими к повреждениям, отказам и авариям. Механизм процесса – совокупность свойств объекта и факторов, действующих на него. Кинетика процесса – микро- и (или) макроскопические явления, возникающие как результат суммирования или накопления элементарных актов движения (рис. 1). Модель динамики технического состояния базируется на структурной иерархии исследуемого объекта: деталь (Д) → сборочная единица (СЕ) → механическая система (МС) → сложный технологический комплекс (СТК). Отношение «часть – целое» между элементами структуры определяет причинно-следственные отношения между их техническими состояниями: деталь является составной частью сборочной единицы и одновременно обуславливает техническое состояние сборочной единицы, которая, в свою очередь, обуславливает техническое состояние МС и т. д.

В процессе функционирования СТК и его структурные элементы могут находиться в одном из двух типов технических состояний: безопасном и опасном. Опасное состояние вызвано достижением предельных состояний и отказами структурных элементов, входящих в СТК. Для своевременного выявления предельных состояний и предупреждения отказов предлагается повысить точность анализа отказов и аварий за счёт представления динамики технического состояния в виде последовательности условно-дискретных состояний [4]: исходная дефектность (Деф), повреждённость (П), разрушение (Р), отказ (О) – для механической системы, отказ (О), аварийная ситуация (АС), авария (А), чрезвычайная ситуация (ЧС) – для сложного технологического комплекса (СТК).

Для механической системы причинно-следственная цепочка состояний будет иметь следую-

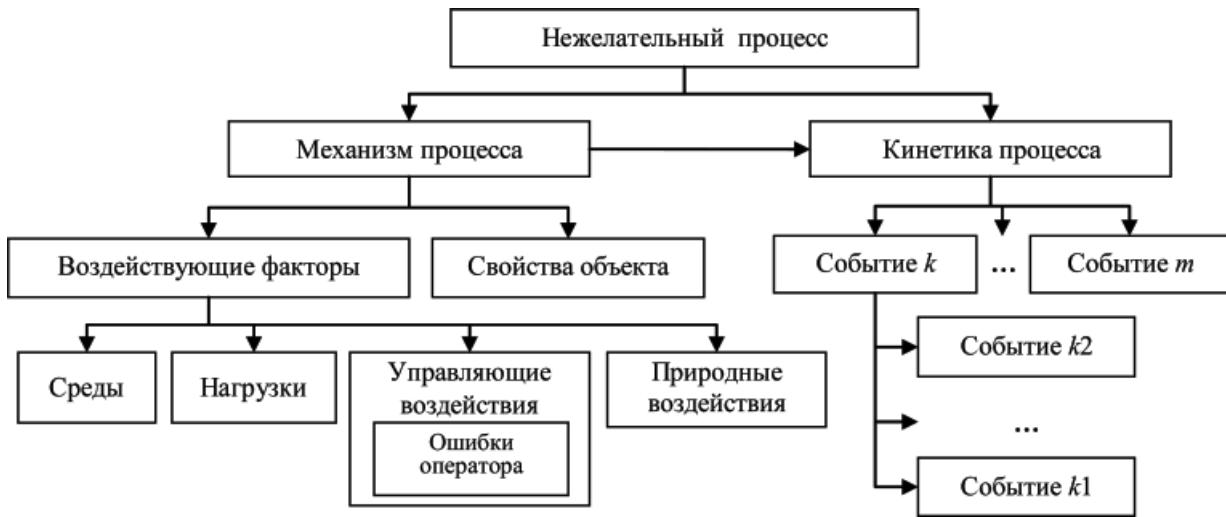


Рис. 1. Структура понятия «нежелательный процесс»

щий вид: $S_{\text{Деф}}^{\text{MC}} \rightarrow S_{\Pi}^{\text{MC}} \rightarrow S_{\text{Р}}^{\text{MC}} \rightarrow S_{\text{O}}^{\text{MC}}$, где $S_{\text{Деф}}^{\text{MC}}$ – дефектное состояние объекта; S_{Π}^{MC} – состояние повреждения; $S_{\text{Р}}^{\text{MC}}$ – состояние разрушения; S_{O}^{MC} – состояние отказа.

Тогда, учитывая иерархическую структуру исследуемого объекта, переходы состояний будут представлены в виде матрицы состояний для механической (рис. 2, блок «надёжность») и сложной технической систем (рис. 2, блок «безопасность»), где $S_k^j(s_{k1}^j, \dots, s_{kN_k}^j)$ – k -класс состояния объекта на j -уровне иерархии СТК в некотором фазовом пространстве; $s_{k1}^j, \dots, s_{kN_k}^j$ – параметры, описывающие состояние.

Рассмотренная модель позволяет повысить эффективность решения задачи формализации причин и следствий, обусловливающих события, за счёт более полного и детального описания процесса деградации технических систем (приводящего к катастрофическим отказам), учёта комплекса воздействующих факторов и определения (уточнения) закономерностей изменения технического состояния на субмикро-, микро- и макроуровнях.

Предлагаемый подход. Построение деревьев событий согласно модели (см. рис. 2) состоит в *последовательном определении* всех возможных нежелательных состояний. При этом определение состояний может осуществляться в прямом направлении: от текущего состояния к последующему, в том числе к конечному состоянию – ЧС СТК. Такая последовательность обеспечивает прогнозирование состояний и соответствует построению дерева событий. Определение состояний может осуществляться в обратном направлении: от текущего (например, состояния отказа) к предыдущему, в том числе начальному (базовому), т. е. состоянию исходной дефектности детали. Такая последовательность обеспечивает опре-

деление причин изменения состояний (происхождение (генезис) отказа) и соответствует построению дерева отказов.

В процессе построения деревьев могут быть использованы различные формализмы для представления опыта и знаний: например опыт, может быть представлен в виде прецедентов, а знания – в виде продукции [3], отражающих причинно-следственные связи между событиями и явлениями (см. рис. 2).

Формализованная модель динамики технического состояния и представленная в объектном виде (как совокупность взаимодействующих объектов) [5, 6] позволяет эффективно создавать продукции (логические правила), описывающие развитие нежелательных процессов, на основе знаний об их механизме и кинетике.

На основе объектно-ориентированной модели выделяются наиболее важные свойства рассматриваемого опасного объекта, которые в совокупности формируют некий структурированный образ – прецедент. В виде прецедентов представлена *информация* об отказах.

Совместное использование набора продукции и прецедентов, образующих базу знаний, обеспечивает определение всех возможных событий (вызываемых нежелательными процессами) и их последовательностей, что необходимо для построения деревьев без непосредственного участия эксперта.

В некоторых случаях, когда применение одного из методов не обеспечивает получение решения из-за недостаточности данных и знаний, осуществляется совместное использование прецедентного и продукционного подходов.

Использование продукции. Преобладающий эвристический характер предметной области опре-

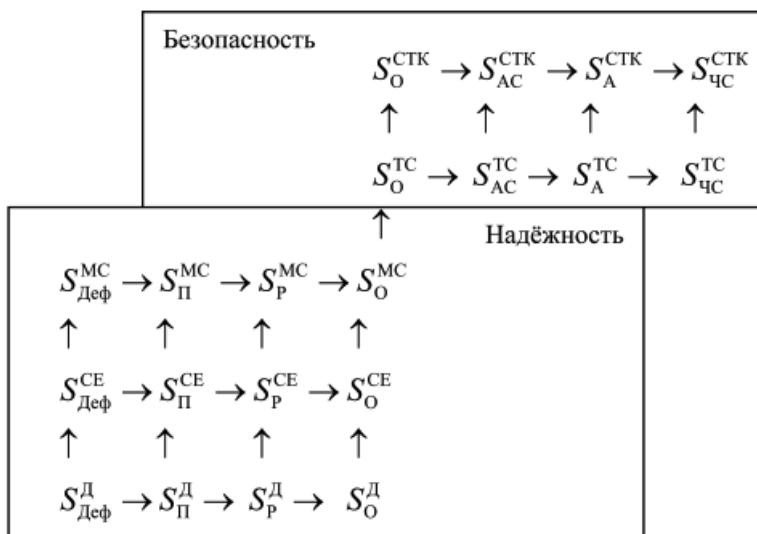


Рис. 2. Матрицы состояний для механической (блок «надёжность») и сложной технической систем (блок «безопасность»)

делил выбор метода продукций как способа формализации знаний и обеспечения логического вывода на их основе [6].

Метод продукций позволяет представить знания в естественном для них семантически значимом виде, что упрощает их разработку и модификацию и обеспечивает возможность обрабатывать неполную и неточную информацию, которая может присутствовать в эвристических правилах. Неточность и неполнота знаний могут быть учтены через коэффициенты уверенности (КУ), значение которых определяется в диапазоне от «–1» до «1»: равное «1» характеризует полную уверенность в правильности заключения продукции правила; равное «0» свидетельствует, что истинность решения, принятого в соответствии с этим правилом, не определена; равное «–1» означает, что заключение является ошибочным. Промежуточные значения КУ выражают степень уверенности в правильности или ошибочности заключения.

С учётом коэффициентов уверенности структура продукцииных правил будет иметь следующий вид: **ЕСЛИ** $f_{i_1}(k_{i_1}), \dots, f_{i_n}(k_{i_n})$, **ТО** $f_{j_1}(k_{j_1}), \dots, f_{j_m}(k_{j_m})$, где k_i – коэффициент уверенности i -факта.

Для определения коэффициента уверенности заключения используется выражение [3] $k(f_j) = k_j \times \min(k_{i_1}, \dots, k_{i_n})$, где $k(f_j)$ – коэффициент уверенности в достоверности значения факта f_j .

Числовая оценка правила в виде коэффициента уверенности используется для оценки вероятности/частоты событий при построении деревьев.

Все правила, описывающие динамику технических состояний, можно подразделить на обобщённые (правила-образцы или правила-шабло-

ны) и конкретные (правила-экземпляры). Обобщённые правила не участвуют в процессе логического вывода, но обеспечивают структуризацию конкретных правил. Шаблоны обобщённых правил, описанные в соответствии с фреймово-продукционной моделью, приведены ниже:

ЕСЛИ Свойство объекта ($\text{КУ}_{\text{Св}}$), **И** Среда ($\text{КУ}_{\text{С}}$), **И** Нагрузки ($\text{КУ}_{\text{Н}}$), **И** Ошибки оператора ($\text{КУ}_{\text{Оп}}$), **И** Природные воздействия ($\text{КУ}_{\text{ПВ}}$), **ТО** Механизм j -стадии развития i -нежелательного процесса ($\text{КУ}_{\text{Мех}}$);

ЕСЛИ Механизм j -стадии развития i -нежелательного процесса ($\text{КУ}_{\text{Мех}}$), **ТО** Кинетика j -стадии развития i -нежелательного процесса ($\text{КУ}_{\text{Кин}}$), **И** Событие ij^1 ($\text{КУ}_{\text{СК1}}$) ... **И** Событие ij^m ($\text{КУ}_{\text{СКn}}$);

$\text{КУ}_{\text{Св}}$, $\text{КУ}_{\text{С}}$, $\text{КУ}_{\text{Н}}$, $\text{КУ}_{\text{Оп}}$, $\text{КУ}_{\text{ПВ}}$, $\text{КУ}_{\text{Мех}}$, $\text{КУ}_{\text{Кин}}$, $\text{КУ}_{\text{СК1}}$, $\text{КУ}_{\text{СКn}}$ – соответствующие коэффициенты уверенности фактов.

Правила, описывающие нежелательные процессы, протекающие на объекте, допускают различную степень точности и глубины. Однако главные факторы, определяющие вид и характерные признаки этих процессов, должны приводиться в соответствии с накопленным опытом и общепринятыми моделями. Например, если описывается многоцикловая коррозионная усталость, значит, основными воздействующими факторами являются многоцикловая нагрузка и агрессивная (активная) среда, контактирующая с поверхностью детали, на которой зарождаются одиночные трещины. Признаками нежелательного процесса «многоцикловая коррозионная усталость» являются трещины, растущие либо от конструктивных концентраторов напряжений, либо метал-

лургических или технологических дефектов, либо эксплуатационных, например коррозионных повреждений.

Рассмотрим обобщённый алгоритм автоматизированного построения дерева событий на основе продуктов (дерево отказов строится в результате анализа дерева событий) в виде последовательности шагов.

Шаг 1. Выбор объекта исследования и этапа анализа нежелательного состояния.

Шаг 2. Анализ информации об исследуемом объекте, включающий анализ описания его структуры и уточнение наблюдаемых характеристик объекта, путём указания наличия или отсутствия определённых свойств.

Шаг 3. Построение поддерева, отражающего структуру исследуемого объекта.

Шаг 4. Выявление механизмов, кинетики и признаков формирования рассматриваемого нежелательного состояния с использованием правил.

Шаг 5. Построение поддеревьев для рассматриваемого нежелательного состояния на основе выявленных механизмов и кинетики.

Шаг 6. Переход к следующему нежелательному состоянию (*шаг 4*), если оно не является терминальным.

Шаг 7. Интеграция поддеревьев в полное ДС.

Использование прецедентов. Использование эвристических правил, сформированных на основе модели, не всегда позволяет определить кинетику, механизм и события деградационного процесса. Поэтому предлагается в дополнение к модели использовать информацию об отказах и авариях технологических комплексов и входящих в их состав механических систем [5, 7], представив в виде прецедентов, которые будут использованы для автоматизированного построения деревьев.

Прецедент, как структурированный образ, в обобщённом виде можно представить в качестве совокупности двух основных компонентов [3]: описания и решения проблемы, т. е. Прецедент = \langle Проблема, Решение \rangle .

При решении задачи автоматизированного построения деревьев отказов и событий прецедент – это совокупность компактного описания знаний об отказе или аварии (в виде перечня диагностических признаков или параметров технического состояния) и решения (перечня мероприятий по предотвращению, локализации и ликвидации отказов или аварий).

В компонент описания проблемы прецедента включены свойства объекта, отражающие его состояния в некоторые моменты времени и позволяющие однозначно идентифицировать текущее состояние объекта исследования. Признаки раз-

делены на группы (классы), соответствующие возможным состояниям: исходная дефектность, повреждённость, разрушение, отказ и т. д. [5].

Таким образом, прецедент имеет следующую структуру:

$c^i = \{\langle Spr_k^i, Sd_k^i \rangle\}_{k=1}^{K_i}$, где Spr_k^i – описание k -класса состояния; Sd_k^i – описание решения, принятого для k -класса состояния.

Проблема определяется набором кортежей $Spr_k^i = \{ \langle p_{kj}^i, v_{kj}^i, r_{kj}^i \rangle \}_{j=1}^J$, где p_{kj}^i – наименование j -параметра, характеризующего состояние; v_{kj}^i – значение j -параметра; r_{kj}^i – ограничение на значение j -параметра.

Решения представляются множеством мероприятий $Sd_k^i = \{sd_{km}^i\}_{m=1}^M$, где sd_{km}^i – содержание m -мероприятия, описание последовательности управляющих решений, которые были приняты для предотвращения, локализации, снижения и ликвидации последствий нежелательных состояний для задачи принятия решения.

Исходя из модели динамики технического состояния (см. рис. 2), можно говорить о существовании причинно-следственной иерархии прецедентов: прецедент детали описывает причину нежелательного состояния сборочной единицы, прецедент сборочной единицы, в свою очередь, описывает причину нежелательного состояния механической системы и т. д. Каждый прецедент содержит информацию о всех этапах изменения технического состояния. На основе причинно-следственной цепочки прецедентов строится сценарий изменения технического состояния (сценарий понимается как цепочка последовательных событий).

Обобщённый алгоритм автоматизированного построения деревьев отказов и событий на основе прецедентов представляет собой определённую последовательность действий.

Шаг 1. Выбор объекта исследования и этапа анализа нежелательного состояния.

Шаг 2. Анализ информации об исследуемом объекте, включающий анализ описания структуры и уточнение наблюдаемых характеристик объекта путём указания наличия или отсутствия определённых свойств.

Шаг 3. Извлечение наиболее близких аналогов (прецедентов) с использованием информации об исследуемом объекте.

Шаг 4. Анализ описания извлечённых аналогов с целью определения причинно-следственных зависимостей между прецедентами различных уровней иерархии, и построение сценариев событий по каждому аналогу.

Шаг 5. Интеграция сценариев событий в деревья событий осуществляется по принципу: i -ю вершину j -го сценария можно склеить с i -ой вер-

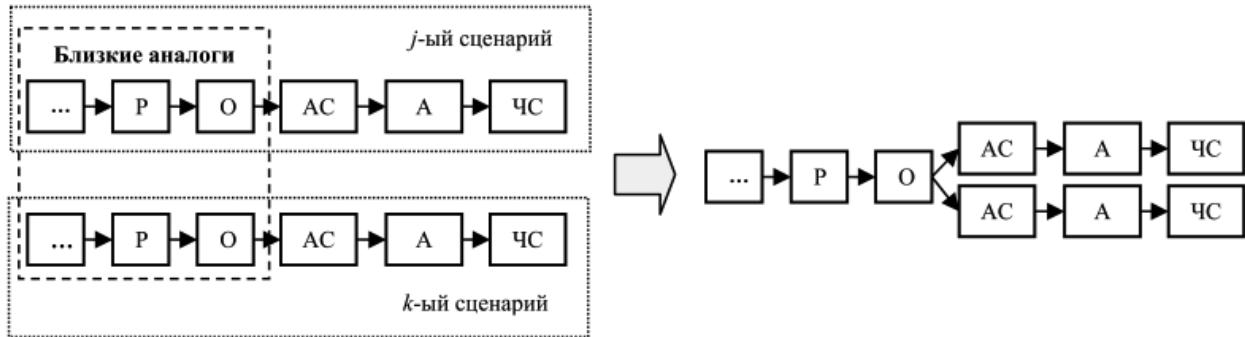


Рис. 3. Пример интегрирования вершин сценариев для дерева событий

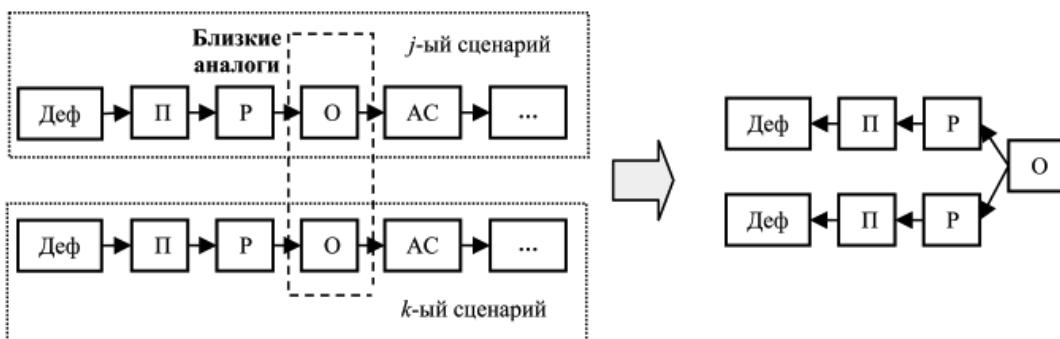


Рис. 4. Пример интегрирования вершин сценариев для дерева отказов

шиной k -го сценария, если i -ые вершины и все предыдущие вершины являются близкими аналогами (рис. 3).

Шаг 6. Интеграция сценариев событий в деревья отказов осуществляется, если i -я вершина j -го сценария является близким аналогом i -ой вершины k -го сценария (рис. 4). При этом на степень (оценку) близости устанавливается ограничение, например 0,5.

При использовании прецедентов для построения деревьев возможно вычисление (определение) частот (вероятностей) событий, исходя из их повторяемости в описании сценариев. При отсутствии представительной базы прецедентов частотные характеристики могут быть заменены экспертными оценками.

Программный комплекс. Рассмотренные формализмы (продукции и прецеденты) и алгоритмы их обработки применительно к решению задачи автоматизированного построения ДС/ДО были программно реализованы (в составе программного комплекса) [8].

Основные функции программного комплекса: автоматизированное создание ДС/ДО на основе исходных данных об опасном объекте и знаний экспертов о динамике опасных процессов на основе прецедентов и продукции;

управление процессами создания, редактирования и сохранения ДС/ДО (создание, изменение событий и ветвей);

управление процессами создания и редактирования событий, включая ввод/редактирование исходных данных о событиях ДС/ДО, расчёт параметров событий (например, объёмы истечения жидкости, радиусы поражений и др.) и вероятностей реализации событий;

исследование ДС/ДО: нахождение минимального сечения, вероятностная оценка дерева и др.; формирование специализированных отчётов.

С целью реализации функций программного комплекса разработана его архитектура (рис. 5). В соответствии с предложенной архитектурой была осуществлена программная реализация (рис. 6) модулей программного комплекса с использованием средств визуального программирования Turbo Explorer Delphi. Визуальной составляющей графического редактора является свободный программный компонент TsimpleGraph. Для хранения данных использовано СУБД PostgreSQL 9.0. Продукционный подход реализован с помощью инструмента для разработки баз знаний и экспертных систем – CLIPS (C Language Integrated Production System).

Пример применения. Рассмотрим пример автоматизированного построения дерева для опасно-



Рис. 5. Архитектура программного комплекса

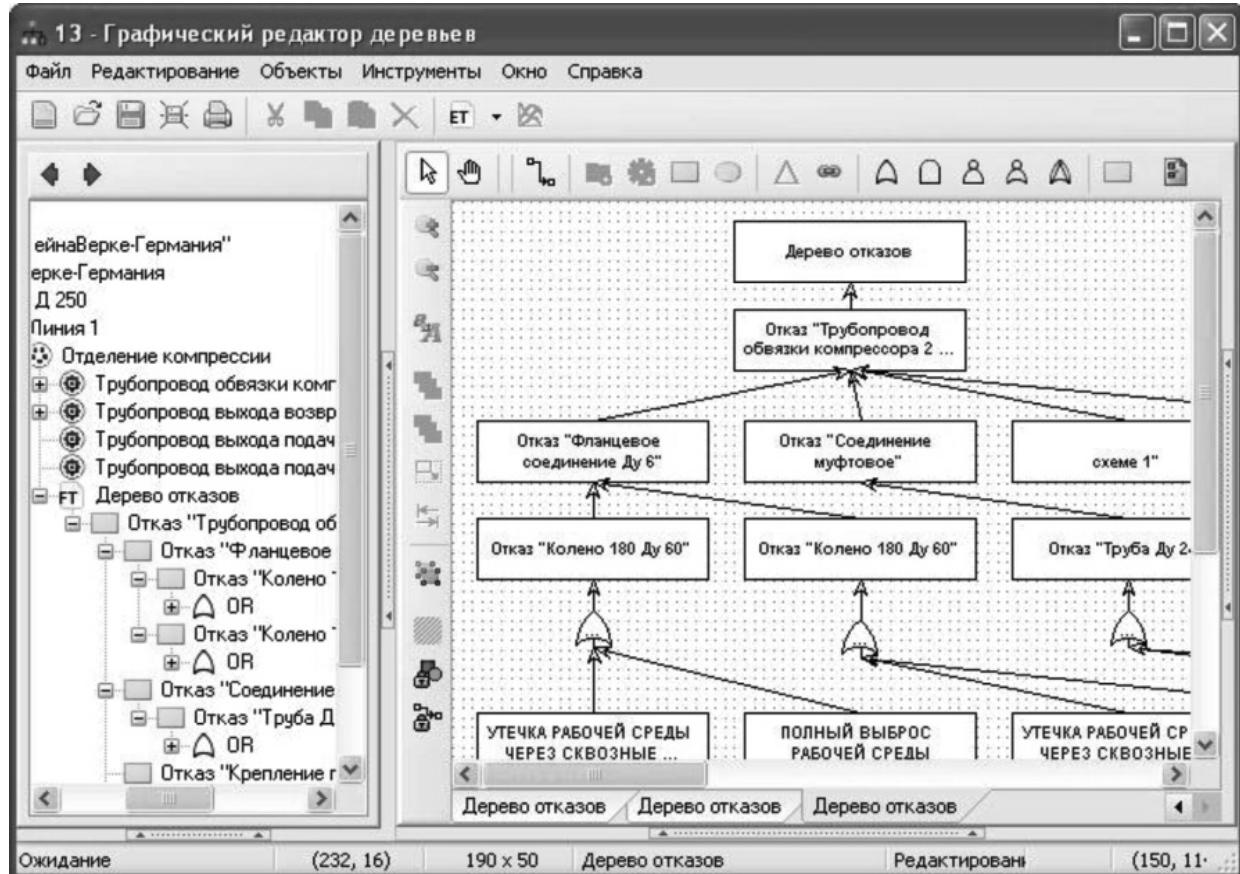


Рис. 6. Пример интерфейса графического редактора

го объекта на основе исходных данных (рис. 7). Построение дерева событий осуществляется с помощью правил. В частности, активизируются следующие правила для определения механизма и кинетики процесса (в скобках указаны значения коэффициентов уверенности):

ЕСЛИ Воздействующая среда (водородный показатель – «не соответствует норме») (1), **ИЛИ** Среда (электродный потенциал – «не соответствует норме») (1), **ИЛИ** Среда (растворённый кислород – «выше нормы») (1), **ИЛИ** Среда (растворённый хлор – «выше нормы») (1), **ТО** Среда (вид – «активная») (0,9);

ЕСЛИ Технология изготовления – «деформация в холодном состоянии до 5 %» (1), **ТО** Остаточные макронапряжения (1);

ЕСЛИ Материал детали – «низколегированная сталь» (1), **И** Остаточные растягивающие макронапряжения (1), **И** Нагрузка – Механические напряжения (вид – «растягивающие», величина – «выше нормы») (1), **И** Нагрузка – Термические напряже-

ния, **И** Среда (вид – «активная») (1), **ТО** Механизм деградационного процесса на стадии повреждения – «механизм коррозионного растрескивания» (0,7);

ЕСЛИ Механизм деградационного процесса на стадии повреждения – «механизм коррозионного растрескивания» (1), **ТО** Кинетика деградационного процесса на стадии повреждения – «кинетика коррозионного растрескивания» (1);

ЕСЛИ Кинетика деградационного процесса на стадии повреждения – «кинетика коррозионного растрескивания», **ТО** Поглощение в микрообъёмах материала энергии остаточных напряжений и внешнего механического воздействия (1), **И** Повышение энергии кристаллической решётки до критического уровня (1), **И** Деформация кристаллической решётки (1), **И** Разрыв межатомных связей (1), **И** Протекание локальной электрохимической коррозии (1), **И** Развитие микро- и макротрещин (1);

ЕСЛИ Кинетика деградационного процесса на стадии повреждения – «кинетика коррозионного



Рис. 7. Пример дерева событий нежелательного процесса «Коррозионное растрескивание», стадия повреждения

растрескивания», **TO** Субмикротрешины (местоположение – «на поверхности»; длина < 100 нм) (1), **И** Питтнги (местоположение – «на поверхности», диаметр 1–2 мм, глубина 1–2 мм) (1), **И** Язвы (местоположение – «на поверхности», диаметр 3–5мм, глубина 1–3 мм) (1), **И** Микротрешины (длина < 500 мкм, источник – «питтнги») (0,7), **И** Макротрешины (направление – «поперечные», длина < 7 мм, глубина < 4 мм) (0,7).

Результатом активации набора продукцииных правил является цепочка (цепочки) развития нежелательного процесса – поддерево (см. рис. 7). Интеграция этих поддеревьев позволяет построить полное дерево событий.

Заключение. Разработан подход, обеспечивающий автоматизацию и интеллектуализацию построения деревьев отказов и событий непрограммирующими пользователями без непосредственного участия экспертов, за счёт формализации и представления знаний о причинно-следственном комплексе развития опасных процессов в виде продукции и прецедентов.

База продукцииных правил содержит набор правил, описывающих закономерности изменения технического состояния, приводящего к отказам и авариям. В базу прецедентов занесена информация о 200 инцидентах и авариях, имевших место на советских и российских предприятиях нефтехимической и химической промышленности за период 1964–1996 гг. [7].

Приведённые примеры описания обобщённой кинетики деградационных процессов могут отличаться от представлений и опыта различных исследователей и должны быть откорректированы при решении конкретных задач. Базы знаний и данных должны дополняться продукцииными правилами и прецедентами, отражающими механизм, кинетику и параметры деградационных процессов, протекающих в опасных объектах и обуславливающих последовательность событий, приводящих к отказам и авариям. Открытость

подобных баз знаний и данных будет значительным вкладом в информационное обеспечение анализа рисков и позволит повысить безопасность как создаваемых, так и эксплуатируемых объектов.

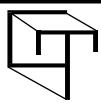
Работа выполнена при поддержке гранта Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг.

Библиографические ссылки

1. Хенли Э.Дж., Кумамото Х. Надёжность технических систем и оценка риска. М.: Машиностроение, 1984. 528 с.
2. Берман А.Ф. Метод «дерева отказов» для исследования надёжности и безопасности технологических трубопроводов // Надёжность и контроль качества. 1990. № 10. С. 58–62.
3. Люгер Дж.Ф. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем. М.: Вильямс, 2003. 864 с.
4. Берман А.Ф., Николайчук О.А. Пространство технических состояний уникальных механических систем // Проблемы машиностроения и надёжности машин. 2007. № 1. С. 14–22.
5. Николайчук О.А., Юрин А.Ю. Применение прецедентного подхода для автоматизированной идентификации технического состояния деталей механических систем // Автоматизация и современные технологии. 2009. № 5. С. 3–12.
6. Берман А.Ф., Николайчук О.А., Юрин А.Ю. Автоматизация прогнозирования технического состояния и остаточного ресурса деталей уникальных машин и аппаратуры // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2009. № 3. С. 48–57.
7. Берман А.Ф., Храмова В.К. Автоматизированная база данных по отказам трубопроводов и трубчатых аппаратов высокого давления // Химическое и нефтяное машиностроение. 1993. № 2. С. 7–9.
8. Павлов Н.Ю. Интеллектуальная программная система автоматизированного построения деревьев событий // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2012. № 1. С. 57–63.

Уважаемые читатели!

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



УДК 658.512.2

А.П. Попов, канд. техн. наук

(Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»)

vgm@stankin.ru

СИСТЕМНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНТЕГРИРОВАННЫХ АСУ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Рассмотрено системное проектирование интегрированных АСУ (ИАСУ) машиностроительным производством. Показано, что создание ИАСУ связано с необходимостью декомпозиции системы управления на ряд относительно независимых подсистем меньшей сложности, а также с требованием обеспечения согласованного их функционирования.

Ключевые слова: системное проектирование, интегрированная АСУ, машиностроение, структура, системный анализ.

System projecting of the machine-building production integrated ACS is considered. It is shown that IASU creation is connected with a control system decomposition necessity on a number of relatively independent subsystems with smaller complexity and with the requirement of the coordinated functioning ensuring also.

Key words: the system projecting, integrated ACS, mechanical engineering, structure, the system analysis.

Научно-техническая проблема разработки и внедрения высокоэффективных ИАСУ машиностроительного производства решена не в полной мере из-за отсутствия системного конструктивного подхода при проектировании.

Создание ИАСУ связано с необходимостью декомпозиции системы управления на ряд независимых подсистем меньшей сложности, а также с требованием обеспечения их согласованного функционирования. Для этого необходимо разработать единые информационное и программно-математическое обеспечение ИАСУ, а также сформировать принципы функциональной и технической реализации.

Создание ИАСУ начинается с разработки и формирования организационной и функциональной структур. Этот этап характеризуется отсутствием строгих формализованных приёмов и критериев оптимизации. Поэтому особенно эффективны методы и принципы декомпозиции и интеграции, используемые для системного анализа и синтеза.

На основе общего метода декомпозиции в ИАСУ можно выделить три основные структурные части: инструментальную, материальную и социальную. Эти части составляют базис и основные предпосылки функционирования любого производственного процесса.

При наличии сложных взаимосвязей в современном производстве объективно возникли и

развиваются координирующие и организующие уровни ИАСУ, обеспечивающие объединение основных элементов производственного процесса в единое целое на основе общей информационной базы. Эту часть можно назвать производственно-обеспечивающей структурой [1].

Ввиду сложности современного производства и его обеспечения возникает потребность в специфических интегрирующих элементах (системном интерфейсе, способном обеспечивать комплектность и коммуникабельность ИАСУ). Как правило, системный интерфейс обеспечивает следующие виды сопряжения: физическое и функциональное (физический интерфейс); логическое и процедурные (программный интерфейс). Объектами функциональной стандартизации системотехнических требований в области средств и систем автоматизации согласно международным базовым стандартам ИСО/МЭК являются следующие элементы сопряжения: соединители, несущие конструкции, электропитание, сигналы, физическая среда, принципы, способы и режимы передачи данных (протоколы), форматы и представление данных [2].

Системный подход к структуризации обеспечивает на каждом этапе создания, внедрения и эксплуатации целостность отдельных элементов и компонент, а также сохранение концепции ИАСУ, как единого целого. Кроме универсально-

сти данного системотехнического подхода, большое значение имеет его качественная характеристика, так как одной из причин неудач при создании ИАСУ являются отсутствие единой точки зрения на ИАСУ и методы её создания. В результате единое целое превращается во множество отдельно спроектированных элементов, увязка которых в комплексную систему становится невозможным. Следует подчеркнуть, что искусственное игнорирование методологии системного подхода резко снижает эффективность проектирования ИАСУ, а также общую эффективность производства на стадии её эксплуатации, что увеличивает стоимость программы технического перевооружения машиностроения и приборостроения на базе концепции интегрированных автоматизированных производств (АП) [3, 4].

Ниже обобщены результаты научно-практической деятельности по созданию нормативно-методической базы взаимосвязанных этапов системного проектирования ИАСУ в машиностроении и приборостроении:

разработка обобщённой концепции комплексной автоматизации машиностроительного производства, основанной на интеграции, информатизации, интеллектуализации и индивидуализации процессов проектирования и управления (принцип «четырёх И») [5];

разработка и моделирование перспективных интеллектуальных общетехнических, системотехнических и технологических базовых решений по основным функциональным компонентам и обеспечивающим подсистемам ИАСУ;

разработка общесистемных и прикладных автоматизированных информационных систем (АИС) в составе ИАСУ АП с применением распределён-

ных баз данных и баз знаний, сетевой технологии распределённых вычислительных сетей ЭВМ на основе международных стандартов;

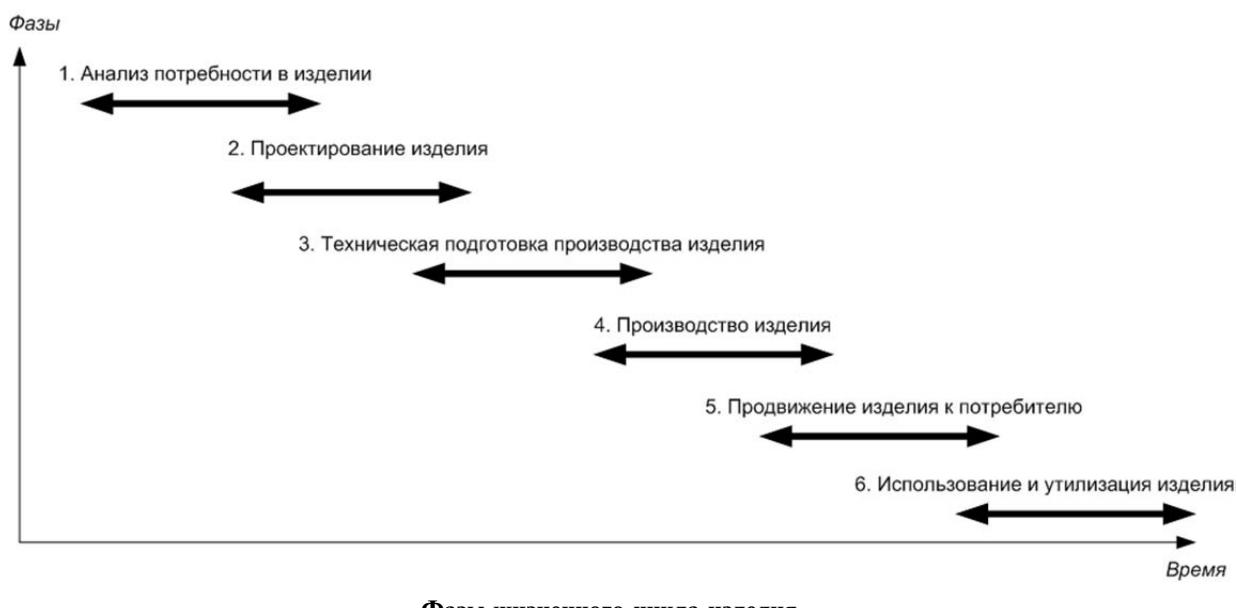
разработка и моделирование перспективных общетехнических, системотехнических и технологических базовых решений для технологических процессов и специальных систем.

Технология системного проектирования ИАСУ базируется на интеграции этапов и методов системного моделирования триады: сложное изделие как объект производства и потребления, технология и специальные системы как средства производства, ИАСУ как интеллектуальная производственная и потребительская среда согласно программированию и синхронизации их жизненных циклов (см. рисунок).

Обобщённая итерационная схема проектирования:

по вертикали «сверху-вниз»: формирование общесистемной инвариантной части, функционально структурный подход; разработка концептуальных и нормативно-алгоритмических моделей основных компонент, структурно-алгоритмическое моделирование; организационно-технологическое проектирование АП как интеллектуальных исполнительных систем, искусственный интеллект; разработка многофункциональных системотехнических решений по основным компонентам и подсистемам, поисковое проектирование; проблемно-ориентированная адаптация и настройка базовых программно-аппаратных комплексов и систем, оптимизация и самообучение; системный анализ надёжности, живучести и качеств функционирования, научный эксперимент;

по горизонтали «слева-направо»: анализ общественной потребности, маркетинг; конструкторско-



технологическое проектирование, САПР-методология; планирование и управление организационно-экономическими процессами, теория расписаний и календарного планирования в АСУ; оперативное управление организационно-технологическими процессами, АСУ-методология; контроль качества продукции, идентификация и системный анализ прогнозирования.

Использование указанных проектных процедур позволит:

разработать принципы построения и применения гибридных моделирующих экспертных систем, определить рациональные области их применения как на стадиях автоматизированного проектирования, так и эксплуатации и анализа качества функционирования ИАСУ;

рассмотреть особенности концептуальных и нормативно-алгоритмических моделей основных компонент ИАСУ, связанных с систематическим применением принципа «четырёх И» на ранних стадиях проектирования; привести принципиальные системотехнические решения по перспективным интеллектуальным элементам и подсистемам основных компонент ИАСУ АП и автоматизированных проектных конструкторско-технологических комплексов (АПКК): конструкторско-технологического проектирования; технической подготовки производства; интегрированного планирования и управления; организационно-технологического управления; научных исследований и производственных испытаний; обеспечения на-

дёжности, живучести и качества функционирования АП (тотальная система качества) в составе предприятия с опытно-экспериментальным характером производства.

Таким образом, разработана методика по применению конструкторско-технологической информатики и методы искусственного интеллекта в автоматизированных системах ускоренного создания сложной техники и технологии специальных систем.

Данное исследование выполнялось в рамках государственного контракта ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг.

Библиографические ссылки

1. Анашкин А.С., Кадыров Э.Д., Харизов В.Г. Техническое и программное обеспечение распределённых систем управления. СПб.: П-2, 2004. 368 с.
2. Управление проектами: основы профессиональных знаний [под ред. В.Л. Воропаева]. М.: СОВНЕТ, Кубс Групп, 2001. 265 с.
3. Лазарева Т.Я., Мартемьянов Ю.Ф., Схиртладзе А.Г. Интегрированные системы проектирования и управления. Структура и состав. М.: Машиностроение-1, 2006. 172 с.
4. Управление проектами: справочник для профессионалов / И.И. Мазур, В.Д. Шапиро и др. М.: Высш. шк., 2001. 875 с.
5. Малин А.С. Исследование систем управления. М.: ГУ ВШЭ, 2002. 400 с.

ИЗДАТЕЛЬСТВО МАШИНОСТРОЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ В УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ

Е.И. Тавер

2012 г. Объем 368 с. Формат 60x88 1/16 ISBN 978-5-94275-666-6 Цена 600 р.



Качество товаров рассмотрено, с одной стороны, как важнейший результат производственной деятельности, а с другой — как особый объект управления. При этом состав, нормативные и физические значения показателей качества товара и факторов, от которых оно зависит, являются конечным объектом управления. Даны субъекты управления качеством, универсальные подходы к нему, измерения, оценки, подтверждение соответствия и контроль качества, правовые основы, стандарты и модели управления качеством. Исходя из этого, проведен анализ задач и методов управления качеством при маркетинге, проектировании, производстве и использовании товара, а также затрат на качество.

Допущено УМО по образованию в области прикладной математики и управления качеством в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 220501 – Управление качеством и направлению 221400 – Управление качеством.

Приобрести книгу в издательстве можно, прислав заявку:

по почте: 107076, г. Москва, Строгий 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 004.932.2

С.С. Садыков, д-р техн. наук, проф., **С.В. Савичева**
 (Муромский институт (филиал) Владимирского государственного
 университета им. А.Г. и Н.Г. Столетовых)

savicheva-svetlana2010@yandex.ru

ИДЕНТИФИКАЦИЯ НАЛОЖЕННЫХ ПЛОСКИХ ОБЪЕКТОВ

Рассмотрен алгоритм распознавания наложенных двух плоских реальных объектов на основе ЕМ-алгоритма. В качестве признаков при идентификации используются значения кривизны в точках контура, длины выпуклых и вогнутых участков, а также коэффициенты выпуклости и вогнутости контура объекта.

Ключевые слова: распознавание, наложенный плоский объект, α -функция, ЕМ-алгоритм, идентификация, признак, кластер.

A recognition algorithm of two superimposed flat real objects based on the EM algorithm is considered. In the capacity of identification signs the curvature values at the contour points, length of the convex and concave parts and the coefficients of object contour convexity and concavity too are used.

Key words: recognition, superimposed flat object; α -function, the EM-algorithm, identification, sign; cluster.

В промышленности широко применяются автоматические системы распознавания (ACP). Типичным примером может служить ACP, предназначенная для распознавания объектов расположенных в поле зрения видеодатчика для дальнейшей передачи управления роботу при захвате их с ленты конвейера.

Данная задача по степени сложности включает распознавание объектов: единственного; несколько (однотипных и разнотипных) изолированных друг от друга; двух (однотипных и разнотипных) соприкасающихся и наложенных друг на друга.

При использовании ACP возможно возникновение трёх перечисленных выше ситуаций распознавания объектов как отдельно, так и в совокупности.

В настоящее время первые две задачи (распознавание единственного и нескольких изолированных друг от друга объектов) являются решёнными с высокой степенью достоверности при использовании несложных алгоритмов идентификации [1–3].

Значительно с меньшей степенью достоверности решена третья задача (распознавание двух соприкасающихся и наложенных друг на друга объектов). Это связано с ограниченной информацией об объектах, так как при наложении один объект может закрыть большую часть другого и, следовательно, закрытый объект распознать не удаётся.

Предлагаемый подход идентификации плоских объектов при их наложении, основанный на ЕМ-алгоритме, состоит из двух шагов.

Шаг 1. Обучение ACP включает:

1. Вычисление α -функций исходных объектов и формирование эталонных α -функций.

Под α -функцией понимается последовательность значений кривизны, вычисленной в каждой точке дискретного контура изображения объекта [1, 4–7].

2. Формирование классов наложенности генерацией эталонов наложенных объектов для каждого сочетания исходных объектов.

В качестве основных параметров при генерации сочетаний плоских наложенных объектов взяты: размер поля зрения для генерации (800x800 точек); размер рабочей области (поле зрения видеодатчика) (799x799 точек) для избежания ситуаций, когда объект касается краёв поля зрения. Это связано с тем, что в подобных случаях объект считается не полностью вошедшим в кадр и системой ACP не рассматривается [8].

Координаты точек x и y исходных объектов изменяются от 0 до 799 с шагом, равным единице. Задаются с помощью датчиков случайных чисел.

Значения угла наклона объекта изменяются от 0 до 360° с шагом, равным 1° . Задаются с помощью датчиков случайных чисел.

Для исследования рассматриваются только случаи касания и наложения объектов.

3. Вычисление признаков объектов и формирование на их основе векторов-признаков эталонов наложенных объектов.

В качестве основного признака, используемого при распознавании наложенных плоских объектов, используются значения α -функции контуров изображений наложенных объектов.

Дополнительными признаками являются длины вогнутых и выпуклых участков контура и коэффициенты вогнутости и выпуклости контура.

Под вогнутым участком контура объекта понимается участок кривой, на котором значения кривизны точек, составляющих этот участок, отрицательны.

Под выпуклым участком контура объекта понимается участок кривой, на котором значения кривизны точек, составляющих этот участок, положительны.

Длины выпуклых и вогнутых участков определяются по формуле [9]:

$$l_{\text{вогн., вып}} = 1 \cdot k^4 + \sqrt{2} k^d, \quad (1)$$

где k^4 – количество 4-связных точек; k^d – количество d -связных точек.

Коэффициенты вогнутости и выпуклости контура рассчитываются по формуле [9]:

$$k_{\text{вогн., вып}} = \frac{L_{\text{вогн., вып}}}{l}, \quad (2)$$

где $L_{\text{вогн., вып}} = \sum_{i=1}^{k_l(l_{\text{вогн., вып}})} l_{i\text{вогн., вып}}$ – суммарная длина вогнутых (выпуклых) участков контура; $k_l(l_{\text{вогн., вып}})$ – количество вогнутых (выпуклых) участков контура; l – общая длина контура.

Для определения расстояния между объектами признаки объектов нормируют, т. е. переводят их в безразмерные величины.

Нормирование значений признаков – это переход к введению новой условной единицы измерения, допускающей формальное сопоставление объектов. Наиболее распространённым способом нормирования из-за простоты и удобства использования является деление значений признаков на максимальное значение:

$$z = \frac{x}{x_{\max}},$$

где x_{\max} – наибольшее значение признака x .

В результате обучения формируется K кластеров. В состав каждого кластера Q_r ($r = 1, \dots, K$) входят значения M_r эталонных векторов-признаков для каждого сочетания n исходных объектов. Общее число эталонов составляет M .

Векторы-признаки каждого объекта состоят из двух частей. В общем виде они могут быть представлены на рис. 1.

Шаг 2. Распознавание. Пусть имеется обучающая выборка, состоящая из N изображений наложенных объектов для каждого из K кластеров.

Для каждого изображения в кластере сформирован n -компонентный вектор признаков $X^* = [x_1, x_2, \dots, x_n]$.

x_1	x_2	...	x_n
a_1	a_2	...	a_n

y_1	y_2	y_3	y_4
$l_{\text{вогн}}$	$l_{\text{вып}}$	$k_{\text{вогн}}$	$k_{\text{вып}}$

Рис. 1. Векторы-признаки объектов

Задача состоит в сравнении векторов-признаков экзаменационного (неизвестного) объекта со всеми векторами-признаками эталонов по кластерам наложенных объектов с использованием ЕМ-алгоритма [10].

Решение о принадлежности неизвестного объекта с номером i и вектором признаков X^* к кластеру Q принимается на основе двух последовательных шагов.

Ожидание (E-алгоритм).

Используя текущее значение вектора-признаков X^* вычисляется значение апостериорной вероятности $P_i(Q_r | X^*)$, т. е.

$$X^* \in Q^*, \text{ если } P_i(Q^* | X^*) = \max P_i(Q_r | X^*), \quad (3)$$

$$\text{где } P_i(Q_r | X^*) = P(Q_r) \frac{P(X^* | Q_r)}{P(X^*)}.$$

Входящие в формулу (3) компоненты определяются следующим образом.

1. $P(Q_r) = \frac{M_r}{M}$ – априорная вероятность существования r -го класса,

где M_r – количество объектов r -го класса в обучающей выборке; M – общее количество объектов в обучающей выборке.

2. $P(X^* | Q_r) = \sum_{j=1}^N P(X_j^* | Q_r)$ – вероятность принятия j -м вектором признаков значения X_j^* .

Значение $P(X_j^* | Q_r)$ определяется по формуле:

$$P(X_j^* | Q_r) = \frac{M_{rj}}{M},$$

где M_{rj} – количество объектов обучающей выборки, принадлежащих r -му классу, у которых j -й признак принимает значение X_j^* ; M – общее количество объектов в обучающей выборке.

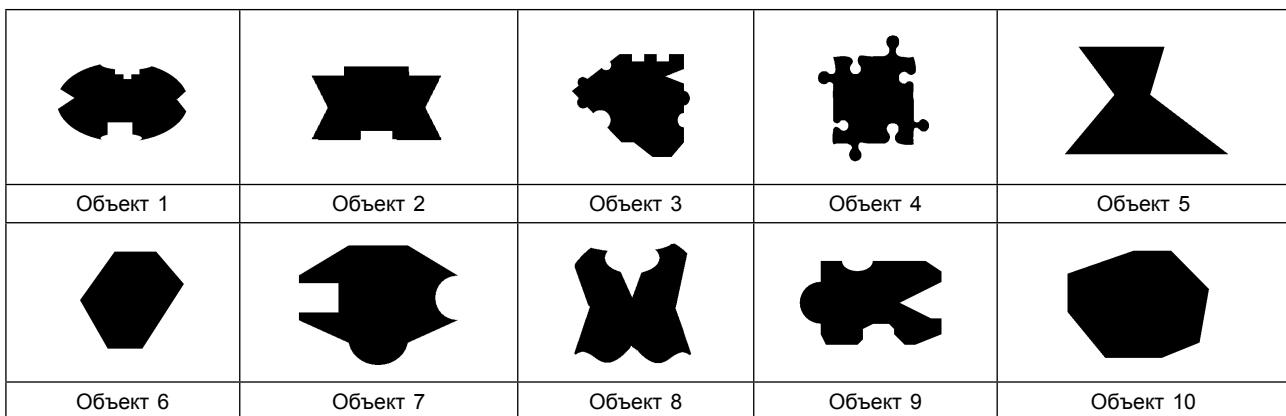


Рис. 2. Изображения исходных объектов

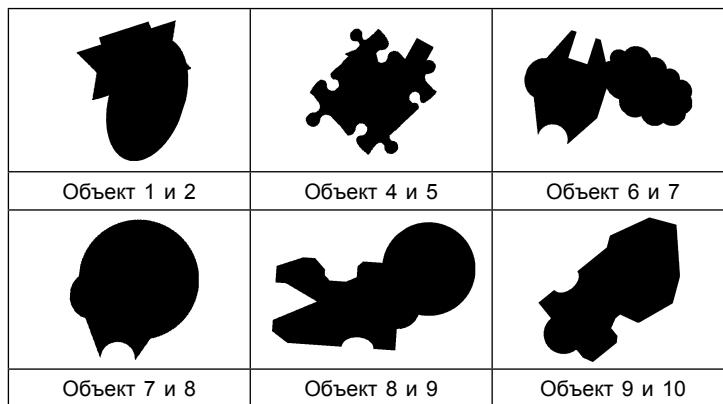


Рис. 3. Примеры изображений касающихся и наложенных объектов

3. $P(X^*) = \sum_{r=1}^K P(Q_r)P(X^* | Q_r)$ – вероятность возникновения в обучающей выборке конкретного сочетания конкретных векторов признаков.

Максимизация (M -алгоритм).

Для найденных на шаге ожидания значений оценивается максимальное правдоподобие по формуле:

$$L = \ln \sum_{r=1}^K P_i(Q_r / X^*)P(Q_r), \quad (4)$$

где $P_i(Q_r / X^*)$ – апостериорная вероятность; $P(Q_r)$ – априорная вероятность существования r -го класса.

Экспериментальные исследования. Для экспериментальных исследований использованы сгенерированные бинарные изображения 10 объектов.

Для каждого из сочетаний исходных объектов сформирована выборка, включающая по 1000 изображений для каждого сочетания исходных объектов.

Изображения исходных объектов и примеры их касания и наложения для некоторых сочетаний приведены на рис. 2 и 3.

Векторы-признаки некоторых наложенных объектов приведены в табл. 1.

В табл. 2 и на рис. 4 приведена часть результатов идентификации тестовых наложенных объектов.

Выводы. Показана возможность идентификации наложенных однотипных и разнотипных тестовых плоских объектов с использованием ЕМ-алгоритма на основе двух или трёх признаков их контуров.

Основным признаком при распознавании были значения α -функции. В качестве дополнительных признаков – длины вогнутых и выпуклых участков и коэффициенты вогнутости и выпуклости контура объекта.

Проведённые эксперименты показали, что данный алгоритм в большинстве случаев является стабильным; максимальный процент относительной ошибки распознавания не превышает 4 %.

Основное количество ошибок приходится на ситуации, когда один объект сильно перекрывает другой (процент наложения более 60 %).

Алгоритм совершенствуется для дальнейшего использования при идентификации трёх реаль-

Таблица 1

Значения векторов-признаков

Признак	Примеры векторов-признаков				
	1	2	3		100
α_1	0,333	0,667	0,667	...	0,333
α_2	0	0,667	0,333	...	0
α_3	0,333	0,667	0	...	0
α_4	0,333	0,333	0,667	...	0
...
α_{25}	0,333	0	0,667	...	0
...
$l_{\text{вып}}$	0,22556	0,13899	0,22899	...	0,46546
$l_{\text{вып}}$	0,26384	0,21899	0,23313	...	0,31071
...
$k_{\text{вог}}$	0,036	0,021	0,110	...	0,117
$k_{\text{вып}}$	0,031	0,039	0,106	...	0,084

Таблица 2

Результаты идентификации тестовых наложенных объектов

№ п.п.	Сочетания объектов	Число испытаний	Вероятность правильного распознавания
1	1+1	1000	0,96
2	1+2	1000	0,9
3	1+3	1000	0,91
4	1+4	1000	0,95
5	1+5	1000	0,91
6	1+6	1000	0,9
7	1+7	1000	0,9
8	1+8	1000	0,91
9	1+9	1000	0,9
...
55	10+10	1000	0,9

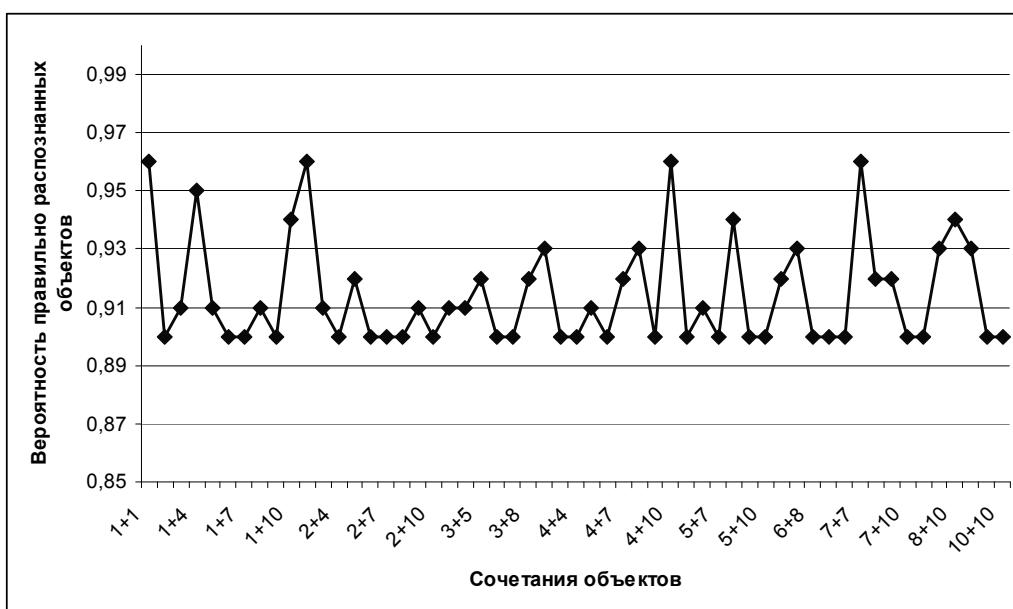


Рис. 4. График изменения вероятности правильно распознанных тестовых объектов в зависимости от сочетания объектов на основе EM-алгоритма

ных плоских объектов и минимизации временных затрат на его работу.

Библиографические ссылки

- Садыков С.С., Савичева С.В. Алгоритм идентификации плоских объектов с использованием минимального числа признаков // Автоматизация и современные технологии. 2011. № 7. С. 3–6.
- Садыков С.С., Савичева С.В. Идентификация реальных плоских объектов на основе единственного признака точек их внешних контуров // Информационные технологии. 2011. № 8. С. 13–16.

3. Садыков С.С., Савичева С.В. Идентификация реальных плоских объектов на основе их сигнатуры // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2012. № 1. С. 17–20.

4. Садыков С.С., Савичева С.В. Алгоритм идентификации реальных плоских объектов с использованием значений их r -функций // Надёжность и качество-2011: тр. Междунар. симпозиума [под ред. Юркова]. Пенза: изд.-полиграф. центр МИ ВлГУ, 2011. С. 123–127.

5. Савичева С.В. Экспериментальное исследование алгоритма идентификации плоских объектов // Алгоритмы, методы и системы обработки данных: сб. науч. тр. Муром: изд.-полиграф. центр МИ ВлГУ, 2010. С. 153–160.

6. Садыков С.С., Савичева С.В., Веденин А.С. Экспериментальное исследование алгоритма идентификации наложенных объектов на основе алгоритмов трансформации контура и α -функции // Алгоритмы, методы и системы обработки данных: электронный научный журнал. 2012. Вып. 1(19). Муром: Муромский ин-т (филиал) ВлГУ, 2012. С. 188–196.

7. Садыков С.С., Савичева С.В., Комков В.А. Сравнение алгоритмов распознавания наложенных объектов на основе α -функции и на основе особых участков // Алгоритмы, методы и системы обработки данных: элек-

тронный научный журнал. 2012. Вып. 1(19). Муром: Муромский ин-т (филиал) ВлГУ, 2012. С. 197–202.

8. Садыков С.С., Савичева С.В. Исследование наложения плоских объектов в поле зрения СТЗ // Приборостроение. 2012. № 2. С. 14–19.

9. Садыков С.С., Стулов Н.Н. Методы и алгоритмы выделения признаков объектов в системах технического зрения. М.: Горячая линия – Телеком, 2005. 204 с.

10. Черезов Д.С., Тюкаев Н.А. Обзор основных методов классификации и кластеризации данных // Вестник ВГУ. Сер.: Системный анализ и информационные технологии. 2009. № 2. С. 25–29.

УДК 921.327.534

С.А. Микаева, д-р, техн. наук, проф. (Московский государственный университет приборостроения и информатики), **Л.В. Абрамова**, канд. техн. наук, проф., **Е.М. Михайлова**
(Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, г. Саранск)

mikaeva@pechkin.npo.lit.ru

ОЦЕНКА УСЛОВИЙ ОСВЕЩЕНИЯ, СОЗДАВАЕМОГО СВЕТОДИОДНЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ИЗЛУЧЕНИЯ

Оценка световой среды, создаваемой осветительной установкой со светодиодами, проводилась по видимости объектов наблюдения, времени ахроматической адиспаропии и степени зрительного утомления. Представлены результаты исследования условий освещения, созданного светодиодными источниками излучения. Определены наиболее благоприятные условия освещения для объектов зрительной работы I–IV разрядов СП52.13330.2011.

Ключевые слова: осветительная установка, освещённость, светодиоды, угловой размер, видимость объектов наблюдения, время адиспаропии, зрительное утомление.

The light environment valuation created by lighting facility with light-emitting was carried out in accordance with the observation object visibility, time of achromatic adisparopia and the visual fatigue degree. The research results of lighting conditions created by light-emitting radiation sources are presented. The most favourable lighting conditions for the visual work objects in I–IV categories SP52.13330.2011 were defined.

Key words: lighting installation, illumination, LED (light emitting diodes), angle size, the observation objects visibility, time of achromatic adisparopia, visual fatique.

Создание энергоэффективных осветительных установок – это одна из актуальных задач техники освещения. Одним из путей решения этой задачи является применение в осветительных установках светодиодных источников излучения, имеющих ряд преимуществ по сравнению с тепловыми и газоразрядными, так как срок их службы более 50 тыс. ч горения, они экономичны, обладают высокой энергoeffективностью (световая отдача свыше $100 \text{ лм} \cdot \text{Вт}^{-1}$), высоким ресурсом прочности, отсутствием токсической ртути. Благодаря компактности осветительные приборы со светодиодами имеют возможность изменять направление потока излучения в пространстве освещаемого объекта [1].

Однако в отечественной и зарубежной литературе влияние излучения светодиодов на функ-

циональное состояние органа зрения мало исследовано.

Для оценки условий освещения, созданного светодиодами, проведены исследования видимости диффузных объектов различия и зрительного утомления в зависимости от уровня освещённости рабочей поверхности и степени сложности зрительной задачи. Экспериментальная установка представляла собой адаптационную камеру размером $1,3 \times 0,65 \times 0,70$ м, внутренняя поверхность которой покрыта белым диффузноотражающим материалом с коэффициентом отражения 0,8. Для освещения использовался световой прибор, расположенный над объектом наблюдения на высоте 0,5 м над рабочей поверхностью. В качестве источника излучения применялись светоизлучающие диоды высокой интенсив-

ности типа У-337. Выходное отверстие светового прибора перекрыто рассеивателем. Уровень освещённости рабочей поверхности изменялся от 100 до 1000 лк регулированием напряжения источника питания. Неравномерность освещения поверхности не превышала $\pm 10\%$. Измерения освещённости проводились с помощью люксметра «ТКА – Люкс», имеющего предел допустимого значения относительной погрешности $\pm 6\%$.

Эксперимент проводился в затемнённой комнате размером $2,0 \times 2,5 \times 3,6$ м. Коэффициенты отражения потолка, стен и пола, соответственно, равны 0,7; 0,5; 0,3. Наблюдатель располагался за рабочим столом, коэффициент отражения которого равен 0,8. В эксперименте участвовали 10 опытных наблюдателей в возрасте от 21 до 24 лет, имеющих нормальное и скорректированное к нормальному зрение. В каждой серии опытов измерения проводились по пять раз в день в течение 4 дней.

Порядок проведения эксперимента следующий: после предварительной адаптации каждого наблюдателя к заданным условиям освещения в течение 15 мин измерялась видимость диффузных объектов наблюдения, затем выполнялась двухчасовая зрительная работа, по окончании которой проводилось повторное измерение видимости объектов. Результаты обрабатывались с использованием пакета статистического анализа и прогнозирования.

В качестве объектов наблюдения были выбраны плоские диффузные объекты в виде дисков с угловыми размерами 1', 5', 10', относящиеся к I, III и IV разрядам СП52.13330.2011. Измерение видимости проводилось при отрицательном контрасте объекта с фоном ($k = 0,9$) при уровнях освещённости рабочей поверхности от 100 до 1000 лк. Видимость объектов измерялась монокулярным измерителем видимости типа М-53А до начала и после 2 ч зрительной нагрузки. Зрительная работа заключалась в различении наблюдателями в таблицах колец Ландольта с угловым размером $\alpha = 5'$.

На рис. 1 представлена зависимость видимости объектов наблюдения от уровня освещённости рабочей поверхности до и после выполнения зрительной работы.

Результаты измерений показывают, что видимость объектов при светодиодном освещении зависит как от уровня освещённости, так и степени сложности зрительной задачи. Изменение уровня освещённости приводит к изменению видимости объектов с угловым размером $\alpha = 1'$ в 1,4 раза, $\alpha = 5'$ в 1,37 раза, $\alpha = 10'$ в 1,28 раза.

Каждому угловому размеру объекта соответствует свой уровень освещённости, обеспечивающий его наибольшую видимость: для угловых размеров $\alpha = 1'$, $\alpha = 5'$, $\alpha = 10'$ освещённость, соответственно, равна 700, 600 и 400 лк. Повышение уровня освещённости не улучшает видимость объектов, так

как каждый угловой размер объекта характеризуется минимальным значением порогового контраста, меньше которого объект не может быть обнаружен при дальнейшем увеличении яркости фона.

При постоянстве уровня освещённости видимость исследуемых объектов наблюдения возрастает с ростом их углового размера (при $E = 100$ лк на 66,2 %, $E = 300$ лк на 66,2 %, $E = 500$ лк на 57,6 %, $E = 700$ лк на 40,8 %, $E = 1000$ лк на 38,5 %) в результате уменьшения порогового контраста объекта с фоном при увеличении угловых размеров объектов.

Экспериментально установлено, что от величины углового размера объектов наблюдения зависит градиент изменения видимости исследуемых объектов. Так, при изменении освещённости рабочей поверхности от 100 лк до наибольшего значения для соответствующих угловых размеров объектов наблюдения градиент изменения их видимости уменьшается с ростом углового размера объектов как до начала зрительной работы, так и после её окончания (от 45 до 29 %). При постоянном уровне освещённости (100 лк) данная величина снижается с увеличением угловых размеров объектов от 32 до 24 %.

В производственных условиях при дальнейшей работе возникает зрительное утомление, приводящее к снижению функций зрения: остроты и скорости различения, контрастной чувствительности, устойчивости ясного видения и других функций [2]. Следовательно, определение оптимальных вариантов освещения необходимо осуществлять не только по видимости, но и по допустимому уровню зрительного утомления.

Оценка зрительного утомления проводилась методом ахроматической адиспаропии, основанным на исчезновении различия смежных полей сравнения. В качестве тест-объекта для измерения времени адиспаропии (t_a) выбран плоский диффузный диск диаметром 40 мм, состоящий из двух контактирующих полей сравнения с вертикальной границей раздела. Диск располагался на общем белом фоне ($\rho = 0,7$). Контраст между полями сравнения – пороговый.

Эксперимент проводился следующим образом: после предварительной адаптации в течение 15 мин испытуемый, стабилизируя линию зрения с помощью фиксационной точки, наблюдает границу раздела смежных полей. Моменты начала наблюдения и визуального уравновешивания яркости смежных полей (время адиспаропии (t_a)) фиксировались секундомером. Абсолютное значение t_a измерялось до начала зрительной работы (t_{ai}) и по окончании (t_{aj}). Зрительная работа состояла в различении диффузных объектов с угловыми размерами 1', 5' и 10'. Количество наблюдателей и условия эксперимента оставались неизменными.

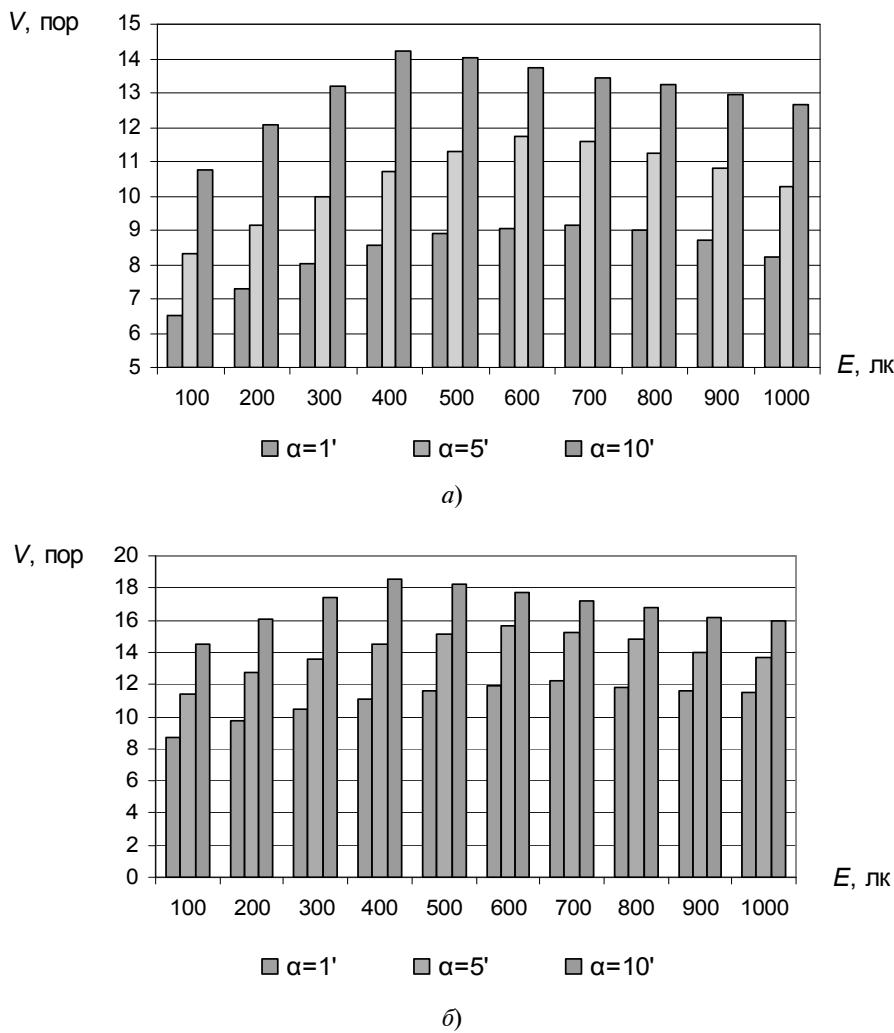


Рис. 1. Видимость объектов наблюдения от уровня освещённости рабочей поверхности:
а – до выполнения зрительной нагрузки; б – после выполнения зрительной нагрузки;
 V – видимость; E – освещённость

Затем после 2-х ч зрительной нагрузки рассчитывался показатель зрительного утомления:

$$A = (1 - t_{aj} / t_{ai}) \times 100 \text{ \%}.$$

На рис. 2 приведены результаты изменения степени зрительного утомления от уровня освещённости рабочей поверхности для соответствующих угловых размеров в условиях светодиодного освещения.

Анализ полученных зависимостей показывает идентичность изменения исследуемой величины при заданных параметрах осветительной установки и объектов зрительной работы. При постоянном уровне освещённости зрительное утомление снижается на 23,7–30,4 % при увеличении угловых размеров объектов от 1' до 10'. Наиболее благоприятные условия освещения, оцениваемые по наименьшей степени зрительного утомления, имеют место при освещённостях: 700 лк ($\alpha = 1'$),

600 лк ($\alpha = 5'$) и 500 лк ($\alpha = 10'$). При дальнейшем увеличении освещённости рабочей поверхности уровень зрительного утомления не изменяется. Однако больше влияет на степень зрительного утомления изменение освещённости, чем угловой размер объектов.

В исследуемом интервале освещённостей зрительное утомление было измерено при освещении рабочей поверхности лампой накаливания для $\alpha = 10'$ (рис. 3).

Сопоставительный анализ вариантов освещения показал, что световая среда, создаваемая светодиодами, является более предпочтительной, так как при одном и том же уровне освещённости зрительное утомление при освещении светодиодами на 25,2 % ниже, чем при освещении лампой накаливания.

Выводы. Увеличение уровня освещённости от 100 до 1000 лк приводит к снижению зрительного утомления на 19–42 %, чему соответствует повы-

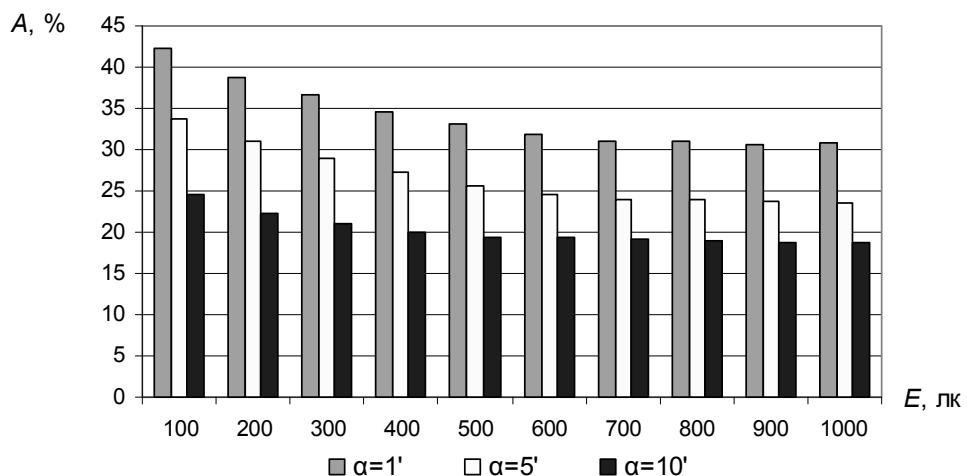


Рис. 2. Зрительное утомление в зависимости от уровня освещённости рабочей поверхности (при светодиодном освещении)

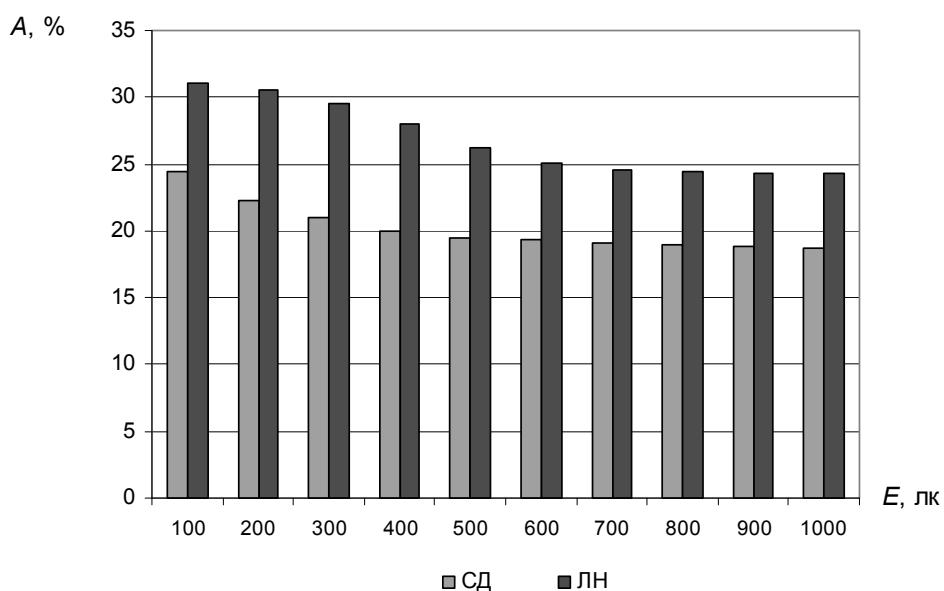


Рис. 3. Сравнительный анализ условий освещения по степени зрительного утомления:
СД – светодиод; ЛН – лампа накаливания

шение видимости исследуемых объектов наблюдения на 38–66 %. В условиях постоянства уровня освещённости рабочей поверхности степень зрительного утомления зависит от степени сложности зрительной работы и при увеличении углового размера от 1' до 10' снижается на 19–31 %. При исследуемых вариантах освещения утомление органа зрения более чувствительно к изменению уровня освещённости рабочей поверхности по сравнению с угловыми размерами объектов зрительной работы. Определены благоприятные уровни освещённости рабочей поверхности, обеспечивающие наибольшую видимость объектов и наименьшую степень зрительного утомления для

$\alpha = 1'$ (700 лк), $\alpha = 5'$ (600 лк), $\alpha = 10'$ (500 лк). Сравнительная оценка влияния условий освещения со светодиодами и лампой накаливания на степень зрительного утомления показала, что в осветительных установках целесообразно использовать светодиодные источники излучения.

Библиографические ссылки

1. Хайнц Р. Неорганические светодиоды: обзор // Светотехника. 2003. № 5. С. 7–12.
2. Абрамова Л.В., Амелькина С.А. Исследование интегральных показателей зрительной работы в условиях освещения металлогалогенными лампами малой мощности // Светотехника. 2007. № 3. С. 54–55.

УДК 621.9.015

А.С. Сергеев, А.Л. Плотников, д-р техн. наук, Н.Г. Зайцева
(Волгоградский государственный технический университет)

sergeevapp@mail.ru

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ РАСЧЁТА ПАРАМЕТРА ШЕРОХОВАТОСТИ В САПР ТП МНОГОЛЕЗВИЙНОЙ ОБРАБОТКИ

Предложен способ автоматизированного расчёта среднеарифметического отклонения профиля поверхности при обработке плоских деталей сборным многолезвийным инструментом на фрезерных станках с ЧПУ на основе разработанной математической модели. Приведены экспериментальные данные, подтверждающие эффективность применения полученной математической модели по сравнению с существующим прототипом.

Ключевые слова: сборный многолезвийный инструмент, сменные многогранные пластины (СМП), термоЭДС, параметр шероховатости.

An automatic calculation method of the surface shape arithmetical mean deviation for flat parts machining by the assembled multiblade tool on the CNC milling machines on basis of created mathematical model is proposed. The experimental data supporting the efficiency of the derived mathematical model application compared to existing prototype are presented.

Key words: assembled multiblade tool, removable multisided inserts, thermo-EMF, roughness parameter.

В настоящее время немалую долю технологических процессов механообработки в различных отраслях машиностроительного производства занимают фрезерные операции. Особое внимание уделяется качеству металлообработки на фрезерных операциях при обработке сборным многолезвийным инструментом. Компьютерные технологии в металлообработке предполагают широкое использование систем автоматизированного проектирования на стадии подготовки технологического процесса (САПР ТП), в структуре которых обязательно содержится модуль расчёта режимов обработки. В модуле алгоритмы расчёта основных параметров обработки построены на использовании математических моделей, содержащихся в справочно-нормативной литературе. На сегодняшний день существует большое количество научной и справочно-нормативной литературы, в которой описаны математические зависимости для расчёта параметров шероховатости обрабатываемых поверхностей и методики их оценки.

Наиболее близким способом определения параметра шероховатости R_a при обработке плоских поверхностей в условиях получистового и чистового торцового фрезерования является способ, описанный в работе [1].

Способ предусматривает определение параметра шероховатости R_a с учётом влияния скорости резания v , подачи S_z , глубины резания t , переднего угла режущей кромки γ и радиуса скругления режущей кромки r :

$$R_a = \frac{S_z^{1,69} t^{0,15}}{v^{1,23} r^{0,14} \gamma^{0,46}}, \quad (1)$$

где S_z – подача на зуб сборного многолезвийного твёрдосплавного инструмента; t – глубина фрезерования; v – скорость резания; r – радиус скругления режущей кромки; γ – передний угол режущей кромки.

Недостатком этого способа является то, что он применяется ограниченно по маркам обрабатываемых сталей (в частности, предназначен для обработки стали ШХ15) и не позволяет учитывать влияние марки инструментального материала на параметр шероховатости R_a [2].

При смене марки инструментального материала изменяется и теплопроводность. Влияние теплопроводности контактируемых пар на шероховатость проявляется передачей количества выделенного при резании тепла в инструмент и стальную заготовку, т. е. коэффициентом теплоусвоения, представляющего собой отношение теплофизических характеристик инструмента и стальной заготовки. Количество тепла, полученного объёмом срезаемого металла, определяет долю хрупкого и вязкого разрушения при стружкообразовании и влияет на механизм образования микронеровностей и количественное значение параметра шероховатости R_a .

Указанный недостаток приводит к тому, что рассчитанное значение шероховатости R_a на стадии проектирования технологического процесса

торцевого фрезерования по формуле (1) не совпадает с фактическим и выходит за пределы допуска по параметру шероховатости, что приводит к браку по качеству обработанной поверхности или к недоиспользованию резерва повышения производительности (увеличения подачи S_z). При существующем разбросе свойств (как между марочным составом так и внутри его) инструментального материала и обрабатываемых сталей определение параметра шероховатости R_a с ориентацией на среднее (справочное) значение этих свойств приводит к значительным ошибкам.

В связи с этим ниже рассматривается способ повышения точности определения шероховатости R_a при обработке углеродистых, конструкционных и низколегированных сталей на фрезерных станках с ЧПУ. Результатом является повышение качества обработки деталей за счёт оперативного определения шероховатости R_a программным (автоматизированным) способом на фрезерных станках с ЧПУ.

Способ определения параметра шероховатости R_a на фрезерных станках с ЧПУ при получистовой и чистовой обработке металла сборным многолезвийным твёрдосплавным инструментом при торцевом фрезеровании с измерением термоэлектродвижущей силы (термоЭДС) реализуется следующим образом: предварительно осуществляется пробный проход сборным многолезвийным твёрдосплавным инструментом по детали, измеряется термоЭДС каждой режущей кромки, далее вычисляется среднеарифметическое значение термоЭДС сборного многолезвийного твёрдосплавного инструмента, а параметр шероховатости R_a определяется с помощью вычисленного среднеарифметического значения термоЭДС, рабочих параметров процесса резания (v , S_z , t) и геометрических параметров сборного многолезвийного твёрдосплавного инструмента и обрабатываемой детали (z , B , D) по формуле:

$$R_a = C_{R_a} \left[\frac{z \arccos \left(1 - 2 \left(\frac{B}{D} \right)^2 \right)}{360} + 1 \right]^{K_1} \times \\ \times \frac{E^{K_2} t^{K_3} S^{K_4}}{v^{K_5}}, \quad (2)$$

где C_{R_a} – коэффициент, учитывающий вид обработки (при получистовой обработке $C_{R_a} = 2,75$, при чистовой $C_{R_a} = 73,5$); E – среднеарифметическое значение термоЭДС; v – скорость резания; S – подача на зуб сборного многолезвийного твёрдосплавного инструмента; t – глубина резания; z – количе-

ство режущих кромок сборного многолезвийного твёрдосплавного инструмента; B – ширина фрезерования; D – диаметр сборного многолезвийного твёрдосплавного инструмента; K_1 – коэффициент, определяющий степень влияния количества режущих кромок z сборного многолезвийного твёрдосплавного инструмента, приходящихся на ширину фрезерования B при заданном диаметре фрезы D , на параметр шероховатости R_a (при получистовой обработке $K_1 = 1$, при чистовой $K_1 = 0,833$); K_2 – коэффициент, определяющий степень влияния среднеарифметического значения термоЭДС E на параметр шероховатости R_a (при получистовой обработке $K_2 = 0,732$, при чистовой $K_2 = 0,727$); K_3 – коэффициент, определяющий степень влияния глубины резания t на параметр шероховатости R_a (при получистовой обработке $K_3 = 0,51$, при чистовой $K_3 = 0,264$); K_4 – коэффициент, определяющий степень влияния подачи на зуб сборного многолезвийного твёрдосплавного инструмента S на параметр шероховатости R_a (при получистовой обработке $K_4 = 0,5$, при чистовой $K_4 = 0,313$); K_5 – коэффициент, определяющий степень влияния скорости резания v на параметр шероховатости R_a (при получистовой обработке $K_5 = 0,284$, при чистовой $K_5 = 0,997$).

Для оценки режущих свойств при математическом расчёте параметра шероховатости R_a при фрезерной обработке предложено использовать оперативный сигнал термоЭДС E , учитывающий физико-механические свойства контактируемых пар «инструмент-деталь». Параметр термоЭДС E измеряется в одинаковых условиях кратковременного пробного прохода, по всем сочетаниям контактных пар, среди группы углеродистых, конструкционных и низколегированных сталей при обработке их твёрдосплавным инструментом. Также предложено для определения параметра шероховатости R_a при фрезерной обработке использовать не справочные, а экспериментальные значения степенных показателей, полученных при регрессионном анализе возможных математических спецификаций.

Введён новый параметр – коэффициент, учитывающий вид обработки C_{R_a} (при чистовой обработке $C_{R_a} = 73,5$, при получистовой $C_{R_a} = 2,75$).

Использование в разработанном способе определения параметра шероховатости R_a среднеарифметического значения термоЭДС пробного прохода контактной пары E повышает точность его определения, так как удельная составляющая термоЭДС, входящая в общую формулу полного значения ЭДС пары, как отмечено в работе [3], зависит от физико-механических, химических и теплофизических свойств конкретной контактной пары.

Наличие отличительных признаков обеспечивает повышение точности определения параметра R_a автоматизированным способом при работе фрезерных станков с ЧПУ.

Перед началом обработки детали по разработанному технологическому процессу осуществляют кратковременный (4–5 с) пробный проход сборным многолезвийным твёрдосплавным инструментом по детали на строго одинаковых режимах резания $v = 100$ м/мин, $S_z = 0,1$ мм/зуб, $t = 1$ мм [4], измеряют и фиксируют значение термоЭДС каждой режущей кромки [5], вычисляют среднеарифметическое значение термоЭДС сборного многолезвийного твёрдосплавного инструмента E , после чего устанавливают необходимые технологические параметры обработки: скорость резания v , подача на зуб сборного многолезвийного твёрдосплавного инструмента S_z , глубина фрезерования t . Далее рассчитывается параметр шероховатости R_a по формуле (2) с учётом рабочих параметров процесса резания (v , S_z , t) и геометрических параметров сборного многолезвийного твёрдосплавного инструмента и обрабатываемой детали: количества режущих кромок z , ширины фрезерования B , диаметра фрезы D . Если полученное значение параметра шероховатости удовлетворяет требованиям технологического процесса, то этим же инструментом обрабатывают сталь на выбранных технологических режимах (v , S_z , t).

Экспериментальная проверка предлагаемого способа проводилась при обработке конструкционных углеродистых и низколегированных сталей: сталь 45 (ГОСТ 1050–88) и ШХ15 (ГОСТ 801–78) тремя наборами сборного многолезвийного твёрдосплавного инструмента (торцевой фрезой) диаметром $D_\Phi = 100$ мм, с числом режущих кромок $z_1 = 2$, $z_2 = 4$, $z_3 = 8$. В качестве инструментального материала применялись твёрдосплавные сменные неперетачиваемые пятигранные пластины марок Т15К6, Т5К10 и ТТ7К12 (ГОСТ 19065–80).

В табл. 1 приведены результаты экспериментальной проверки расчёта параметра шероховатости R_a по формуле (1) и предлагаемой формуле (2) сборным многолезвийным твёрдосплавным инструментом со сменными пластинами марки Т15К6 и ТТ7К12 при обработке стали ШХ15, заявленной в прототипе как основной и единственный обрабатываемый материал, для которого применяется расчётная формула (1). При исследовании параметры процесса резания задавались в соответствии с технологическими параметрами, указанными в работе [1]: диапазон изменения подачи на зуб сборного многолезвийного твёрдосплавного инструмента $S = 0,08–0,5$ мм/зуб, глубина резания $t = 0,08–0,5$ мм, скорость резания $v = 18–44$ м/мин, радиус скругления $r = 0,5–2,0$ мм, передний угол $\gamma = 5–20^\circ$. В соответствии с ГОСТ 19065 – 80 расчёт параметра шероховатости R_a по прототипу проводился с учётом геометрических параметров

сменных пластин при радиусе скругления $r = 1$ мм и переднем угле $\gamma = 5^\circ$.

Из табл. 1 видно, что максимальная относительная погрешность определения параметра R_a по прототипу (1) достигает 95,78 %, а по предлагаемому способу (2) 37,10 %. При этом обработка проводилась строго в соответствии с технологическими параметрами обработки, указанными в прототипе. Средняя относительная погрешность определения параметра R_a по прототипу достигает 84,83 %, а по предлагаемому способу 20,41 %.

В условиях современного автоматизированного станочного производства преобладает высокоскоростная обработка на получистовых и чистовых операциях.

Предлагаемый способ определения параметра шероховатости на фрезерных станках с ЧПУ при получистовой и чистовой обработке металла сборным многолезвийным твёрдосплавным инструментом при торцевом фрезеровании регламентирует рекомендуемые технологические параметры торцевого фрезерования, при которых средняя относительная ошибка определения параметра шероховатости R_a по предлагаемому способу 11–14 %, а максимальная относительная погрешность при этом не превышает 40 %.

Технологические параметры получистового торцевого фрезерования ($R_a = 2,5–10$ мкм): диапазон среднеарифметического значения термоЭДС контактной пары $E = 9,3–17,3$ мВ, скорость резания $v = 159–306$ м/мин, подача на зуб сборного многолезвийного твёрдосплавного инструмента $S_z = 0,02–0,08$ мм/зуб, глубина резания $t = 0,5–1,5$ мм, число режущих кромок сборного многолезвийного твёрдосплавного инструмента $z = 2–8$ шт.

Технологические параметры чистового торцевого фрезерования ($R_a = 0,63–5$ мкм): диапазон среднеарифметического значения термоЭДС контактной пары $E = 9,3–17,3$ мВ, скорость резания $v = 97–159$ м/мин, подача на зуб сборного многолезвийного твёрдосплавного инструмента $S_z = 0,08–0,16$ мм/зуб, глубина резания $t = 1,5–2,5$ мм, число режущих кромок сборного многолезвийного твёрдосплавного инструмента $z = 2–8$ шт.

Указанный диапазон технологических параметров торцевого фрезерования соответствует современным справочно-нормативным данным, а расчёт параметра шероховатости по предлагаемому способу в диапазоне указанных технологических параметров, обеспечивает заданный параметр шероховатости при обработке конструкционных, углеродистых и низколегированных сталей.

В табл. 2 в качестве примера приведены результаты экспериментальной проверки расчёта

Таблица 1

Экспериментальная проверка расчёта параметра шероховатости R_a

Скорость резания v , м/мин	Глубина резания t , мм	Подача на зуб сборного многолезвийного инструмента S , мм/зуб	Шероховатость измеренная R_a , мкм	Шероховатость расчётная по прототипу R_a , мкм		Шероховатость расчётная по предлагаемому способу R_a , мкм				
				расчётная по формуле (1)	процент относительной ошибки	расчётная по формуле (2)	процент относительной ошибки			
Число режущих кромок сборного многолезвийного твёрдосплавного инструмента $z = 8$										
Режущий инструмент: ТТ7К12; величина термоЭДС $E = 10,1$ мВ										
20	1,0	0,08	6,525	0,810	87,59	5,896	9,64			
		0,12	8,213	1,607	80,44	7,221	12,08			
40	1,0	0,08	5,913	0,345	94,16	4,843	18,10			
		0,12	6,583	0,685	89,59	5,931	9,91			
Режущий инструмент: Т15К6; величина термоЭДС $E = 13,3$ мВ										
20	1,0	0,08	8,254	0,810	90,19	7,212	12,62			
		0,12	8,943	1,607	82,03	8,833	1,23			
40	1,0	0,08	8,172	0,345	95,78	5,923	27,52			
		0,12	8,382	0,685	91,83	7,255	13,45			

Таблица 2

Чистовое торцевое фрезерование (сталь 45-ТТ7К12 ($E = 9,3$ мВ))

Скорость резания v , м/мин	Глубина резания t , мм	Подача на зуб сборного многолезвийного инструмента S , мм/зуб	Шероховатость измеренная R_a , мкм	Шероховатость расчётная по прототипу R_a , мкм		Шероховатость расчётная по предлагаемому способу R_a , мкм	
				расчётная по формуле (1)	процент относительной ошибки	расчётная по формуле (2)	процент относительной ошибки
Число режущих кромок сборного многолезвийного твёрдосплавного инструмента $z = 8$							
159	0,5	0,08	2,96	0,057	98,07	2,67	9,8
	1,0		2,89	0,063	97,81	3,20	11
	1,5		3,60	0,067	98,13	3,57	0,8
232	0,5	0,08	1,96	0,036	98,17	1,83	6,7
	1,0		2,32	0,040	98,29	2,19	5
	1,5		2,84	0,042	98,51	2,45	14
159	0,5	0,05	2,02	0,026	98,73	2,31	14,1
	1,0		2,52	0,029	98,87	2,77	9,97
	1,5		2,78	0,030	98,91	3,08	10,8
232	0,5	0,05	1,30	0,016	98,76	1,58	21,8
	1,0		1,57	0,018	98,86	1,90	20,9
	1,5		2,23	0,019	99,14	2,11	5,2

параметра шероховатости R_a по прототипу и предлагаемому способу сборным многоглазийным твёрдосплавным инструментом со сменными пластиинами марки ТТ7К12 при обработке стали 45 на технологических режимах торцевого фрезерования, рекомендуемых предлагаемым способом. Эксперименты проводились для расширения диапазона применяемости предлагаемого способа по классу обрабатываемых сталей и учёта влияния теплофизических свойств твёрдосплавного инструмента.

Результаты экспериментов показали, что предлагаемый способ определения параметра шероховатости R_a учитывает изменения физико-механических свойств контактной пары при смене марки твёрдосплавного инструмента или марки обрабатываемой стали или при одновременной смене того и другого. Средняя относительная погрешность между расчётным значением R_a по предлагаемому способу и измеренным при обработке углеродистых, конструкционных и низколегированных сталей в диапазоне рекомендуемых технологических параметров обработки составляет 11,27 % при полуцистовом торцевом фрезеровании и 13,85 % при чистовом торцевом фрезеровании.

Максимальная относительная погрешность между расчётным значением R_a по предлагаемому способу и измеренным при обработке углеродистых, конструкционных и низколегированных сталей в диапазоне рекомендуемых технологических параметров обработки составляет 32,27 % при полуцистовом торцевом фрезеровании и 39,16 % при чистовом торцевом фрезеровании.

Таким образом, применение предлагаемого способа позволяет повысить точность определения параметра шероховатости R_a при полуцистовой и чистовой обработке металла сборным мно-

голезийным твёрдосплавным инструментом при торцевом фрезеровании и расширяет диапазон его использования по классу обрабатываемых сталей.

Данный способ не регламентирует номенклатуру марок применяемого твёрдосплавного инструмента и позволяет автоматизировать определение на фрезерных станках с ЧПУ параметра шероховатости R_a , используя формулу (2) как основу для построения алгоритма автоматизированного определения. Разработан алгоритм и программа для ЭВМ [6] с целью использования в системе САПР ТП или в структуре системы ЧПУ фрезерных станков.

Библиографические ссылки

1. **Справочник** технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т. 1: справочник / А.М. Дальский и др. М.: Машиностроение, 2003. 912 с.
2. **Развитие** науки о резании металлов: учебник / В.Ф. Бобров и др. [под. ред. Н.Н. Зорева]. М.: Машиностроение, 1967. 416 с.
3. **Епифанов Г.И.** Физика твёрдого тела: учеб. пособие для втузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Высш. шк., 1977. 288 с.
4. **Плотников А.Л.** Способ съёма термоЭДС естественной термопары инструмент – деталь // Патент России № 2117557. 1998. Бюл. № 23.
5. **Плотников А.Л., Василенко А.А.** Способ контроля состояния режущих кромок сборных многоглазийных инструментов // Патент России № 2203778. 2003. Бюл. № 13.
6. **Свид. о. гос. регистрации** № 2012617650 от 24.08.2012 РФ. Расчёт величины среднего арифметического отклонения профиля обработанной поверхности при полуцистовом и чистовом торцевом фрезеровании конструкционных углеродистых и низколегированных сталей: программа для ЭВМ / А.Л. Плотников, А.С. Сергеев, Н.Г. Зайцева. ВолгГТУ, 2012.

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 621.396.65.011.56:7.042

С.О. Никифоров, д-р техн. наук, проф., **Б.Е. Мархадаев**, канд. техн. наук (Институт физического материаловедения СО РАН, г. Улан-Удэ), **Б.С. Никифоров**, канд. техн. наук (Бурятский государственный университет, г. Улан-Удэ)

bmarkh@ipms.bscnet.ru

РАЗРАБОТКА ИННОВАЦИОННОГО ПРОДУКТА НА ПРИМЕРЕ СОЗДАНИЯ БЕЗРЕВЕРСНЫХ МЕХАТРОННЫХ МАНИПУЛЯТОРОВ

Представлены особенности машинных дизайн-технологий создания безреверсных мехатронных манипуляторов на основе адаптации типового процесса разработки инновационного продукта.

Ключевые слова: машины дизайн-технологии, безреверсные мехатронные манипуляторы, синергетика, прототипирование, жизненный цикл изделия, моделирование, техническая система, инновационный продукт.

Machine design-technology features of the reverseless mehatronic manipulators creature from a standard development process adaptation of the innovation product are represented.

Key words: machine design-technology, reverseless mehatronic manipulators, synergy, prototyping, article life cycle, modeling, technical system, innovation product.

Введение. Тема разработки и вывода на рынок новых продуктов актуальна для развития экономики России. При создании инновационных продуктов особо привлекателен целостный подход к исследованию, проектированию, эксплуатации, сервису и контролю на основе понятия «жизненного цикла изделия» (ЖЦИ) [1], представленного в работе [2], где основное внимание отводится типовому процессу разработки нового продукта на основе интеграции маркетинга, дизайна и производства.

Типовой процесс разработки наиболее подходит при создании продукта, обусловленного рынком. Процесс разработки начинается с исследования рыночной ситуации, затем используются все доступные технологии для удовлетворения потребностей рынка (рынок определяет, какие решения принимаются в процессе разработки).

В дополнение при разработке могут быть рассмотрены другие продукты [2]:

продвигающие технологию (берётся новая технология и подыскивается подходящий рынок);
на базе существующей платформы;
зависимые от технологического процесса;
изготавляемые по заказу (вносятся незначительные изменения в существующую конфигурацию);

высокорискованные продукты (из-за наличия технических и рыночных неопределённостей);
быстро создаваемые продукты;
сложные системы.

Под технической системой (ТС) [3] подразумевается множество элементов изделий, образующих определённую целостность, единство. Кон-

струкция – это комплекс структур и технических состояний системы. ТС и её конструкция представляют собой содержание одного проекта, который разрабатывается с учётом общей теории систем.

При разработке различных ТС используют двоякое описание их свойств: структурное (анализ особенностей внутреннего устройства) и функциональное (анализ взаимоотношений между их модулями со средой). Функциональная структура системы является всеобъемлющей, так как именно функциональные компоненты (модули) и их синергетическое объединение в одном объекте, например в мехатронных манипуляционных устройствах (ММУ), приводит к необходимому результату [4].

Функциональные компоненты соответствующей интеграцией синергетически объединяются в ТС, которые моделируются на основе CALS-технологий с последующим осуществлением процесса быстрого прототипирования [5, 6].

Основными признаками сложных интегральных устройств ТС являются:

наличие общего назначения. На сигналы, получаемые на входе, ТС должна отвечать определёнными выходами – изменениями эксплуатационных характеристик;

наличие составных функциональных элементов (модулей), средств программной организации и управления, связей между ними. Каждый модуль выполняет определённые функции, и их взаимодействие через синергетические свойства приводит к необходимым изменениям на выходе системы, обеспечивающим выполнение основной функции системы.

При анализе и синтезе сложных ТС необходим системный подход, позволяющий выявить следующие закономерности:

любому подобному устройству как интегральной ТС должны быть присущи два основополагающих свойства: образ действия и структура, т. е. множество модулей системы, определяющих их взаимосвязь;

структура обуславливает образ действия системы;

одни и те же функции системы присущи различным структурам.

Основная особенность системы – целостность, сложная взаимозависимость составных частей и элементов. В отличие от комплексного подхода системный подход предполагает рассмотрение не суммы элементов, а некоего целого, имеющего свои специфические черты, присущие собственно только системе и не присущие ни одному из элементов этой системы и их сумме. Следовательно, только для системы характерно проявление синергетических свойств (важнейших характеристик машин).

Свойствам машин присуще многообразие форм возникновения и проявления. Для полноценного восприятия и выделения из них приоритетных характеристик необходима их классификация. Выделенные признаки классификации машин представлены на рис. 1.

При создании и эксплуатации изделия с высокими показателями качества необходимо различать понятия качества процесса создания (моде-

лирования, проектирования, изготовления), эксплуатации, сервиса и показатели самого изделия (рис. 2).

Моделирование и алгоритм машинных дизайн-технологий создания продукта. ТС, как изделие, последовательно проходит несколько этапов: от идеи создания, эксплуатации до разборки и утилизации, согласно ЖЦИ.

Этап моделирования и расчётов определяет уровень абстракции, принятый в той или иной методике. Выдавая техническое задание на разработку изделия, необходимо принять решение относительно значений его технических характеристик. Приступая к проектированию, следует принять решение относительно структуры будущего изделия. Методика полноценна в том случае, если методы моделирования и расчёта имеют алгоритм процесса создания, обеспеченный исходными знаниями и позволяющий осуществить реализацию замысла за конечное время. На раннем этапе проектирования основное направление дизайнерской деятельности – это структурный анализ и синтез оптимальной структуры изделия, когда можно начать процесс дизайнерского проектирования при минимуме исходной информации и необходимости провести доработку структуры, т. е. методика исследования ТС, включая элементы структурного анализа, относится к классу методик предварительного быстрого изучения объекта, цель которого – целесообразность принятого в проекте решения.

Обычно исходные данные содержат общие требования к характеристикам системы, структурно-

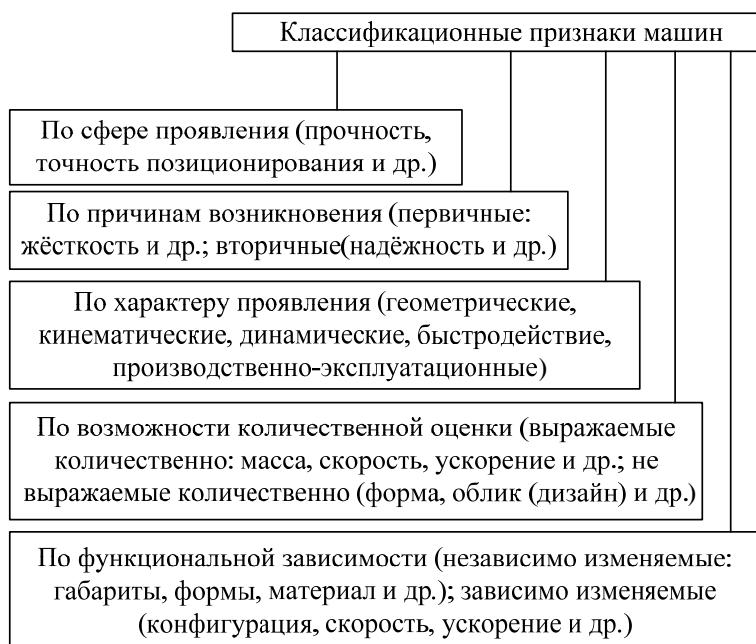


Рис. 1. Классификационные признаки машин

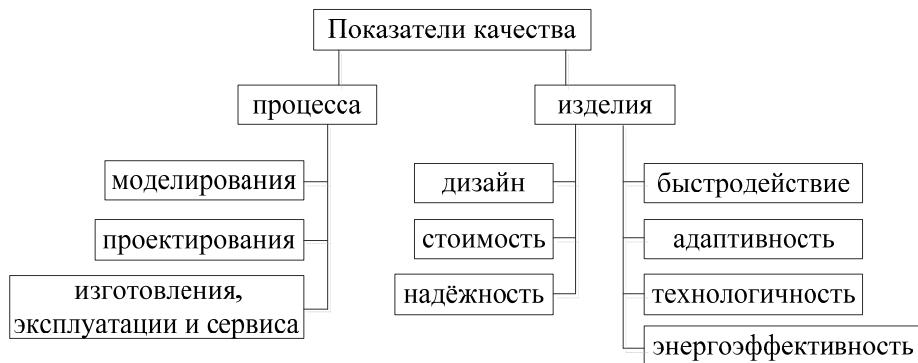


Рис. 2. Показатели качества, процесса создания, эксплуатации и сервиса изделия

функциональную схему системы с общим описанием принципа её действия.

Таким образом, в качестве модели системы выбирается структурная схема, отображающая некоторую совокупность отношений. Сущность и свойства абстрактной модели определяются подходом и представлением исходных модулей и их взаимосвязей. Особо пригодными при построении моделей системы являются методы построения линейных графов и их взаимосвязей [7].

Инновации – это новая комбинация производственных и интеллектуальных ресурсов на основе использования знаний, позволяющая:

внедрять новый товар или его разновидности, ещё незнакомый потребителям;

внедрять новые технологии создания изделий; открывать новый рынок.

При разработке какого-либо продукта необходимо создание прототипов и их испытания. Прототип – это приближённое представление одного или нескольких аспектов, представляющих особый интерес [2]. Их удобно классифицировать по двум критериям: в какой степени прототип является физическим, аналитическим, комплексным или частным.

Технологии трёхмерного компьютерного моделирования и синтеза объёмных моделей сокращают относительную стоимость прототипов и время, необходимое для их создания.

Промышленные дизайнеры создают прототипы своих концепций: инженеры – конструкций; разработчики программно-математического обеспечения – программ.

При дизайнерском проектировании необходимо учитывать как общие технико-конструктивные, экономические требования, так и специфические дизайнерские [8], сводящиеся к снижению затрат труда и материальных ресурсов по сравнению с существующими аналогами; улучшению потребительских качеств изделия; повышению качества дизайна.

Для решения этих задач необходим анализ: изучение технических характеристик изделий, рыночной конъюнктуры, результатов социологических исследований, рекламы, дизайна.

Анализ образует основу процесса дизайнско-го проектирования. С учётом функционально-технических особенностей изделия создаётся упорядоченность, определяется экономическая целесообразность, т. е. создаётся внутренне согласованная пространственно-целостная система. Необходимость получения оптимальных функциональных свойств изделия и улучшения его потребительской стоимости дизайнером должен быть соответствующим образом осуществлён подбор необходимых модулей и структурных отношений между ними, подходящих материалов и технологий.

Алгоритм дизайнско-го проектирования можно разделить на этапы (рис. 3.) Особый интерес представляет этап машинного «быстрого проектирования» [6], алгоритм которого представлен на рис. 4.

Проектируемый дизайнером объект представляет собой некую сущность, пространственно организованную средствами технического и художественного дизайна, которая при необходимости может быть осуществлена хотя бы в одном экземпляре, например средствами «быстрого проектирования» изделий [5,6], что позволяет оперативно реагировать на конъюнктуру и потребности рынка.

Структурный модульный синтез безреверсных мехатронных манипуляторов и разновидности базовых платформ их модификаций. На современном этапе развития науки и техники способы организации движений (управления) разного рода сложными интегральными устройствами претерпевают революционные изменения, что обусловлено достижениями в области электронной техники, приводных устройств, сенсорной техники и информационных технологий.



Рис. 3. Алгоритм дизайнера проектирования и запуска изделия в производство

Наиболее перспективно создание подобных устройств, отличающихся от имеющихся не условиями их использования, а новизной применяемого способа преобразования движений. Такие новые интегральные устройства создаются нечасто. Однако они дополнительно позволяют реализовать экономичные и надёжные конструктивные решения, когда появляются их различные модификации, преследующие цель приспособления к частным условиям конкретной производственной деятельности для получения наиболее эффективных эксплуатационных параметров при минимальных энергетических и материальных затратах (энергосберегающих технологий).

Актуальной задачей мехатроники является создание высокопроизводительных энергоэффективных мехатронных манипуляторов для автоматизации производственных процессов в машиностроении. На рис. 5 представлена концепция их создания, где наряду с технико-экономическими требованиями представлены требования к набору функциональных модулей (их составу и классификации). В работе [5] предложен комплексный подход машинных дизайнов-технологий подобных устройств на основе учёта их морфологии и аксиологических особенностей, где отмечается важность решения вопросов функционально-структурного синтеза

целенаправленным формированием алгоритмов и средств реализации процессов их управления.

Такой подход включает все циклы создания изделий: концептуальное проектирование и дизайн; моделирование; синтез алгоритмов и средств аппаратуры; разработку технической и конструкторской документации; конструктивную реализацию; разработку технологического процесса и т. д.

Возможно построение большого семейства энергоэффективных безреверсных мехатронных манипуляторов с особой геометрией движений звеньев исполнительного механизма, вследствие чего достигается повышенное быстродействие (в 3–5 раз) по сравнению с серийными промышленными роботами [7]. Отсутствие реверса работы приводов позволяет использовать последние в качестве робота-перекладчика. Серийный робот-перекладчик имеет независимые приводы, работа каждого из них при цикловом программном управлении осуществляется в режиме разгон–движение с установленной скоростью — торможение. У безреверсного манипулятора синхронизированные приводные двигатели на каждом звене работают в безреверсном стационарном режиме, где рабочие позиции обслуживающего оборудования совмещены с положениями выстоя.

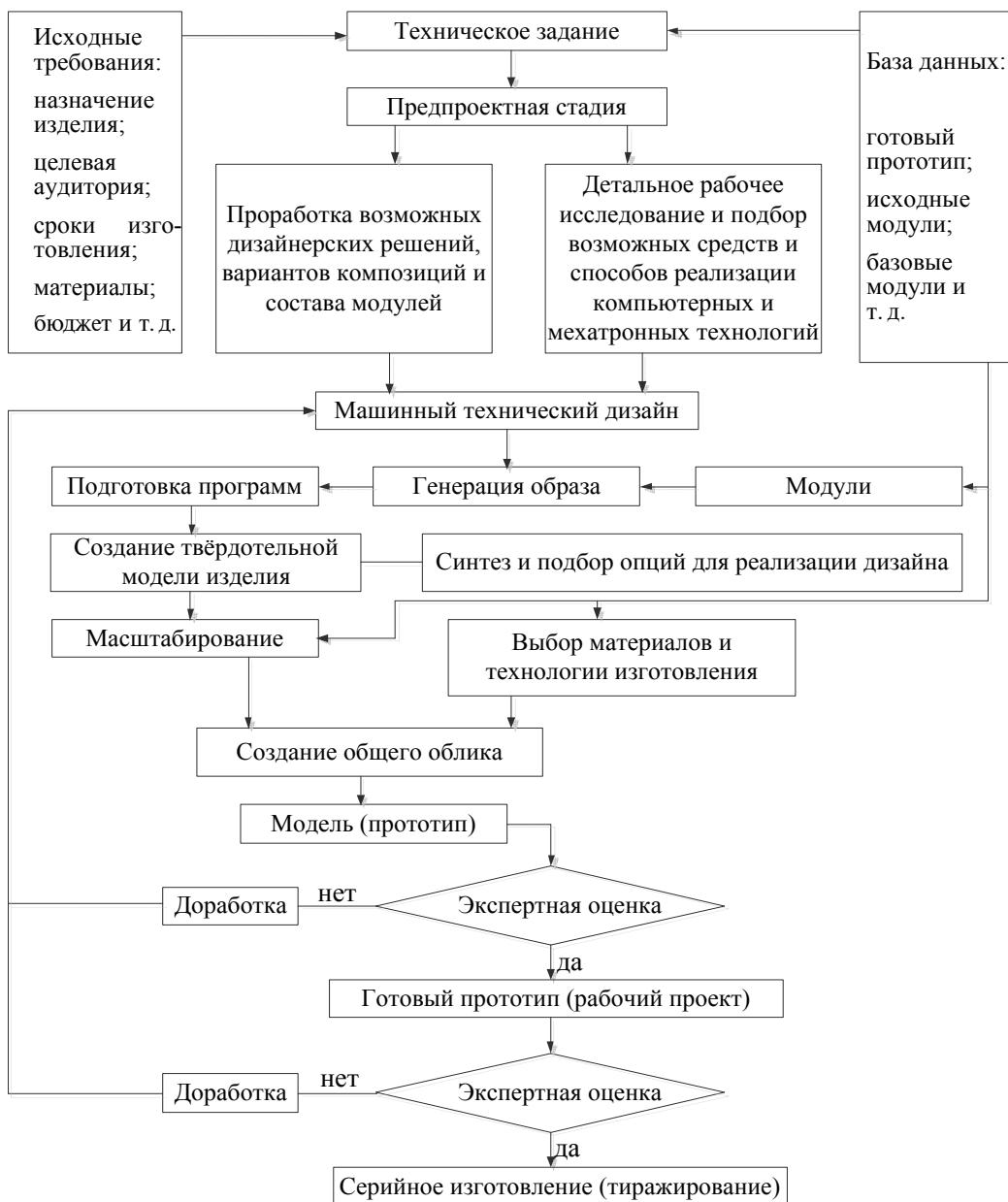


Рис. 4. Алгоритм машинного дизайнерского прототипирования изделия

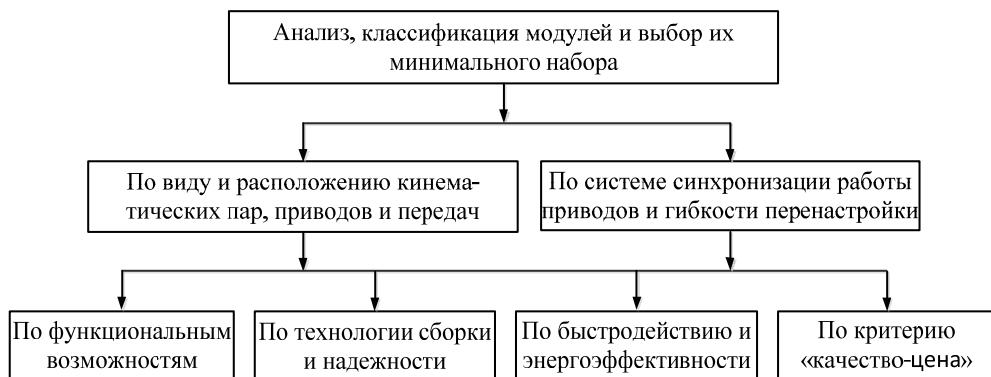


Рис. 5. Концепция создания мекатронных манипуляционных устройств



Рис. 6. Функциональные показатели качества безреверсных манипуляторов:

$\Delta T_{\text{кин}}$ – величина прироста кинетической энергии

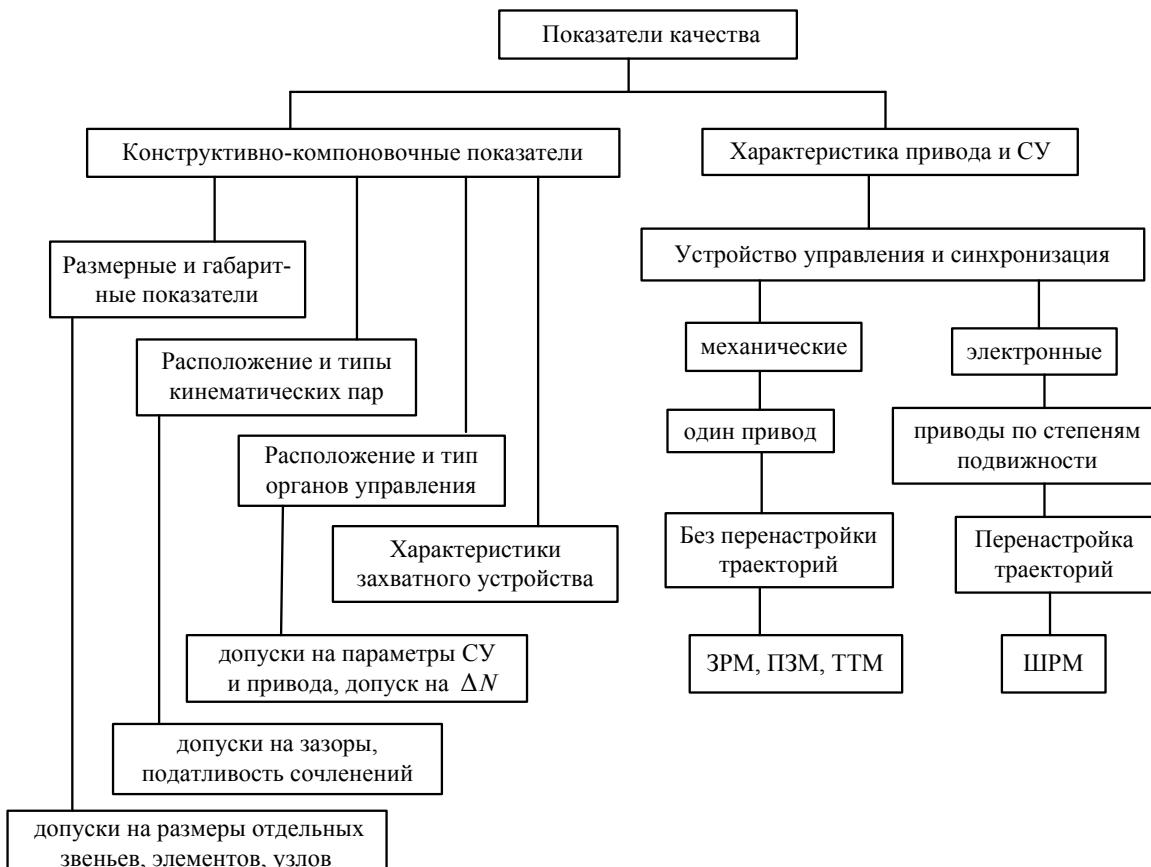


Рис. 7. Функциональные показатели качества безреверсных манипуляторов:

СУ – система управления; ЗРМ – зубчато-рычажный механизм; ПЗМ – планетарно-зубчатый механизм; ТТМ – механизм с тросовыми тягами; ШРМ – шарниро-рычажный механизм

На рис. 6 представлена развернутая схема функциональных показателей качества безреверсных манипуляторов.

Безреверсные манипуляторы строятся по принципу модульной сборки [7] и различаются по наличию или отсутствию перенастройки траекторий их рабочего органа (рис. 7). Они являются следующими разновидностями инновационных продуктов [2]: приводящих технологию роторно-конвейерных линий, где совмещены транспортные и технологические функции (заготовка подвергается обработке во время транспортирования и в положении выстоя); на базе существующей платформы, а именно на основе применения планетарно-зубчатых, зубчато-рычажных механизмов и механизмов с цепными, тросовыми тягами; зависимых от характера технологического процесса (исходя из его конкретики выбирается тип компоновочной структуры; изготавливаемых по заказу, где из-за преимуществ безреверсных манипуляторов (простота управления, быстродействие, низкая стоимость) при незначительном изменении организации технологического процесса они легко встраиваются в существующие автоматизированные производства; быстросоздаваемого продукта в силу простоты конструктивно-компоновочной реализации.

Заключение. Рассматриваемые безреверсные мехатронные манипуляторы означают в некоторой степени возврат к принципам построения узкоспециализированных механизмов с единственным приводом и одной степенью подвижности, но способных осуществлять движения по заданным, иногда довольно сложным траекториям с заданными законами изменения перемещений и скоростей.

В то же время рассматриваемые безреверсные манипуляторы новых поколений не являются классическими механизмами, лишь в самых простых вариантах они представляют собой механизмы с одной степенью подвижности и одним нерегулируемым приводом. Реверсные манипуляторы должны сохранять обязательные и типовые для роботов свойства переналаживаемости, программируемости и адаптивности, что требует усложнения структур механизмов, использования нескольких приводов и самостоятельных систем автоматического управления.

В силу программной перенастраиваемости функционально наибольшими возможностями обладают манипуляторы с шарнирно-рычажными механизмами при наличии соответствующей автоматической системы управления. В этой компоновке приводные устройства размещены вблизи осей кинематических пар – этим самым увеличивается инерционность манипулятора. Наиболее простые варианты исполнения характеризуются наличием жёстких механических связей, использованием только одного приводного двигателя, высокой надёжностью, небольшой стоимостью, но ограниченными возможностями перенастройки.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект №11-08-007172а.

Библиографические ссылки

1. Аюшеева А.О., Челпанов И.Б., Никифоров Б.С. Интегрированные производственные системы: учеб. пособие. Улан-Удэ: изд-во ВСГТУ, 2006. 60 с.
2. Ульрих К., Эппингер С. Промышленный дизайн: создание и производство продукта. М.: Вершина, 2007. 448 с.
3. Хубка В. Теория технических систем: М.: Мир, 1987. 208 с.
4. Никифоров С.О., Мархадаев Б.Е. Синергетические свойства мехатронных манипуляционных систем // Вестник машиностроения. 2009. № 12. С. 16–23.
5. Nikiforov S.O., Markhadaev B.E., Nikiforov B.S. Irreversible Mechatronic Manipulators // Russian Engineering research. 2012. Vol. 32 № 2. P. 126–129.
6. Никифоров С.О., Никифорова О.С., Никифоров Б.С. Об учёте морфологии и аксиологических особенностей при машинном дизайнерском проектировании с прототипированием безреверсных мехатронных манипуляционных устройств // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2011. № 9. С. 36–41.
7. Никифоров С.О., Мархадаев Б.Е. Классификация и топологические методы формирования компоновочных переменных структур полицилоидальных манипуляционных мехатронных устройств // Вестник машиностроения. 2007. № 12. С. 3–8.
8. Никифоров С.О., Никифоров Б.С., Никифорова О.С. Машины дизайн-технологии: техническое и художественное моделирование при прототипировании и производстве изделий // Автоматизация и современные технологии. 2012. № 4. С. 41–48.

Вниманию авторов!

Требования к оформлению статей, присыпаемых для публикации,
можно найти на сайте www.mashin.ru



УДК 303.732.4

А.А. Халафян, д-р тех. наук, доц., Е.Ю. Пелипенко
 (Кубанский государственный университет, г. Краснодар)

katrins_notes@mail.ru

ОЦЕНКА ФИНАНСОВОГО СОСТОЯНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ НА ОСНОВЕ МЕТОДА НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Приведена проблема определения финансового состояния предприятий, являющаяся актуальной как для отдельных кредитных организаций, так и для всей банковской системы страны в целом. Предложена методика решения этой проблемы на основе нейронных сетей. Разработан программный модуль, позволяющий по значениям экономических показателей классифицировать предприятия по уровням риска неплатёжеспособности.

Ключевые слова: нейронные сети, функция активации, логистическая функция, многослойный персептрон, контрастирование, метод градиентного спуска.

The enterprise financial state definition problem urgent both for separate credit organizations and for banking system at all is adduced. This problem decision methodology from a neural network is proposed. Program module, allowing to classify enterprise according to insolvency risk level depending on economic activities, is developed.

Key words: neural network, activation function, logistic function, multilayer perceptron, contrasting, gradient descent method.

Современные условия выдачи денежных средств кредитными организациями характеризуются высокой степенью информационной неопределенности заемщиков. Для кредитных организаций важно получение достоверной оценки финансового благополучия клиента в условиях ограниченной информации, что является достаточно сложной задачей.

Существующие методы, описанные в работе [1], являются неустойчивыми к вариациям исходных данных, изменчивых как во времени, так и в пространстве.

Наиболее удачным методом решения проблемы информационной неопределенности является использование метода комплексного финансово-анализа предприятий [2], в основу которого легли 16 устойчивых во времени и пространстве экономических показателей. Классические статистические методы классификации, например дискриминантный анализ, эффективны при выполнении определенных теоретических предложений о выборочном распределении и характере построенных моделей. Когда же не «работают» традиционные методы, нейронные сети, по мнению многих исследователей [3], дают вполне приемлемый результат, так как работают с любыми данными и воспроизводят сложные нелинейные взаимосвязи.

В качестве показателей рассмотрены 16 параметров экономической деятельности предприятий, образующих четыре группы [2]:

показатели рентабельности: R1 – общая рентабельность; R2 – рентабельность активов; R3 – рентабельность собственного капитала; R4 – рентабельность продукции; R5 – рентабельность оборотных активов;

показатели ликвидности и платёжеспособности: L1 – быстрый коэффициент ликвидности; L2 – коэффициент покрытия запасов; P1 – текущий коэффициент ликвидности;

показатели деловой активности: A2, A4, A5, A6 – оборачиваемость активов, кредиторской задолженности, дебиторской задолженности, запасов, соответственно.

показатели финансовой устойчивости: F1 – коэффициент финансовой зависимости; F2 – коэффициент автономии собственных средств; F3 – обеспеченность запасов собственными оборотными средствами; F4 – индекс постоянного актива.

Для построения нейронной сети использована виртуальная база клиентов (ВБК) [1], включающая данные 1250 предприятий пяти уровней риска (по 250 предприятий для каждого уровня): очень высокого, высокого, среднего, низкого, очень низкого. ВБК поделена на две выборки:

обучающую (1000 предприятий) и тестовую (250 предприятий), соответственно, по 200 и 50 каждого уровня риска.

При построении классификатора на основе нейронной сети решены задачи выбора подходящего алгоритма обучения сети, функции активации, топологии сети, количества элементов и структуры связей; оценки качества работы сети.

Для построения нейронной сети использовали модуль Neural Networks программы Statistica 6.1. Строилась сеть при критерии обучения — минимизация квадратичной ошибки с использованием градиента оценки, который вычислялся методом двойственности, а именно методом обратного распространения ошибки [3]. В качестве функций активации и ошибки приняты логистическая и среднеквадратичная функции. Для определения минимального числа нейронов и структуры сети, обеспечивающих устойчивую работу системы, использовали процедуру контрастирования. В результате выбран тип сети (многослойный персептрон). Архитектура построенной сети представлена на рис. 1.

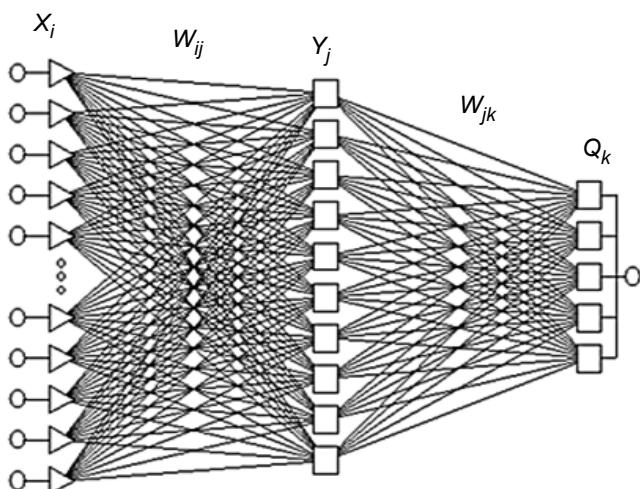


Рис. 1. Архитектура построенной сети

Число слоёв в сети 3, промежуточный слой Y_j содержит 10 элементов ($j = 10$). На первом слое X_i 16 нейронов, соответствующих финансовым показателям предприятия ($i = 16$): $L_1, L_2, P_1, F_1, F_2, F_3, F_4, R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, A_2, A_4, A_5, A_6$; на последнем 5, выходной элемент Q_k , ($k = 5$). Построение нейронной сети сопровождалось тестированием с помощью тестовой выборки из 250 клиентов.

Свойства модуля Neural Networks позволяют классифицировать наблюдение тестовой выборки с соответствующими уровнями доверия для различных классов (табл. 1), которые представляются уровнями активации выходных нейронов, относящихся к этим классам. Данные значения являются доверительными оценками для выходных классов.

В табл. 1 в качестве примера указаны уровни доверия предприятий тестовой выборки под номерами 1001, 1051, 1101, 1151, 1201 в общем списке нумерации сгенерированной базы [1].

Доверительные значения нельзя интерпретировать как оценки вероятностей. Если они выходят за пределы пороговых значений (класс не предсказан), то уровни активации отражают не вероятность принадлежности к классу, а меру ошибки классификации. Для всех предприятий тестовой выборки доверительные значения не больше нижнего предела или не меньше верхнего. Это значит, что уровни доверия отражают принадлежность предприятия к уровням риска неплатёжеспособности.

Для оценки меры производительности сети проанализированы значения статистики классификации.

В табл. 2 приведены сведения о том, сколько предприятий каждого класса было классифицировано правильно, неправильно и сколько не классифицировано, а также приводится информация об ошибках классификации.

Статистика выдаётся раздельно для обучающей и тестовой выборок. В верхней части таблицы можно увидеть суммарные статистики (общее число предприятий в каждом классе, число классифицированных правильно, ошибочно и неизвестно), а в нижней части — кросс-результаты классификации в процентах (какой процент

Таблица 1

Уровни доверия пяти предприятий тестовой выборки

№ в ВБК	Класс	Предсказанный класс	Очень высокий риск	Высокий риск	Средний риск	Низкий риск	Очень низкий риск
1001	Очень высокий риск	Очень высокий риск	0,945725	0,053000	0,012989	0,017910	0,001270
1051	Высокий риск	Высокий риск	0,042899	0,921663	0,053808	0,004404	0,000881
1101	Средний риск	Средний риск	0,000078	0,045421	0,934618	0,050065	0,029339
1151	Низкий риск	Низкий риск	0,000132	0,002450	0,074911	0,928074	0,031990
1201	Очень низкий риск	Очень низкий риск	0,000168	0,004001	0,000348	0,055925	0,960845

Таблица 2

Результаты классификации предприятий

Классификация	Очень высокий риск, шт.	Высокий риск, шт.	Средний риск, шт.	Низкий риск, шт.	Очень низкий риск, шт.
Всего	250	250	250	250	250
Правильно	250	250	250	250	250
Ошибочно	0	0	0	0	0
Неизвестно	0	0	0	0	0
% правильных	100	100	100	100	100
% ошибочных	0	0	0	0	0
% неизвестно	0	0	0	0	0

предприятий из данного столбца был отнесён к данной строке). Из табл. 2 следует, что процент правильно классифицированных предприятий для каждого из пяти классов равен 100, что говорит о качестве построенной модели.

После создания и тестирования нейронной сети создан программный модуль в среде программирования Statistica Visual Basic (SVB), позволивший автоматизировать процесс классификации реально существующего предприятия при помощи обученной сети.

Рассмотрим работу программы на примере анализа платёжеспособности некоторого предприятия за I кв. 2011 г.

Стартовым окном программы является окно выбора способа ввода данных (рис. 2). Можно

ввести как показатели финансово-экономического состояния данного предприятия (рис. 3), так и данные бухгалтерской отчётности (рис. 4).

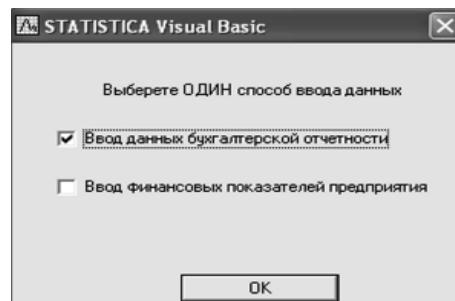


Рис. 2. Окно выбора способа ввода данных

Ввод данных предприятия					
Внеоборотные активы (итого) Ф1 стр.190	12595	Задолженность участников по взносам в уставной капитал Ф1 стр.0	0	Себестоимость запасов (себестоимость проданных товаров, продукции, работ, услуг Ф2 стр. 020	21170
Запасы на начало отчетного периода Ф1 стр. 210	39596	Собственные акции, выкупленные у акционеров Ф1 стр.252	0	Коммерческие расходы Ф2 стр.030	0
Запасы на конец отчетного периода Ф1 стр.210	54130	Балансовая прибыль (нераспределенная) Ф1 стр.470	1605	Управленческие расходы Ф2 стр.040	0
НДС входной (по приобретенным ценностям) Ф1 стр.220	2530	Капитал и резервы (итого) Ф1 стр.490	2615	Прибыль от продаж Ф2 стр.050	456
Дебиторская задолженность, платежи по которой ожидаются более, чем через 12 мес. Ф1 стр. 230	0	Долгосрочные обязательства (итого) Ф1 стр.590	0	Доходы от участия в других организациях Ф2 стр.080	0
Дебиторская задолженность, платежи по которой ожидаются в течение 12 мес. Ф1 стр. 240	42625	Краткосрочные займы и кредиты Ф1 стр.610	26266	Прочие внефинансовые доходы Ф2 стр.120	0
Оборотные активы (итого) на начало отчетного периода Ф1 стр.290	75726	Доходы будущих периодов Ф1 стр. 640	0	Чистая прибыль отчетного периода Ф2 стр.190	118
Оборотные активы (итого) на конец отчетного периода Ф1 стр.290	99389	Краткосрочные обязательства (итого) на начало отчетного периода Ф1 стр.690	86806	Прочие операционные доходы Ф2 стр.090	14494
Балансовая стоимость активов на начало отчетного периода Ф1 стр.300	89389	Краткосрочные обязательства (итого) на конец отчетного периода Ф1 стр.690	109369	Долгосрочная дебиторская задолженность Ф5	42625
Балансовая стоимость активов на конец отчетного периода Ф1 стр.300	111984	Выручка от продажи товаров за минусом НДС Ф2 стр.010	21626	Налог на добавленную стоимость, акцизов и др. обязательств	0
Целевые финансирование и поступления Ф1 стр.460	0				

Рис. 3. Показатели финансово-экономического состояния данного предприятия

Финансовые показатели	
R1= 0,04	A2= 0,21
R2= 0,00	A4= 0,45
R3= 0,05	A5= 0,51
R4= 0,02	A6= 0,45
R5= 0,00	F1= 3,97
L1= 4,12	F2= 0,02
L2= 0,57	F3= -0,18
P1= 9,59	F4= 4,82

OK

Рис. 4. Данные бухгалтерской отчётности

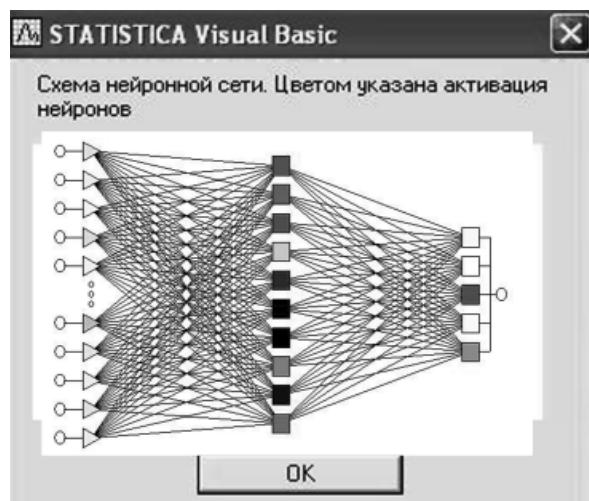


Рис. 5. Окно вывода архитектуры построенной нейронной сети

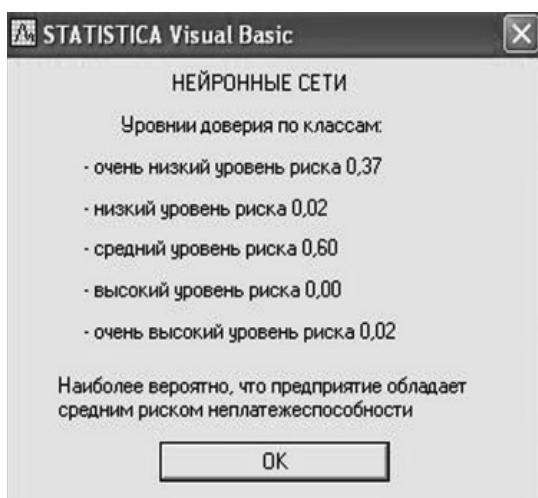


Рис. 6. Окно вывода результатов

На рис. 5 представлено окно вывода архитектуры построенной нейронной сети. Интенсивность окраса нейронов соответствует их активациям, показывая визуальную индикацию активности сети. Видно, что на выходном слое положительная активация только у одного нейрона (тёмный окрас), который и определяет уровень очень высокого риска.

На рис. 6 отображено окно вывода результатов, содержащее доверительные уровни отношения анализируемого предприятия к каждому из пяти классов риска.

Уровень доверия тому, что предприятие относится к классу средний уровень риска, равен 0,6. Для лица, принимающего решение, это послужит основанием для отказа в выдаче денежных средств.

Созданный программный модуль анализа финансового состояния предприятия позволяет определить уровень риска платежеспособности предприятий на основе нейронных сетей. От пользователя не требуется специальных знаний в области современных технологий анализа данных, так как программа обладает простым интерфейсом, состоящим из окон ввода и вывода данных. Метод не накладывает каких-либо ограничений на структуру данных, характеризующих экономическое состояние предприятия.

Библиографические ссылки

1. Шевченко И.В., Халафян А.А., Васильева (Пелипенко) Е.Ю. Создание Виртуальной клиентской базы для анализа кредитоспособности российских предприятий // Финансы и кредит. 2010. № 1. С. 13–18.
2. Недосекин А.О., Бессонов Д.Н., Лукашев А.В. Сводный финансовый анализ российских предприятий за 2000–2003 гг. URL: <http://sedok.narod.ru/fa.html> (дата обращения 20.07.2012).
3. Горбань А.Н. Обобщённая аппроксимационная теорема и вычислительные возможности нейронных сетей // Сибирский журнал вычислительной математики. 1998. Т. 1. № 1. С. 12–24.



ВЫСТАВКИ И ПРЕЗЕНТАЦИИ

В ГИПЕРКУБЕ СКОЛКОВО НАЧАЛ РАБОТУ ЦЕНТР ТЕХНОЛОГИЙ CISCO

18 июня в Гиперкубе Сколково открылся Центр технологий Cisco, призванный поддержать создание инновационной экосистемы в России.



Он начал свою работу в соответствии с рассчитанной на десять лет программой поддержки развития предпринимательства и устойчивых инноваций в России, которая была объявлена три года назад главой компании Cisco Джоном Чемберсом (John Chambers).

В Центре технологий Cisco будут демонстрироваться ведущие разработки компании, включая технологии и продукты, созданные в России. Он станет также основной площадкой осуществления инновационных программ Cisco в РФ. В рамках этой деятельности Cisco планирует запустить ряд инициатив в поддержку технологического предпринимательства, включая организацию обучающих семинаров, наставничества и мероприятий, дающих сотрудникам молодых компаний прямой доступ к экспертам в области бизнеса и другим участникам глобальной инновационной экосистемы. Более того, ожидается, что Центр технологий Cisco станет платформой для налаживания технологического партнёрства Cisco с отечественными предпринимателями, предоставляя последним возможность тестиировать свои продукты и модернизировать их на базе решений Cisco. Центр будет также способствовать развитию технологического образования в России – в рамках программ Cisco его ресурсами и технологиями смогут пользоваться студенты и аспиранты образовательных и научно-исследовательских учреждений РФ.

Демонстрация решений Cisco будет проходить в шести демо-зонах: «Решения для совместной работы», «Технологии видеонаблюдения и контроля физического доступа», «Центры обработки данных», «Беспроводные сети», «Продукты, произведённые в России», «Умные» и подключённые сообщества (Smart+Connected Communities, S+CC)».

В демо-зоне «Центры обработки данных» будут показываться устройства, служащие платформой для демонстрации всех разработок, представленных в Центре технологий Cisco. Посетители смогут увидеть интегрированные решения и возможности управления ими. В частности, будет демонстрироваться работа системы управления Cisco Unified Infrastructure Controller, обеспечивающей функции автоматизации и оркестрации конвергентных инфраструктур и объединяющей ресурсы в области виртуализации, вычисления, сетей и хранения данных.

В демо-зоне «Решения для совместной работы» будет представлено единое решение для организации голосовой и видеосвязи на базе последних версий серверов управления вызовами, систем присутствия, обмена короткими сообщениями, а также системы голосовой почты.

Кроме того, будут показаны новые возможности по распределению ресурсов современных серверов многоточечной аудио/видеоконференцсвязи.

Для организации видеоконференций будет использоваться самая совершенная в индустрии видеосвязи система иммерсивного телеприсутствия Cisco TelePresence серии TX9000, которая создаёт эффект полного присутствия, обеспечивая видеоизображение высокой чёткости и пространственный звук.

Благодаря применению решения Cisco TelePresence резиденты Сколково, студенты Сколковско-





го института науки и технологий и другие участники инновационной экосистемы получат удобные инструменты для совместной работы, дистанционного образования и повышения квалификации.

В демо-зоне будет представлено также решение Profile 65 Dual, предназначенное для больших переговорных комнат, системы персонального телеприсутствия серий EX и MX. Кроме того, можно будет увидеть Cisco TelePresence C90 – наиболее высокопроизводительную и универсальную платформу для реализации технологии телеприсутствия и совместной работы. К системе Cisco TelePresence C90, обеспечивающей видеосвязью большие залы, подключаются несколько экранов для демонстрации раздельного вывода контента и видео.

В демо-зоне **«Технологии видеонаблюдения и контроля физического доступа»** представлена новая версия системы видеонаблюдения для предприятий Cisco Video Surveillance Manager (VSM) 7.0.1.

Это решение обладает уникальными возможностями масштабируемости, надёжности хранения видеинформации и доступа к ней. VSM 7.0.1 легко разворачивать и эксплуатировать, виртуализация данных осуществляется на платформе Cisco UCS (поддерживает В- и С-серии, ISR G2 UCS Express).

Посетители демо-зоны смогут также увидеть в действии IP-камеры Cisco высокого разрешения с поддержкой технологии Medianet, ситуационно-мониторинговую систему физической безопасности Cisco Physical Security Operations Manager (PSOM) 6.1 и новую версию системы управления доступом Cisco Physical Access Manager (CPAM) 1.4.1.

В демо-зоне **«Беспроводные сети»** будут показаны инновационные решения Cisco для построения высоконадёжных корпоративных беспроводных локальных вычислительных сетей (БЛВС). Специалисты Cisco продемонстрируют функционал

средства распознавания приложений по характерным особенностям трафика NBAR (Network Based Application Recognition), интеграцию решений Cisco в области БЛВС с продуктами Apple, в том числе с AppleTV, и совместный продукт компаний Honeywell и Cisco, предназначенный для автоматизации сбора телеметрии на предприятиях.

В демо-зоне **«Продукты, произведённые в России»** будут показаны маршрутизаторы Cisco 2911R с интегрированными сетевыми сервисами, аппаратный VPN-модуль и унифицированные точки беспроводного доступа Cisco 2600. Выпуск данного оборудования налажен в Твери на базе глобального контрактного производителя.

Посетители демо-зоны **«Умные и подключённые сообщества (Smart+Connected Communities, S+CC)»** смогут узнать, как Cisco реализует данную концепцию в разных странах мира, включая Россию. Использование современных технологий при проектировании «умных» городов 21-го века способствует их устойчивому развитию в социальном, экономическом и экологическом плане. Специалисты Cisco представляют решения в области медицины, образования, транспорта, обеспечения физической безопасности и работы коммунальных служб.





«Cisco активно поддерживает развитие инноваций и технологий в России. Мы уверены, что Центр технологий Cisco станет надёжной платформой для взаимодействия наших специалистов с предпринимателями, резидентами Сколково, студентами различных образовательных учреждений и другими участниками растущей инновационной экосистемы России», — говорит Мартин Де Бир (Marthin De Beer), старший вице-президент компании Cisco, руководитель подразделения по разработке видеотехнологий и решений для совместной работы.

«Инновации в российской экономике набирают обороты благодаря нашей совместной программе партнерства и инвестиций с компанией Cisco, — отметил президент Фонда «Сколково» Виктор Вексельберг. — Создание новых высокотехнологичных рабочих мест укрепляет стремление Cisco и «Сколково» внедрять инновации в Российской Федерации при одновременном использовании конкурентного преимущества отечественных разработок в области цифровых технологий и математики».

В СОВЕТЕ ФЕДЕРАЦИИ ПРОШЁЛ КРУГЛЫЙ СТОЛ ПО ВЫСТАВОЧНО-ЯРМАРОЧНОЙ И КОНГРЕССНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В РОССИИ

5 июня 2013 г. в Совете Федерации Федерального Собрания РФ состоялось заседание круглого стола на тему: «Состояние и перспективы развития выставочно-ярмарочной и конгрессной деятельности в Российской Федерации».

В заседании приняли участие первый заместитель Председателя Совета Федерации ФС РФ Александр Порфириевич Торшин, вице-президент ТПП РФ Александр Михайлович Рыбаков, председатель Комитета ТПП РФ по выставочно-

ярмарочной деятельности и поддержке товаропроизводителей и экспортёров, генеральный директор ЦВК «Экспоцентр» Сергей Сергеевич Беднов, заместитель Председателя Государственной думы ФС РФ, член Комитета ГД ФС РФ по информационной политике, информационным технологиям и связи Сергей Владимирович Железняк, заместитель министра регионального развития РФ Владимир Анатольевич Дедюхин, статс-секретарь — заместитель министра сельского хозяйства РФ Александр Васильевич Петров, генеральный директор автономной некоммерческой организации «Агентство стратегических инициатив» Андрей Сергеевич Никитин, другие представители федеральных министерств и ведомств, региональных органов власти, объединений предпринимателей, ТПП РФ и территориальных ТПП, Российского союза выставок и ярмарок, выставочных организаций.

В повестку заседания круглого стола были внесены следующие вопросы:

выполнение Концепции развития выставочно-ярмарочной и конгрессной деятельности в Российской Федерации;

стратегия развития выставочно-ярмарочной и конгрессной деятельности. Федеральные целевые программы;

проект Закона о выставочно-ярмарочной и конгрессной деятельности в Российской Федерации;

материально-техническая база (инфраструктура) выставочно-ярмарочной и конгрессной деятельности в регионах;

проект Закона «Об основах государственно-частного партнёрства в Российской Федерации»;

организация участия российских предприятий в выставках за рубежом. Деловой туризм;

роль выставочно-ярмарочной и конгрессной деятельности в условиях вступления в ВТО;

совершенствование нормативно-правовой базы и выставочная деятельность: Закон «О федеральной контрактной системе в сфере закупок товаров, работ и услуг»; подзаконные акты по организации тендеров за право проведения выставок из федеральных и региональных бюджетов. Закон «О защите конкуренции». Контрафактные выставки.

По итогам обсуждения были приняты рекомендации федеральным и региональным органам законодательной и исполнительной власти. В частности, предложены меры, направленные на поддержку отечественных товаропроизводителей, продвижение национальных брендов, формирование позитивного имиджа страны.

Проблемы выставочной отрасли рассматривались в Совете Федерации впервые, что воспринимается в профессиональной среде выставочных компаний как историческое событие.

В последнее время внимание федеральных и региональных органов законодательной и исполнительной власти к развитию выставочной и конгрессной деятельности усилилось. В соответствии с поручениями Правительства Российской Федерации подготовлен проект Концепции развития выставочно-ярмарочной и конгрессной деятельности в Российской Федерации, формируются механизмы государственно-частного партнёрства. Растёт число выставочных комплексов и мероприятий международного уровня.

Вместе с тем, состояние и темпы развития выставочной индустрии не отвечают запросам социально-экономического развития страны. Сказываются ведомственная разобщённость, нехватка адекватной законодательной базы, неразвитость региональной выставочной инфраструктуры, недооценка потенциала выставок со стороны органов власти, недостаток квалифицированных специалистов.

Новые перспективы для развития выставочно-ярмарочной деятельности, как важного фактора экономического и социального развития страны, открывает и подписанное в апреле этого года Соглашение о сотрудничестве между Советом Федерации ФС РФ и Торгово-промышленной палатой РФ. Соглашение, в котором заложены вопросы, связанные с экспоиндустрией, даёт возможность рассматривать и инициировать большой спектр документов, определяющих развитие отрасли.

Как отметил накануне заседания круглого стола С.С. Беднов, Концепция развития выставочно-ярмарочной деятельности в Российской Федерации является «базовым документом, тем фундаментом, на котором в дальнейшем будет строиться правовая конструкция регулирования выставочно-ярмарочной деятельности в стране». Он выразил заинтересованность выставочного сообщества в том, чтобы этот документ был принят в самые короткие сроки.



ИЗДАТЕЛЬСТВО МАШИНОСТРОЕНИЕ

МЕТОДЫ РАСЧЕТА УСТАЛОСТНОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ АВИАКОНСТРУКЦИЙ

В.Е. Стрижиус

2012 г. Объем 272 с. Формат 60x88 1/16 Переплет ISBN 978-94275-652-9 Цена 400 р.



Изложены методы и процедуры, позволяющие выполнять инженерные расчеты усталостной долговечности типовых конструктивных элементов самолета на этапах эскизного и рабочего проектирования.

Предлагаемые методы синтезируют наиболее апробированные теоретические и практические положения ряда известных отечественных и зарубежных методов расчета усталостной долговечности элементов авиационных конструкций и позволяют значительно упростить расчеты и обеспечить их приемлемую точность.

При разработке методов и процедур использованы, в частности, некоторые положения методов и процедур расчета усталостной долговечности элементов авиаконструкций фирм Boeing и Lockheed, представленные в открытых публикациях (на английском языке) бывшего главного инженера испытательных лабораторий фирмы Boeing Ульфа Горансона (Ulf Goranson) и бывшего старшего инженера-исследователя фирмы Lockheed Майкла Ниу (Michael Niu).

Для инженеров ОКБ и научных работников НИИ, занимающихся практическими расчетами усталостной долговечности элементов авиационных конструкций, может быть также полезна студентам и аспирантам авиационных вузов.

Приобрести книгу в издательстве можно, прислав заявку:

по почте: 107076, г. Москва, Строгинский 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



ОБЗОР ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ПЕЧАТИ

Исследование влияния технологических параметров сборочно-сварочных операций на точность буровых алмазных долот. Сборка в машиностроении, приборостроении. 2012. № 6.

На основе моделирования в программном продукте ANSYS проведены исследования влияния технологических параметров сборочно-сварочных операций, таких как местоположение и размеры прихватки, на точность взаимного расположения деталей буровых алмазных долот.

Современные конкурентоспособные технологии отделочно-упрочняющей обработки поверхностным пластическим деформированием. Упрочняющие технологии и покрытия. 2012. № 7.

Представлен анализ особенностей статических методов, показаны актуальные научные и практические задачи в области отделочно-упрочняющей обработки поверхностным пластическим деформированием. Показано, каким образом эти и другие задачи решаются при создании патентов.

Модульный принцип проектирования сварочных приспособлений для роботизированных ячеек. Сборка в машиностроении, приборостроении. 2012. № 7.

Представлена методика проектирования сварочных приспособлений для роботизированных ячеек, основанная на модульном принципе. Предлагаемая методика учитывает параметры элементов свариваемой детали, типы применяемых роботов и траектории сварных швов. Конструкция реконфигурируемых приспособлений основана на идее создания совместимых модулей разных размерных и функциональных классов. Соответствующая конструкция приспособления, соответствие расположения элементов свариваемой детали и хороший доступ к местам сварки тестируется программой симуляции сварки.

Исследование кинематических состояний клинового механизма свободного хода в условиях сложного нагружения. Вестник машиностроения. 2012. № 9.

Исследовано контактное взаимодействие элементов клинового механизма свободного хода в условиях сложного нагружения с помощью не-консервативной статической гранично-элементной модели. На основе решений нелинейной контактной задачи показана зависимость структуры и кинематического состояния механизма от условий нагружения, определены соотношения внешних моментов, позволяющие реализовать самозаклинивание механизма при переменных нагрузках.

Квантовая модель развития сверхвозбуждённых состояний вещества поверхности трения. Трение и смазка в машинах и механизмах. 2012. № 6.

Представлены результаты экспериментального анализа физических свойств особого состояния вещества поверхности трения – трибоплазмы. Опираясь на принцип совпадения эволюционных путей, предложенный Д.Н. Гаркуновым и А.А. Поляковым, авторы указывают на возникновение квазиквантовой структуры трибоплазмы, характеризующейся для данных условий испытаний наличием трёх уровней-оболочек, разбивающих весь диапазон электромагнитных колебаний трибоплазмы на три группы частот. Дальнейшие исследования установили специфическую (для каждой из найденных частотных групп) зависимость мощности трения от времени испытаний. Приведены соотношения, устанавливающие число мод-осцилляторов в каждой оболочке, и значения частот осцилляторов в пределах каждой группы.

Разработка двухстадийной технологии металлизации конструкционных сталей с использованием лазерного и печного нагрева. Упрочняющие технологии и покрытия. 2012. № 6.

Представлена комбинированная технология поверхностного упрочнения конструкционных сталей, включающая локальное лазерное легирование, металлизацию и азотирование. Показано, что предварительное локальное легирование позволяет снизить температуру, сократить длительность процесса металлизации и получить толщину диффузионного слоя в 2 раза больше в сравнении с традиционными методами. Азотирование металлизированной стали 40Х повышает микротвёрдость упрочнённого слоя до 18 000 МПа.

Комплексная математическая модель как основа создания ТТС будущего. Автомобильная промышленность. 2012. № 8.

Рассмотрены результаты теоретических и экспериментальных исследований создания тягово-транспортных средств (ТТС) (автомобилей и тракторов) будущего, отвечающих постоянно ужесточающимся законодательным требованиям к их активной и экологической безопасности, а также оригинальная комплексная математическая модель, позволяющая моделировать различные схемы взаимодействия всех систем ТТС, в том числе с учётом контактного (трибологического) взаимодействия колеса с опорной поверхностью.