Автоматизация и Современные Технологии

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ МЕЖОТРАСЛЕВОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ИЗДАЁТСЯ С 1947 ГОДА

12

2013

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

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

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

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"

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

© Издательство "Машиностроение",
"Автоматизация и современные технологии", 2013 г.

СОДЕРЖАНИЕ

АВТОМАТИЗАЦИЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Нестеров А.В., Мусолин А.К. Автоматизация процессов измерения и контроля ширины зазора при промышленном производстве фильтрующих элементов 3

Крутиков Г.А., Стрижак М.Г. Блок управления пневмоцилиндром шлифовально-обдирочной машины на основе аналогового электропневматического преобразователя 8

Бржозовский Б.М., Захаров О.В. Моделирование формообразования нелинейчатых винтовых поверхностей деталей дисковым коническим инструментом в среде Matlab 12

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Шахнин В.А., Мироненко Я.В., Моногаров О.И. Обработка сигналов электрошумовой интродиагностики высоковольтного оборудования 17

Муравьёв И.В., Петухов И.А. Концепция модульного представления деталей в машиностроительном производстве 20

Клячкин В.Н., Святова Т.И. Статистический контроль технологического рассеяния в многопараметрическом процессе 22

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ НАУЧНОЙ И ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Харитонов А. Инфраструктура для образовательного процесса 26

Тихомиров С.А. Теория игр в практике управления и управленческих коммуникациях 29

Сердобинцев С.П., Ханевич В.С. Применение комплексного подхода для решения задачи управления распределением рыбного сырья по видам переработки 35

ОБЗОР ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ПЕЧАТИ

По страницам журналов 39

Указатель статей, опубликованных в журнале "Автоматизация и современные технологии" в 2013 г. . 42

CONTENTS

AUTOMATION OF SCIENTIFIC-RESEARCH AND PRODUCTION

Nesterov A.V., Musolin A.K. Measurement and control automation of the gap width for the filtering elements industrial production 3

Krutikov G.A., Strizhak M.G. The pneumatic cylinder control unit for grinding and roughing machines on the basis of the analog electropneumatic converter 8

Brzhozovskiy B.M., Zakharov O.V. Shaping modelling not linear helical surface of the parts by using of the conic disc tool in Matlab medium 12

MODERN TECHNOLOGIES

Shakhnin V.A., Mironenko Ya.V., Monogarov O.I. The signals processing of the high-voltage equipment electrical-noise introdiagnostics 17

Muravev I.V., Petukhov I.A. The parts modular presentation concept in the machine-building production . . . 20

Klyachkin V.N., Svyatova T.I. The statistical control of the technological dispersion in polyvalent process . . . 22

ECONOMICS AND ORGANIZATION OF SCIENTIFIC AND ECONOMIC ACTIVITIES

Kharitonov A. Infrastructure for educational process . . 26

Tikhomirov S.A. Game theory in the management practice and management communications 29

Serdobintsev S.P., Khanevich V.S. Comprehensive approach use for management task decision of the fish raw materials distribution according to the processing types 35

SURVEY OF PERIODICALS

Periodicals review 39

Index of articles, published in the magazine "Automation and modern technology" in 2013 42

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

Сдано в набор 01.10.13. Подписано в печать 24.11.13.
Формат 60×88 1/8. Бумага офсетная.
Усл. печ.л. 5,88. Цена свободная

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

© Издательство "Машиностроение", "Автоматизация и современные технологии", 2013 г.

УДК 681.5:004.932

А.В. Нестеров, А.К. Мусолин, д-р техн. наук, проф.
(Рязанский государственный радиотехнический университет)

avnester@yandex.ru

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ИЗМЕРЕНИЯ И КОНТРОЛЯ ШИРИНЫ ЗАЗОРА ПРИ ПРОМЫШЛЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ ФИЛЬТРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Определены задачи, решение которых требуется для обеспечения измерения и контроля межвиткового зазора фильтрующих элементов щелевых фильтров. Проанализированы существующие способы и устройства, предназначенные для измерения межвиткового зазора. Выявлены их достоинства и недостатки. Рассмотрена структура программно-аппаратного комплекса на основе машинного зрения, дано описание его работы и основных элементов. Выделена структура и принципы работы программного обеспечения.

Ключевые слова: фильтрующий элемент, зазор, измерение, машинное зрение, изображение.

Tasks are determined, whose solution is required for coil gap measurement and control ensuring of the filtering elements of slot-hole filters. Existing methods and facilities for thread gap measurement are analyzed. Their merits and demerits are revealed. The software-hardware complex structure on the grounds of machine sight are considered, its operation and basic elements are adduced. The software structure and principles of operation are extracted.

Key words: filter element, gap, measurement, machine sight, image.

При эксплуатации скважин для воды, газа, нефти и других полезных ископаемых, а также при очистке воды и других жидких сред в трубопроводах выполняется операция фильтрации. Для осуществления данной операции применяются специальные щелевые фильтры. Наиболее широкое применение нашли щелевые скважинные фильтры.

Такие фильтры состоят из перфорированной обсадной или насосно-компрессорной трубы, на обоих концах которой нарезана резьба. С одной стороны трубы навинчена муфта. К трубе с помощью специальных колец приварен фильтрующий элемент (один или несколько), который перекрывает перфорированную часть трубы.

Щелевые фильтрующие элементы представляют собой цилиндрическую конструкцию из продольных несущих элементов (стрингеров) специального фасонного профиля и проволоки, изготовленной из нержавеющего материала, которая по спирали, с определённым шагом, намотана на стрингеры (рис. 1). Места пересечения стрингеров и проволоки соединены сваркой. Таким образом, проволока создаёт гладкую поверхность с профильными щелями строго определённого размера (начиная с величины 0,05 мм) с жёстким допуском на этот размер, а стрингеры образуют силовой (несущий) каркас фильтрующего элемента [1].

Межвитковый зазор (ширина профильной щели) определяет качество работы щелевого фильтра, и несоблюдение заданной точности геометрических размеров зазора при производстве приводит к пропуску нежелательных частиц (при увеличении зазора) или к затруднённому току фильтруемой жидкости (при уменьшении данного зазора).

Используемые в настоящее время при производстве фильтрующих элементов способы ручной

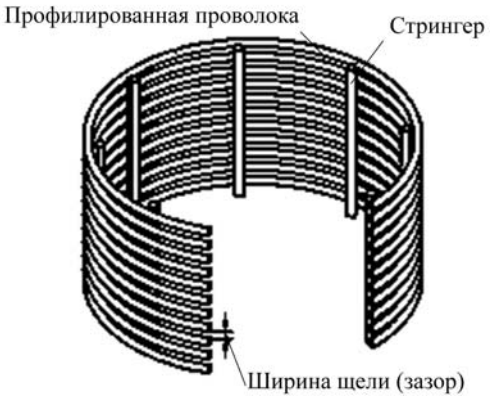


Рис. 1. Щелевой фильтрующий элемент

регулировки ширины зазора при помощи перемещения устройства подачи проволоки и периодического ручного измерения данного геометрического размера щупом не обеспечивают постоянного контроля за процессом изготовления. Следствием этого являются нестабильность размеров межвиткового зазора на протяжении фильтрующего элемента и отсутствие возможности своевременной реакции на изменение данного параметра в процессе производства. Колебания ширины зазора на протяжении длины фильтрующего элемента, в свою очередь, ведут к снижению качества фильтрации при применении таких фильтрующих элементов на действующих установках.

Устранить данные недостатки возможно при помощи автоматизации измерения и контроля зазора. При этом решаются задачи измерения ширины зазора, сравнения с заданным значением и коррекции положения устройства подачи проволоки в соответствии с результатами сравнения.

Из перечисленных задач наиболее сложной является измерение ширины межвиткового зазора фильтрующего элемента. Выбор устройств и способов измерения ограничен особенностями технологического процесса производства фильтрующих элементов:

намоткой проволоки на стрингеры, производимой на металлическом каркасе – основании;

вращательным движением фильтрующего элемента в процессе изготовления;

поступательным движением фильтрующего элемента в процессе изготовления;

наличием рабочей жидкости, необходимой для осуществления процесса сварки и непрерывно поступающей в область контроля;

шириной межвиткового зазора, варьируемой для различных типов фильтрующих элементов, изготавливаемых на установке.

В соответствии с данными особенностями формируется перечень требований, предъявляемых к измерительной системе:

бесконтактное непрерывное измерение зазора с внешней стороны изделия;

обеспечение скорости измерения и обработки информации, достаточной для своевременной реакции на изменение ширины зазора и выработки корректирующего воздействия при условии осевого вращательного движения изделия с частотой до 12 мин$^{-1}$;

возможность измерения при наличии рабочей жидкости в области контроля;

обеспечение измерения ширины зазора в диапазоне от 0,05±0,04 до 5±0,04 мм.

Анализ существующих устройств и способов измерения показал, что в настоящее время существуют два способа, позволяющих проводить бесконтактные непрерывные измерения технологических зазоров с требуемой точностью: применение электронных оптических микрометров и измерения при помощи систем машинного зрения (СМЗ).

Оптические микрометры состоят из двух частей – излучателя и приёмника. Приёмник анализирует количество прошедшего через зазор излучения или положение теневых границ и на выходе формирует аналоговый сигнал, пропорциональный измеренной величине ширины зазора. Данные устройства обеспечивают высокую точность измерений, но для измерения зазора фильтрующего элемента излучатель необходимо разместить за витками проволоки, привариваемой к стрингерам, а приёмник разместить снаружи. Размещение излучателя за витками, внутри изготавливаемого изделия, невозможно из-за наличия каркаса – основания, представляющего собой сплошную трубу, на которой происходит процесс намотки. Помимо этого, наличие рабочей жидкости в области контроля приводит к рассеянию и прерыванию излучения, поступающего на приёмник микрометра, что приводит к существенному искажению измеренного значения.

Машинное зрение – это комплексная и технологическая область научных и инженерных знаний, охватывающая все проблемы разработки практических систем: выбор схем освещения исследуемой сцены, выбор характеристик датчиков, их количества и геометрии расположения, калибровка и ориентирование, выбор и разработка оборудования для оцифровки и процессорной обработки, разработка алгоритмов и их компьютерная реализация [2]. Работа СМЗ включает три основные операции: получение (захват) изображения, обработка и анализ изображения, передача результатов обработки в систему управления технологическим процессом [3]. Таким образом, машинное зрение можно считать элементом контура обратной связи, относящегося к восприятию, в то время как другие элементы предназначены для принятия и исполнения решений [4]. Система измерения, построенная на основе машинного зрения, позволяет удовлетворить все требования, предъявляемые к измерению зазора в рамках технологического процесса производства фильтрующих элементов.

СМЗ, в отличие от оптического микрометра, не требует размещения своих элементов внутри

фильтрующего элемента при его производстве. Датчик СМЗ – видеокамера располагается с внешней стороны изделия, что позволяет производить бесконтактное непрерывное измерение зазора.

Применение скоростных видеокамер, быстрых интерфейсов передачи данных и наличие быстродействующих компьютеров, выполняющих обработку полученных данных, обеспечивает скорость измерения и обработки информации, достаточную для реакции на изменение ширины зазора и выработки корректирующего воздействия при обороте измеренного участка фильтрующего элемента на расстояние, сопоставимое с расстоянием между соседними стрингерами (порядка 10 мм).

Программное обеспечение СМЗ позволяет осуществлять фильтрацию (устранение шумов) и восстановление (удаление бликов) изображения, получаемого видеокамерой и искажённого, наличием рабочей жидкости в области контроля.

Разрешения современных видеокамер, применяемых в СМЗ, делает возможным измерения ширины зазора с погрешностью до 0,04 мм и менее, что полностью удовлетворяет требованиям при производстве фильтрующих элементов.

Также следует отметить, что помимо решения задачи измерения, программное обеспечение системы автоматического измерения и контроля позволяет быстро и эффективно решить задачу сравнения измеренного значения с заданным и обеспечить обратную связь с исполнительными механизмами (за счёт формирования и передачи корректирующего значения).

Таким образом, именно машинное зрение стало основой разработанного программно-аппаратного комплекса, позволяющего с заданной точностью в режиме реального времени отслеживать и корректировать текущую ширину межвиткового зазора.

Структура программно-аппаратного комплекса представлена на рис. 2. Фильтрующий элемент, состоящий из профилированной проволоки, привариваемой к стрингерам, формируется вокруг каркаса – основания, приводимого во вращение приводом вращения. Ширину межвиткового зазора между витками проволоки можно изменять возвратно-поступательным движением устройства подачи проволоки, которое обеспечивается приводом устройства подачи проволоки.

Функционирование программно-аппаратного комплекса основано на вычислении ширины межвиткового зазора фильтрующего элемента и управлении приводом устройства подачи проволоки в соответствии с текущей шириной межвиткового зазора.

Вычисление ширины межвиткового зазора осуществляется на основе данных о текущей ширине профилированной проволоки и изображения контролируемого участка фильтрующего элемента, поступающих в программное обеспечение машинного зрения.

Измерение ширины проволоки осуществляется при помощи датчика. Измеренное значение передается в ПЛК, который преобразует измеренное значение в цифровой вид и передаёт по шине данных RS-485 в компьютер.

Изображение контролируемого участка фильтрующего элемента, освещённого источником оптического излучения, формируется в устройстве фиксации изображения и передаётся в компьютер, где происходит преобразование в цифровой формат изображения рабочего поля и передача оцифрованного изображения в программное обеспечение машинного зрения. Программное обеспечение осуществляет захват изображения. Данное изображение содержит искажения (шумы и блики), вызванные наличием рабочей жидкости в области контроля и изначально непригодно для распозна-

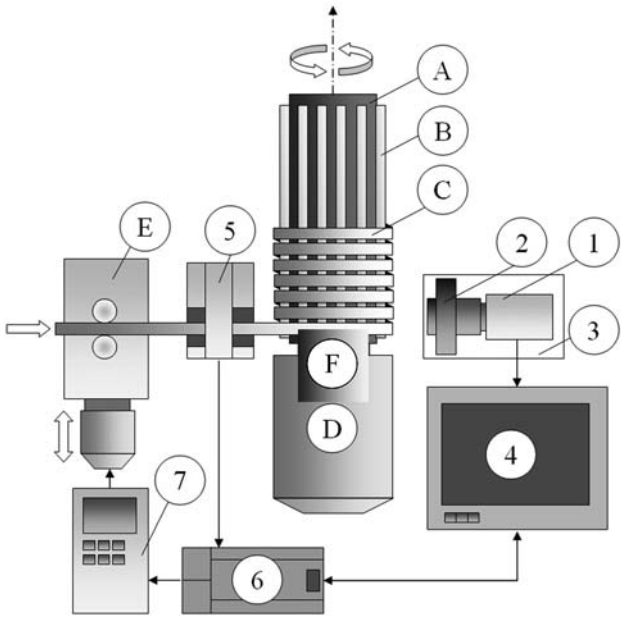


Рис. 2. Структура программно-аппаратного комплекса: *A* – каркас – основание; *B* – стрингеры; *C* – профилированная проволока; *D* – привод вращения основания; *E* – устройство подачи проволоки; *F* – устройство сварки проволоки и стрингеров; *1* – устройство фиксации изображения; *2* – источник оптического излучения; *3* – герметичный корпус; *4* – компьютер с программным обеспечением; *5* – датчик контроля ширины проволоки; *6* – промышленный логический контроллер (ПЛК); *7* – привод устройства подачи проволоки

вания. Обработка с целью получения изображения, пригодного для распознавания, является одной из главных задач программного обеспечения машинного зрения данного комплекса. Для этого разработан алгоритм фильтрации шумов и устранение бликов от рабочей жидкости. Результатом выполнения алгоритма является изображение, используемое для распознавания проволоки и межвиткового зазора. Далее программное обеспечение вычисляет ширину межвиткового зазора и визуализацию процесса на экране компьютера.

Вычисленное значение ширины межвиткового зазора сравнивается с величиной, задаваемой в программе. Если результат сравнения выходит из диапазона допустимой точности, то компьютер формирует корректирующее значение. Данное значение передаётся по шине данных RS-485 в ПЛК, который управляет приводом устройства подачи проволоки. Привод подачи, перемещая устройство подачи проволоки, увеличивая или уменьшая ширину межвиткового зазора, обеспечивает его постоянство на всём протяжении фильтрующего элемента.

В качестве устройства фиксации изображения в программно-аппаратном комплексе применяется видеокамера, позволяющая получать видеоизображения с разрешением 2080×1552 пикселей и частотой кадров до 60 $с^{-1}$. Данные параметры позволяют обеспечить погрешность измерения менее 40 мкм и получить качественные изображения фильтрующего элемента, вращающегося с частотой до 12 $мин^{-1}$. Объектив видеокамеры позволяет фокусироваться на определённом расстоянии и получать чёткое изображение объекта. В отличие от обычных цифровых фотоаппаратов с объективами, поддерживающими функции автофокусировки, в машинном зрении применяется оптика с фиксированным фокусным расстоянием или ручной настройкой фокуса [3].

Контролируемый участок фильтрующего элемента находится в слабо освещённой зоне, поэтому в комплексе предусматривается наличие источника оптического излучения, в качестве которого применены светодиоды, излучающие белый свет, установленные через равные промежутки на кольцевом основании вокруг объектива видеокамеры.

Своевременная реакция комплекса на изменение размеров межвиткового зазора возможна только при установке видеокамеры непосредственно за участком сварки проволоки и стрингеров. В то же время для охлаждения фильтрующего элемента после сварки используется смазочно-охлаждающая жидкость (СОЖ). Попадание СОЖ на поверхность и во внутренние полости камеры и объектива может привести к их выходу из строя, поэтому видеокамера помещается в герметичный корпус с прозрачной передней стенкой.

В качестве ПЭВМ комплекса используется панельный промышленный компьютер с сенсорным цветным дисплеем диагональю 10 дюймов. Данное решение позволяет обеспечить надёжность и бесперебойность работы комплекса, а также предоставить удобный интерфейс и качественное визуальное отображение всей необходимой информации для оператора станка.

Датчик контроля ширины проволоки – оптический микрометр с аналоговым выходом, подключаемым к аналоговому входу ПЛК. Этот датчик устанавливается непосредственно перед участком сварки проволоки и стрингера и состоит из двух частей – излучателя и приёмника. Приёмник анализирует количество прошедшего мимо плоскости проволоки излучения и на выходе формирует сигнал, пропорциональный ширине проволоки.

Программное обеспечение машинного зрения комплекса функционирует на базе ОС MS Windows XP Professional, Windows 7 Professional и создано в среде Borland C++ Builder на основе библиотеки с открытым программным кодом OpenCV. Описание данной библиотеки и её функции подробно рассмотрены в работе [5]. Программное обеспечение структурно состоит из пяти программных модулей.

Модуль захвата изображения обеспечивает взаимодействие программного обеспечения с драйвером видеокамеры и позволяет использовать непосредственно в программе комплекса функции управления изображением (коррекция яркости, контрастности, баланса белого, цветность и т. д.). Помимо этого модуль захвата позволяет изменять размер кадра, скорость кадров и настраивать сжатие видеопотока (если это необходимо). На выходе модуля захвата формируется полутоновое изображение с заданными размерами. Далее это изображение передаётся в модуль обработки, который обеспечивает фильтрацию захваченного изображения и устранение искажений изображения контролируемой области (блики от СОЖ на поверхности изделия и брызги СОЖ перед объективом видеокамеры). На выходе данного модуля формируется полутоновое изображение, пригодное для дальнейшего распознавания. Изображения, полученные в результате захвата и обработки, выводятся в

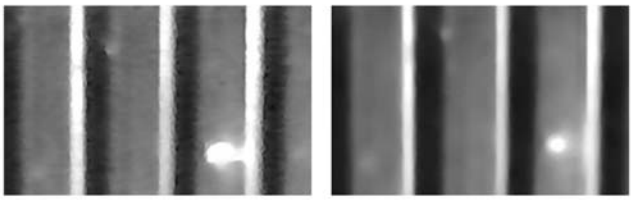


Рис. 3. Фильтрация шумов на изображении контролируемой области в модуле обработки (слева – зашумлённое изображение, справа – изображение после фильтрации)

Рис. 4. Распознавание межвиткового зазора:
1 – изображение контролируемой области после обработки, *2* – бинаризованное изображение, *3* – инвертированное изображение, *4* – изображение контура межвиткового зазора

рабочей области программы в режиме реального времени (рис. 3).

Модуль связи предназначен для передачи и приёма данных от программируемого логического контроллера и состоит из клиентской/серверной части и реализован на основе технологии OPC. OPC (OLE for Process Control) – семейство программных технологий, предоставляющих единый интерфейс для управления объектами автоматизации и технологическими процессами. Технология OPC базируется на модели COM (Component Object Model). OPC-сервер и OPC-клиент выполнены в виде COM-объектов. Достоинством применения технологии OPC является также лёгкая и незаметная модернизация приложений, что является следствием применения технологии COM. Технология OPC позволяет применять сетевую поддержку, интеграцию и другие сервисы, предоставляемые операционной системой [6].

Модуль распознавания и вычисления позволяет, на основе данных из модуля связи, изображения из модуля обработки и заданий оператора, реализовать алгоритм распознавания проволоки и межвиткового зазора (рис. 4), а также алгоритм вычисления ширины зазора на основе измеренной ширины проволоки, алгоритм управления приводом устройства подачи проволоки.

Модуль данных предназначен для автоматического создания базы данных с картами готовых изделий, что исключает проведение ручного контроля фильтрующих элементов щупом на всём протяжении после его изготовления.

Созданный на основе машинного зрения, программно-аппаратный комплекс внедряется на ОАО "Тяжпрессмаш". Данный комплекс позволяет обеспечить непрерывное поддержание заданной ширины зазора в диапазоне от 0,05±0,04 до 5±0,04 мм при частоте вращения изготавливаемого фильтрующего элемента до 12 мин$^{-1}$ и наличии рабочей жидкости в области контроля, что в полной мере удовлетворяет техническим требованиям при производстве фильтрующих элементов щелевых фильтров.

Библиографические ссылки

1. **Каталог** фильтров скважинных и фильтровальных установок ОАО "Тяжпрессмаш" URL: http://www.tkpo.ryazan.ru/pdf/filters.pdf (дата обращения: 01.06.2013).

2. **Обработка** и анализ изображений в задачах машинного зрения: Курс лекций и практических занятий / Ю.В. Визильтер [и др.]. М.: Физматкнига, 2010. 672 с.

3. **Лысенко О.** Машинное зрение от SICK/IVP // Компоненты и технологии. 2007. № 1. С. 80–85.

4. **Хорн Б.К.П.** Зрение роботов / пер. англ. М.: Мир, 1989. 487 с.

5. **Bradski Gary R., Kaehler Adrian.** Learning OpenCV. Computer Vision with the OpenCV Library. O'Reilly Media. 2008. 580 p.

6. **Ковязин Р.Р., Платунов А.Е.** Применение технологии OPC // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2003. Вып. 4 (10). С. 71–77.

Вниманию авторов!

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

УДК 621.05

Г.А. Крутиков, д-р техн. наук, проф., **М.Г. Стрижак,** канд. техн. наук
(Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт",
Республика Украина)

mp9753@1mail.ru

БЛОК УПРАВЛЕНИЯ ПНЕВМОЦИЛИНДРОМ ШЛИФОВАЛЬНО-ОБДИРОЧНОЙ МАШИНЫ НА ОСНОВЕ АНАЛОГОВОГО ЭЛЕКТРОПНЕВМАТИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Предложена пневмосистема управления шлифовально-обдирочной машины, ориентированная на аналоговый электропневматический преобразователь взамен существующей пневмосистемы дискретного действия. Показано, что, кроме существенного улучшения качества обработки поверхности, удаётся снизить массогабаритные показатели машины и упростить её настройку.

Ключевые слова: пневматический редукционный клапан, пропорциональное электроуправление, шлифовально-обдирочная машина, пневмопривод, система управления.

The control pneumatic system for grinding and roughing machine, oriented to the analog electropneumatic converter instead of the existing discrete action pneumatic system is offered. It is shown that except significant improvement of the surface processing quality, it is possible to decrease of the machine mass and the overall dimensions indicators and to simplify its setting.

Key words: pneumatic reducing valve, proportional electrocontrol, grinding and roughing machines, pneumatic actuator, control system.

Введение. Процесс финишной обработки готового металлопроката высокосортной стали (подшипниковой, арматурной и т. д.) включает также обдирку и шлифование заготовки для устранения микротрещин, которые могут стать стимуляторами коррозионных процессов.

В качестве прототипа пневмосистемы шлифовально-обдирочной машины (ШОМ) рассмотрим машину шведской фирмы "Centromaskin", реализованную на распределительной и регулирующей пневмоаппаратуре фирмы "Mecman" (Швеция) (рис. 1). Эта система позволяет осуществить следующие операции: быстрый подъём бабки; зависание над заготовкой; работу в режиме зачистки (рабочем режиме), когда требуется согласование усилия прижима с нагрузкой на электродвигателе шлифовального круга.

Рассмотрим последний режим подробнее. Когда бабка достигает заготовки, пилот *2b* отключает распределитель *3b* от регулятора *4a*, а пилот *2d* включает распределитель *3d*, который соединяет верхнюю камеру через дроссель *5b* с выходом того же регулятора *4a*. Причём сопротивление дросселя *5b* должно быть меньше сопротивления дросселя *5c*. По мере нарастания тока электромотора в точке А (рис. 2) происходит переключение распределителя *3d* в позицию, при которой верхняя полость цилиндра оказывается заглушённой. Если ток и после этого продолжает нарастать, то в точке В срабатывает пилот *2e*, переключая распределитель *3e*, который, в свою очередь, начинает соединять верхнюю полость цилиндра с атмосферой через дроссель *5a*, с помощью которого регулируется скорость отвода.

Таким образом реализуется релейная обратная связь по току электродвигателя с помощью дискретного включения и отключения пилотов управления *2d* и *2b*. К недостаткам прототипа относятся сложность настройки и грубая отработка процесса слежения усилия прижима за током электродвигателя. Первый недостаток связан с тем, что, кроме настройки электронного блока управления, с помощью которого выставляются необходимые установки для релейного срабатывания ключей, пневматическая система требует настройки пяти элементов пневмосхемы (давлений регуляторов *4a* и *4d*; сопротивлений трёх дросселей *5a*, *5b* и *5c*). Второй недостаток связан с большой инерционностью системы управления.

Анализ требований к пневматической системе управления свидетельствует о том, что задача управления шлифовальной бабкой во всех заданных режимах может быть эффективно решена на базе одного аналогового электропневматического блока – пнев-

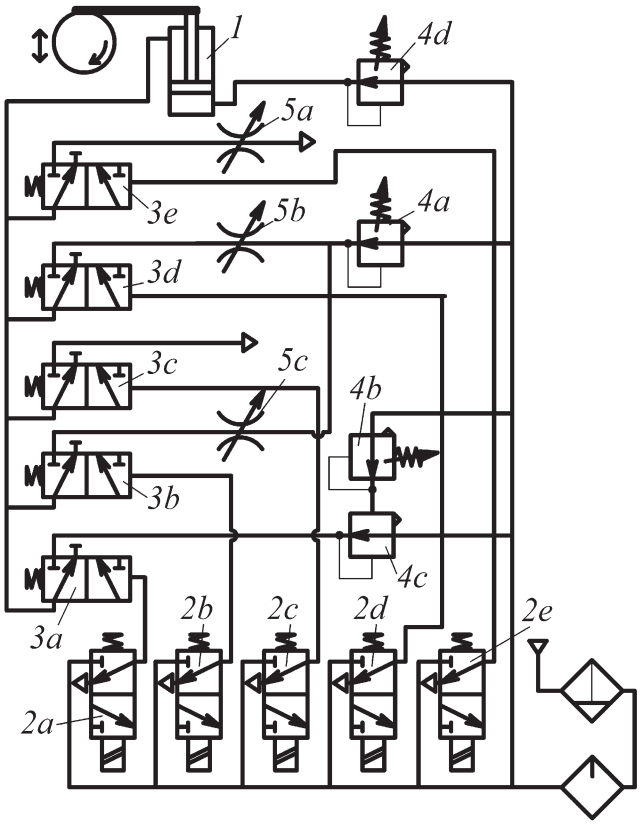


Рис. 1. Пневматическая система управления пневмоцилиндром шлифовальной бабки (прототип):
1 – пневмоцилиндр; *2a*, *2b*, *2c*, *2d*, *2e*, *3a*, *3b*, *3c*, *3d*, *3e* – пневмораспределители (пилоты); *4a*, *4b*, *4c*, *4d* – пневматические редукционные клапаны (регуляторы); *5a*, *5b*, *5c* – регулируемые дроссели

матического регулятора давления с пропорциональным электроуправлением (рис. 3).

Пропорциональный редукционный пневмоклапан с электронным управлением ПКРЭ-6, разработанный Симферопольским ГСКТБ ПО "Пневматика", и был положен в основу создания новой пневматической системы управления ШОМ (см. рис. 3), схема которой представлена на рис. 4.

Подпор в нижней полости пневмоцилиндра *1* (см. рис. 3) настраивается вручную с помощью редукционного клапана *2* с пружинным управлением (тип 112-25, $D_у = 1''$). Давление в верхней полости регулируется системой, состоящей из редукционного клапана (РК) с пневматическим управлением и большим условным проходом *3* (тип 211-40, $D_у = 1\ 1/2''$), а также клапана быстрого выхлопа *4* (тип П-КБВ-16).

В качестве пилота управления используется аналоговый электропневматический преобразователь ПКРЭ-6 *9*, включающий трёхлинейный редукционный клапан с двухкаскадным управлением *5*, функциональный блок с сумматорами *6* и *7*, а также датчик обратной связи *8*. Первый каскад усиления преобразователя представляет собой переливной клапан с плоским затвором *6* (на рис. 5, поз. *16*), управление которым осуществляется с помощью тока на входе пропорционального электромагнита. Второй каскад преобразователя представляется в виде трёхлинейного редукционного клапана с пневматическим управлением (см. рис. 5).

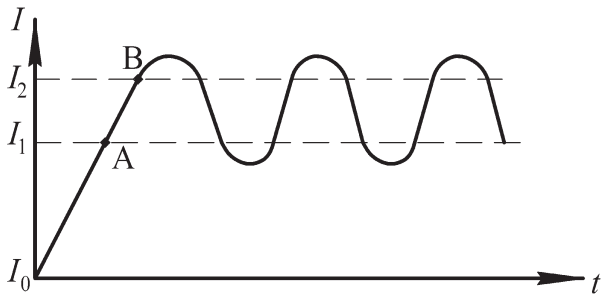


Рис. 2. Изменение тока электродвигателя при шлифовании:
I_0 – ток холостого хода; I_1 – ток на нижней границе; I_2 – ток на верхней границе

Пилот управления (электропневматический преобразователь), кроме внутреннего пневмомеханического контура обратной связи (давление с выхода пневмопреобразователя *p* воздействует на мембрану *9*), имеет электрическую обратную связь, охватывающую как первый, так и второй каскад усиления. Для реализации этого контура давление на выходе преобразователя с помощью тензометрического датчика *8* (см. рис. 3) преобразуется в напряжение $U_р$, которое в качестве сигнала

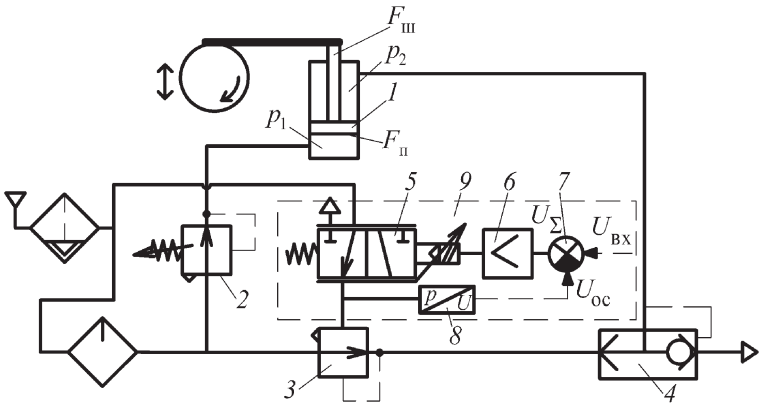


Рис. 3. Пневматическая система управления цилиндром шлифовальной бабки с использованием аналогового электропневматического преобразователя:
p_1, p_2 – давление в поршневой и штоковой полостях пневмоцилиндра соответственно; $F_п$ – площадь поршня; $F_ш$ – площадь штока; $U_{вх}$ – напряжение, поступающее от усилителя; $U_{ос}$ – напряжение рассогласования; $U_Σ$ – суммарное напряжение

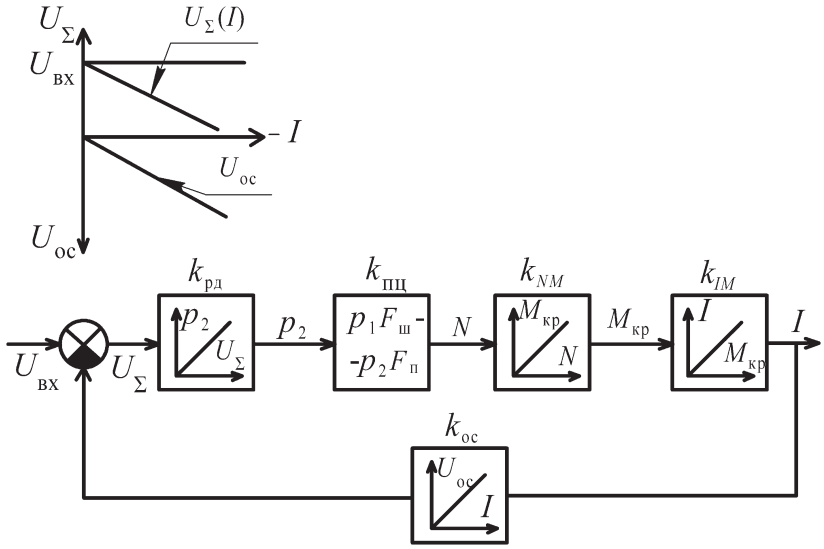


Рис. 4. Схема замкнутой системы управления в режиме зачистки:
I, $M_{кр}$, N – ток, крутящий момент и мощность электродвигателя соответственно; $k_{рд}$ – коэффициент передачи регулятора давления с электроуправлением; $k_{пц}$ – коэффициент передачи по усилию пневмоцилиндра; k_{NM} – коэффициент, связывающий крутящий момент $M_{кр}$ с усилием прижима N; k_{IM} – коэффициент передачи по нагрузке электромотора; $k_{ос}$ – коэффициент передачи обратной связи

отрицательной обратной связи заводится на вход сумматора *7*. Тензометрический модуль создан на основе современной технологии "кремний на сапфире" (напыление плёнки кремния на кристалле сапфира) и характеризуется отсутствием усталостных деформаций, что позволяет без периодических тарировок получать достоверный результат. Таким образом, давление на выходе пилота p и на выходе РК с большим условным проходом будет изменяться строго пропорционально напряжению U_Σ. Так как клапан сброса *14* (см. рис. 5) РК типа 211-40 имеет малый условный проход, а на выходе РК имеется большая ёмкостная нагрузка, то клапан сброса не может быстро понижать давление p_2. Для решения этой задачи используется клапан быстрого выхлопа *4* (см. рис. 5).

Система регулирования будет точно отслеживать нагрузку на шлифовальном круге по току электромотора и обратно пропорционально этому менять усилие прижима круга к заготовке.

Как показали расчёты и дальнейшие испытания, диапазон надёжной работы расширен от минимальной нагрузки в 5А до максимальной 200А, что не удавалось при использовании дискретной пневматической системы прототипа.

Конструктивная схема электропневматического преобразователя в составе пилота и большерасходного РК с пневмоуправлением в качестве повторителя включает (см. рис. 5) электронный усилитель *16*, который усиливает сигнал рассогласования $U_\Sigma = U_{вх} - U_{ос}$ и преобразует его в пропорциональный ток I, причём в качестве $U_{вх}$ используется сигнал U_Σ (см. рис. 4) автоматической системы регулирования усилия прижима. Усилие, развиваемое электромагнитом *1*, пропорционально току и уравновешивается силой давления $p_у$, действующей на заслонку *8*, жёстко соединённую с сердечником электромагнита:

$$p_у = \frac{4\,K_{FY}}{\pi d^2}\,I\,,$$

где K_{FY} – коэффициент тяги электромагнита; d – диаметр сопла *6*.

Диаметр сопла *6* равен 2,5–2,7 мм, а диаметр питающего жиклёра *7* – 0,3–0,5 мм. Такое соотношение диаметров позволяет сузить рабочий диапазон перемещений заслонки и практически исключить нелинейность тяговой характеристики электромагнита, связанную с перемещением сердечника. При этом возможно понизить нижний предел рабочих давлений клапана с пропорциональным управлением. Однако такое соотношение диаметров имеет и отрицательную сторону. При быстром увеличении тока управления I и перекрытии заслонкой *8* сопла

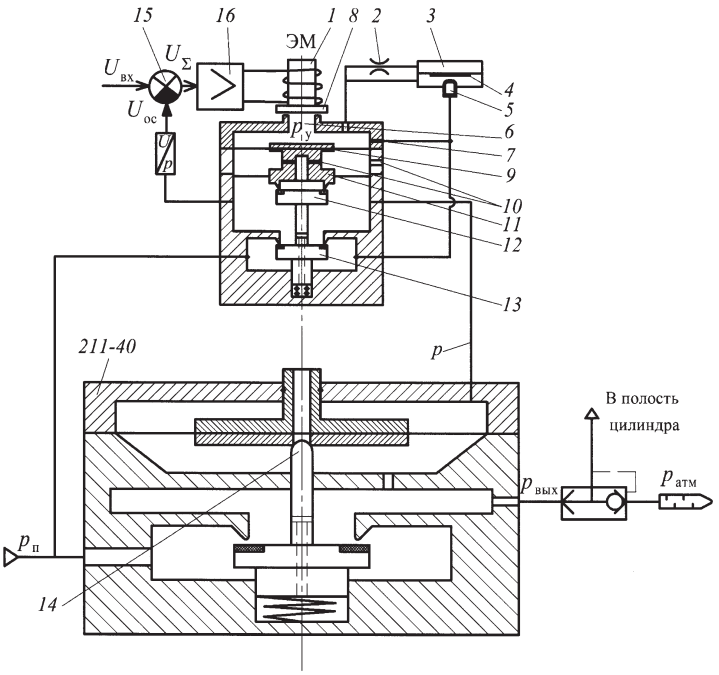


Рис. 5. Конструктивная схема электропневматического преобразователя вместе с повторителем (усилителем по расходу):
$p_п$, $p_{вых}$, $p_{атм}$ – давление в магистрали питания, на выходе преобразователя и атмосферное

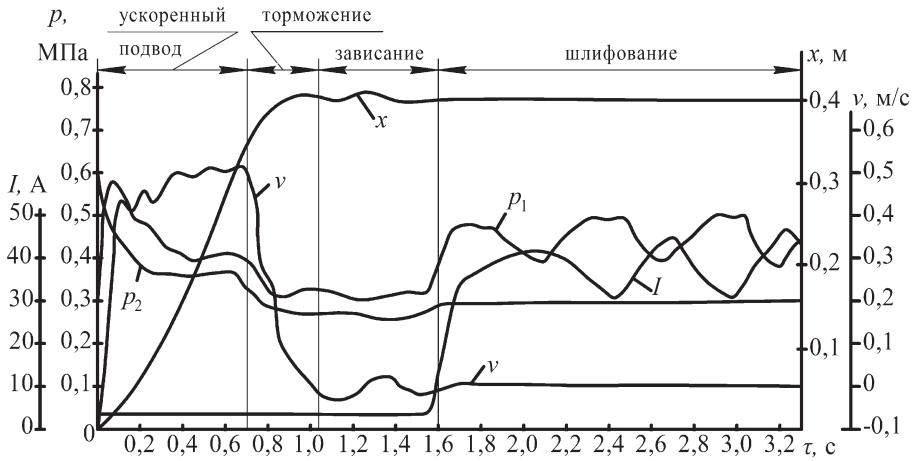


Рис. 6. Результаты расчёта на ЭВМ переходного процесса для пневмоагрегата шлифовально-обдирочной машины с дискретным регулированием (прототип)

6 из-за малого диаметра жиклёра давление $p_у$ в верхней полости преобразователя набирается медленно. Для устранения этого недостатка в конструкции предусмотрен ускоритель, состоящий из сопла *5*, резинотканевой мембраны с заслонкой *4* и дросселя *2*. При динамическом росте давления $p_у$ верхняя камера ускорителя из-за наличия дросселя *2* заполняется медленнее, чем нижняя, мембрана с заслонкой *4* поднимается вверх и сжатый воздух из сопла *5* начинает поступать в верхнюю камеру, увеличивая нарастание давления $p_у$. Если происходит быстрое закрытие заслонки *8* и падение $p_у$, то нижняя камера ускорителя опорожняется быстрее, чем верхняя *3*. Мембрана *4* прогибается вниз и перекрывает сопло *5*. Воздух в верхнюю камеру преобразователя поступает только через жиклёр, поэтому давление $p_у$ падает быстро.

При увеличении давления $p_у$ мембранный блок *11* смещается вниз, открывая нижний клапан *13*, в результате чего давление на выходе также возрастает. При уменьшении $p_у$ нижний клапан садится в седло, а верхний *12* открывается, соединяя выход РК с атмосферой через отверстие (с глушителем) *10*. В результате давление *p* также понижается.

Переходные процессы на рис. 6 и 7 были получены на ЭВМ в результате численного интегрирования методом Рунге–Кутта четвёртого порядка точности нелинейной математической модели пневмосистемы ШОМ, где p_1 и p_2 – давление в нижней и верхней полостях цилиндра (см. рис. 3); *x* и *v* – координата и скорость поршня; *I* – ток электродвигателя; τ – время переходного процесса. При данных условиях функционирования система с аналоговым управлением имеет явное преимущество над дискретной при работе в режиме зачистки. Так, амплитуда колебаний тока в электродвигателе при использовании дискретной системы составляет 17А, а аналоговой системы – 7А. Это свидетельствует о более качественной зачистке изделия при использовании аналоговой системы управления.

Кроме сказанного выше, необходимо отметить и другие преимущества при замене дискретной системы аналоговой:

значительное сокращение пневмоаппаратов и их габаритов;

существенное упрощение процедуры настройки пневматической части системы (один параметр вместо пяти);

повышение надёжности за счёт выноса всех регулировок в электронный блок и перенос его из цеха в специальное помещение;

значительное улучшение эксплуатационных показателей ШОМ;

расширение диапазона надёжной работы вплоть до самых минимальных нагрузок, которые практически не удавалось отработать на системе прототипа (по выражению операторов, "круг начинает скакать на заготовке").

Комплекты аналоговой электропневматической системы управления ШОМ разработаны, изготовлены, прошли испытания и внедрены в производство на Старо-Оскольском электрометаллургическом комбинате.

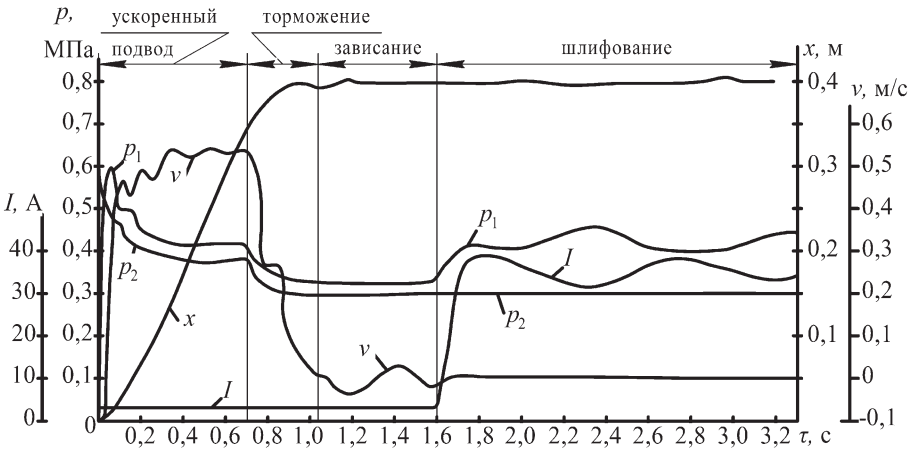


Рис. 7. Результаты расчёта на ЭВМ переходного процесса для пневмоагрегата шлифовально-обдирочной машины с аналоговым регулированием

УДК 621.9

Б.М. Бржозовский, д-р техн. наук, проф., **О.В. Захаров,** д-р техн. наук, доц.
(Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина)

zov17@mail.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ НЕЛИНЕЙЧАТЫХ ВИНТОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ ДИСКОВЫМ КОНИЧЕСКИМ ИНСТРУМЕНТОМ В СРЕДЕ MATLAB

Представлены результаты моделирования процесса формообразования нелинейчатых винтовых поверхностей деталей дисковым коническим инструментом, полученные с использованием расчётно-программной среды Matlab.

Ключевые слова: формообразование, винтовая поверхность, дисковый инструмент.

Modeling results of the shaping process not linear helical surface of the parts by using of the conic disc tool, obtained through the use of estimated-program Matlab medium are presented.

Key words: shaping, helical surface, disk tool.

Процесс формообразования нелинейчатых винтовых поверхностей (ВП) деталей применяется в зубообработке при шлифовании червяков [1], инструментальном производстве при затыловании червячных фрез [2], оригинальных технологиях (например, бесцентровом шлифовании конических роликов подшипников [3]). Известное классическое решение, приведённое в работе [1], построено на методе огибающих и не учитывает так называемые переходные поверхности. При современном развитии вычислительной техники возможно численно описать процесс формообразования, а использование программной среды Matlab позволяет более полно моделировать, максимально визуализировать ход решения и сформулировать общие рекомендации по выбору параметров инструмента и его установке относительно детали.

Для описания формообразования нелинейчатых ВП рассмотрим координатную схему (рис. 1): (X_1, Y_1, Z_1) – система координат дискового инструмента; (X_0, Y_0, Z_0) – условно неподвижная система координат; (X_2, Y_2, Z_2) – система координат детали с ВП. Координатная система (X_0, Y_0, Z_0) используется для задания винтового движения детали в системе (X_2, Y_2, Z_2).

Полная нелинейчатая ВП состоит из трёх характерных участков, которые образуются тремя инструментальными поверхностями (одной цилиндрической и двумя боковыми коническими) и двумя окружностями их сопряжения.

Коническая поверхность инструмента задаётся следующими уравнениями:

$$\left.\begin{aligned} x_1 &= u\cos\alpha\cos\vartheta\,; \\ y_1 &= u\cos\alpha\sin\vartheta\,; \\ z_1 &= \mp u\sin\alpha \pm a\,, \end{aligned}\right\} \qquad (1)$$

где u, ϑ – линейная и угловая координаты конической поверхности; α – угол профиля инструмента; a – расстояние плоскости инструмента от вершины конуса.

Верхние знаки ($\pm$ и $\mp$) в уравнении (1) соответствуют правой стороне, а нижние – левой стороне инструмента.

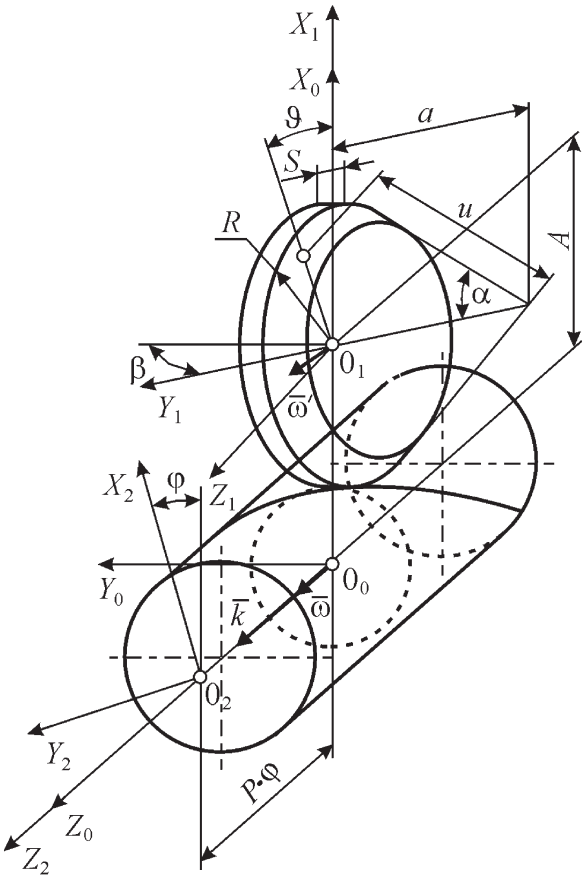


Рис. 1. Координатная схема формообразования ВП

Боковая часть ВП определяется как совокупность линий её контакта с инструментом (конусом). Для получения семейства этих поверхностей с параметром вращения φ необходимо совместить координатную систему (X_1, Y_1, Z_1) с системой (X_2, Y_2, Z_2). Затем на каждой поверхности такого семейства выделить контактную линию, рассматривая координаты u и ϑ. Уравнения линии контакта поверхностей инструмента и ВП в векторной форме запишутся в виде

$$\left.\begin{aligned} &\bar{r}_2 = \bar{r}_2(u, \vartheta); \\ &\bar{n}_1 \bar{V}_1 = 0, \end{aligned}\right\} \qquad (2)$$

где $\bar{n}_1$ – вектор нормали к поверхности; $\bar{V}_1$ – вектор скорости относительного движения.

Считаем, что инструмент при обработке неподвижен, а деталь с ВП совершает винтовое движение с параметром P (величина хода для многозаходных ВП). Оси инструмента и детали перекрещиваются под углом β. Координатные оси X_0 и X_1 направлены по кратчайшему межосевому расстоянию A. На рис. 1 показана правозаходная ВП, для которой выполнены приведённые ниже расчёты. В результате относительное движение инструмента определяется скользящим вектором угловой скорости $\bar{\omega}$, направленным по оси Z_0, и свободным вектором поступательного движения $\bar{k} = \bar{P}\,\bar{\omega}$. Приведём скользящий вектор $\bar{\omega}$ к точке 0_1, заменив его вектором $\bar{\omega}' = \bar{\omega}$ и вектором-моментом $\bar{m}_1(\bar{\omega}) = \bar{r}_1^{\,0} \times \bar{\omega}$, где $\bar{r}_1^{\,0}$ – радиус-вектор точки приложения вектора $\bar{\omega}$.

Тогда вектор относительной скорости можно определить из уравнения

$$\bar{V}_1 = \bar{\omega}' \times \bar{r}_1 + \bar{r}_1^{\,0} \times \bar{\omega} + \bar{P}\,\bar{\omega}. \qquad (3)$$

В координатной форме уравнение (3) запишется в виде

$$\left.\begin{aligned} &V_{X_1} = z_1 \omega \sin\beta - y_1 \omega \cos\beta; \\ &V_{Y_1} = (x_1 + A)\,\omega \cos\beta + P\omega \sin\beta; \\ &V_{Z_1} = -(x_1 + A)\,\omega \sin\beta + P\omega \cos\beta. \end{aligned}\right\} \qquad (4)$$

Кинематическое условие (уравнение (2)), составленное в системе (X_1, Y_1, Z_1), после преобразований имеет вид:

$$\begin{aligned} u = \pm(A \operatorname{ctg}\beta + P) \sin\alpha \operatorname{tg}\vartheta + \\ + (P \operatorname{ctg}\beta - A) \cos\alpha \sec\vartheta + a \sin\alpha. \end{aligned} \qquad (5)$$

Уравнение (5) относительно параметра ϑ является трансцендентным, однако его можно преобразовать, получив следующее квадратное уравнение:

$$(M - L) \operatorname{tg}^2 \frac{\vartheta}{2} \pm 2K \operatorname{tg}\frac{\vartheta}{2} + M + L = 0, \qquad (6)$$

где $M = (P \operatorname{ctg}\beta - A) \cos\alpha$; $L = a \sin\alpha - u$; $K = (A \operatorname{ctg}\beta + P) \sin\alpha$.

Для расчёта левой стороны правозаходной ВП решение уравнения (6) имеет вид

$$\vartheta = 2 \operatorname{arctg}\left\{\frac{K + \sqrt{K^2 - M^2 + L^2}}{M - L}\right\}. \qquad (7)$$

Переход от системы (X_1, Y_1, Z_1) к (X_2, Y_2, Z_2) совершается с помощью матрицы преобразований:

$$M_{21} = \begin{bmatrix} \cos\varphi & \sin\varphi\cos\alpha & -\sin\varphi\sin\alpha & A\cos\varphi \\ -\sin\varphi & \cos\varphi\cos\alpha & -\cos\varphi\sin\alpha & -A\sin\varphi \\ 0 & \sin\alpha & \cos\alpha & -P\varphi \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \qquad (8)$$

Окончательно боковую поверхность детали можно определить из уравнений (2), (7) и (8):

$$\left.\begin{aligned} &(M - L) \operatorname{tg}^2 \frac{\vartheta}{2} \pm 2K \operatorname{tg}\frac{\vartheta}{2} + M + L = 0; \\ &x_2 = u\,(\cos\alpha \cos\vartheta \cos\varphi + \cos\alpha \cos\beta \sin\vartheta \sin\varphi - \\ &- \sin\alpha \sin\beta \sin\varphi) + a \sin\beta \sin\varphi + A\cos\varphi; \\ &y_2 = u\,(-\cos\alpha \cos\vartheta \sin\varphi + \cos\alpha \cos\beta \sin\vartheta \cos\varphi - \\ &- \sin\alpha \sin\beta \cos\varphi) + a \sin\beta \cos\varphi - A\sin\varphi; \\ &z_2 = u\,(\sin\alpha \cos\beta + \cos\alpha \sin\beta \sin\vartheta) - P\varphi - a\cos\beta. \end{aligned}\right\} \qquad (9)$$

Система (9) выражает в двухпараметрической форме боковую часть ВП. В формулы входят три неизвестных параметра: u, ϑ и φ, из которых только два будут независимыми.

Для исследования профиля ВП используют осевое, поперечное и нормальное сечения. Осевое сечение поверхности (9) получим, приняв $y_2 = 0$. После преобразований получим:

$$\left.\begin{aligned} &(M - L) \operatorname{tg}^2 \frac{\vartheta}{2} \pm 2K \operatorname{tg}\frac{\vartheta}{2} + M + L = 0; \\ &\operatorname{tg}\varphi = \frac{u\,(\cos\alpha \sin\vartheta \cos\beta - \sin\alpha \sin\beta) + a \sin\beta}{u \cos\alpha \cos\vartheta + A}; \\ &x_2 = \frac{u \cos\alpha \cos\vartheta + A}{\cos\varphi}; \\ &z_2 = u\,(\sin\alpha \cos\beta + \cos\alpha \sin\beta \sin\vartheta) - \\ &- P\varphi - a\cos\beta. \end{aligned}\right\} \qquad (10)$$

Для определения поперечного сечения ВП примем в уравнениях (9) $z_2 = 0$. После преобразований получим

$$\left.\begin{aligned}
&(M-L)\,\mathrm{tg}^2\frac{\vartheta}{2} \pm 2K\,\mathrm{tg}\frac{\vartheta}{2} + M + L = 0;\\
&\varphi = \frac{u}{P}(\sin\alpha\,\cos\beta + \cos\alpha\,\sin\beta\,\sin\vartheta) - \frac{a}{P}\cos\beta;\\
&x_2 = u\,(\cos\alpha\,\cos\vartheta\,\cos\varphi +\\
&+\cos\alpha\,\cos\beta\,\sin\vartheta\,\sin\varphi - \sin\alpha\,\sin\beta\,\sin\varphi) +\\
&+ a\sin\beta\,\sin\varphi + A\cos\varphi;\\
&y_2 = u\,(-\cos\alpha\,\cos\vartheta\,\sin\varphi +\\
&+\cos\alpha\,\cos\beta\,\sin\vartheta\,\cos\varphi -\\
&-\sin\alpha\,\sin\beta\cos\varphi) + a\sin\beta\cos\varphi - A\sin\varphi.
\end{aligned}\right\} \quad (11)$$

Нормальное сечение боковой части ВП находится из системы (9) при условии $y_2 + (z_2 \pm c)\,\mathrm{tg}\,\lambda = 0$, где λ – угол подъёма винтовой линии на среднем диаметре; c – параметр, определяющий высоту витка ВП.

В общем случае боковой участок профиля ВП в осевом сечении получается криволинейным. Для анализа его формы можно использовать параметры: угол ψ и стрелу прогиба f.

Угол профиля ВП определяется по формуле

$$\psi = \mathrm{arctg}\,\frac{|z_a| - |z_b|}{x_a - x_b},$$

а стрела прогиба профиля

$$f = [\,|z_a| - |z_c| - (x_a - x_c)\,\mathrm{tg}\,\psi\,]\cos\psi,$$

где a, b, c – точки осевого профиля ВП, лежащие на окружностях соответственно максимального, минимального и среднего радиусов.

При положительном значении f профиль выпуклый, а при отрицательном – вогнутый.

Уравнения части ВП, образованной цилиндрическим участком дискового инструмента, получают аналогичным образом. Полученная поверхность представляет собой впадину ВП, а в торцевом сечении имеет вид окружности. Осевое сечение впадины ВП запишется уравнениями

$$\left.\begin{aligned}
&\mathrm{tg}\,\vartheta = -\frac{l\,\sin\beta}{A\cos\beta + P\sin\beta};\\
&\mathrm{tg}\,\varphi = \frac{R\sin\vartheta\,\cos\beta + l\,\sin\beta}{R\cos\vartheta - A};\\
&x_2 = \frac{A - R\cos\vartheta}{\cos\varphi};\\
&z_2 = l\cos\beta - P\varphi - R\sin\beta\,\sin\vartheta,
\end{aligned}\right\} \quad (12)$$

где R – максимальный радиус дискового инструмента; $l \in [-S/2;\ S/2]$ – криволинейная координата цилиндра; S – ширина инструмента на максимальном радиусе.

При формообразовании ВП дисковым инструментом переходная поверхность будет образована окружностью сопряжения боковой конической поверхности и периферийной цилиндрической поверхности инструмента. Уравнения переходной поверхности получают, рассматривая траекторию винтового движения данной окружности.

Окончательно переходная поверхность запишется уравнениями

$$\left.\begin{aligned}
&x_2 = R\,(\cos\vartheta\,\cos\varphi + \cos\beta\,\sin\vartheta\,\sin\varphi) +\\
&+\frac{S}{2}\sin\beta\,\sin\varphi + A\cos\varphi;\\
&y_2 = R\,(-\cos\vartheta\,\sin\varphi + \cos\beta\,\sin\vartheta\,\cos\varphi) +\\
&+\frac{S}{2}\sin\beta\cos\varphi - A\sin\varphi;\\
&z_2 = R\sin\beta\,\sin\vartheta - \frac{S}{2}\cos\beta - P\varphi.
\end{aligned}\right\} \quad (13)$$

В системе уравнений (13) независимым параметром является угол ϑ, который в общем случае изменяется от 0 до 2π. Реально сформированная на поверхности червяка переходная кривая соответствует значению угла $\vartheta = 180° \pm (5–20)°$.

В осевом сечении переходная кривая запишется уравнениями

$$\left.\begin{aligned}
&\mathrm{tg}\,\varphi = \frac{R\sin\vartheta\,\cos\beta + \frac{S}{2}\sin\beta}{R\cos\vartheta + A};\\
&x_2 = \frac{R\cos\vartheta + A}{\cos\varphi};\\
&z_2 = R\sin\beta\,\sin\vartheta - \frac{S}{2}\cos\beta - P\varphi,
\end{aligned}\right\} \quad (14)$$

а в поперечном сечении

$$\left.\begin{aligned}
&x_2 = R\,(\cos\vartheta\,\cos\varphi + \cos\beta\,\sin\vartheta\,\sin\varphi) +\\
&+\frac{S}{2}\sin\beta\,\sin\varphi + A\cos\varphi;\\
&y_2 = R\,(-\cos\vartheta\,\sin\varphi + \cos\beta\,\sin\vartheta\,\cos\varphi) +\\
&+\frac{S}{2}\sin\beta\cos\varphi - A\sin\varphi;\\
&\varphi = \frac{R}{P}\sin\beta\,\sin\vartheta - \frac{S}{2P}\cos\beta.
\end{aligned}\right\} \quad (15)$$

Высоту h переходной кривой при отсутствии подрезания можно определить по формуле

$$h = \sqrt{x_R^2 + y_R^2} - r_f,$$

где x_R, y_R – координаты поперечного сечения червяка, образованные окружностью радиуса R на конической поверхности инструмента; r_f – радиус впадины ВП, определяемый из выражения (12).

При подрезании необходимо найти координаты точки пересечения переходной кривой и бокового участка ВП в поперечном или нормальном сечении.

Таким образом, рассмотренная методика сочетает классический кинематический метод исследования и численный, не опирающийся на дифференциальные характеристики поверхностей. В результате устраняются затруднения, связанные с выбором требуемого корня при решении уравнения контакта, визуализируются расчёт переходных поверхностей и анализ наличия подрезания профиля.

Приведён пример (рис. 2) моделирования формообразования ВП при следующих исходных данных: параметры инструмента: угол $\alpha = 30°$, радиус $R = 50$ мм, ширина $S = 5$ мм; параметры ВП: максимальный радиус $r = 30$ мм, число заходов $Z = 3$, шаг $P = 10$ мм; параметры установки: межосевое расстояние $A = 70$ мм, угол перекрещивания $\beta = 20°$. На рис. 2 показаны: *а* – торцевое сечение ВП по приведённым исходным данным; *б* – влияние угла инструмента α на осевой профиль ВП; *в* – влияние угла перекрещивания β на осевой профиль ВП; *г* – влияние шага P на осевой профиль ВП. Для сечения 2, *а* получены следующие параметры профиля ВП: угол $\psi = 30{,}3°$; стрела прогиба $f = 0{,}05$ мм (профиль выпуклый); высота переходной кривой $h = 0{,}33$ мм; подрезание отсутствует.

Проведённые исследования позволяют сделать следующие выводы:

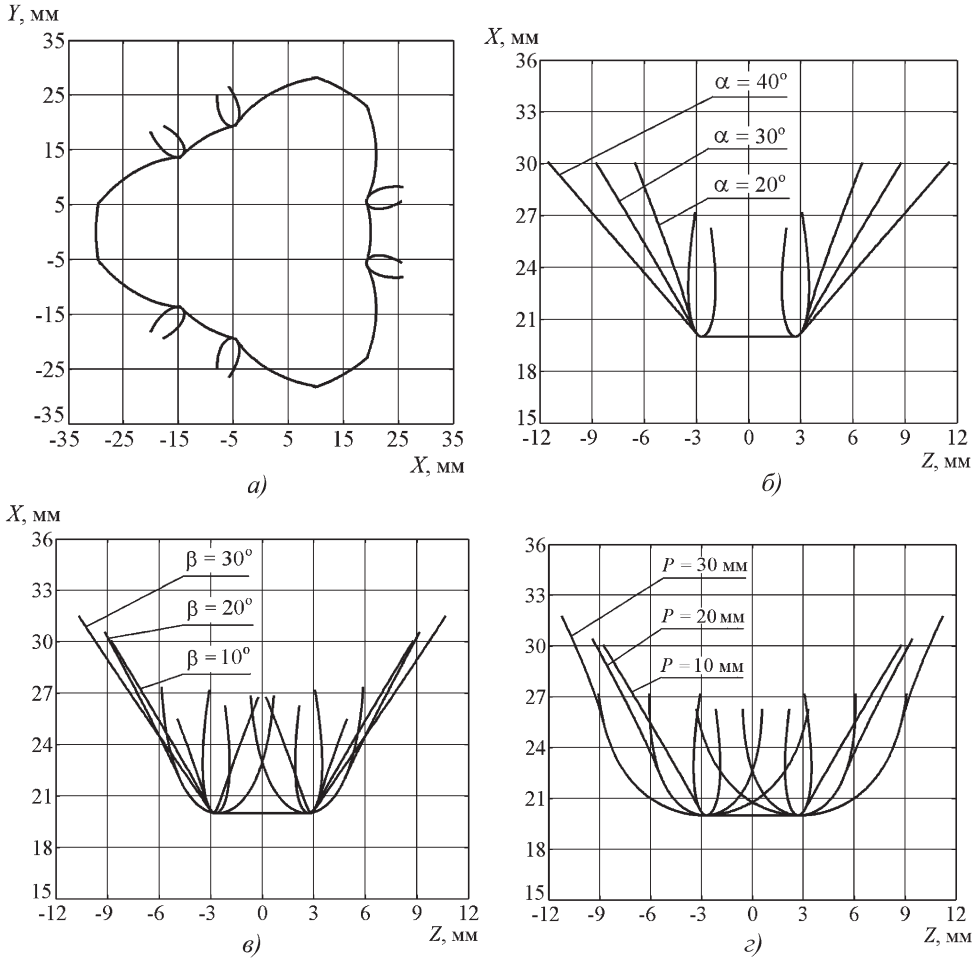


Рис. 2. Сечения винтовой поверхности детали:
а – торцевое; *б–г* – осевые сечения при различных значениях параметров α, β, P

на основании моделирования установлено, что при формообразовании ВП дисковым коническим инструментом при перекрещивании их осей получается нелинейчатая ВП, профиль которой может быть выпуклым, вогнутым или приближённо прямолинейным. Таким образом, по данной схеме можно обрабатывать как нелинейчатую, так и архимедову и эвольвентную ВП. Последняя получается при угле перекрещивания, равном нулю;

как следует из полученных результатов, нелинейчатая ВП состоит из трёх характерных участков – двух боковых, впадины и двух переходных, которые их соединяют. Указанные участки ВП образованы соответственно боковыми коническими поверхностями, цилиндрической поверхностью вершины и окружностями их сопряжения на инструменте. Как правило, имеет место плавное сопряжение впадины и бокового участка ВП. Подрезание характерно для многозаходных ВП с числом заходов более пяти;

численные эксперименты показали, что угол профиля боковой части ВП может быть несколько меньше или больше угла α профиля инструмента, причём увеличение угла β способствует увеличению угла ψ. Форма профиля (вогнутый или выпуклый) и величина f зависят от сочетания параметров α, β, R, r, Z и в каждом конкретном случае требуют расчёта;

размеры переходной кривой зависят от угла профиля инструмента α и угла перекрещивания β. С уменьшением значений указанных параметров высота и ширина переходной кривой увеличиваются в несколько раз, что имеет значение при шлифовании червяков для зубчатых передач.

Библиографические ссылки

1. **Литвин Ф.Л.** Теория зубчатых зацеплений. М.: Физмат, 1960. 442 с.

2. **Зотов Б.Д., Овсянников В.С.** Профилирование нелинейчатых червячных фрез, затылованных дисковым инструментом. Исследования зубообрабатывающих станков, инструментов и резания металлов. Саратов: СПИ, 1973. С. 89–97.

3. **Захаров О.В.** Бесцентровое шлифование конических поверхностей на станках с продольной подачей // Автоматизация и современные технологии. 2006. № 7. С. 14–16.

ИЗДАТЕЛЬСТВО МАШИНОСТРОЕНИЕ

ОСНОВЫ НАНОТЕХНОЛОГИЙ

Ю.И. Головин

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

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

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

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

Приобрести книгу в издательстве можно, прислав заявку:

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

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

УДК 621.384.658

В.А. Шахнин, д-р техн. наук, доц., **Я.В. Мироненко, О.И. Моногаров**
(Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых)

vshakhnin@rambler.ru

ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ ЭЛЕКТРОШУМОВОЙ ИНТРОДИАГНОСТИКИ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Рассмотрена возможность применения вейвлет-преобразования и принципов нечёткой логики для обработки электрошумовых сигналов при диагностике высоковольтного оборудования без его вывода из эксплуатации. Продемонстрированы положительные особенности предлагаемой методики, показан общий алгоритм действий и подробно описаны возможности используемого математического аппарата.

Ключевые слова: интродиагностика, высоковольтное оборудование, частичные разряды, вейвлет-функция, кластерный анализ.

The application possibility of the wavelet transform and the principles of fuzzy logic for electrical-noise signals processing with a view of high-voltage equipment diagnostics without a conclusion from operation is considered. The proposed methodology positive features are demonstrated. The action general algorithm is shown and the utilized mathematical apparatus possibilities are described in detail.

Key words: introdiagnostics, high-voltage equipment, partial discharges, the wavelet function, cluster analysis.

Современное состояние электроэнергетической отрасли в РФ характеризуется изношенностью силового высоковольтного оборудования. Достоверная диагностика позволяет продолжать эксплуатацию уже выработавших ресурс аппаратов. Однако традиционные методы диагностики состояния изоляции высоковольтного оборудования в ряде случаев неэффективны. Многие из этих методов ориентированы на систему планово-предупредительных ремонтов и непригодны для реализации внедряемой в настоящее время концепции обслуживания высоковольтного оборудования на основе оценки его текущего технического состояния. Эффективность перехода к этой концепции в значительной мере определяется возможностями применяемых методов и средств интродиагностики. Термин "интродиагностика" для высоковольтного оборудования означает неразрушающий (т. е. без вскрытия баков и слива диэлектрических жидкостей) контроль комплекса параметров, характеризующих состояние высоковольтных аппаратов, для предотвращения повреждений и ненормальных режимов их функционирования. Поэтому наиболее перспективны методы интродиагностики под рабочим напряжением без вывода оборудования из эксплуатации. К ним относятся электрошумовые методы, позволяющие обнаружить локальные быстроразвивающиеся дефекты. Физической основой большой группы электрошумовых методов являются частичные разряды (ЧР), т. е. микропробои в диапазоне от десятых долей до десятков нанокулон, перекрывающие лишь небольшую часть изоляции [1]. Появление ЧР при старении изоляции под действием электрического поля связано, в первую очередь, с увеличением неоднородности диэлектрика. Различие в диэлектрических свойствах (диэлектрической проницаемости) приводит к образованию локальных областей с повышенной напряжённостью электрического поля. Если напряжённость достигает напряжённости пробоя диэлектрика, то возникает ЧР. Процесс возникновения ЧР является результатом действия множества факторов и носит случайный характер, что позволяет отнести метод ЧР к электрошумовым. Значения параметров ЧР и, в особенности, их изменения в ходе эксплуатации высоковольтного оборудования, являются важными диагностическими признаками состояния различных видов изоляции, в том числе и самой современной – элегазовой [2]. Обработка результатов электрошумовой диагностики высоковольтного оборудования – это, в первую очередь, работа с огромными массивами данных, содержащими наряду с

полезной информацией о состоянии изоляции большой объём помех, под которыми понимается информация, не имеющая отношения к диагностике [3].

Таким образом, актуально решение двух задач: во-первых, избавление сигналов электрошумовой интродиагностики от помех; во-вторых, собственно обработка очищенных массивов данных для формулирования выводов о состоянии изоляции. Задачи должны решаться комплексно, так как даже незначительные оставленные помехи могут сказаться на последующих выводах, и в то же время, если часть зафиксированных параметров ЧР будет исключена из дальнейшего анализа, то полученные результаты могут оказаться не просто недостоверными, но и в корне неверными.

Рассмотрим решение названных задач на примере мехатронного диагностического комплекса (МДК) "ЭЛЕКТРО", разработанного во Владимирском государственном университете им. А.Г. и Н.Г. Столетовых совместно с ОАО "Электросеть-сервис" (г. Москва). Для обнаружения ЧР используется вызванное ими электромагнитное излучение. В качестве датчиков применены направленные СВЧ антенны типа АШП-1, предназначенные для измерения шумов от 5 до 3000 МГц и подходящие для электрошумовой диагностики высоковольтного оборудования. Однако на действующей подстанции регистрация импульсов ЧР сильно затруднена из-за высокого уровня электромагнитных помех, искажающих полезный сигнал антенны.

Для решения первой задачи, т. е. очищения сигналов от помех, в МДК "ЭЛЕКТРО" применено вейвлет-преобразование выходных сигналов антенны [4], позволяющее представить зарегистрированные сигналы в частотно-временной форме и отличить импульсы ЧР от помех. В процессе вейвлет-преобразования происходит перемножение заданной функции (выходной сигнал антенны) с вейвлет-функцией и суммирование результатов перемножения на всей области определения заданной функции. Это позволяет выявить временные интервалы, где присутствуют частоты, характерные для ЧР, определить максимумы ЧР в этих интервалах и отсеять помехи, где частоты отсутствуют.

Для проведения вейвлет-преобразования на начальном этапе необходимо определиться с вейвлет-функцией. С учётом формы импульса ЧР и условия ортонормальности базиса эта функция должна удовлетворять требованиям компактности, ограничения продолжительности и асимметрии. При проведении исследований, связанных с подбором вейвлет-функции, установлено, что для селекции сигналов ЧР наиболее подходящими являются вейвлеты Добеши, как наиболее удовлетворяющие перечисленным выше требованиям. При проведении диагностики на работающем высоковольтном оборудовании наиболее близкими по частотному составу к импульсам ЧР являются импульсы помех, создаваемых коронными разрядами. В ходе эксперимента, направленного на выделение диагностического сигнала на фоне помех, смоделированы импульсы частичного и коронного разрядов, проведены их вейвлет-преобразование и анализ полученных результатов. Вычисления проводились в программном комплексе Matlab. Графически результаты данного математического эксперимента частично представлены на рис. 1 и 2.

Очевидно, что ярко выраженные визуальные различия представленных на рис. 1 и 2 частотно-временных характеристик импульсов частичных и коронных разрядов могут быть использованы для повышения достоверности диагностики методом ЧР. Количественно эти различия обнаруживаются при анализе матриц, полученных в ходе вычислений, и составляют более двух порядков. Это позволяет диагностическим программным средствам безошибочно выделить ЧР на фоне помех.

Для решения второй задачи, заключающейся в обработке массивов данных о ЧР, очищенных от помех, в МКД "ЭЛЕКТРО" применён метод на основе алгоритмов кластерного анализа. Суть метода заключается в разбиении определённого множества объектов на группы (кластеры) так, чтобы каж-

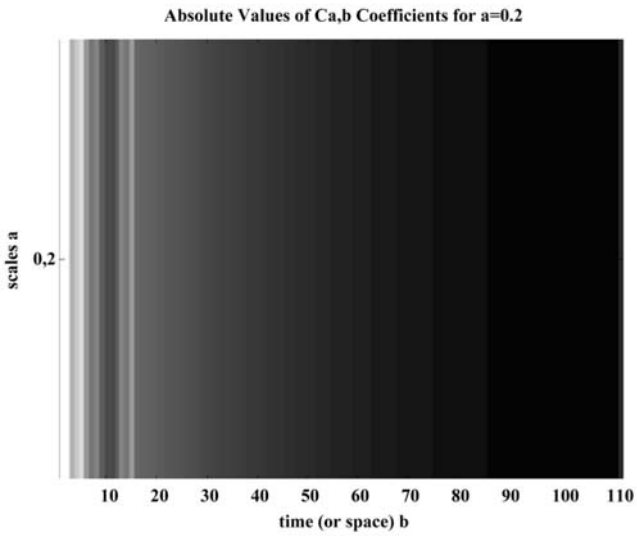


Рис. 1. Вейвлет-преобразование импульса частичного разряда

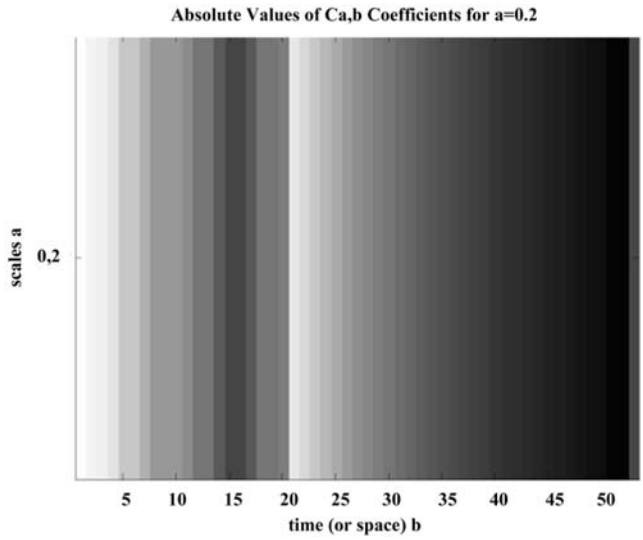


Рис. 2. Вейвлет-преобразование импульса коронного разряда

дый кластер состоял из схожих объектов, а объекты разных кластеров существенно отличались. Метод позволяет повысить информативность диагностики с помощью выявления кластерной структуры результатов эксперимента и выявления нетипичных объектов. Проблема заключается в том, что нельзя априорно задать количество кластеров и заранее предсказать плотности распределения данных вокруг их центров. Кроме того, возможно пересечение кластеров. Для решения задачи эффективно применение принципов нечёткой логики при обработке результатов регистрации ЧР, в частности принципов метода горной кластеризации [5]. Алгоритм метода следующий. На первом шаге горной кластеризации определяют точки, которые могут быть центрами кластеров. На втором шаге для каждой такой точки рассчитывается значение потенциала, показывающего возможность формирования кластера в её окрестности. Чем плотнее расположены объекты в окрестности потенциального центра кластера, тем выше значение его потенциала. После этого итерационно выбираются центры кластеров среди точек с максимальными потенциалами. Конечным результатом должна стать матрица центров кластеров и соответствующая ей матрица потенциалов центров кластеров.

Среди существующих программных средств для обработки данных с помощью алгоритмов нечёткой логики наибольшее распространение получили два продукта: Fuzzy Logic Toolbox MATLAB и fuzzyTECH [6]. Все поставленные задачи можно решить в программной среде MATLAB. Алгоритмы горной кластеризации для МДК "ЭЛЕКТРО" реализованы с помощью функции [centers, sigmas] = subclust (X, radii, xBounds, options). Функция subclust может иметь до четырёх входных аргументов, первые два из которых обязательны:

X – матрица, представляющая данные, подлежащие кластерному анализу. Каждая строка матрицы соответствует одному объекту (образу);

radii – вектор, определяющий размеры кластеров по каждой координате (длина вектора radii равна p), значения координат вектора radii должны находиться в диапазоне [0, 1];

xBounds – матрица диапазонов изменения входных данных, необходимая для масштабирования данных, заданных матрицей X;

options – вектор следующих параметров кластерного анализа: options (1) – коэффициента подавления (squash factor), значение которого по умолчанию равно 1,25; options (2) – коэффициента принятия (accept ratio), значение которого по умолчанию равно 0,5; options (3) – коэффициента отторжения (reject ratio), используемого как критерий исключения объекта из списка потенциальных центров кластеров и имеющего по умолчанию значение 0,15; options (4) – параметра, ненулевое значение которого указывает на то, что промежуточные результаты кластерного анализа будут выведены на экран, по умолчанию для этого параметра установлено значение 0.

Функция subclust может иметь до двух выходных аргументов:

centers – матрица центров найденных кластеров. Каждая строка матрицы задает координаты центра одного кластера;

sigmas – вектор радиусов кластеров.

Графический инструмент кластеризации предусмотрен GUI-модулем Findcluster, который позволяет автоматически находить центры кластеров многомерных данных с помощью нечёткого алгоритма и алгоритма субтрактивной кластеризации. Модуль Findcluster загружается по команде findcluster. На рис. 3 представлено окно модуля Findcluster.

После обработки результатов исследований, проводившихся в разное время, сравниваются матрицы центров кластеров и их потенциалов. На основе сравнения делается вывод об интенсивности процессов старения изоляции и остаточном ресурсе оборудования. Для повышения достоверности выводов целесообразно расширение номенклатуры информативных параметров ЧР.

Таким образом, можно сделать вывод о начале широкого использования принципов нечёткой логики в системах электроэнергетики. В частности, их

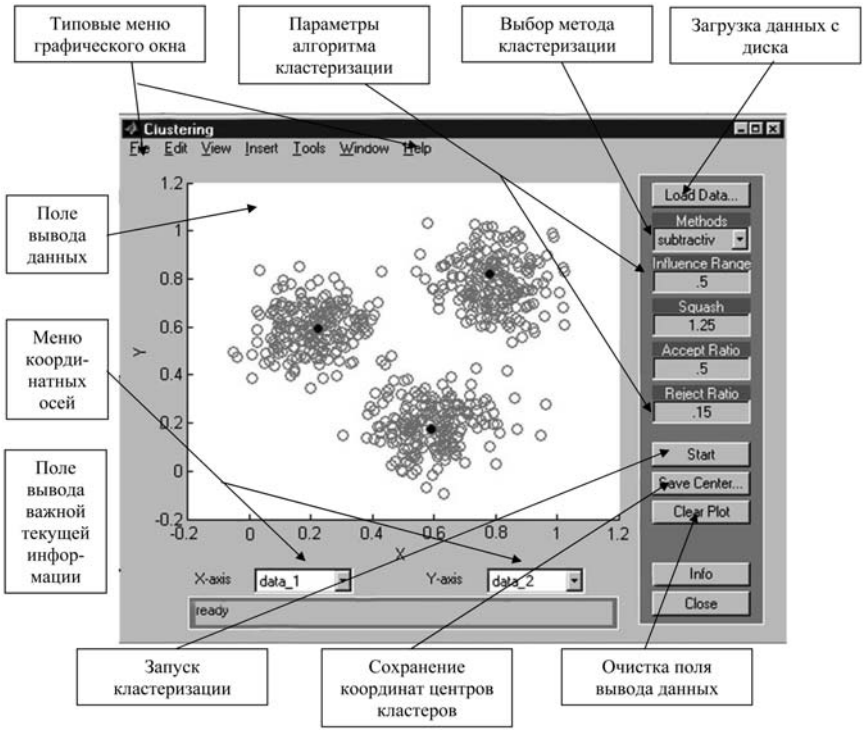


Рис. 3. Окно модуля Findcluster

применение в диагностике высоковольтного оборудования позволяет существенно снизить время на обработку результатов обследования и не требует специальной подготовки операторов, т. е. решается проблема постоянного on-line мониторинга изоляции высоковольтного оборудования, что с учётом особенностей энергетической отрасли РФ является чрезвычайно актуальным. В настоящее время четыре образца мехатронного диагностического комплекса "ЭЛЕКТРО" эксплуатируются на подстанциях Федеральной сетевой компании и Холдинга МРСК.

Библиографические ссылки

1. **Вдовико В.П.** Частичные разряды в диагностике высоковольтного оборудования. Новосибирск: Наука, 2007. 155 с.

2. **Meijer S., Gulski E., Smit J.** Pattern Analysis of Partial Discharges // IEEE Transactions on Dielectrics and Insulation. 2008. Vol. 15. № 6. P. 830–842.

3. **Шахнин В.А., Моногаров О.В., Чебрякова Ю.С.** Анализ динамических погрешностей датчиков для электрошумовой интродиагностики высоковольтного оборудования // Контроль и диагностика. 2012. № 8. С. 27–31.

4. **Бурнаев Е.В.** Применение вейвлет преобразования для анализа сигналов. М.: МФТИ, 2007. 138 с.

5. **Yager R., Filev D.** Essensials of Fuzzy Modeling and control. USA: John Wiley and Sons, 1994. 387 p.

6. **Леоненков А.В.** Нечёткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. СПб.: БХВ-Петербург, 2003. 736 с.

УДК 621.9.029.001.57

И.В. Муравьёв, канд. техн. наук, доц., **И.А. Петухов**
(Московский государственный технический университет "Станкин")

ipetukhov91@gmail.com

КОНЦЕПЦИЯ МОДУЛЬНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ В МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Рассмотрен модульный принцип представления деталей в машиностроении, дано его определение, приведены примеры. Также перечислены методы и принципы для его реализации.

Ключевые слова: модульный принцип, деталь, система.

The parts presentation modular principle in the machine building is considered, its definition is given and examples are adduced. Methods and principle for its realization are enumerated too.

Key words: modular principle, part, system.

Модульный принцип представления деталей широко применяется в различных отраслях промышленности, однако до сих пор его научные основы не разработаны. Практически отсутствует строгий понятийный аппарат, в ряде работ можно встретить самые разнообразные, нередко противоречащие друг другу понятия модуля, модульного принципа, а также классификации. Всё это затрудняет внедрение модульного принципа в машиностроительное производство и

требует проведения научных исследований в этой области.

Сегодня наиболее полно и широко модульный принцип освещён в работе [1], где сделана попытка систематизировать и обобщить результаты работ по его применению в различных отраслях промышленности. Одним из важнейших терминов является "модульный принцип".

В работе [1] справедливо отмечена необходимость строгого и единого понятия модульного принципа в технике и предложена следующая его трактовка: "Модульный принцип – особенность построения технических систем, заключающаяся в подчинении их размеров проектному модулю (модулям) и (или) в обеспечении возможности комплектования разнообразных сложных нестандартных технических систем с большим различием характеристик из небольшого, экономически обоснованного количества типов и типоразмеров одинаковых первичных (типовых или стандартных) общих модуль-элементов".

По этой формулировке имеется ряд замечаний:

модульный принцип заключается не "...в обеспечении возможности комплектования...", а в самой реализации этой возможности. Кроме того, здесь больше подходит слово "компоновка" нежели "комплектование", так как первое ближе к построению, сборке системы, а второе характеризует обеспеченность системы необходимым набором элементов;

в общем случае из модулей можно построить нестандартную, стандартную, сложную и простую системы. Поэтому слова "нестандартные" и "сложные" из формулировки следует исключить;

в формулировке указывается, что сложные системы формируют из "...экономически обоснованного количества типов и типоразмеров одинаковых первичных (типовых или стандартных) общих модуль-элементов". Во-первых, так как речь идёт о принципе построения технической системы (компоновкой), то в формулировку не надо включать экономику (последняя не является отличительным признаком принципа, а выступает в роли критерия эффективности его применения). Во-вторых, в формулировке первичные модули фигурируют как типы, что говорит об уже проведённой их типизации. Поэтому следует исключить уточнение, приведённое в скобках, и "количества типов" заменить на "номенклатура или разнообразие типов". В-третьих, наличие в формулировке определения "одинаковых" противоречит формулировке "количества типов", что говорит о принадлежности модулей разным типам. В-четвертых, нельзя согласиться с введением термина первичные модули, так как сложная система может состоять как из набора первичных модулей, так и из модулей, которые представляют собой набор первичных модулей. Кроме того, система может быть одновременно представлена модулями функциональными и конструктивными. В-пятых, непонятно с какой целью введён термин "модуль-элемент"? Слова модуль и элемент можно рассматривать в определённой степени как синонимы [2].

Принимая во внимание изложенные выше замечания, можно предложить следующую формулировку модульного принципа в технике: под модульным принципом будем понимать построение различных технических систем с разнообразными характеристиками компоновкой их из типовых модулей ограниченной номенклатуры.

Модульный принцип широко и успешно применяется в строительной индустрии, где здания строятся из стандартных элементов, а также в судостроении, машиностроении и других отраслях промышленности. При реализации модульного принципа часто используется метод базового изделия, когда при одной и той же основе изделия меняются некоторые его присоединяемые элементы (модули). Например, на одной базовой модели выпускается целое семейство автомобиля "Жигули". Аналогичный метод применяется и в станкостроении при создании на одной базовой модели несколько разных станков.

Накопленный опыт применения модульного принципа создаёт благоприятные предпосылки для его внедрения в машиностроение, т. е. когда и машиностроительные изделия, и средства их технологического обеспечения строятся из соответствующих модулей, объединённых в единую систему, что позволяет достичь эффекта несравнимо выше того, который имеется сегодня.

Реализация модульного принципа в машиностроительном производстве с позиций системного подхода требует разработки:

методов замещения объекта машиностроительного производства множеством модулей;

общих принципов построения из модулей изделий и средств технологического обеспечения (технологических процессов, оборудования, оснастки);

терминологического обеспечения;

методов унификации модулей изделий и средств их технологического обеспечения;

методов оценки эффективности модульного построения изделий и средств их технологического обеспечения.

Библиографические ссылки

1. **Васильев А.Л.** Модульный принцип формирования техники. М.: Изд-во стандартов, 2009. 238 с.

2. **Базров Б.М.** Модульная технология в машиностроении. М.: Машиностроение, 2001. 367 с.

УДК 519.248:681.51

В.Н. Клячкин, д-р техн. наук, проф., **Т.И. Святова**
(Ульяновский государственный технический университет)

v_kl@mail.ru

СТАТИСТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАССЕЯНИЯ В МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ

При статистическом контроле многопараметрического технологического процесса использована карта Хотеллинга, которая отслеживает лишь изменение среднего уровня процесса. Для контроля многомерного рассеяния процесса могут быть применены карты обобщённой и эффективной дисперсии. Сравнивается чувствительность этих карт к возможным нарушениям.

Ключевые слова: статистический контроль, многопараметрический технологический процесс, обобщённая дисперсия, эффективная дисперсия.

At the statistical control of polyvalent technological process Hotelling's card is used. This card tracks only change of the process average level. The generalized and efficient dispersion cards can be applied for control of the process polyvalent dispersion. These cards sensitivity to possible infringements is compared.

Key words: the statistical control, the polyvalent technological process, the generalized dispersion, an efficient dispersion.

Статистические методы управления технологическими процессами, регламентированные нормативными документами, предусматривают контроль процесса лишь по одному показателю качества выпускаемого изделия. Используются двойные карты Шухарта: карта средних значений для контроля среднего уровня процесса и карта размахов или стандартных отклонений для контроля рассеяния процесса [1].

Часто качество изделия характеризуется несколькими показателями, которые могут быть коррелированны между собой. В такой ситуации необходимо применение многомерных статистических методов. Основным инструментом контроля многопараметрического процесса является карта Хотеллинга [2], предназначенная для проверки гипотезы о том, что средний уровень процесса соответствует заданным спецификациям, т. е. проверяется стабильность процесса по среднему уровню. На рис. 1, *а* показан статистически управляемый процесс для двух контролируемых параметров X_1 и X_2: эллипс рассеяния лежит в заданных пределах. Нарушение процесса, связанное со смещением его среднего уровня, иллюстрирует рис. 1, *б* (именно такого рода нарушения контролируются с помощью карты Хотеллинга). На рис. 1, *в* показано нарушение процесса, связанное с увеличением технологического рассеяния.

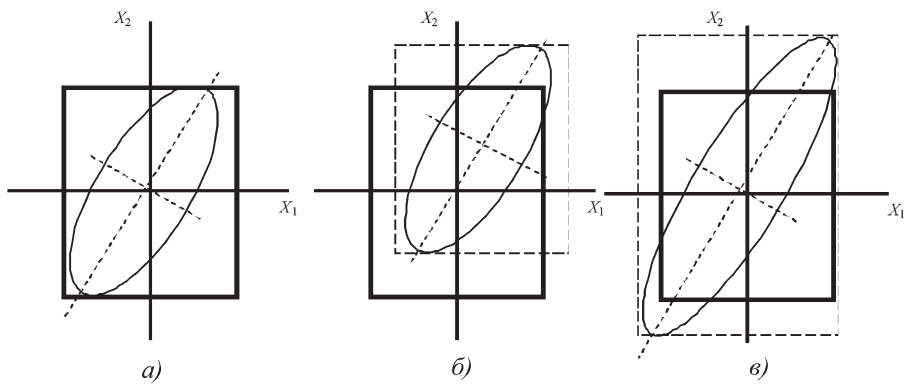


Рис. 1. Возможные нарушения процесса:
а – нарушений нет; *б* – нарушение, связанное со смещением среднего уровня процесса; *в* – нарушение, связанное с увеличением рассеяния

По вопросу оценки стабильности многомерного технологического рассеяния у специалистов пока нет единого мнения: предложены несколько различных статистических инструментов, основанных на оценке обобщённой или эффективной дисперсий [3, 4].

Контрольная карта обобщённой дисперсии. Оценка стабильности процесса по технологическому рассеянию сводится к проверке гипотезы о равенстве ковариационной матрицы процесса Σ заданному значению Σ_0, т. е. к проверке нулевой гипотезы H_0: $\Sigma = \Sigma_0$ при альтернативе H_1: $\Sigma \neq \Sigma_0$. Значи-

мое изменение рассеяния приводит к отклонению нулевой гипотезы.

Для проверки рассматриваемой гипотезы предложено использовать в качестве критерия обобщённую дисперсию – определитель ковариационной матрицы [3].

Предположим, что контролируются p показателей качества технологического процесса: через равные промежутки времени берутся p-мерные мгновенные выборки объёма n. Для каждого момента времени t формируется выборочная ковариационная матрица S_t:

$$S_t = \begin{bmatrix} s_{11t} & s_{12t} & \dots & s_{1pt} \\ s_{21t} & s_{22t} & \dots & s_{2pt} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ s_{p1t} & 2_{p2t} & \dots & s_{ppt} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

$$s_{jkt} = \frac{1}{n-1} \sum (x_{ijt} - \bar{x}_j)(x_{ikt} - \bar{x}_k), \quad (2)$$

где x_{ijt} – результат i-го наблюдения по j-му показателю в t-й выборке ($i = 1, ..., n$, j и $k = 1, ..., p$, $t = 1, ..., m$; m – количество выборок, взятых для анализа процесса).

Определитель матрицы (1) $|S_t|$ – это обобщённая дисперсия t-й мгновенной выборки.

Также вычисляются оценки средней ковариации по всей совокупности выборок

$$\bar{s}_{jk} = \frac{1}{m} \sum_{t=1}^{m} s_{jkt}, \quad (3)$$

которые образуют ковариационную матрицу S. Её определитель $|S|$ используется в качестве оценки целевой обобщённой дисперсии $|\Sigma_0|$.

При построении контрольной карты на ней откладываются выборочные значения обобщённой дисперсии $|S_t|$ для каждой t-й выборки.

Контрольные границы карты обобщённой дисперсии [3] определяются из соотношений

$$m_{|S|} \pm u_{1-\alpha/2} \sigma_{|S|}, \quad (4)$$

где $u_{1-\alpha/2}$ – квантиль нормального распределения порядка $1 - \alpha / 2$; α – уровень значимости; при обычно принимаемом значении по правилу "трёх сигма" $\alpha = 0{,}0027$; $u_{1-\alpha/2} = 3$;

математическое ожидание обобщённой дисперсии

$$m_{|s|} = b_1 |\Sigma_0|; \quad (5)$$

стандартное отклонение

$$\sigma_{|s|} = \sqrt{b_2}\, |\Sigma_0|; \quad (6)$$

коэффициенты

$$b_1 = \frac{1}{(n-1)^p} \prod_{j=1}^{p} (n-j); \quad (7)$$

$$b_2 = \frac{1}{(n-1)^{2p}} \prod_{j=1}^{p} (n-j) \left[\prod_{k=1}^{p} (n-k+2) - \prod_{k=1}^{p} (n-k) \right]. \quad (8)$$

Тогда положение верхней UCL и нижней LCL границ карты обобщённой дисперсии определяется по формуле

$$\left.\begin{matrix} UCL \\ LCL \end{matrix}\right\} = |\Sigma_0| (b_1 \pm u_{1-\alpha/2} \sqrt{b_2}). \quad (9)$$

Если при этом нижняя граница LCL окажется отрицательной, то принимается нулевое значение.

Пример расчёта. Контролировались геометрические размеры клина теплостока для электронного модуля (рис. 2).

Для контроля коррелированных параметров X_1 – длины клина 18h12 мм и X_2 – угла наклона 45°±30′ взято 15 выборок по 3 измерения в каждой. Всего проведено 45 измерений каждого показателя через равные промежутки времени.

На рис. 3 показаны карты, построенные в среде электронных таблиц OpenOffice.org Calc, свидетельствующие о статистической управляемости (все опытные точки лежат ниже соответствующих контрольных границ): карта Хотеллинга – о стабильности среднего уровня, карта обобщённой дисперсии – о стабильности рассеяния процесса.

Карта эффективной дисперсии. Карта эффективной дисперсии позволяет проверить гипотезу о равенстве рассеяния процесса заданному значению Σ_0. Вычисляется определитель матрицы (1), а затем из него извлекается корень степени p. Полученное

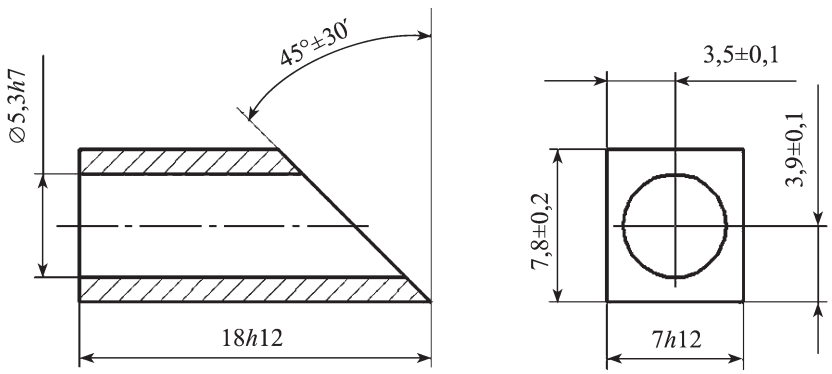


Рис. 2. Клин теплостока

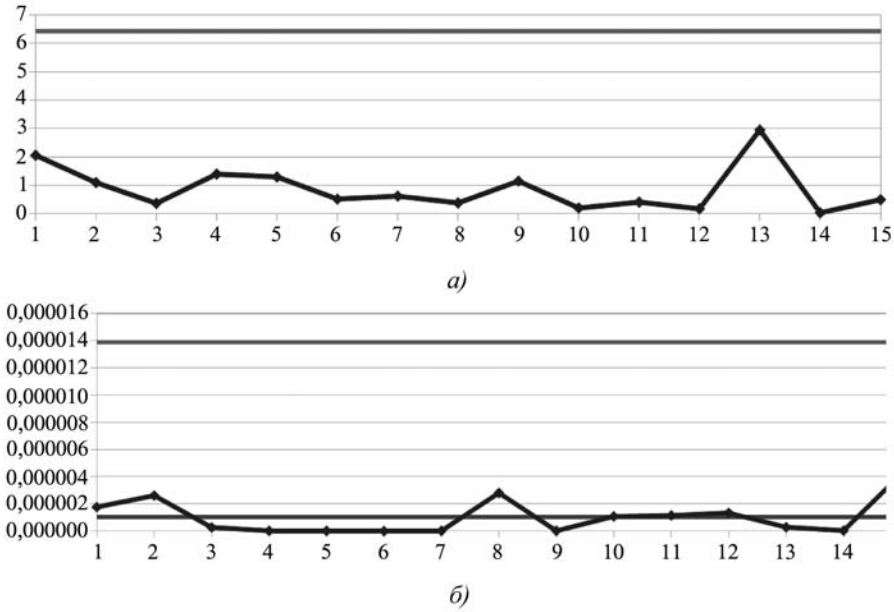


Рис. 3. Контрольные карты:
а – Хотеллинга; *б* – обобщённой дисперсии

значение $|S_t|^{1/p}$ называется эффективной дисперсией и откладывается на контрольной карте.

Карта эффективной дисперсии $|S|^{1/p}$ предложена Гарсиа-Диазом и основана на том факте, что отношение $(|S|/|\Sigma_0|)^{1/p}$ имеет распределение

$$\Gamma\left(\frac{p(n-p)}{2}, \frac{p(n-1)}{2}\left(1-\frac{(p-1)(p-2)}{2n}\right)^{1/p}\right), \quad (10)$$

где $\Gamma(a, b)$ – гамма-распределение с параметром разброса $a=\frac{p(n-p)}{2}$ и параметром формы $b=\frac{p(n-1)}{2}\left(1-\frac{(p-1)(p-2)}{2n}\right)$.

В работе [4] предложены два варианта карт эффективной дисперсии: с одной и двумя контрольными границами. Контрольные границы карты

$$UCL=|\Sigma_0|^{1/p}\,\Gamma^{\alpha/2}(a, b); \quad (11)$$

$$LCL=|\Sigma_0|^{1/p}\,\Gamma^{1-\alpha/2}(a, b), \quad (12)$$

где $\Gamma^{\gamma}(a, b)$ – квантиль Г – распределения порядка γ.

При использовании только верхней границы принимается $LCL = 0$:

$$UCL=|\Sigma_0|^{1/p}\,\Gamma^{\alpha}(a, b). \quad (13)$$

В этом случае карта отслеживает только увеличение рассеяния в то время, как карта с двумя границами контролирует как увеличение, так и уменьшение рассеяния.

В отличие от карты обобщённой дисперсии карта эффективной дисперсии позволяет оценивать стабильность рассеяния процесса при различном количестве контролируемых параметров: на практике иногда возникает ситуация, когда в разные промежутки времени стабильность процесса оценивается по различному количеству показателей.

Сравнение чувствительности контрольных карт обобщённой и эффективной дисперсии. Основной характеристикой чувствительности карты к возможным нарушениям процесса является средняя длина серий (СДС) – количество мгновенных выборок от момента нарушения процесса до момента обнаружения нарушения.

Для оценки СДС карты обобщённой дисперсии, согласно работе [3], введём в качестве характеристики превышения фактической обобщённой дисперсии при нарушении процесса $|\Sigma|$ над целевой дисперсией $|\Sigma_0|$ отношение

$$d=|\Sigma|/|\Sigma_0|\geq 1. \quad (14)$$

Средняя длина серий контрольной карты обобщённой дисперсии определяется по формуле [1]:

$$L(d)=\frac{1}{1-P(d)}, \quad (15)$$

где $P(d)$ – вероятность того, что процесс стабилен по рассматриваемому критерию обобщённой дисперсии.

Обозначив математическое ожидание $|\Sigma|$ через $m_{|\Sigma|}$, а стандартное отклонение $\sigma_{|\Sigma|}$, получим с учётом выражений (5) и (6):

$$P(d)=P(UCL<|\Sigma|<LCL)=$$
$$=\Phi\left(\frac{UCL-m_{|\Sigma\}}}{\sigma_{|\Sigma|}}\right)-\Phi\left(\frac{LCL-m_{|\Sigma|}}{\sigma_{|\Sigma|}}\right)=$$
$$=\Phi\left(\frac{|\Sigma_0|(b_1+u_{1-\alpha/2}\sqrt{b_2})-b_1|\Sigma|}{\sqrt{b_2}\,|\Sigma|}\right)-$$
$$-\Phi\left(\frac{|\Sigma_0|(b_1-u_{1-\alpha/2}\sqrt{b_2})-b_1|\Sigma|}{\sqrt{b_2}\,|\Sigma|}\right)=$$
$$=\Phi\left(\frac{u_{1-\alpha/2}-b_1(d-1)/\sqrt{b_2}}{d}\right)-$$
$$-\Phi\left(\frac{-u_{1-\alpha/2}-b_1(d-1)/\sqrt{b_2}}{d}\right).$$

Для средней длины серий карты обобщённой дисперсии получим зависимость

$$L(d) = \frac{1}{\Phi\left(\frac{-u_{1-\alpha/2} + b_1(d-1)/\sqrt{b_2}}{d}\right) - \Phi\left(\frac{-u_{1-\alpha/2} - b_1(d-1)/\sqrt{b_2}}{d}\right)}. \quad (16)$$

На рис. 4 показаны соответствующие кривые (в полулогарифмических координатах) при количестве контролируемых показателей p, построенные в системе Mathcad. Из рис. 4 следует, что для обнаружения увеличения обобщённой дисперсии в 1,5 раза при контроле двух показателей потребуется в среднем 34 выборки.

Так как наиболее важной задачей является обнаружение увеличения рассеяния технологического процесса, рассмотрим сначала контрольную карту эффективной дисперсии с одной (верхней) контрольной границей.

Для карты эффективной дисперсии с одной контрольной границей с учетом (10) получим зависимость:

$$L(d) = \frac{1}{1 - P[\Gamma(a,\ b) \le \Gamma^{(\alpha/2)}(a,\ b)/d^{1/p}]}. \quad (17)$$

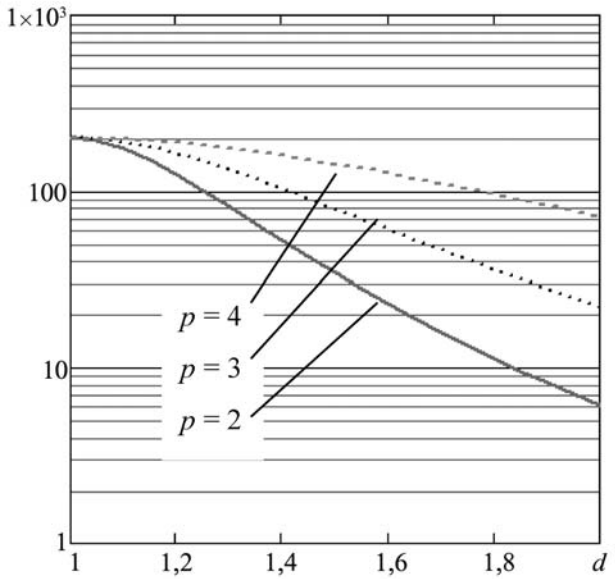


Рис. 4. Кривые средней длины серий для карты обобщённой дисперсии

Вероятность в знаменателе формулы – это значения функции гамма-распределения от аргумента $\Gamma^{\gamma}/d^{1/p}$.

Аналогичная зависимость для средней длины серий карт эффективной дисперсии с двумя контрольными границами получена в виде

$$L(d) = \frac{1}{1 - P[\Gamma(a,\ b) \le \Gamma^{(\alpha/2)}(a,\ b)/d^{1/p}] + P[\Gamma(a,\ b) \le \Gamma^{(1-\alpha/2)}(a,\ b)/d^{1/p}]}. \quad (18)$$

Расчёты по формулам (17) и (18) показывают, что чувствительность карт эффективной дисперсии значительно ниже, чем карт обобщённой дисперсии: для обнаружения увеличения рассеяния в 1,5 раза при контроле двух показателей потребуется примерно вдвое больше выборок, чем при использовании карты обобщённой дисперсии.

Выводы. В качестве инструментов для обнаружения изменения многомерного рассеяния процесса рассмотрены контрольные карты обобщённой и эффективной дисперсий. Сравнительный анализ их чувствительности к изменению рассеяния процесса показал, что карты имеют достаточно низкую эффективность. Повышения чувствительности можно достичь модификацией предложенных карт: построением карт кумулятивных сумм или экспоненциально взвешенных скользящих средних на обобщённой или эффективной дисперсиях, а также применением предупреждающих границ.

Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, соглашение 14.B37.21.0672 (федеральная целевая программа "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России").

Библиографические ссылки

1. **Уилер Д., Чамберс Д.** Статистическое управление процессами. Оптимизация бизнеса с использованием контрольных карт Шухарта. М.: Альпина Бизнес Букс, 2009. 409 с.

2. **Клячкин В.Н.** Модели и методы статистического контроля многопараметрического технологического процесса. М.: Физматлит, 2011. 196 с.

3. **Aparisi F., Jabaloyes J., Carrion A.** Statistical properties of the $|S|$ multivariate control chart // Comm. In Statistics – Theory and Methods. 1999. Vol. 28. № 11. P. 2641–2654.

4. **Garcia-Diaz J. Carlos.** The "effective variance" control chart for monitoring the dispersion process with missing data // Industrial Engineering. 2007. Vol. 1. № 1. P. 40–45.

УДК 658.512

А. Харитонов
(ООО "Сиско Системс", г. Москва)
apalladi@cisco.com

ИНФРАСТРУКТУРА ДЛЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

Описан российский опыт построения региональной образовательной ИТ-инфраструктуры на примере внедрения решений Cisco в образовательных учреждениях Татарстана.

Ключевые слова: региональная образовательная инфраструктура, электронные классы, беспроводная инфраструктура, стандарт 802.11n, унифицированные беспроводные решения Cisco, беспроводная сетевая инфраструктура Cisco Prime Infrastructure (Cisco PI).

Russian experience of the regional educational IT-infrastructure as an example of Cisco decisions implementation in the Tatarstan educational establishment is described.

Key words: regional educational infrastructure, electron classes, wireless infrastructure, standard 802.11n, unified wireless Cisco decisions, wireless network infrastructure Cisco Prime Infrastructure (Cisco PI).

В средствах массовой информации немало говорится о реформах в образовании, переходе к новой идеологии и практике педагогического процесса. Но возможна ли такая модернизация без информационных технологий? Современная молодежь с самого раннего детства сталкивается с цифровыми устройствами, сенсорным вводом, социальными сетями и возможностями Интернета, привыкая получать информацию в огромных объёмах и различных форматах. Если люди старшего возраста ещё помнят, что такое ходить в библиотеку и сидеть в читальном зале, то нынешним подросткам гораздо привычнее скачать или купить электронную книгу на сайте, а то и прочитать об интересующем их предмете в Википедии или на любом другом ресурсе. Поэтому в настоящее время вопрос создания электронной среды обучения, соответствующей мировосприятию подрастающих поколений, стал одним из важнейших.

Особую роль новые технологии образования играют в области обучения детей с ограниченными возможностями, а также в ликвидации социального и информационного неравенства, связанного с географической удалённостью и различиями в экономическом развитии регионов. Именно поэтому создание новой, надёжной системы электронного образования занимает важное место среди государственных инициатив, реализуемых в настоящее время в различных странах.

Компания Cisco имеет многолетний опыт работы со сферой образования во всём мире. В России, однако, принято настороженно относиться к любым зарубежным проектам и инициативам, пока они не будут реализованы в нашей стране. Именно поэтому массовое внедрение решений Cisco в образовательных учреждениях Татарстана, которое происходило в рамках внедрения в этой республике программы "Электронного образования", имеет особое значение для дальнейшего развития сотрудничества компании с образовательными учреждениями РФ. Власти Татарстана решили создать электронные классы практически во всех школах этого региона, предоставив ученикам и учителям доступ к электронным учебным материалам. Такой подход дал также возможность внедрить новые образовательные методы, когда педагог со своего компьютера ведёт урок, управляя подачей контента на системы, используемые учащимися.

Соглашение о взаимопонимании и сотрудничестве между Республикой Татарстан компанией Cisco было подписано 27 января 2012 г., и сначала проект был запущен в 900 школах региона. На сегодняшний день новые компьютерные классы созданы уже в 1500 образовательных учреждениях Татарстана, причём грамотное построение сети обеспечило возможность роста без увеличения операционных затрат. Впрочем, к этому мы ещё вернемся.

Создание инфраструктуры. Ни одна информационная система, включая средства очного и дистанционного обучения, не может работать без соответ-

ствующей инфраструктуры. Поэтому для того, чтобы новый подход начал приносить желаемые плоды, необходимо обеспечить надёжную среду передачи данных, установить соответствующее программное обеспечение на учительский и ученические ПК и сформировать электронную библиотеку ресурсов, которая использовалась бы при проведении уроков.

Темпы развития современной электроники говорят в пользу беспроводных технологий. Учащиеся могут использовать свои планшеты и ноутбуки или, получив их в школе, работать с ними на уроках и продолжать заниматься дома. Вместе с тем, учитывая нагрузку, создаваемую мультимедийными трансляциями и многоточечными подключениями школьников, к созданию беспроводной инфраструктуры надо подходить с большой осмотрительностью.

Например, для трансляции видео в формате Full HD 720p (что соответствует разрешению экранов большинства современных ноутбуков и планшетов компактного класса) на каждого ученика нужно выделить как минимум 5 Мбит/с. Если в классе занимаются 30 учеников, то это, как минимум, 150 Мбит/с, без учета различного рода помех и потерь. Таким образом, для организации надёжной связи, позволяющей проводить электронные уроки, необходимо использовать оборудование стандарта 802.11n, поддерживающее технологию MIMO и интеллектуальное управление радиоресурсами. При профессиональной установке такое оборудование позволяет получить пропускную способность до 450 Мбит/с и реализовать действительно эффективный компьютерный класс.

Архитектура: автономная или унифицированная? В образовании, как и во многих других отраслях, лишних средств не бывает, поэтому при закупках оптимизации бюджетов уделяется большое внимание. Поскольку в Татарстане речь шла о подключении более 1500 школ, естественно, возник вопрос: можно ли сократить издержки на создание инфраструктуры для интерактивного учебного процесса?

Существуют два варианта архитектуры построения беспроводных сетей Wi-Fi: автономная и унифицированная. С автономными устройствами, предоставляющими доступ к беспроводной сети, мы сталкиваемся каждый день дома, а также в кафе и некоторых офисах. При этом подразумевается, что одно устройство, совмещающее в себе и точку доступа, и маршрутизатор, обеспечивает полный спектр сервисов для всех клиентов, которые к нему подключаются. Использование автономных систем позволяет легко решить задачу подключения к сети на небольшой территории и для небольшого количества терминалов.

Унифицированная архитектура, в свою очередь, подразумевает наличие центрального маршрутизатора и точек доступа, часть функционала которых реализована на узловом компоненте сети, называемом контроллером. В данном случае настройка параметров сети и правил передачи трафика происходит на более мощном и интеллектуальном устройстве, контролирующем работу всех подключённых к нему точек доступа. С теоретической точки зрения, свои преимущества данный подход проявляет тем активнее, чем обширнее зона действия сети и чем больше количество точек доступа и клиентских систем, подключаемых к ним.

При выделении бюджетов на оснащение компьютерных классов в школах Татарстана по программе "Электронное образование" естественным образом возник вопрос, какая архитектура лучше всего подойдет для решения поставленных задач. Теоретизирование в данном случае было практически бессмысленным, и специалисты департамента образования Правительства РТ вместе с экспертами Cisco провели полноценное тестирование с использованием типизированных клиентских устройств – ученических ноутбуков Intel Classmate PC на базе процессоров Intel Atom со встроенными беспроводными модулями 802.11n от компании Realtek.

Тестирование. Для сравнения с предложенной департаментом образования точкой доступа были использованы такие элементы унифицированной архитектуры, как двухдиапазонная точка доступа AIR-LAP1142-R-K9, контроллер AIR-CT5508-12-K9, WLC SW 7.3 и система упрвления Prime Infrastructure 1.1. Тестирование проводилось с использованием ПО, предназначенного для реализации электронного класса, – MandrivaClass. Данный продукт соответствует требованиям, предъявляемым к современным системам электронного обучения. К точке доступа подключалось 30 клиентских устройств, расположенных в помещении на партах учеников. Между учительским и ученическими компьютерами проводилась передача различных видов трафика (индивидуальный, широковещательный, передача данных, передача видео).

Для того чтобы полнее оценить потребности систем обучения и востребованность таких технологий, как multicast, тестирование унифицированной архитектуры проводилось по трём сценариям:

ученики подключаются по технологии 802.11n в диапазоне 2,4 ГГц, учительский ноутбук подключается также по технологии 802.11n, но в диапазо-

не 5 ГГц на одну двухдиапазонную точку доступа. Для групповой передачи видео используется функционал multicast direct;

ученики подключаются с использованием технологии 802.11g в диапазоне 2,4 ГГц, учительский ноутбук также подключается по технологии 802.11g в диапазоне 2,4 ГГц (для этого на двухдиапазонной точке доступа был принудительно отключён режим 5 ГГц). Для групповой передачи видео используется функционал multicast direct;

ученики подключаются с использованием технологии 802.11g в диапазоне 2,4 ГГц, учительский ноутбук также подключается по технологии 802.11g в диапазоне 2,4 ГГц (для этого на двухдиапазонной точке доступа был принудительно отключён режим 5 ГГц). Функционал multicast direct отключён.

Результаты тестирования. Унифицированная архитектура имеет серьёзные преимущества перед автономной, даже если речь идет об оснащении лишь одного класса и использовании одной точки доступа. Более того, в процессе нашего тестирования при подключении к автономной точке доступа при большой нагрузке (весь класс смотрит видео) некоторые ноутбуки периодически теряли связь с сетью, так как автономная точка доступа была попросту перегружена. На некоторых ноутбуках передача слайдов отставала на несколько секунд из-за того, что отсутствие специальных механизмов борьбы с помехами на автономной точке доступа приводило к постоянной конкуренции между клиентами.

Что касается использования дополнительного диапазона для подключения учительского ноутбука и специализированных функций по обработке трафика с групповой адресацией (multicast), то эти технологии не только повысили стабильность сети, но и позволили добиться качественного улучшения скорости передачи данных и сокращения задержек при передаче необходимой информации на экраны ученических компьютеров.

Дальнейшие перспективы. Несмотря на доступность автономной архитектуры, результаты тестирования показали её непригодность для развития электронного образования, и еще в 2012 г. в школах Татарстана началось активное оснащение компьютерных классов унифицированными беспроводными решениями Cisco.

В процессе воплощения данного проекта унифицированная архитектура показала дополнительные преимущества: при оснащении нескольких классов, находящихся в "радиодоступности" друг от друга, а также при размещении дополнительных точек доступа в коридорах централизованный подход избавил ИТ-специалистов от необходимости ручного радиопланирования и позволил создать полноценное покрытие без пробелов путём добавления точек доступа в нужных местах. Кстати, учителя и ученики принимали активное участие в диагностике и улучшении параметров сетей, которыми они активно пользуются уже сегодня.

Как уже говорилось, на данный момент примерно 1500 средних учебных заведений этого региона используют общую сеть. Более того, весной 2013 г. с департаментом образования Республики Татарстан были проведены переговоры о предоставлении нового решения для унифицированного управления проводной и беспроводной сетевой инфраструктурой Cisco Prime Infrastructure (Cisco PI). Данный продукт позволяет добиться повышенной отдачи от сетевой инфраструктуры, объединяющей все школы республики. Помимо повышения удобства за счет объединения инструментов управления беспроводной и проводной сети Cisco PI делает возможным предоставление необходимых ресурсов для приложений по требованию, а также реализует контроль подключения мобильных устройств и обеспечение заданного качества сервиса во всей сети. При этом уже в первом приближении стало очевидно, что решение позволит заказчику значительно снизить операционные затраты на поддержку сети, одновременно повышая уровень защищённости и устойчивости инфраструктуры.

В случае необходимости дальнейшего оснащения классов и создания зон общего доступа к беспроводной сети нужно будет лишь подключить к центральному коммутатору дополнительную точку доступа. Все остальные настройки, выбор диапазона, калибровка и сочетание нового сегмента сети с существующими будут выполняться автоматически. Такая гибкость открывает дополнительные возможности и преимущества, которыми школы Татарстана смогут воспользоваться уже в ближайшем будущем.

Накопленный опыт. Подводя итоги проведённых тестов и работ по подключению школ в республике, можно сказать, что уже существуют опробованные и доказавшие свою эффективность архитектура и идеология построения сетей для образовательных учреждений России. В случае тиражирования решения на другие регионы, даже если речь идёт пока о подключении только одного компьютерного класса, унифицированная архитектура позволяет добиться именно той стабильности, которая необходима для ведения интерактивных уроков и использования мультимедийных материалов для группового и дистанционного обучения.

УДК 519.83

С.А. Тихомиров, канд. фил. наук
(Московский педагогический государственный университет)
quantor@inbox.ru

ТЕОРИЯ ИГР В ПРАКТИКЕ УПРАВЛЕНИЯ И УПРАВЛЕНЧЕСКИХ КОММУНИКАЦИЯХ

Рассмотрены особенности применения инструментария теории игр в системе корпоративного управления, управленческом учёте и управленческих коммуникациях. Представлены кибернетическо-математические средства принятия оптимальных решений в рамках построения стратегий и тактик в "игровых ситуациях". Приведены характеризующие признаки игры как математической модели экономической ситуации. Показано, что применение теории игр для принятия стратегических управленческих решений эффективно в проведении ценовой политики, экспансии на новые рынки, различных формах кооперации, определении лидеров и исполнителей в области НИР и инноваций, вертикальной интеграции и т. д.

Ключевые слова: теория игр, управленческий учёт, коммуникации, кибернетическо-математические средства, принятие оптимальных решений, стратегия, тактика, математический объект, функция, нормальная или экстенсивная форма, эффективность, цена, политика, экспансия, рынки, кооперация, лидер, исполнитель, инновация, вертикальная интеграция.

The application features of the game theory tools in corporate direction, management accounting and managerial communication are considered. Cybernetic and mathematical tools for optimal decisions acceptance in the strategies and tactics construction framework for the so-called "Game situations" are introduced. Game characteristic indications as mathematical model of the economic situation are adduced. It is shown that application of the games theory for acceptance of strategic administrative decisions effectively in carrying out price policy, expansion on the new markets, various forms of cooperation, leaders and performers definition in the field of SRW and innovations, vertical integration etc.

Key words: game theory, management accounting, communications, cybernetic and mathematical tools, optimal decision acceptance, strategy, tactics, mathematical object, function, normal and extensive form, efficiency, price, policies, expansion, markets, cooperation, leader, executor, innovation, vertical integration.

В последние годы значение теории игр существенно возросло во многих областях экономических наук. В экономике данная теория применима не только для решения общехозяйственных задач, но и анализа стратегических проблем отраслей, рынков, предприятий, разработок организационных структур, систем управленческого учёта и форм стимулирования эффективной деятельности. С помощью теории игр менеджмент предприятия может предусмотреть ходы своих партнёров и конкурентов.

В настоящее время теории игр как одному из подходов в управленческой аналитике не придаётся должного значения. Данная теория показывает прекрасные результаты в прикладной математике. Первоначально теория игр развивалась в рамках экономической науки, изучая поведение экономических агентов в различных ситуациях. Позднее область её применения была расширена при использовании в других социальных науках (политологии, социологии и психологии для объяснения поведения людей). Теоретико-игровой анализ также можно использовать в управленческом учёте, при анализе коммуникативных практик, поведения экономических агентов в системах внутренних и внешних коммуникаций крупных компаний, игроков рынков.

Первые работы по теории игр отличались упрощённостью предположений и высокой степенью формальной абстракции, что делало их малопригодными для практического использования в менеджменте. За последние 25 лет положение изменилось. Прогресс в промышленности и третьем секторе экономики доказал плодотворность методов теории игр в прикладной сфере, в частности — менеджменте.

Управление понимается как функция системы, направленная на её выживание с помощью координации, организации, упорядочения элементов как между собой (внутри себя), так и с внешней средой

[1, 2]. В то же время управление представляет собой деятельность субъекта менеджмента, направленную на изменение состояния объектов и (или) субъектов (в том числе и себя) по заранее продуманному сценарию, включающему стратегические, тактические и оперативные подсценарии с точки зрения теории игр. При этом менеджмент – это всегда деятельность по приведению объективного процесса к субъективно выбранной цели. В основе любого управления лежит именно целеполагание.

Отметим, что теория игр – это математический метод изучения оптимальных решений в рамках построения тактик и стратегий в "игровых ситуациях". Под игрой подразумевается конкурентный процесс, в котором участвуют две стороны (и более), ведущие борьбу за реализацию своих интересов. Причём каждая из сторон (игроков) имеет собственную определённую цель ("победа в игре"), которая при использовании набора стабильных, вариативных и нестабильных (включая стохастические) тактик и стратегий может привести к победе (или проигрышу) одних в зависимости от поведения других игроков. Теория игр способна помочь в выстраивании эффективных стратегий и тактик в менеджменте, управленческом учёте, прикладном маркетинге, позволяя выбрать лучшие стратегии с учётом представлений о других игроках-участниках, их ресурсных возможностях и потенциале, а также возможных поступках с учётом существующих рисков.

В данном аспекте теория может быть использована управленцами в принятии решений. При этом необходимо отличать теорию игр от теории принятия решений, так как теория игр – это раздел исследования операций. Очень важное значение данная теория имеет для изучения (моделирования) поведения искусственных интеллектуальных агентов и в изучении кибернетических систем, процессов и особенностей коммуницирования.

Следует отметить, что "оптимальные решения" или "лучшие стратегии" в математическом моделировании предлагались ещё в XVIII в. Задачи производства и ценообразования в условиях олигополии, ставшие позже хрестоматийными примерами теории игр, рассматривались в XIX в. А. Курно и Ж. Бертраном. В начале XX в. Э. Ласкер, Э. Цермело и Э. Борель выдвинули идею математической теории конфликта интересов. Математическая теория игр берёт своё начало из неоклассической экономики. Впервые математические аспекты и приложения теории были изложены в работе [3].

Эта область математики нашла отражение в коммуникативной практике и корпоративной культуре. В своих трудах Дж. Нэш разработал принципы "управленческой динамики". Первые концепции теории игр анализировали антагонистические игры, когда есть проигравшие и выигравшие за их счёт игроки. Нэш разработал методы анализа, в которых все участники или выигрывают, или терпят поражение. Такие ситуации получили названия "равновесие по Нэшу", или "некооперативное равновесие", когда стороны используют оптимальную стратегию, что приводит к созданию устойчивого равновесия.

Фактор устойчивого равновесия очень важен в рыночной экономике. Игрокам выгодно сохранять это равновесие, так как любое изменение ухудшит их положение. Работы Дж. Нэша сделали серьёзный вклад в развитие теории игр – были пересмотрены математические инструменты экономического моделирования. Дж. Нэш показал, что классический подход к конкуренции А. Смита, когда каждый преследует исключительно эгоистические интересы, т. е. сам за себя, – неоптимален. Более оптимальны стратегии, когда каждый старается сделать лучше для себя, делая лучше для других.

Хотя теория игр первоначально и рассматривала экономические модели, но формально оставалась теорией в рамках математики. С 1950-х гг. уже начались попытки применения методов теории игр в экономике, а также теории и практике коммуникаций, биологии, кибернетике, технике. Во время Второй мировой войны и сразу после неё теорией игр серьёзно заинтересовались военные ведомства и НИИ, которые увидели в ней мощный аппарат для исследования стратегических решений.

С середины 1980-х гг. началось активное практическое использование теории игр, особенно в экономике и менеджменте. За последние 20–30 лет интерес к данной теории значительно вырос – некоторые направления современной экономической теории невозможно изложить без применения теории игр.

К примеру, работа Т. Шеллинга "Стратегия конфликта" рассматривает различные "стратегии" поведения участников конфликта. Эти стратегии совпадают с тактиками управления конфликтами, принципами их анализа в конфликтологии (психологическая дисциплина) и управлении конфликтами в организации (теория менеджмента). Игры также используются для обучения в бизнес-кейсах, семинарах основоположника организационно-деятельностного подхода Г.П. Щедровицкого [4–9].

Во время Перестройки в СССР Г.П. Щедровицкий провёл множество игр с советскими управлен-

цами. Математическая теория игр сейчас бурно развивается, но математический аппарат теории игр – затратен [10]. Его применяют для оправданных задач в политике, экономике монополий, распределении рыночной власти и т. п. Ряд известных ученых стали Нобелевскими лауреатами по экономике за вклад в развитие теории игр, которая описывает социально-экономические процессы. Так, нобелевский лауреат Дж. Нэш, благодаря своим исследованиям в теории игр, стал одним из ведущих специалистов в области ведения "холодной войны", что подтверждает масштабность задач, которыми занимается теория игр.

Существует гипотеза, что с помощью определения равновесия в соответствующих играх можно предсказать поведение человеческих популяций в ситуации реальной конфронтации. Такой подход к теории игр в последнее время подвергается критике: предположения, используемые при моделировании, нередко нарушаются в реальной экономической ситуации. Предполагается, что игроки выбирают поведение, максимизирующее их суммарную выгоду (модель поведения "экономического человека"), но на практике реальное поведение часто не соответствует этой предпосылке по таким причинам, как: иррациональность, наличие элементов "двойного послания" (ДП) в системе управления, моделирование обсуждения, иные иррациональные мотивы игроков (включая альтруизм). Теория игр может использоваться и как разумная идеальная модель по аналогии с такими же моделями в физике. Однако игроки часто не следуют равновесным стратегиям на практике (в играх "Сороконожка", "Диктатор" часто не используют профиль стратегий, составляющий равновесие по Нэшу). Согласно другой точке зрения, равновесие по Нэшу не является каким-либо однозначным сценарием поведения игроков, а только объясняет, почему игроки, уже находящиеся в равновесии по Нэшу, остаются в этом состоянии. Вопрос о том, как игроки приходят к равновесию Нэша, остаётся открытым.

В то же время модели эволюционной теории игр предполагают ограниченную рациональность или нерациональность игроков. С другой стороны, многие исследователи рассматривают теорию игр не как инструмент предсказания поведения, а как инструмент анализа ситуаций для выявления наилучшего поведения рационального игрока. Поскольку равновесие Нэша включает стратегии, являющиеся наилучшим откликом на поведение другого игрока, использование концепции равновесия Нэша для выбора поведения выглядит обоснованно. Но в некоторых случаях игроку выгодно выбрать стратегию, не входящую в равновесие, если он ожидает, что другие игроки тоже не будут следовать равновесным стратегиям. Так, игра "Дилемма заключённого" позволяет привести пример: следование личным интересам приводит к тому, что оба игрока оказываются в худшей ситуации по сравнению с той, в которой они пожертвовали бы личными интересами.

Отметим, что некооперативные игры описывают ситуации в управленческом учёте детальнее и выдают более точные результаты, а кооперативные рассматривают процессы в целом. Учёт двух подходов демонстрирует программа Нэша, предлагающая решения некоторых кооперативных игр как ситуации равновесия некооперативных игр. Отдельные гибридные игры включают элементы кооперативных и некооперативных игр. Многие известные игры для двух игроков симметричны: "Дилемма заключённого", "Охота на оленя", "Ястребы и голуби" (можно изменить платёжные матрицы так, чтобы эти игры стали несимметричными). В качестве примеров несимметричных игр можно назвать "Ультиматум" или "Диктатор". В управленческом учёте активно могут использоваться игры с нулевой суммой, т. е. постоянной суммой, где игроки не могут увеличить или уменьшить имеющиеся ресурсы или фонд игры. Примеры: покер, где один выигрывает все ставки других; реверси, где захватываются фишки противника (ср. также с воровством). Многие игры, в том числе "Дилемма заключённого", иного рода: в играх с ненулевой суммой выигрыш какого-то игрока не обязательно означает проигрыш другого и наоборот. Исход такой игры – меньше или больше нуля, возможен фактор нулевой суммы посредством включения в игру фиктивного игрока, приобретающего или восполняющего излишек, т. е. будет ли игра с "нулевой" или "ненулевой" суммой – зависит от её формализации. Например, игрой с отличной от нуля суммой является торговля, в которой все участники извлекают выгоду. Примером, где сумма уменьшается, является военный конфликт.

Вместе с тем, в параллельных играх игроки ходят одновременно и не знают о выборе других до тех пор, пока все не сделают свой ход. В последовательных (динамических) играх участники могут делать ходы в заранее установленном или случайном порядке, но имея, как минимум, неполную информацию о предшествующих действиях других игроков (например, противник "А" из 15 своих стратегий точно не выбрал четыре, а противник "В" – пять, которому при этом ничего не известно об остальных стратегиях противников).

Также в теории множеств рассматриваются игры, продолжающиеся бесконечно долго, поэтому

победитель и его выигрыш не определены до окончания всех ходов (задача в этом случае чаще всего состоит не в поиске оптимального решения, а в выигрышной стратегии). Большинство изучаемых игр дискретны.

В системах управления важную роль играют метаигры, результатом которых является совокупность сценарных регламентов для других игр (целевых или игр-объектов) с целью увеличения эффективности получаемого набора правил (нередко на основе теории оптимальных механизмов).

Собственно игры представляют собой строго определённые математические объекты. Игра образуется игроками с набором стратегий для каждого из них и указанием их выигрышей или платежей для каждой комбинации стратегий. Большинство кооперативных игр описывается характеристической функцией, в то время как для остальных видов чаще используется нормальная или экстенсивная форма. Существуют характеризующие признаки игры как математической модели ситуации: наличие двух и более участников; неопределённость поведения участников, связанная с наличием у каждого из них нескольких вариантов действий; различие (несовпадение) интересов участников; взаимосвязанность поведения участников, поскольку получаемый каждым из них результат зависит от поведения всех участников; наличие правил поведения, известных всем участникам ("единые правила", которые игрок не может нарушить).

В последнее время эти методы проникли и в управленческую практику. Вполне вероятно, что теория игр, наряду с теориями трансакционных издержек и "патрон–агент", будет восприниматься как наиболее экономически обоснованный элемент теории управления и организации. Следует отметить, что уже в 1980-х гг. М. Портер ввёл в обиход некоторые ключевые понятия теории (в частности, "стратегический ход" и "игрок"). Однако эксплицитный анализ, связанный с концепцией равновесия, в этом случае ещё отсутствовал.

Игры охватывают, как правило, несколько периодов, в течение которых игроки предпринимают последовательные или одновременные действия, которые обозначаются термином "ход". Действия могут быть связаны с ценами конкурентов, объёмами продаж компании, затратами на маркетинговые мероприятия, научные исследования, логистику и т. д. Периоды, в течение которых игроки делают свои ходы, называются этапами игры. Выбранные на каждом этапе ходы в конечном счёте определяют "платежи" (выигрыш или убыток) каждого игрока, которые могут выражаться в материальных ценностях или деньгах (преимущественно дисконтированная прибыль).

Ещё одним основным понятием данной теории является стратегия игрока, т. е. все возможные действия, позволяющие игроку на каждом этапе игры выбирать из определённого количества альтернативных вариантов такой ход, который представляется ему "лучшим ответом" на действия других игроков (принятие решения). Относительно концепции управленческой стратегии следует заметить, что игрок определяет свои действия не только для этапов, которых фактически достигла конкретная игра, но и всех ситуаций, включая те, которые могут не возникнуть в ходе данной игры. Обычно выделяют нормальную, или матричную, и развёрнутую форму, заданную в виде дерева.

Чтобы установить первую связь со сферой управления, игру можно описать следующим образом. Два предприятия, производящие сходную продукцию, стоят перед выбором. В одном случае они могут войти на рынок посредством высокой цены, которая обеспечит им среднюю картельную прибыль $П_К$. При вступлении в жёсткую конкурентную борьбу или "ценовую войну" они получают прибыль $П_W$. Если один из конкурентов устанавливает высокую цену, а второй – низкую, последний реализует монопольную прибыль $П_М$, другой же несёт убытки $П_G$. Такая ситуация может возникнуть, если обе компании должны объявить свою цену, которая впоследствии не может быть существенно изменена.

При отсутствии жёстких условий обоим предприятиям выгодно определить низкую цену. Стратегия "низкой цены" является доминирующей для любой компании вне зависимости от того, какую цену выбирает конкурирующая компания: всегда предпочтительнее устанавливать низкую цену. Но в таком случае перед компаниями возникает дилемма, так как прибыль $П_К$ (которая для обоих игроков выше, чем прибыль $П_W$) не достигается. Стратегическая комбинация "низкие цены/низкие цены" с соответствующими платежами представляет собой равновесие Нэша, при котором ни одному из игроков невыгодно сепаратно отходить от выбранной им стратегии. Подобная концепция равновесия является принципиальной при разрешении стратегических ситуаций, но при определённых обстоятельствах она всё же требует усовершенствования.

Что касается указанной выше дилеммы, то её решение зависит, в частности, от уникальности ходов игроков. Если предприятие имеет возмож-

ность пересмотреть свои стратегические переменные (в данном случае цену), то может быть найдено некое кооперативное решение проблемы без жёсткой регламентации позиций игроками по отношению друг к другу. При многократных контактах игроков появляются возможности прийти к приемлемой "компенсации". Так, при известных обстоятельствах нецелесообразно стремиться к краткосрочной сверхприбыли с помощью ценового демпинга, если в дальнейшем может возникнуть "ценовая война".

Предоставление игры в нормальной форме, как правило, отражает принцип "синхронности", который означает не столько "одновременность" событий, сколько определяет то, что выбор стратегии игроком осуществляется в условиях неведения о выборе стратегии игроком-соперником. При развёрнутой форме такая ситуация реализуется через овальное пространство (или информационное поле), в отсутствие которого игровая ситуация приобретает такой характер: сначала решение принимает один игрок, а другой – уже после него.

Применение теории игр для принятия стратегических управленческих решений эффективно в проведении принципиальной ценовой политики, экспансии на новые рынки, различных формах кооперации и создании совместных предприятий, определении лидеров и исполнителей в области НИР и инноваций, вертикальной интеграции и т. д. Положения данной теории можно использовать для всех видов управленческих решений, если на их принятие влияют другие действующие лица. Этими лицами, или игроками, необязательно должны быть рыночные конкуренты; в их роли могут выступать субпоставщики, ведущие клиенты, сотрудники организаций. Инструментарий теории игр особенно эффективен, когда между участниками процесса существуют важные зависимости в области платежей.

Приведём пример с соперничеством компаний в области технологического лидерства. Исходной является ситуация, когда предприятие "А" ранее обладавшее технологическим превосходством, в настоящее время располагает меньшими финансовыми ресурсами для научных исследований и разработок (НИР), чем его конкурент "В". Оба предприятия решают дилемму: попытаться ли с помощью крупных капиталовложений добиться доминирующего положения на данном рынке в соответствующей технологической области? Если оба конкурента инвестируют крупные средства, то перспективы на успех у предприятия "А" будут лучше, хотя оно и понесёт большие финансовые расходы (как и предприятие "В"). Ситуация может быть представлена платежами с отрицательными значениями.

Для предприятия "А" оптимальнее, если предприятие "В" откажется от конкуренции. Его выгода в таком случае составила бы три платежа. С большой вероятностью предприятие "В" победило бы в "ценовой войне", если предприятие "А" приняло бы секвестированную политику инвестиций, а предприятие "В" – объёмную и масштабную. Анализ ситуации показывает, что равновесие наступает при высоких затратах на НИР предприятия "В" и низких – предприятия "А". При любом другом сценарии развития событий у каждого из конкурентов появляется мотивация для отклонения от стратегической комбинации: для предприятия "А" выгоднее будет сокращённый бюджет, если предприятие "В" откажется от участия в конкурировании; одновременно предприятию "В" известно, что при низких затратах конкурента ему выгодно инвестировать в НИР.

Предприятие, обладающее технологическим преимуществом, может прибегнуть к анализу ситуации на базе теории игр, чтобы в конечном итоге добиться оптимального решения. С помощью внешних коммуникаций оно может сигнализировать окружению на рынке, что готово осуществить крупные затраты на НИР. Если такой сигнал не поступает, для предприятия "В" в нормальной ситуации управления становится понятно, что предприятие "А" выбирает вариант низких затрат.

О достоверности сигнала, как правило, в современной практике свидетельствуют "внешние" обязательства предприятия. В данном случае это могут быть сигналы о закупке новых лабораторий или найме на работу дополнительного высококвалифицированного и высокооплачиваемого научно-исследовательского персонала. С точки зрения теории игр данные обязательства равнозначны изменению хода игры: ситуация одновременного принятия решений сменяется ситуацией последовательных ходов. Предприятие "А" недвусмысленно демонстрирует намерение осуществить крупные затраты, предприятие "В" фиксирует этот сигнал, и у него нет более мотивации для участия в соперничестве. Новое равновесное состояние определяется здесь ситуацией "неучастие предприятия В" и "высокие затраты на НИР предприятия А".

С помощью инструментария теории игр достаточно эффективно определить, при каких условиях двум "недружественно" настроенным партнёрам целесообразно сотрудничать и добиваться оптимальных для них результатов – достичь ситуации "выиг-

рыш/выигрыш". Необходимо отметить определённые ограничения в применении аналитического инструментария теории игр, который может быть использован в трёх случаях только при условии получения дополнительной информации либо коренной перестройки системы принятия решений:

1. У предприятий сложились разные представления об игре, в которой участвуют, они недостаточно информированы о возможностях друг друга; либо менеджмент поражён элементами ДП, при этом задачами управления являются уже не объединение, интеграция всех сторон и аспектов деятельности организации и участков, их частных целей для достижения общей цели данной системы, а воспроизводство ложных "карт" с отрывом от территории (аналогов "негативных симулякров"). Например, может иметь место неясная/искажённая информация о платежах конкурента (структуре издержек). При этом, если ситуация характеризуется только неполнотой не очень сложной информации (и нет искажения управленческих коммуникаций за счёт элементов ДП), то вполне эффективно можно оперировать сопоставлением подобных случаев с учётом определённых различий.

2. Теорию игр довольно неэффективно применять при множестве ситуаций равновесия. Проблема неэффективности может возникнуть даже в ходе простых игр с одновременным выбором стратегических решений.

3. Если ситуация принятия стратегических решений – сложная или сверхсложная, игроки часто не могут выбрать лучшие для себя варианты решений в рамках инструментария теории игр.

При усложнении игры до десяти и более этапов игроки уже не в состоянии пользоваться эффективными алгоритмами и продолжать игру с равновесными стратегиями [11]. При искажении управленческих коммуникаций и учёте за счёт элементов ДП неэффективно принципиальное, лежащее в основе теории игр предположение о так называемом "общем знании" (игра со всеми правилами известна игрокам, и каждый из них знает, что все игроки осведомлены о том, что известно остальным партнёрам по игре – такое положение сохраняется до конца игры). Тем более такие предпосылки, как "взаимное знание" или "рационализируемые стратегии", для системы принятия решений с ДП не имеют никакого значения.

В заключение отметим, что теория игр является очень сложной областью экономико-математического, коммуникативного и семантического знания. При её использовании необходима умеренность и чёткое знание границ применения. Упрощённые толкования, принимаемые компанией самостоятельно или при помощи консультантов, могут быть крайне опасны. Игры, как правило, длятся конечное число ходов. Математика не так ограничена, и в частности, в теории множеств рассматриваются игры, способные продолжаться бесконечно долго. Причём победитель и его выигрыш не определены до окончания всех ходов. Задача, которая обычно ставится в этом случае, состоит не в поиске оптимального решения, а хотя бы выигрышной стратегии. Используя аксиому выбора, можно доказать, что иногда даже для игр с полной информацией и двумя исходами ("выиграл" или "проиграл") ни один из игроков не имеет такой стратегии. Существование выигрышных стратегий для некоторых особенным образом сконструированных игр играет важную роль в дескриптивной теории множеств.

Управленческий анализ и аудит на основе теории игр из-за её сложности можно рекомендовать только для особо важных проблемных областей менеджмента. Опыт некоторых компаний убеждает в том, что использование инструментария теории игр предпочтительно при принятии однократных, принципиально важных стратегических (либо тактических) решений, например при подготовке крупных договоров в сфере слияний и поглощений, масштабной экспансии на рынки и т. п.

Библиографические ссылки

1. **Стаффорд Б.Э.** Наука управления / пер. Л.Л. Какунина. М.: Энергия, 1971. 112 с.

2. **Халиков М.И.** Система государственного и муниципального управления: учеб. пособие. М.: Флинта, 2008. 448 с.

3. **Нейман фон Дж., Моргенштерн О.** Теория игр и экономическое поведение. М.: Наука, 1970. 983 с.

4. **Щедровицкий Г.П.** Избранные труды. М.: Шк. культ. полит., 1995. 759 с.

5. **Щедровицкий Г.П.** Знак и деятельность. Кн. I. Структура знака: смыслы, значения, знания. 14 лекций 1971 г. М.: Вост. лит., 2005. 463 с.

6. **Щедровицкий Г.П.** Знак и деятельность. Кн. II. Понимание и мышление. Смысл и содержание. 7 лекций 1972 г. . М.: Вост. лит., 2006. . 353 с.

7. **Щедровицкий Г.П.** ОРУ (1): Оргуправленческое мышление: идеология, методология, технология. Курс лекций / из архива Г.П. Щедровицкого. Т. 4. М.: Путь, 2000. 382 с.

8. **Щедровицкий Г.П.** ОРУ (2): Методология и философия оргуправленческой деятельности: основные понятия и принципы. Курс лекций / из архива Г. П. Щедровицкого. Т. 5. М.: 2003. 288 с.

9. **Щедровицкий Г.П.** Знак и деятельность. Кн. III. Методологический подход в языковедении. 11 лекций 1972–1979 гг. М.: Шк. культ. пол., 2007. 448 с.

10. **Дубина И.Н.** Основы теории экономических игр: учеб. пособие. М.: Кнорус, 2010. С. 10.

11. **Тихомиров С.А.** Гипербола и феномен преувеличения: Лингвистика и политическая коммуникация (градуальный аспект). Саарбрюккен: LAP, 2012. 346 с.

УДК 664.95:681.3(06)

С.П. Сердобинцев, д-р техн. наук, проф., **В.С. Ханевич**
(Калининградский государственный технический университет)

hvsvs@mail.ru

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСНОГО ПОДХОДА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ УПРАВЛЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ РЫБНОГО СЫРЬЯ ПО ВИДАМ ПЕРЕРАБОТКИ

Рассмотрено решение задачи рационального распределения рыбного сырья по видам переработки с помощью комплексного подхода, основанного на сочетании фундаментальных математических методов принятия решений и рекомендаций технологов.

Ключевые слова: рыбопереработка, рыбное сырьё, виды переработки, метод анализа иерархий, нечёткая информация, критерий, альтернатива, кластерный анализ, дендрограмма.

The task decision of the fish raw materials rational distribution according to processing types by means of an integrated approach based on the combination of fundamental mathematical methods for decisions acceptance and technologists recommendations is considered.

Key words: fish processing, fish raw materials, processing types, hierarchy analysis method, fuzzy information, alternative, criteria, cluster analysis, dendrogram.

Рыбное сырьё является ценнейшим источником белка, аминокислот, жирных кислот и минеральных веществ. Используется для выпуска пищевой, кормовой и технической продукции, а также производства медицинских препаратов. Обеспечение населения высококачественными и полезными продуктами питания из рыбы – актуальная задача рыбоперерабатывающей отрасли.

В зависимости от вида переработки рыбного сырья в торговой сети реализуется рыба охлаждённая, замороженная, солёная, вяленая, копчёная, консервы, пресервы, кулинарная продукция, полуфабрикаты, икра.

На основании статистических данных [1] выявлено, что среди россиян большим спросом пользуются замороженная рыба (35 % от общего объёма потребления), а также морепродукты (16 %) и сельдь солёная (15 %). Среди упакованной рыбопродукции наибольшее предпочтение потребители отдают пресервам в пластиковых банках (24,3 %).

Обеспечение потребителей востребованной и качественной рыбной продукцией – основная задача рыбоперерабатывающего предприятия, а рациональное распределение рыбного сырья по видам переработки возможно с учётом быстро изменяющихся условий рыночной ситуации, а также при соблюдении рекомендаций технологов и требований потребителей.

Экономическая составляющая имеет существенное значение при разработке рыночной стратегии рыбоперерабатывающего предприятия. Ведущие специалисты-маркетологи указывают, что в современных условиях предприятие уже не может развиваться только лишь за счёт расширения рынков сбыта, выпуска новых продуктов или организации крупных рекламных кампаний. На предприятии целесообразно иметь группу аналитиков, которые будут отслеживать отношения с клиентами, оптимизируя ценовую политику, ассортимент продукции, ритмичность поставок, а следовательно, и общую прибыльность в каждом конкретном случае.

Сложную проблему принятия решений по рациональному распределению рыбного сырья по видам переработки в рыночных условиях предлагается решать с помощью комплексного подхода, основанного на сочетании фундаментальных математических методов принятия решений (кластерного анализа, метода анализа иерархий, метода упорядочивания многокритериальных альтернатив ЗАПРОС) и рекомендаций технологов.

Новизна предложенной методики заключается в том, что здесь учитывается, во-первых, влияние на предприятие рыночной ситуации, сложившейся в конкретный период времени, и, во-вторых, возможность использования определённых сортов рыб для выработки востребованной пищевой продукции. Комплексный подход основан на анализе количественной и качественной информации рыбоперерабатывающего предприятия, что позволяет разносторонне и детально сравнивать возмож-

ные виды переработки рыбного сырья. Использование для сравнительного анализа имеющейся количественной информации учётной системы предприятия делает процесс принятия управленческих решений объективным.

В различных источниках имеется достаточное количество информации о рациональном направлении рыбного сырья различных мест вылова на тот или иной вид переработки с точки зрения технологических норм и полезности продукции.

В работе [2] систематизированы виды промысловых рыб Атлантического океана, среди которых выделены восемь характерных групп (с разделением в отдельных случаях на подгруппы), объединённых общностью химического состава и технологических свойств, а также введён обобщённый критерий, включающий пять частных критериев (содержание липидов и белковых веществ, белково-водный коэффициент, белковый коэффициент, выход тушки) и позволивший провести дифференциацию рыб в соответствии с их пищевой ценностью.

Однако полученная классификация не имеет общего подхода к решению задачи с точки зрения критерия востребованности, ценовой изменчивости и применима только для рыб Атлантического бассейна.

Сорта рыб юга России систематизированы в работе [3], в которой приведена разработка оригинальной классификации рыбного сырья, содержащая в основе четыре группы критериев (размерно-массовый и химический состав, органолептические характеристики, активность протеолитических ферментов мышечной ткани). На основании этих критериев предложен расчёт обобщённого показателя $П_и$ рациональной достаточности, определяющего оптимальное ($П_и < 0,25$), рациональное ($0,25 < П_и < 0,35$), возможное ($0,35 < П_и < 0,45$) и нерациональное ($0,45 < П_и$) направления сырья на производство выбранного вида продукции.

Ограничением применения описанного подхода является тот факт, что классификация разработана лишь для рыб юга России, что отражается на выборе предложенных критериев. Для других видов рыб иного места обитания перечень критериев может оказаться неполным. Также не рассматривается изменчивость рыночной ситуации, существенно влияющая на востребованность продукции.

Следует заметить, что в работах [2, 3] основное внимание уделено разнообразным характеристикам и классификации гидробионтов Атлантического океана и юга России. Детально изучены органолептические, химические, биохимические свойства сырья и даны подробные рекомендации по его промышленному применению в соответствии с технологическими нормами. Однако для рационального распределения рыбного сырья по видам переработки важны, кроме этого, требования потребителей к изготавливаемой продукции и быстро изменяющиеся рыночные условия.

В условиях рыночной экономики чисто квалиметрический подход к распределению рыбного сырья представляется мало актуальным. В современных условиях устойчивое функционирование предприятия, а тем более его развитие, связано с формированием такой целевой функции управления, как конкурентоспособность, которую можно представить в виде соотношения цены и качества. В работе [4] значительно расширена система критериев для классификации рыбного сырья. При построении универсальной модели формирования качества продуктов из водных биоресурсов учитываются конкурентоспособность, требования потребителей, действующие технологические и законодательные нормы. Разработана система показателей интегрального качества продуктов, представленная в виде иерархической структуры "дерева свойств" и включающая пищевую и товарную ценность продукции, её химическую и биологическую безвредность, а также экологичность и экономичность продуктов из водных биоресурсов.

Несмотря на то, что в приведённой классификации уделено внимание удовлетворению требований потребителей (пищевая ценность, наличие и привлекательность упаковки) и учтены некоторые финансовые показатели (затраты на проектирование, изготовление, реализацию), в ней не нашли отражения особенности выпуска продукции в условиях быстро изменяющейся рыночной среды, а также возможный нечёткий характер поступающей и используемой информации.

Поэтому только комплексный подход, основанный на общих методах выбора и принятия решений (кластерного анализа, метода анализа иерархий, метода упорядочивания многокритериальных альтернатив) совместно с рекомендациями технологов может служить основой при создании автоматизированной системы поддержки принятия решений для управления распределением рыбного сырья по видам переработки в рыночных условиях.

В качестве базового метода для рационального распределения рыбного сырья использован метод анализа иерархий (МАИ), особенность которого состоит в том, что он не даёт готового решения, а позволяет эксперту в интерактивном режиме выбрать решение из множества вариантов на основе заданных критериев, выражающихся как количественными, так и качественными характеристиками. Метод состоит из нескольких этапов. Сначала задачу представляют иерархически. Затем попарно сравниваются элементы каждого уровня. И на основании результатов математической обработки экспертных оценок выбирается подходящий вариант решения [5].

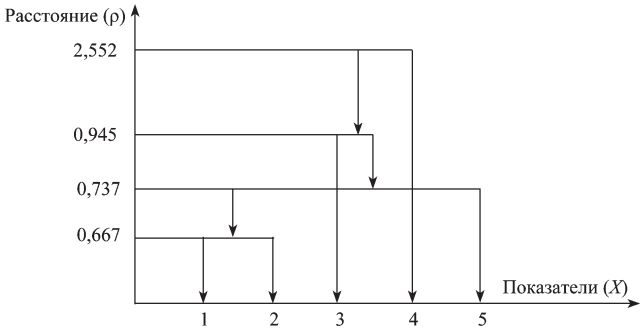
С помощью МАИ при формировании матриц попарных сравнений эксперт переводит качественную (вербальную) информацию в числовые значения. Для определения степени важности проводятся парные сравнения всех критериев между собой по шкале от 1 до 9. Далее вычисляется вектор приоритетов, максимальное собственное значение, индекс и отношение согласованности. Вывод о наиболее предпочтительном виде переработки рыбного сырья делается после вычисления результирующих векторов приоритетов и выбора наибольшего из них.

Таким образом, МАИ позволяет сделать заключение о том, как взаимодействуют между собой элементы иерархии, какой из них какими приоритетами обладает, а также помогает выбрать не только более предпочтительный вид переработки рыбного сырья, но и количественно выразить степень предпочтительности с помощью весовых коэффициентов.

Дальнейшее уточнение приоритета выпуска того или иного вида продукции с точки зрения экономической целесообразности и востребованности потребителями достигается применением математического аппарата кластерного анализа, а также метода упорядочивания многокритериальных альтернатив ЗАПРОС (замкнутые процедуры у опорных ситуаций).

Использование математического аппарата кластерного анализа [6] позволяет сгруппировать предполагаемые виды переработки рыбного сырья по схожим критериям, важным для комплексного подхода при принятии решения по рациональному распределению рыбного сырья.

Графическим выражением процесса кластеризации является дендрограмма (см. рис.), где по оси ординат приводятся относительные расстояния при объединении показателей, характеризующих



Дендрограмма, характеризующая результаты классификации альтернатив

направление сырья на вид переработки с учётом весовых вкладов каждого показателя.

Таким образом, предложенный метод позволяет выбрать вид переработки с учётом экономического эффекта, провести не только качественный, но и количественный анализ видов переработки рыбного сырья. Также существенно и то, что для кластерного анализа в качестве основы рекомендуется использовать количественную информацию учётной системы предприятия, что делает его применение объективным и доступным.

Для рационального распределения рыбного сырья по видам переработки в рыночных условиях предложено использовать один из качественных методов принятия решений, основанный на использовании нечёткой исходной информации – метод упорядочивания многокритериальных альтернатив ЗАПРОС. Суть метода состоит в том, что лингвистическая характеристика различных видов рыбной продукции (вербальная шкала каждого критерия) сопоставляется с базовой (количественной) шкалой. После этого формируется список векторных оценок у опорной ситуации, которые затем сравниваются между собой и упорядочиваются сначала в соответствии с единой порядковой шкалой, а потом по возрастанию рангов. Основная идея метода заключается в том, что эксперту предлагается сравнивать не реальные альтернативы, а некоторые гипотетические варианты, называемые векторными оценками [7].

Метод ЗАПРОС, в отличие от кластерного анализа, основан на использовании нечёткой исходной информации и применим для упорядочивания сравниваемых вариантов по предпочтительности с учётом заданных критериев и мнений экспертов. Также следует заметить, что метод ЗАПРОС позволяет ранжировать альтернативы по субъективным вербальным оценкам с учётом значимости крите-

риев, что особенно важно для многокритериальных задач.

В работах [2–4] рыбное сырьё оценивается только как продукт питания. Рассмотренный выше подход к решению задачи по рациональному распределению рыбного сырья является более универсальным и комплексным, так как включает методику, основанную на применении фундаментальных математических методов выбора и принятия решений, таких как метод анализа иерархий, метод упорядочивания многокритериальных альтернатив ЗАПРОС, кластерный анализ. Это позволяет максимально полно использовать количественную и качественную информацию рыбоперерабатывающего предприятия для объективного выбора наиболее приоритетного направления переработки рыбного сырья в нестабильных рыночных условиях.

Библиографические ссылки

1. **Монахов В.** Есть спрос? – Будет и предложение // Fishnews – Новости рыболовства. № 1 (3) от 20 февраля 2007. [Электронный ресурс]. URL: http://www.fishnews.ru/mag/articles/3175 (дата обращения: 01.12.2012).

2. **Одинцов А.Б.** Обоснование концепции использования промысловых рыб атлантического океана на базе мониторинга их технологических свойств: дис. ... д-ра техн. наук. Калининград: 2002. 279 с.

3. **Иванова Е.Е.** Развитие теории и практики технологий рациональной переработки рыб, акклиматизированных на юге России: дис. ... д-ра техн. наук. Калининград: 2004. 316 с.

4. **Холоша О.А.** Технологии продуктов из водных биоресурсов, основанные на принципах формирования качества: дис. ... д-ра техн. наук. Владивосток: 2006. 339 с.

5. **Сердобинцев С.П., Ханевич В.С.** Метод анализа иерархий для распределения рыбного сырья по видам переработки // Автоматизация и современные технологии. 2013. № 8. С. 10–15.

6. **Сердобинцев С.П., Ханевич В.С.** Управление распределением рыбного сырья по видам переработки в рыночных условиях // Автоматизация и современные технологии. 2012. № 11. С. 35–40.

7. **Сердобинцев С.П., Ханевич В.С.** Метод упорядочивания многокритериальных альтернатив для управления распределением рыбного сырья по видам переработки в рыночных условиях // Автоматизация и современные технологии. 2013. № 5. С. 18–22.

ИЗДАТЕЛЬСТВО МАШИНОСТРОЕНИЕ

РЕЗАНИЕ МАТЕРИАЛОВ

Д.В. Кожевников, С.В. Кирсанов

2012 г. Объём 304 с. Формат 60x88 1/16 ISBN 978-5-94275-657-4 Цена 500 р.

Рассмотрены общие сведения о резании материалов, вопросы стружкообразования, сложные схемы резания, тепловые явления, прочность, износ и стойкость инструментов, обрабатываемость материалов резанием и особенности процесса резания многолезвийными и абразивными инструментами.

Допущено Учебно-методическим объединением вузов по образованию в области автоматизированного машиностроения (УМО АМ) в качестве учебника для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки дипломированных специалистов: "Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств".

Приобрести книгу в издательстве можно, прислав заявку:

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

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

ПО СТРАНИЦАМ ЖУРНАЛОВ

Принципы построения динамических моделей планетарных передач. *Автомобильная промышленность.* 2012. № 11.

На примере планетарной передачи типа 2K-H с различными остановленными звеньями рассмотрены вопросы построения дискретных динамических моделей.

Технология селективного лазерного спекания. *Вестник машиностроения.* 2012. № 11.

Дано краткое описание технологии быстрого прототипирования методом селективного лазерного спекания, приведены общие технологические параметры и перечислены применяемые материалы.

Расчёт деформации осесимметричных деталей при повторно-переменном нагружении по модели Мазинга. *Вестник машиностроения.* 2012. № 11.

На основании теории малых упругопластических деформаций и принципа Мазинга предложена феноменологическая модель для расчёта повторных трёхосных нагружений за пределом упругости материала. Показано применение модели для расчёта напряжённо-деформированного состояния толстостенных труб.

Расчётные исследования электронной системы управления топливоподачей дизеля. *Грузовик.* 2012. № 11.

Представлена конструкция электронной системы управления топливоподачей транспортного дизеля. Приведены результаты расчётных исследований системы топливоподачи с электронным управлением. Показана возможность оптимизации конструктивных параметров этой системы для снижения расхода топлива, а в дальнейшем – улучшения показателей токсичности отработавших газов.

Построение математической модели процесса удара при осадке цилиндрических заготовок. *Заготовительные производства в машиностроении.* 2012. № 11.

На основе метода многофакторного планирования эксперимента построена математическая модель процесса ударного деформирования цилиндрической заготовки бабой специальной конструкции в виде уравнения регрессии, определяющего зависимость степени деформации заготовки от энергии удара, размеров и массы шариков, засыпаемых в специальную бабу.

Теоретические основы и методики построения профилей каналов сложной аэродинамической формы многоразъёмных штампов. *Заготовительные производства в машиностроении.* 2012. № 11.

Рассмотрены методы и способы построения теоретических решёток профилей каналов сложной аэродинамической формы многоразъёмных штампов. Силы раскрытия, действующие в каналах, зависят от формы профиля вентиляторных, компрессорных и турбинных рабочих колёс различных агрегатов газотурбинных двигателей и гидравлических машин.

Градиентные оптические метаматериалы и вопросы технологии их изготовления. *Наноинженерия.* 2012. № 11.

Рассмотрены классификация градиентных метаматериалов, состояние их разработок и вопросы технологии их изготовления. Представлена магнетронная распылительная технология получения градиентных оптических метаматериалов.

Моделирование упрочняющей обработки резьб ходовых гаек пластическим деформированием по предварительно нарезаемым канавкам. *Наукоёмкие технологии в машиностроении.* 2012. № 11.

Рассмотрена методика моделирования упрочняющей обработки резьб пластическим деформированием по предварительно нарезаемым канавкам ходовых гаек на основе применения CAD/CAE-систем. Разработан алгоритм построения предварительно нарезаемой винтовой канавки на основе параметризации. Выполнена оценка возникающих сил деформирования и коэффициента упрочнения при раскатывании резьбы роликовым инструментом.

Наукоёмкие технологии нанесения покрытий. *Наукоёмкие технологии в машиностроении.* 2012. № 11.

Рассмотрены различные технологии нанесения покрытий на рабочие поверхности деталей машин: газопламенное, электродуговое, детонационное, плазменное и газодинамическое напыления; электродуговая, плазменная и лазерная наплавки.

Наукоёмкие технологии в изготовлении текстильных строп. *Наукоёмкие технологии в машиностроении.* 2012. № 11.

Рассмотрены наукоёмкие технологии получения синтетических полипропиленовых нитей и текстильных строп.

Современная система управления качеством научно-производственного предприятия. *Полёт.* 2012. № 11.

Рассматривается система управления качеством научно-производственного предприятия, выпускающего ракетную технику в условиях жёсткой конкуренции, с применением инновационных разработок, совершенствования системы менеджмента качества и модульной технологии.

Математическая модель бесконтактного аэродинамического транспортного средства. *Сборка в машиностроении, приборостроении.* 2012. № 11.

Показано решение задачи разработки математической модели и определения динамических характеристик бесконтактного транспортного средства. Разработана имитационная компьютерная модель, позволяющая исследовать динамические характеристики бесконтактных транспортных средств.

Моделирование сборки соединений деталей машин на ЭВМ. *Сборка в машиностроении, приборостроении.* 2012. № 11.

Рассмотрены вопросы моделирования сборки соединений деталей машин на ЭВМ. Программный комплекс позволяет моделировать сборку соединений в соответствии с основными методами обеспечения точности. Математическим моделированием определены параметры селективной сборки, обеспечивающие повышение точности соединений на один и два квалитета в условиях мелкосерийного производства при вероятности образования незавершённого производства, равной или близкой к нулю.

Разработка концепции модели изнашивания и склерометрического способа оценки кинетических параметров разрушения поверхностей трения. *Трение и смазка в машинах и механизмах.* 2012. № 11.

Предложена концепция и модель оценки термофлуктуационных кинетических параметров повреждаемости металлических материалов – удельной энергии деформации, накапливаемой энергии повреждения и энергии активации пластической деформации. Для экспериментальной оценки этих параметров разработан программно-аппаратный комплекс.

Технология производства для нанесения покрытия на компактные люминесцентные лампы. *Упрочняющие технологии и покрытия.* 2012. № 11.

Представлена технология производства для нанесения и формирования покрытия на компактные люминесцентные лампы, приведены экспериментальные результаты исследований.

Моделирование гидроусилителя рулевого управления автомобиля КамАЗ. *Автомобильная промышленность.* 2012. № 12.

Рассматриваются система рулевого управления грузового автомобиля КамАЗ типа 4×2 с зависимой подвеской, нелинейная модель расхода роторного распределителя гидроусилителя.

Компьютерные программы – инструмент оценки прочности деталей передней части автомобиля. *Автомобильная промышленность.* 2012. № 12.

На примере переднего лонжерона автомобиля ВАЗ-2170 рассмотрена методика исследования статического сжатия деталей силовой структуры его передней части.

Расчёт стенда технической диагностики тормозной системы автомобиля КамАЗ. *Автомобильная промышленность.* 2012. № 12.

Работа посвящена модернизации тормозного стенда для оценки состояния автомобилей КамАЗ.

Структурно-параметрическая модель и параметрические структурные схемы многослойного пьезодвигателя нано- и микроперемещений при продольном пьезоэффекте. *Вестник машиностроения.* 2012. № 12.

Построены структурно-параметрическая модель и параметрические структурные схемы многослойного пьезодвигателя при продольном пьезоэффекте с учётом противоэлектродвижущей силы. Получены передаточные функции многослойного пьезодвигателя с учётом влияния его геометрических и физических параметров противоэлектродвижущей силы и внешней нагрузки.

Системный вероятностный расчёт новой конструкции мультипликатора ветроэнергетического агрегата. *Вестник машиностроения.* 2012. № 12.

Дан алгоритм системного вероятностного расчёта новой конструкции пакетного мультипликатора ветродвигателя с требуемым уровнем надёжности.

Устройство для восстановления пружинных зубьев термомеханической обработкой. *Вестник машиностроения.* 2012. № 12.

Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований новой технологии восстановления пружинных зубьев сеноуборочных машин.

Расчёт теплофизических и механических характеристик тормозного узла: вращающийся тормозной диск-колодка в процессе торможения. *Грузовик*. 2012. № 12.

Рассмотрена динамика торможения диска, получены аналитические выражения для угловой скорости вращения колеса (диска) в зависимости от времени процесса. Определены время торможения колеса, эффективное значение тормозного момента, функциональная зависимость от времени плотности теплового потока, действующего на поверхности трения в системе колодка-диск. Представлена зависимость коэффициента теплоотдачи между вращающимся диском и окружающей средой от основных параметров процесса. Приведено графическое сравнение расчётных и экспериментальных результатов.

Ресурсосберегающие технологии формообразования в литьё по выплавляемым моделям. *Заготовительные производства в машиностроении*. 2012. № 12.

Разработаны ресурсосберегающие технологии изготовления оболочковых керамических форм с применением алюмоборфосфатного концентрата, позволяющие ускорить цикл формообразования и улучшить физико-механические свойства керамических форм и стержней. В результате повышаются качество и экономическая эффективность литья по выплавляемым моделям.

Выбор литейной технологии. Программа "VIBOR". *Заготовительные производства в машиностроении*. 2012. № 12.

Описана программа "VIBOR", разработанная для выбора способа литья. Программа носит обучающий характер для студентов и учащихся, а также вспомогательный характер для специалистов на производстве.

Повышение качества и долговечности наплавленных прокатных валков путём регулирования напряжённого состояния в процессе их изготовления и эксплуатации. *Заготовительные производства в машиностроении*. 2012. № 12.

Рассмотрен комплексный подход к решению проблемы повышения качества наплавленных валков на основе регулирования напряжённого состояния в процессе их изготовления и эксплуатации.

Наукоёмкая технология инжекционного порошкового формования металлических деталей (МИМ-технология). *Наукоёмкие технологии в машиностроении*. 2012. № 12.

Рассмотрена технология инжекционного формования смесей расплавов полимеров с металлическими порошками, которая широко применяется для серийного производства малогабаритных деталей сложной формы взамен традиционной трудоёмкой технологии изготовления таких деталей путём механической обработки монолитных металлических заготовок. Показаны направления развития этой технологии.

Математическая модель несущего винта в составе математической модели лётного тренажера вертолёта. *Полёт*. 2012. № 12.

Рассмотренная математическая модель несущего винта предназначена для работы в составе математической модели лётного тренажера вертолёта. Модель базируется на лопастной теории винта. Выходные параметры несущего винта получены путём интегрирования сил и моментов, действующих на элемент лопасти. При интегрировании учтены все виды взаимодействия с набегающим воздушным потоком.

Обеспечение микрогеометрии поверхностей при обработке заготовок с неоднородными свойствами. *Сборка в машиностроении, приборостроении*. 2012. № 12.

Рассмотрено влияние глубины резания, рабочей подачи, частоты вращения и числа зубьев инструмента на шероховатость обработанной поверхности заготовки. Разработаны рекомендации по обеспечению минимальной шероховатости поверхностей.

Методы и средства создания нагружения и измерения параметров нагружения при испытаниях. *Сборка в машиностроении, приборостроении*. 2012. № 12.

Рассмотрены методы и средства создания нагружения и измерения параметров нагружения при испытаниях. Показано, что в случаях, когда нужно измерять полный комплекс сил и моментов, принцип измерения состоит в непосредственном измерении или малых перемещений, или деформаций, происходящих под действием всех составляющих сил и моментов.

УКАЗАТЕЛЬ
статей, опубликованных в журнале "Автоматизация и современные технологии" в 2013 г.

	№ журнала	Стр.
АВТОМАТИЗАЦИЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ		
Берман А.Ф., Николайчук О.А., Павлов Н.Ю., Юрин А.Ю. Методы и средства автоматизированного построения деревьев событий и отказов	9	8
Бржозовский Б.М., Захаров О.В. Моделирование формообразования нелинейчатых винтовых поверхностей деталей дисковым коническим инструментом в среде Matlab	12	12
Буренин В.В. Новые теплообменники для систем гидроавтоматики и объёмного гидропривода машин и механизмов	10	3
Буренин В.В. Силовые пневмоцилиндры технических средств пневмоавтоматики и силового пневмопривода машин и механизмов	1	3
Гданский Н.И., Карпов А.В., Гданская Ю.А. Прогнозирование моделирования внешней нагрузки электромеханического привода	5	7
Гданский Н.И., Карпов А.В., Гданская Ю.А. Упрощённый метод интерполирования траектории перемещения по узловым точкам с использованием кубических сплайнов	8	15
Дегтярёв Ю.И., Сергеев М.В., Фахурдинов О.В. Автоматизированная система многопараметрической оценки сложных объектов на основе экспертной информации	7	3
Дударев А.С., Свищёв В.И., Баяндин М.А. Роботизированный комплекс для перфорации отверстий и фрезерования звукопоглощающих панелей авиационных двигателей из полимерных композиционных материалов	1	9
Дьяков И.Ф., Моисеев Ю.В. Ультразвуковая гидродинамическая очистка поверхностей изделий	5	11
Козлович Р.А., Сердобинцев С.П. Система автоматизированного управления процессом сушки керамической продукции	3	9
Константинов Ю.А., Первадчук В.П. Автоматизация производства специальных волоконных световодов с применением эмуляторов физических процессов обратного рассеяния	8	3
Крутиков Г.А., Стрижак М.Г. Блок управления пневмоцилиндром шлифовально-обдирочной машины на основе аналогового электропневматического преобразователя	12	8
Либерман Я.Л., Летнев К.Ю. Система цифрового управления разгоном–торможением следящего привода	2	3
Лобанов Д.В., Янюшкин А.С. Автоматизация организационной подготовки инструмента для обработки композиционных материалов	3	3
Мамедов Ф.И., Дадашева Р.Б., Гусейнов Р.А., Юсифов Р.А. Применение наноматериалов в устройствах вибровозбудителей низких механических колебаний	5	3
Мартынов В.В., Мартынов П.В. Прогнозирование износа режущего инструмента методом экстремального критерия	4	7

Микаева С.А., Микаева А.С. Экспериментальные исследования характеристик амальгамных ламп 4 3

Моисеев Ю.В., Дьяков И.Ф., Попович А.В. О возможности повышения производительности металлорежущего оборудования при обработке поверхностей 10 13

Набатников Ю.Ф. Моделирование сборки соединений деталей машин на ЭВМ 2 6

Нестеров А.В., Мусолин А.К. Автоматизация процессов измерения и контроля ширины зазора при промышленном производстве фильтрующих элементов 12 3

Петровский В.С. Автоматизированное управление инерционными технологическими процессами хода роста лесонасаждений 11 3

Сафронов Р.Ю., Софиев А.Э. Обзор беспроводных решений для автоматизации 9 3

Сердобинцев С.П., Ханевич В.С. Метод анализа иерархий для распределения рыбного сырья по видам переработки 8 10

Тусупбеков Б.К., Намазбаев Т.С. Математические модели изменений температуры металла для автоматизированного управления конвертерной плавкой при переделе фосфористого чугуна 6 3

Чикунов Ю.М. Исследование причин и оценка частоты наступления аварийных ситуаций в системе обкаточно-тормозных стендов 10 9

Шевцов А.А., Мажулина И.В. Управление энергоэффективной биотехнологией получения ферментных препаратов на базе парокомпрессионного теплового насоса 7 9

Щёкин А.В., Митин Э.В. Использование параметрических моделей режущих инструментов и станочных приспособлений при моделировании обработки на станках с ЧПУ 11 9

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Аникеев Е.А., Фёдоров Н.Ю., Черкасов О.Н. Алгоритм поиска маршрута в транспортной сети с учётом вероятностных характеристик времени движения 2 44

Баранова В.П. Особенности применения электронной подписи при размещении заказов на выполнение работ для государственных и муниципальных нужд 1 36

Бендерский Б.Я., Копылов К.А. Моделирование процесса взаимодействия теплоносителя с прутком в спрейерной камере 10 38

Буйносов А.П. Определение полного и остаточного ресурса бандажей колёсных пар локомотивов на железнодорожном транспорте необщего пользования 3 30

Васин В.А., Ивашов Е.И., Корпачёв М.Ю., Костомаров П.С., Степанчиков С.В. Многокритериальная задача принятия решения при проектировании УФ-литографического модульного оборудования 4 19

Васин В.А., Фатьянова Н.Г., Трошин Б.А., Васичев Б.Н., Степанчиков С.В. Особенности развития отечественного оборудования для нанотехнологий 10 21

Великанов В.Б., Денисов Ю.В., Нефедов А.Ю., Пахомов И.И. Повышение эффективности обрабатывающего производства приборостроительного предприятия 1 28

Великанов В.Б., Денисов Ю.В., Нефедов А.Ю., Пахомов И.И. Технологические аспекты производства деталей прецизионных приборов 4 24

Головешкин В.А., Пономарёв А.В., Ульянов М.В. О возможном матричном представлении аналитического нелинейного рекуррентного соотношения 8 29

Голубева А.А., Гриценко Ю.Б., Салмина Н.Ю. Моделирование времени эвакуации людей из зданий и сооружений при возникновении пожаров с использованием нечётких временных сетей Петри 6 24

Домнин С.М. Интеграция программных средств автоматизации начальных этапов проектирования изделий на машиностроительном предприятии 3 36

Дударев А.С. Методы предотвращения поломок мелкоразмерного режущего инструмента при формообразовании отверстий в сэндвичевых конструкциях из полимерных композиционных материалов 5 27

Дьяков И.Ф., Попович А.В. Интеграция интеллектуальных алгоритмов в САМ-системы 4 31

Жуков В.А. Совершенствование технологии очистки систем охлаждения энергетических установок и технологического оборудования 6 12

Звонов А.О., Янишевская А.Г. Методы искусственного интеллекта в задачах автоматизации принятия проектных решений 10 18

Капля Е.В. Система финитного управления приводами лопастей ветроэнергетической установки 5 13

Клебанов Б.И., Дегтярёв Е.П., Москалёв И.М., Немтинов А.В. Инструментарий поддержки форсайтных исследований в области социально-экономического развития города Екатеринбурга 1 24

Клячкин В.Н., Кравцов Ю.А. Повышение эффективности статистического контроля многопараметрического технологического процесса на основе карты Хотеллинга с предупреждающей границей 10 35

Клячкин В.Н., Святова Т.И. Статистический контроль технологического рассеяния в многопараметрическом процессе 12 22

Кузина В.В., Кошев А.Н. Разработка автоматизированной системы управления и контроля над состоянием водной среды региона 4 44

Лавров В.В., Спирин Н.А., Девятых Е.А., Рыболовлев В.Ю., Краснобаев А.В. Разработка информационно-моделирующей системы расчёта оптимального состава доменной шихты 3 15

Летовальцев В.И. Алгоритмы формализации и интерпретации смысла текста на основе формальной семантики 2 38

Либерман Я.Л., Бикташев Д.А. Синтез кодов Хаффмена–Либермана для систем передачи сообщений в ГПС механообработки 11 16

Мартинов Г.М., Нежметдинов Р.А. Кроссплатформенный программно-реализованный логический контроллер управления электроавтоматикой станков с ЧПУ 1 15

Микаева С.А., Абрамова Л.А., Михайлова Е.М. Оценка условий освещения, создаваемого светодиодными источниками излучения 9 24

Микаева С.А., Микаева А.С., Железникова О.Е., Синицына Л.В. Проблемы энергосбережения в освещении на промышленных предприятиях 11 22

Муравьёв И.В., Петухов И.А. Концепция модульного представления деталей в машиностроительном производстве 12 20

Неусыпин К.А., Пролетарский А.В., Кэ Фан, Ким Чжэсу. Методы коррекции навигационных систем беспилотных летательных аппаратов 2 30

Никифоров С.О., Мархадаев Б.Е., Никифоров Б.С. Разработка инновационного продукта на примере создания безреверсных мехатронных манипуляторов 9 33

Носов О.А., Васечкин М.А., Рыжков Е.А. Новый подход к проектированию бесконтактных транспортных систем 3 25

Онищенко Д.В., Чаков В.В. Получение нановолкнистого углерода (многостенных нанотрубок) из сфагнума бурого для создания функциональных материалов 7 31

Попов А.П. Системное проектирование интегрированных АСУ машиностроительного производства 9 17

Рустамов Г.А., Абдуллаева А.Т., Рустамов Р.Г. Оптимизация функции Ляпунова при релейном управлении динамическими объектами 3 21

Садыков С.С., Савичева С.В. Идентификация наложенных плоских объектов 9 20

Святский В.М., Сентяков Б.А., Сентяков К.Б. Расчёт средней скорости и моделирование воздушного потока в рабочей зоне дутьевой головки 6 20

Сергеев А.С., Плотников А.Л., Зайцева Н.Г. Разработка математического обеспечения для расчёта параметра шероховатости в САПР ТП многолезвийной обработки 9 28

Сердобинцев С.П., Ханевич В.С. Метод упорядочивания многокритериальных альтернатив для управления распределения рыбного сырья 5 18

Смирнов В.А., Гусев М.Н., Фархадов М.П. Функция лингвистического процессора в системе автоматического анализа неструктурированной речевой информации 8 20

Соколов А.В. О классификации, максимально совместимой с нечёткой классификацией 8 37

Тамаркин М.А., Тищенко Э.Э., Тихонов А.А. Повышение эффективности технологических процессов гидроабразивной обработки 4 35

Тусупбеков Б.К., Намазбаев Т.С. Математические модели процессов обезуглероживания и дефосфорации металла при конверторном переделе форсфористого чугуна 7 28

Федоренко А.С., Ашрятов А.А., Вдовин М.В., Микаева С.А. Световые приборы переменной цветности с использованием светодиодов 10 26

Хейден Ланс. Информационная безопасность и Всеобъемлющий Интернет 11 29

Цуканова О.А., Мальцева С.В. Эволюционный процесс условного текстурирования сетевого пространства состояний в формате единого информационного ресурса сети 11 26

Чижиков В.И. Винтовое упругое кинематическое соединение на основе трубки Бурдона для бесшарнирного манипулятора 7 14

Чижиков В.И. Проектирование упругого кинематического соединения бесшарнирного манипулятора для технологических операций в экранированной среде 5 32

Чижиков В.И. Расчёт профиля главной центральной оси пружины Бурдона по заданной составляющей тягового усилия 6 6

Шарипов М.А. Современные особенности проектирования интегрированных систем управления категории ERP 8 33

Шахнин В.А., Мироненко Я.В., Моногаров О.И. Обработка сигналов электрошумовой интродиагностики высоковольтного оборудования 12 17

Шеков И.С., Янишевская А.Г. Алгоритм взаимодействия программного комплекса для автоматического проектирования технологических процессов и производств в машиностроении 5 22

Шемелин В.К., Филипенков А.В. Повышение достоверности диспетчерско-технологической информации по расходу газа с применением регрессионного анализа 2 35

Шляхтенко П.Г., Пименов В.И., Кофнов О.В. Использование двумерного дискретного преобразования Фурье для компьютерного анализа материала с повторяющейся структурой 7 20

Щербань И.В., Щербань О.Г., Конев Д.С. Обобщённая модель подвижного объекта для реализации тесной интеграции разнородных навигационных систем 2 24

Юрин А.Ю., Малтугуева Г.С. Обоснование мероприятий по предотвращению повторных отказов на основе прецедентов и методов группового выбора 2 16

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ НАУЧНОЙ И ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Безденежных В.М. Российские особенности управления инновационными проектами с учётом неопределённости и рисков 1 42

Барабаш Ж.А., Молчанский А.В. Исследование мотивации и адаптации сотрудников при внедрении специализированного программного обеспечения 11 38

Белоусов В.Л., Дегтярёв Ю.И., Сергеев М.В. Концептуальные основы формирования многоотраслевой системы государственной экспертизы 6 30

Иванов А.П., Михалёв А.С. Новые подходы к измерению капитала и его стандартов в банковском секторе РФ 7 39

Кузнецов С.А. К вопросу о монополии зарубежных специализированных САПР на мировом рынке программных продуктов 3 39

Лавреш И.И. Самоорганизация объектов управления и мера согласования интересов субъекта и объекта управления на основе матричного метода 5 41

Мустафаев Г.А., Мустафаев М.Г. Формирование эффективной системы организации и управления производственным процессом 1 40

Павельчук М.В. Экономическая оценка стоимости внедрения автоматизированных CAD/PDM-систем на предприятии ракетно-космического комплекса 7 36

Попов А.П. Структурно-функциональная модель производственной системы 8 43

Поршнев С.В., Якоб Д.А. Построение имитационной модели информационной контрольно-пропускной системы объекта проведения массовых мероприятий 6 39

Сердобинцев С.П., Ханевич В.С. Применение комплексного подхода для решения задачи управления распределением рыбного сырья по видам переработки 12 35

Тихомиров С.А. К вопросу о "двойном послании" (double bind) в корпоративных коммуникациях и управлении 11 32

Тихомиров С.А. Теория игр в практике управления и управленческих коммуникациях 12 29

Халафян А.А., Пелипенко Е.Ю. Оценка финансового состояния предприятия на основе метода нейронных сетей 9 40

Харитонов А. Инфраструктура для образовательного процесса 12 26

ВЫСТАВКИ И ПРЕЗЕНТАЦИИ

Российские студенты и аспиранты получат возможность стажироваться в компании Cisco 1 48

"ПРОДЭКСПО–2013" 5 46

Компания Cisco приступила к производству в России четвёртого семейства своих продуктов 6 45

"Связь – ЭКСПОКОММ–2013" 7 45

"Металлообработка–2013" 8 46

В Гиперкубе Сколково начал работу Центр технологии Cisco 9 44

В Совете Федерации прошёл круглый стол по выставочно-ярмарочной и конгрессной деятельности в России 9 46

Технология Cisco vPath поддерживает лучшие в своём классе облачные сетевые услуги 10 44

Названы победители второго конкурса "Премия инноваций Сколково при поддержке CISCO I-PRIZE" 11 44

ОБЗОР ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ПЕЧАТИ

По страницам журналов 2–3, 5–12

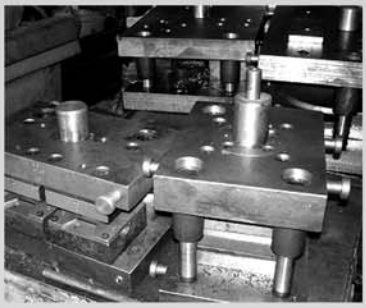
Указатель статей, опубликованных в журнале "Автоматизация и современные технологии" в 2013 г. 12 42

ПРОГРЕССИВНЫЕ ПРОЦЕССЫ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ

Е.Н. Сосенушкин

2011 г. 480 с. ISBN 978-5-94275-596-6

Цена 600 р.



Освещены концепции проектирования технологических процессов холодной и полугорячей объемной штамповки, системы представления и обработки знаний о деталях, автоматизации решений системных задач проектирования технологии, системного проектирования штамповой оснастки для формоизменяющих операций.

Для разных термомеханических условий и прочих факторов проанализирован ряд физических моделей выхода из строя рабочих деталей штампов, и на основе их математических аналогов построена система прогнозирования стойкости и выбора штамповых материалов.

Для специалистов и инженерно-технических работников, занимающихся разработкой и промышленным внедрением прогрессивных технологий, систем их проектирования и экспертной оценки. Монография будет полезна для аспирантов и студентов машиностроительных вузов.

Приобрести книгу по цене издателя можно, прислав заявку в отдел продаж, маркетинга и рекламы:
по почте: 107076, г. Москва, Стромынский пер., 4; по факсу: (499) 269-48-97; по e-mail: realiz@mashin.ru
Дополнительную информацию можно получить по телефонам: (499) 269-66-00, 269-52-98 и на сайте WWW.MASHIN.RU