Автоматизация. Современные Технологии

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ МЕЖОТРАСЛЕВОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Главный редактор
Микрин Е.А. – д.т.н., проф., академик РАН, ОАО РКК «Энергия» им. С.П. Королёва

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:
Афанасьев В.Н. – д.т.н., проф., МИЭМ НИУ ВШЭ
Ван Мэйлин – д.т.н., проф., Пекинский политехн. ун-т (КНР)
Иванов А.П. – д.э.н., проф., МГУПС (МИИТ)
Кларк Р. – д.т.н., проф., КИУ (г. Ворвик, Великобритания)
Криони Н.К. – д.т.н., проф., УГАТУ (г. Уфа)
Кузнецов А.Е. – д.т.н., проф., РГРТУ (г. Рязань)
Мальцева С.В. – д.т.н., проф., НИУ ВШЭ
Микаева С.А. – д.т.н., проф., МГУПИ
Неусыпин К.А. – д.т.н., проф., МГТУ им. Н.Э. Баумана
Нефёдов Е.И. – д.ф.-м.н., ИРЭ РАН
Никифоров В.М. – д.т.н., проф., ФГУП «НПЦАП им. Н.А. Пилюгина»
Пролетарский А.В. – д.т.н., проф., МГТУ им. Н.Э. Баумана
Путилов В.Н. – ООО «Изд-во "Инновационное машиностроение"» (заместитель главного редактора)
Румянцева О.Н. – генеральный директор ООО «Изд-во "Инновационное машиностроение"»
Ся Юаньцин – д.т.н., проф., Пекинский политехн. ун-т (КНР)
Фу Ли – д.т.н., проф., Ин-т Бейхан (КНР)
Фёдоров И.Б. – д.т.н., проф., академик РАН, президент МГТУ им. Н.Э. Баумана
Хэ Юн – д.т.н., проф., Нанкинский ун-т науки и технологии (КНР)
Шахнов В.А. – д.т.н., проф., член-кор. РАН, МГТУ им. Н.Э. Баумана
Шибанов Г.П. – д.т.н., проф., Гос. лётно-испытат. центр им. В.П. Чкалова
Янович Е.А. – д.э.н., проф., Кошалинский политехн. ин-т (Польша)

Редакторы — **Мымрина И.Н., Селихова Е.А.**
Компьютерная вёрстка — **Конова Е.В.**

Адрес редакции:
107076, Москва, Колодезный пер., д. 2а, стр. 2.
Тел.: 8 (499) 268-41-77.
E-mail: ast@mashin.ru; astmashin@yandex.ru;
http://www.mashin.ru

Учредитель:
ООО «НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО "ИННОВАЦИОННОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ"»

Журнал зарегистрирован в Роскомнадзоре 29 мая 2014 г. (ПИ № ФС77-58102), входит в перечень утверждённых ВАК при Минобрнауки России изданий для публикации трудов соискателей учёных степеней, а также в систему Российского индекса научного цитирования (РИНЦ)

Издаётся с 1947 г.

Том 72 **8 / 2018**

СОДЕРЖАНИЕ

АВТОМАТИЗАЦИЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Божков А.И., Ковалёв Д.А., Дёгтев С.С. Роль человека в процессе управления качеством продукции 339

Дьяконов А.А., Городкова А.Е., Шульгин А.Н. Автоматизированная программа для оптимизации работы группы инструментального хозяйства 346

Долгов В.А., Подкидышев А.А., Дацюк И.В., Кабанов А.А., Васильцов М.А. Семантические модели технологических систем для имитационного моделирования производственных процессов 350

Мурзагулов Д.А., Замятин А.В. Адаптивные алгоритмы машинного обучения в управлении технологическими процессами 354

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Габитова Г.Ф. Нейросетевой метод кластерного анализа и группирования тел вращения 362

Шашурин В.Д., Селезнева М.С., Неусыпин К.А. Разработка динамической экспертной системы для беспилотного летательного аппарата 366

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Ханахмедова С.А., Нуруллаев Ш.Р. Управление программируемыми логическими контроллерами ПВХ-миксера 374

Комаров М.М., Дормидонтова Е.А. Качество предоставления услуг для пользователей в сетях нового поколения . . . 377

ОБЗОР ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ПЕЧАТИ

По страницам журналов 383

© Издательство «Инновационное машиностроение», «Автоматизация. Современные технологии», 2018

Automation. Modern Technologies

MONTHLY INTERBRANCH SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL

Chief in Editor
Mikrin E.A. – dr.en.s., prof., academician of the RAS, RSC «Energy» behalf of S.P. Korolev

EDITORIAL COUNCIL:
Afanasyev V.N. – dr.en.s., prof., MIEM NRU HSE
Wang Meiling – Ph.D., prof., Beijing Ins. of Technology, P.R. China
Ivanov A.P. – dr.ec.s., prof., MSURE (MIIT)
Clark R. – Ph.D., prof., EMB of Warwick Un., UK
Krioni N.K. – dr.en.s., prof., USATU, Ufa
Kuznetsov A.E. – dr.en.s., prof., RSREU, Ryazan
Maltseva S.V. – dr.en.s., prof., NRU HSE
Mikaeva S.A. – dr.en.s., prof., MSUPI
Neusypin K.A. – dr.en.s., prof., MSTU behalf of N.E. Bauman
Nefedov E.I. – dr.ph.-m.s., IRE RAS
Nikiforov V.M. – dr.en.s., prof., FSUE «NPCAP behalf N.A. Pilyugin»
Proletarskiy A.V. – dr.en.s., prof., MSTU behalf of N.E. Bauman
Putilov V.N. – LLC «Publishing "Innovative machine building"» (deputy chief editor)
Rumyantseva O.N. – General Director of LLC «Publishing "Innovative mashine building"»
Xia Yuantsin – Ph.D., prof., Beijing Ins. of Technology, P.R. China
Fu Li – Ph.D., prof., Beikhan Un., P.R. China
Fedorov I.B. – dr.en.s., prof., academician RAS, President of MSTU behalf of N.E. Bauman
He Yung – Ph.D., prof., Nanjing Un. of Science and Technology, P.R. China
Shakhnov V.A. – dr.en.s., prof., corr. member of RAS, MSTU behalf of N.E. Bauman
Shibanov G.P. – dr.en.s., prof., State Flight Test Center behalf of V.P. Chkalov
Yanovich E.A. – dr.ec.s., prof., Koszalin Polytechnic. Inst., Poland

Editors — **Mymrina I.N., Selikhova E.A.**
Computer layout — **Konova E.V.**

Editorial address:
107076, Moscow, Kolodezny lane – 2a, build. 2
Tel.: +7 (499) 268-41-77.
E-mail: ast@mashin.ru; astmashin@yandex.ru;
http://www.mashin.ru

Founder:
LLC «SCIENTIFIC AND TECHNICAL PUBLISHING "INNOVATIVE MACHINE BUILDING"»

The journal was registered in the Roskomnadzor on May 29, 2014 (PI No. FS77-58102), it is included in the list of publications approved by the Higher Attestation Commission (VAK) of the Russian Ministry of education and science for publication of the works of applicants for academic degrees and the system of the Russian index scientific citation (RINC)

It is published since 1947

Volume 72 **8 / 2018**

CONTENTS

AUTOMATION OF SCIENTIFIC-RESEARCH AND PRODUCTION PROCESSES

Bozhkov A.I., Kovalev D.A., Degtev S.S. The man role in the process of managing product quality 339

Dyakonov A.A., Gorodkova A.E., Shulgin A.N. Automated program for optimizing the work of the tool economy group 346

Dolgov V.A., Podkidyshev A.A., Datsyuk I.V., Kabanov A.A., Vasiltsov M.A. Semantic models of technological systems for production processes simulation 350

Mursagulov D.A., Zamyatin A.V. Adaptive algorithms of machine learning in the management of technological processes 354

MODERN TECHNOLOGIES

Gabitova G.F. Neural network method of cluster analysis and grouping of rotating bodies 362

Shashurin V.D., Selezneva M.S., Neusypin K.A. Development of a dynamic expert system for an unmanned aerial vehicle . . . 366

INFORMATIONAL TECHNOLOGIES

Khanakhmedova S.A., Nurullaev Sh.R. Control of programmable logic controllers for PVC mixer 374

Komarov M.M., Dormidontova E.A. Quality of service provision for users in the networks of the new generation 377

SURVEY OF PERIODICALS

Periodicals review 383

© Publishing «Innovative machine building», «Automation. Modern technologies», 2018

УДК 658.562:681.5

А.И. Божков, канд. техн. наук
(Липецкий государственный технический университет),
Д.А. Ковалёв, С.С. Дёгтев, канд. техн. наук
(ПАО «Новолипецкий металлургический комбинат»)

bozhkov_51@mail.ru

РОЛЬ ЧЕЛОВЕКА В ПРОЦЕССЕ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ

Рассмотрены вопросы влияния человека как субъекта на эффективность системы управления качеством на промышленном предприятии. В качестве примера выбран металлургический комбинат с полным замкнутым циклом производства разнообразных видов продукции.

Ключевые слова: управление качеством; предмет управления; объект управления; система качества; математическое моделирование; методы принятия решений; оптимизация управления.

The problems of the man influence as a subject on the effectiveness of a quality management system at an industrial enterprise are considered. As an example, a metallurgical plant with a complete closed production cycle of various products types is chosen.

Keywords: quality management; subject of management; object of management; quality system; mathematical modeling; methods of decision-making; management optimization.

Введение. Интерес к роли человека при решении задач управления в значительной мере проявился в конце 60-х гг. прошлого столетия в связи с развитием и широким использованием человеко-машинных систем во всех сферах деятельности человека [1]. Роль человека в системах управления качеством является, на наш взгляд, главным фактором, определяющим их эффективность. Перефразируя японского исследователя проблем контроля качества К. Исикаву, можно утверждать, что качество дают не оборудование, механическое оснащение, системы и пр., а люди. Если речь идёт об управлении качеством или в целом об управлении, то здесь велика роль человеческих и социальных факторов [2]. Это подтверждает вся история эволюции методов и систем управления качеством, основные этапы которой представлены ниже.

Эволюция управления качеством. Зарождение современного управления качеством можно отнести к началу 1920-х гг., когда У.А. Шухарт разработал и предложил использовать в промышленности контрольные карты, на которых в виде диаграмм разброса представлены диапазоны изменения технологических факторов и выходных параметров качества [3]. Термин «управление» подразумевал контроль за технологическим процессом, выявление и отбраковку дефектной продукции. Для этого на предприятиях создавались специализированные группы качества, в которые включали наиболее квалифицированных работников. Мотивация их деятельности сводилась, как правило, к экономическому стимулу — повышению уровня заработной платы, дополнительным премиальным выплатам за улучшение качества выпускаемой продукции.

Ко второму этапу развития управления качеством можно отнести период начала 1930-х по 1950-е гг. (за исключением времени второй мировой войны) [2—4], когда в промышленности нашли широкое применение статистические методы управления, объединяющие методы математико-статистического анализа результатов контроля выходных параметров и выявления причин их отклонения от заданных значений. Центральным объектом управления становится производственный процесс, выход которого представляет поток измерений показателей качества отдельных единиц продукции. В этот период во многих отраслях промышленности в различных странах использовался метод Тэйлора, который требовал от рабочих строгого выполнения инструкций, разработанных специалистами. Управление

качеством базировалось на контроле, но при этом не вся продукция подвергалась достаточной проверке [2].

На практике использование статистических методов выявило ряд проблем, связанных с неоднозначным отношением к ним различных категорий персонала. Квалифицированные рабочие считали эти методы бесполезными из-за их сложности и, таким образом, отрицательно относились к управлению качеством. Отсутствие необходимой информации вызывало трудности у инженеров при анализе процессов и принятии решений при управлении.

Однако при всем неприятии статистических методов управления качеством оно вызывало определённый интерес среди инженеров и рабочих, в то время как руководители высшего и среднего звеньев на предприятиях не проявляли к нему должного внимания, считая, что мероприятия по внедрению управления качеством потребуют больших дополнительных капиталовложений [2].

Решению проблем в этой области помогли разработки ученых Э. Деминга, К. Исикавы, М. Джурана и др. Их работы по улучшению деятельности персонала в управлении качеством на предприятиях послужили основой для создания так называемой системы тотального контроля качества (TQC). Этот период (1960—1980-е гг.) можно отнести к третьему этапу развития методов управления качеством.

Наметился переход от решений чисто технических вопросов рабочими и инженерами в рамках предприятий к участию в этой деятельности всего руководящего состава отрасли. В этот же период произошёл качественный скачок в развитии управления качеством, связанный с предложенным А.В. Фейгенбаумом понятием «комплексное управление качеством». Такое управление предполагает участие всех подразделений в разработке параметров качества, поддержании достигнутого уровня и повышении качества для обеспечения производства и эксплуатации изделий на самом экономичном уровне при полном удовлетворении требований потребителя [2, 3].

Впервые стали применяться на практике разработанные К. Исикавой методы управления качеством, когда на первое место поставлен человеческий фактор. Борьба за качество стала делом не только специалистов и консультантов в этой области, а всех и каждого работника предприятия. Однако при этом возникает проблема — как бы дело нужное всем не стало ненужным никому. Наряду с экономическим стимулированием работников руководство предприятий использует психологический аспект для повышения заинтересованности в результатах их труда. Проводятся семинары и симпозиумы по управлению качеством, осуществляются подготовка кадров и обучение методам управления, на предприятиях создаются кружки качества и пр. [2].

Четвертый этап (1980—2000-е гг.). К этому периоду развития управления качеством можно отнести разработку системных методов и методологии управления на основе стандартизации процессов и сертификации продукции. Наиболее наглядный пример — повсеместное использование международных стандартов ISO, которые приняты в качестве национальных стандартов более чем в 90 странах, в том числе и в России [4—6].

Производственные процессы и параметры качества регламентированы. На предприятиях вводятся строгая дисциплина производства и общие требования к качеству для производителей и потребителей. Каждый работник обязан четко соблюдать установленные нормы и следовать требованиям стандартов. Однако, как показал опыт, стандарты и регламенты не всегда совершенны. Даже если им строго следовать, не вся продукция будет отвечать требованиям потребителя. Компенсировать несовершенство стандартов можно с помощью опытных и квалифицированных работников [2].

Пятый этап (с 2000-х гг. — по настоящее время) — переход к системам качества в широком смысле [4]. Под системой качества следует понимать совокупность организационных мер, методов, методик, процессов, ресурсов и пр., приводящих к производству продукции требуемого качества.

Усложнение статистических методов и становление системных методов управления вызвали необходимость их автоматизации и создания автоматизированных систем управления качеством (АСУК) [4, 7—11]. Появилась возможность снизить влияние человеческого фактора на процесс за счёт включения в системы качества дополнительных средств автоматизации деятельности субъекта управления. При создании и включении АСУК в существующие системы качества промышленных предприятий возникают специфические задачи, связанные с определением места и роли человека в иерархии системы, а также с разделением персонала по уровню и приоритету принятия решений при выборе вари-

анта управления, по координации различных исполнителей и контролю за правильностью исполнения заданий, по степени ответственности различных категорий исполнителей и конкретизации их действий при управлении качеством.

Роль человека в АСУК металлургического комбината. В данной статье авторы попытались решить перечисленные выше задачи, определить и оценить роль человеческого фактора в АСУК с помощью модели влияния различных категорий персонала на эффективность управления качеством продукции металлургического комбината (МК).

В функциональной структуре АСУК МК целесообразно выделить три уровня: общекомбинатовский — стратегический; отдельных производств (цехов) — тактический; агрегатный — оперативный (рис. 1) [4, 8—11].

На стратегическом уровне должны решаться задачи общего руководства качеством (задачи планирования) [12][1], которые охватывают все этапы жизненного цикла продукции. Для этого используются современные информационные технологии, обеспечивающие текстовой документацией в электронном виде все подразделения комбината, участвующие в деятельности по управлению качеством.

Задачи стратегического уровня целесообразно решать после формирования массивов данных, охватывающих полный цикл от производства до выпуска и реализации каждого вида продукции.

Роль человека при решении стратегических задач можно считать ключевой. Высшее руководство МК вырабатывает и (или) корректирует долгосрочные программы и планы, т. е. стратегию (политику) развития комбината.

Изменение долгосрочных планов может быть связано с изменениями номенклатуры выпускаемой продукции, технического оснащения и материальной базы. По заданию высшего руководства МК специалисты профильных подразделений анализируют тенденции развития родственных металлургических предприятий и предприятий-потребителей, возможные тренды изменения потребностей рынков металла и изделий из него. Результаты анализа могут служить основой для прогнозирования необходимых изменений, вносимых в долгосрочные и среднесрочные планы развития МК.

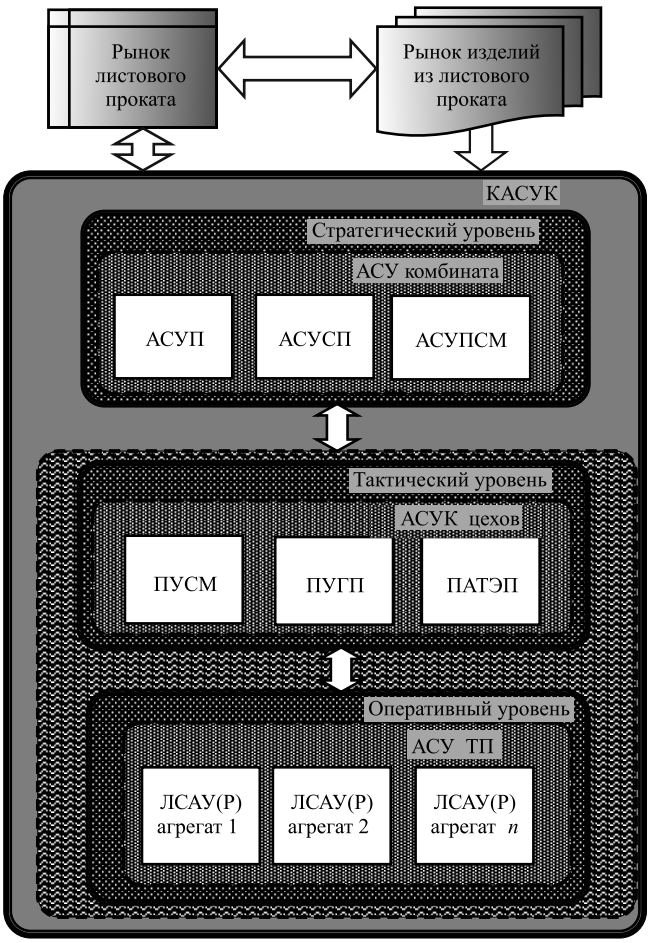

Рис. 1. Схема функциональной структуры комплексной АСУК МК:
КАСУК — комплексная автоматизированная система управления качеством; АСУСП — автоматизированная система управления сбытом продукции; АСУПСМ — автоматизированная система управления поставками сырья и материалов; ПУСМ — подсистема управления свойствами металла; ПУГП — подсистема управления геометрическими показателями; ПАТЭП — подсистема анализа технико-экономических показателей; ЛСАУ(Р) — локальные системы автоматизированного управления (регулирования)

Снизить влияние субъективного (человеческого) фактора при решении стратегических задач можно за счёт включения автоматизированных процедур в процессы анализа, принятия и исполнения решений.

Решения на стратегическом уровне принимаются обычно на основе определённой информации (профили и портфели заказов, состояние запасов сырья, результаты исследования рынков и т. п.). При этом основными критериями являются конкурентоспособность продукции (качество и цена); состояние рынков сбыта (спрос на объёмы и вид продукции); потребности потенциальных и постоянных потребителей. Данная информация должна

[1]Основные понятия, связанные с управлением качеством с использованием АСУК, приведены в работах [10, 12].

накапливаться и храниться в центральной базе данных (ЦБД), которая через глобальную информационно-вычислительную сеть МК, охватывающую все основные и вспомогательные производства, может обмениваться данными с базами технологической, производственной и другой информации [4, 10].

На каждом уровне функциональной структуры АСУК МК решаются специфические функциональные задачи с помощью автоматизированных систем (АСУ) определённых типов.

Реализация разработанных высшим руководством МК на стратегическом уровне долгосрочных перспективных планов неразрывно связана с тактическим уровнем, на котором реализуются среднесрочные производственные планы и решаются функциональные задачи (задачи проектирования), основными из которых являются сбор и анализ данных о технологии, состоянии оборудования, уровне качества выпускаемой продукции и технико-экономических показателях работы цеха за конкретные промежутки времени; прогнозирование уровня качества и обеспечивающих его диапазонов изменения технологии производства; прогнозирование технико-экономических показателей работы цеха; принятие решений по выбору диапазонов изменения технологии и по оптимальному использованию оборудования для производства различных видов продукции заданного уровня качества при заданных технико-экономических показателях (минимизация себестоимости).

Решения, принимаемые на общецеховом (тактическом) уровне, реализуются на агрегатном (оперативном) уровне с помощью локальных систем автоматизированного и автоматического управления (регулирования). На этом уровне решаются краткосрочные функциональные задачи (задачи управления): сбор и анализ данных о технологии обработки металла на агрегатах цеха, состоянии оборудования агрегатов, качестве заготовок, полупродукта и продукции, технико-экономических показателях работы отдельных агрегатов (статьи затрат калькуляции и пр.); прогнозирование качества полупродукта, продукции и затрат на их производство при заданных в соответствии с регламентом технологических режимах обработки; прогнозирование режимов обработки на отдельных агрегатах, обеспечивающих заданные показатели качества полупродукта (продукции) и технико-экономические показатели: принятие решений о выборе наилучших управляющих воздействий на агрегатах по критериям заданный уровень качества продукции и минимум затрат на его производство[2].

Задачи, решаемые на каждом уровне АСУК МК, можно условно разделить на четыре группы: сбор и анализ данных измерений; прогнозирование; принятие решений по управлению и исполнение решений. Подробное описание функциональных задач необходимо для определения места и роли различных категорий персонала в иерархической структуре системы и в процедурах принятия решений различной степени важности. Учитывая при этом, что система, выполняя общепринятые функции управления качеством [2—6], одновременно подпадает под понятие «автоматизированная система» [13][3], целесообразно значительно расширить круг лиц, ответственных за эффективность её работы и в различной мере участвующих в процессах управления.

С психологической точки зрения важно, чтобы специалисты, занятые в производственной сфере и в сфере управления качеством, не воспринимали АСУК как альтернативу своей профессиональной деятельности, а видели в ней инструмент, помогающий им в работе и существенно расширяющий возможности по контролю, управлению и совершенствованию технологических процессов производства продукции требуемого качества при минимальных затратах.

В практическом использовании АСУК должны быть особо заинтересованы руководители различного уровня, так как при её применении повышаются прозрачность и контролируемость производственных и технологических процессов, появляется возможность управления процессами формирования качества продукции в режиме реального времени (в течение процесса, а не «во след» ему).

Как уже отмечалось, наиболее важные (главные) решения принимают руководители высшего звена МК, определяющие стратегию его развития, в том числе и в области качества. Поэтому на них возлагается основная ответственность за качество продукции комбината [14].

Руководители среднего звена (средний уровень системы) принимают решения, позволяю-

---

[2]Более полный перечень функциональных задач всех уровней АСУК приведён в работе [10, с. 30—31].

[3]Функциональная структура и основные виды обеспечения АСУК МК подробно описаны в работах [3, 8—11], в данной статье не рассматриваются.

щие реализовать стратегию развития комбината за счёт чёткой организации и эффективного управления производственными, технологическими и другими процессами в своих структурных подразделениях (управлениях, производствах, цехах и т. д.). Производственный персонал выполняет принятые решения, соблюдая регламенты на ведение технологических процессов, обслуживание оборудования агрегатов, систем автоматизации, состояние технического оснащения, качество основных и вспомогательных материалов и т. п., а также следит за соответствием качества полупродукта и выпускаемой продукции требованиям нормативных документов.

Понятно, что одной из основных целей автоматизации управления качеством продукции наряду с известными и часто обсуждаемыми в литературе (например, [4, 7—12, 15—17])[4] является снижение влияния человеческого (субъективного) фактора на правильность принимаемых решений на всех уровнях системы качества (см. рис. 1). В данном случае речь идёт о целесообразности максимально возможной формализации и математического описания процессов и объектов в рамках АСУК.

Другими словами, для того чтобы автоматизировать функции человека на каждом иерархическом уровне системы, необходимо формализовать перечисленные выше функциональные задачи, решить их, а затем в форме математических моделей и алгоритмов управления включить в математическое обеспечение АСУК. Такой подход может обеспечить лиц, принимающих решение (ЛПР), на верхнем уровне системы необходимой и достаточной информацией для выбора наилучших вариантов решения из множества альтернативных. Также существенно расширяются возможности ЛПР среднего и нижнего уровней, в особенности производственного персонала, за счёт автоматизации и, как следствие, упрощения процедур выбора режимов обработки металла на агрегатах, обусловленного введением элементов так называемой «гибкой технологии» производства продукции. В отличие от существующих моделей управления, когда все технологические операции на каждом агрегате жёстко регламентируются и не зависят от режимов обработки на предыдущих агрегатах, «гибкость» предполагает возможность изменения технологических факторов на текущем агрегате в зависимости от результатов предыдущей обработки и прогнозируемого качества продукции. Другими словами, любое изменение технологического фактора (режима обработки) на предыдущем агрегате, которое может оказать влияние и вызвать отклонение характеристик качества от заданных, следует компенсировать соответствующим корректирующим воздействием, изменением режима на последующих агрегатах. Это изменение должно оказать влияние на качество той же величины, но обратного знака и тем самым обеспечить производство продукции требуемого уровня качества [15, 18]. При этом жёстко нормируются все издержки и затраты на производство различных видов продукции в соответствии с принятыми регламентами.

В рамках АСУК технико-экономические показатели, в том числе наиболее важные статьи расходов калькуляции, могут быть приняты в качестве дополнительных критериев при выборе оптимальных вариантов технологии производства каждого вида продукции цеха.

Однако автоматизация наряду с несомненными преимуществами (повышением эффективности производства и качества продукции и др.) приводит к расширению функциональных обязанностей и повышению ответственности руководителей среднего и нижнего звеньев, а также производственного персонала, т. е. может нарушить сложившийся профессиональный уклад работников. Как показала практика, любое новшество, независимо от его видимых положительных результатов вступающее в «конфликт» с личными и профессиональными интересами различной категории работников, с большим трудом приживается в подразделениях любого предприятия, достаточно успешно работавшего на протяжении многих лет. И здесь на первый план выходит заинтересованность в этом новшестве представителей высшего руководства, ответственных за качество продукции. Только они, убедившись в его эффективности и полезности, могут должным образом мотивировать подчинённых для внедрения, продвижения и практического использования (после соответствующих проверок и испытаний) новых достижений.

Однако опыт работы авторов по созданию и внедрению элементов АСУК в прокатном производстве МК показал, что при отсутствии заинтересованности у работников различных

[4]Любая автоматизированная система создаётся для повышения эффективности производства (снижения себестоимости и улучшения качества продукции), повышения производительности и облегчения труда работников.

категорий они могут найти множество причин, как объективных, так и субъективных, препятствующих практическому использованию любой новой разработки, даже в случае, когда получены положительные отзывы и соответствующие распоряжения и рекомендации от вышестоящего руководства. В данном случае уместно процитировать высказывание Д. Карнеги «На свете есть только один способ побудить кого-либо что-то сделать. Для этого надо заставить его захотеть это сделать». Трудно не согласиться с этим.

Для внедрения и эффективного использования новых разработок в управлении качеством в действующем цехе (производстве) необходима мотивация его персонала. Разумеется, важен экономический стимул, побуждающий работника более ответственно подходить к своим профессиональным обязанностям и выполнять дополнительные функции по участию в управлении качеством. Не менее важны и психологические аспекты: положительные отзывы о результатах работы.

Один из важнейших этапов создания системы качества на МК — подготовка и повышение квалификации кадров. Уже на стадии вузовского и среднеспециального обучения помимо принятых в действующих учебных программах компетенций «знать», «уметь» и «владеть» у студентов следует вырабатывать стремление непосредственно участвовать в проектировании, создании и функционировании системы качества. Необходимо включить в учебные планы дисциплины, связанные с управлением качеством, с автоматизацией управления и математическим описанием процессов и объектов, охваченных системой качества МК.

Следует расширить образовательные услуги вузов и средних специальных учебных заведений за счёт предоставления дополнительного обучения в области управления качеством, в котором помимо профессиональных преподавателей должны участвовать ведущие специалисты комбината.

Подготовка кадров, безусловно, имеет важное значение. Однако система подготовки кадров сама по себе, и даже в сочетании с атрибутами, перечисленными выше, не сможет обеспечить эффективного функционирования системы управления качеством, если будут отсутствовать чёткие, налаженные связи, взаимопонимание и взаимодействие между руководителями высшего и среднего звеньев, работниками различных структурных подразделений комбината и производственным персоналом отдельных агрегатов, участков, цехов и производств. Только при наличии таких связей, осознания каждым участником процесса управления качеством своей роли и места, своих обязанностей система качества МК будет работать должным образом.

Структура системы качества металлургического комбината. В соответствии с местом и ролью человека систему управления качеством (СУК) МК можно представить в виде совокупности двух подсистем (рис. 2).

Первую, объединяющую верхний (стратегический) и средний (тактический) иерархические уровни (см. рис. 1), следует отнести к активным, организационным системам, в которых человек согласно классической трактовке одновременно является и субъектом, и объектом управления [1].

Вторая подсистема, включающая нижний (оперативный) уровень (см. рис. 1), относится к человеко-машинным системам, в которых человек — субъект управления, а объектом управления является техническая система (технологический процесс, производственный участок, отделение цеха, агрегат и пр.).

Под организационной системой, как правило, подразумевают сообщество людей, объединённых для реализации некоторых программ (решения задач), позволяющих достичь поставленные цели, действующее на основе определённых правил и процедур [1].

Основными проблемами при обеспечении эффективного функционирования первой подсистемы являются разработка адекват-

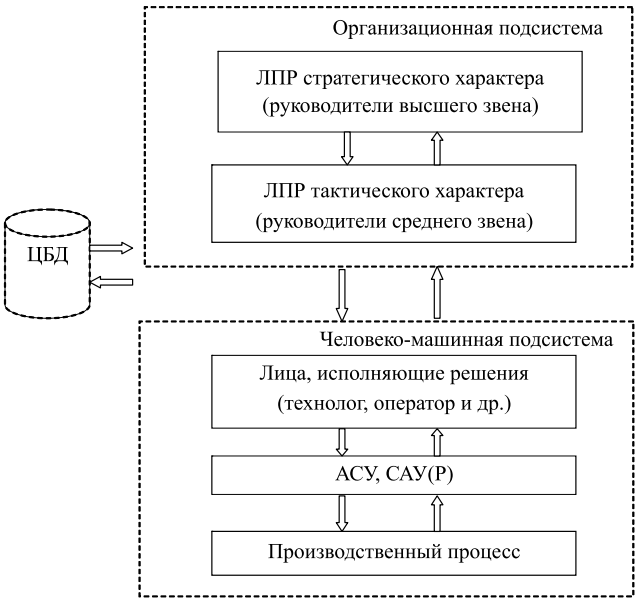

Рис. 2. Структура СУК МК с учётом места и роли человека в процессе исполнения решений

ных моделей и методов принятия решений на стратегическом уровне в условиях постоянно изменяющейся конъюнктуры рынков продукции МК и изделий из неё, а также выбор ЛПР оптимальных управляющих воздействий на объекты управления, в качестве которого выступают представители среднего (тактического) уровня системы управления качеством (руководители среднего звена).

Как уже отмечалось, снизить влияние субъективного фактора на стадии принятия решений можно за счёт автоматизации процедур сбора, обработки соответствующих данных и представления информации в форме, необходимой и достаточной для правильного принятия решения.[5] В этом случае субъекту (ЛПР) предлагается результат решения — наилучший вариант (альтернатива) из множества существующих в соответствии с заданным им критерием оптимизации. Формировать процедуру исполнения решений, анализа и синтеза управляющих воздействий в рамках организационной подсистемы намного сложнее. В настоящее время для этого чаще всего используется базовая модель мотивационного управления [1]. В практике металлургического производства хорошо зарекомендовали себя отработанные методы управления персоналом, заключающиеся в передаче соответствующих руководящих директив (управляющих воздействий) посредством плановых оперативных, селекторных и других совещаний по состоянию производства, оборудования, технологии и отгрузки всех видов продукции.

Руководители среднего звена (тактический уровень), которые относятся к объекту управления в организационной подсистеме СУК, в свою очередь, управляют человеко-машинной подсистемой (оперативный уровень), в их основные функции входят планирование и организация процессов на тактическом уровне. Принимаемые решения исполняет производственный персонал на оперативном уровне, решая комплекс функциональных задач, перечисленных выше. При максимальной автоматизации управления качеством продукции появляется возможность существенного расширения функций, выполняемых непосредственно производственным персоналом (технологами, операторами и др.) и связанных не только с исполнением, но и с принятием решений по выбору вариантов технологии, обеспечивающих наилучшее качество при минимальных затратах. Похожий подход рассмотрен и подробно проанализирован в работах [4, 8—11, 15—18].

Заключение. Изложенные в статье идеи и тезисы предназначены в первую очередь для специалистов соответствующего профиля. Надеемся, что результаты анализа влияния человеческого фактора на эффективность систем управления качеством металлургического комбината будут полезны при проектировании, создании и эксплуатации подобного рода систем на предприятиях других отраслей и при разработке прогрессивных методов управления качеством на различных предприятиях с многооперационной технологией, производящих массовые виды продукции.

[5]Разработанный автором алгоритм вычислений и получения такого рода информации, предназначенной для ЛПР на стратегическом уровне МК, представлен и проанализирован в работах [10, 15, с. 13—15].

Библиографические ссылки

1. **Человеческий** фактор в управлении / под ред. Н.А. Абрамовой, К.С. Гинсберга, Д.А. Новикова. М.: КомКнига, 2006. 496 с.

2. **Исикава К.** Японские методы управления качеством / пер. с англ. / науч. ред. А.В. Гличев. М.: Экономика, 1998. 215 с.

3. **Фейгенбаум А.** Контроль качества продукции / пер. с англ. / науч. ред. А.В. Гличев. М.: Экономика, 1986. 471 с.

4. **Настич В.П., Скороходов В.Н., Божков А.И.** Управление качеством тонколистового проката / под ред. А.И. Божкова. М.: Интермет Инжиниринг, 2001. 296 с.

5. **Крылова Г.Д.** Зарубежный опыт управления качеством. М.: Изд-во стандартов, 1992. 140 с.

6. **Круглова Н.Ю.** Система качества продукции: новые подходы (вопросы и ответы): справочное пособие. М.: Легпромбытиздат, 1991. 176 с.

7. **Орлов А.Б.** Анализ направлений создания автоматизированных систем управления качеством // Известия ТулГУ. Технические науки. 2012. Вып. 1. С. 428—433.

8. **Божков А.И.** Принципы построения автоматизированной системы управления качеством продукции в листопрокатных цехах металлургических предприятий // Известия вузов. Черная металлургия. 2000. № 9. С. 38—42.

9. **Божков А.И., Настич В.П.** Принципы автоматизации управления качеством продукции металлургического комбината // Производство проката. 2009. № 8. С. 38—42.

10. **Божков А.И.** Научное обоснование и создание систем автоматизации управления качеством продукции листопрокатных цехов предприятий черной металлургии. Сообщение 1. Комплексная автоматизированная система управления качеством продук-

ции металлургического комбината // Производство проката. 2014. № 7. С. 27—33.

11. **Божков А.И.** Научное обоснование и создание систем автоматизации управления качеством продукции листопрокатных цехов предприятий черной металлургии. Сообщение 2. Функциональная структура и основные этапы создания автоматизированной системы управления качеством листопрокатного цеха металлургического комбината // Производство проката. 2014. № 8. С. 35—40.

12. **ISO 9000—2000.** Управление качеством и обеспечение качества. Словарь. М.: Изд-во стандартов, 2000. 15 с.

13. **ГОСТ 34.601—90.** Автоматизированные системы. Стадии создания. М.: Изд-во стандартов, 1991. 6 с.

14. **ГОСТ Р ИСО 9001—2015.** Системы менеджмента качества. Требования. М.: Стандартинформ, 2008. 31 с.

15. **Божков А.И.** Автоматизация управления качеством тонколистового проката: учебн. пособие. В 3 кн. Кн. 1. Автоматизация управления свойствами тонколистового проката. Липецк: Изд-во ЛГТУ, 2015. 92 с.

16. **Божков А.И.** Автоматизация управления качеством тонколистового проката: учебн. пособие. В 3 кн. Кн. 2. Автоматизация управления технологией прокатки полос. Липецк: Изд-во ЛГТУ, 2015. 78 с.

17. **Божков А.И.** Автоматизация управления качеством тонколистового проката: учебн. пособие. В 3 кн. Кн. 3. Автоматизация управления плоскостностью и качеством поверхности холоднокатаных полос. Липецк: Изд-во ЛГТУ, 2015. 133 с.

18. **Управление** свойствами тонколистового проката в режиме реального времени. Сообщение 1 / А.И. Божков и др. // Производство проката. 2001. № 8. С. 8—14.

Ссылка для цитирования

Божков А.И., Ковалёв Д.А., Дёгтев С.С. Роль человека в процессе управления качеством продукции // Автоматизация. Современные технологии. 2018. Т. 72. № 8. С. 339—346.

УДК 621.9.02

А.А. Дьяконов, д-р техн. наук, проф., **А.Е. Городкова**
(Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск),
А.Н. Шульгин
(АО «Радий», г. Касли Челябинской области)

shulgin_alex@mail.ru

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ПРОГРАММА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ РАБОТЫ ГРУППЫ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА

Рассмотрена автоматизированная программа для оптимизации работы группы инструментального хозяйства (ГИХ). Показаны скриншоты интерфейса с необходимыми пояснениями, иллюстрирующими процесс расчёта необходимого количества свёрл для выполнения обработки.

Приведено описание разработанной и внедрённой программы SverloProg, значительно упрощающей работу инженера по инструменту (инженера ГИХ) в части расчёта необходимого количества режущего инструмента для обработки фольгированного стеклотекстолита.

Ключевые слова: обработка стеклотекстолита; расчёт количества свёрл; остаток режущего инструмента; номенклатура свёрл; инженер по инструменту.

An automated program for optimizing the work of the tool economy group (TEG) is considered. Screenshots of the interface with the necessary explanations illustrating the process of calculating the necessary number of drills for machining are shown. The description of the developed and implemented SverloProg program, which greatly simplifies the work of the tool engineer (TEG-engineer) when calculating the required number of cutting tools for machining foil-coated glass fiber laminate is adduced.

Keywords: machining of glass fiber; calculating the number of drills; the remainder of the cutting tool; drills nomenclature; tool engineer.

Большинство программ автоматического проектирования электронных средств могут формировать файлы статистики, в которых содержатся данные о количестве электрорадиоэлементов (Components), контактных площадок (Total Pads), в том числе площадок металлизированных отверстий (Thru Hole Pads) и апертур под установку элементов по-

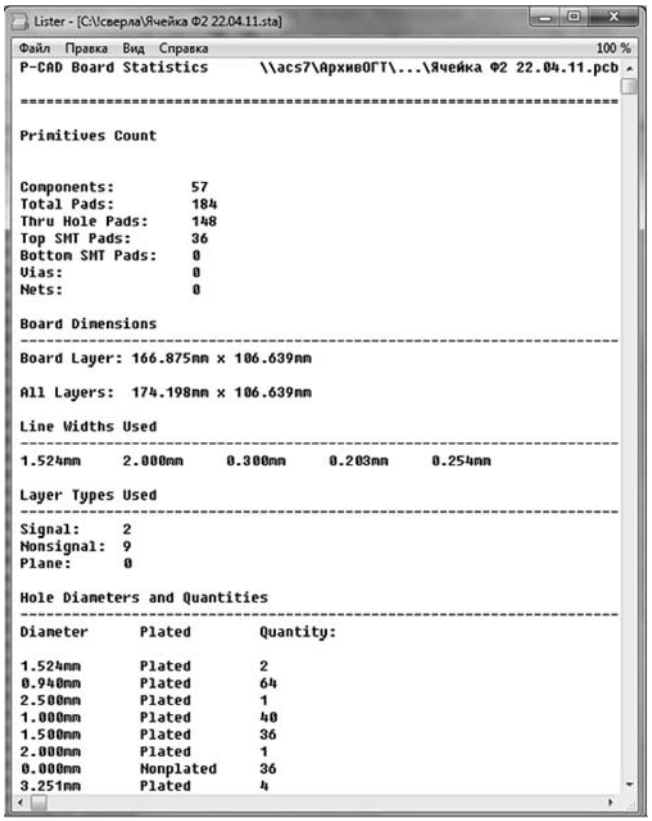

Рис. 1. Файл статистических данных печатной платы

верхностного монтажа на верхней и нижней сторонах платы (Top SMT Pads, Bottom SMT Pads соответственно).

Кроме того, файлы содержат информацию о слоях (Board Layer and All Layers), ширине проводников (Line Widths Used) и об отверстиях на печатной плате. Сформированный файл содержит данные о количестве и диаметрах отверстий (Hole Diameters and Quantities), а также о том, какие отверстия подлежат дальнейшей металлизации (Plated/Nonplated) (рис. 1).

Работа инженера по инструменту (инженер ГИХ) сопряжена с обеспечением подразделений предприятия необходимым инструментом, технологической оснасткой, их своевременным ремонтом. При организации поставок инструмента необходимо проводить расчёты его количества в зависимости от месячного (либо квартального) плана-задания загрузки производственных подразделений предприятия.

Что касается механической обработки печатных плат, то проведение такого расчёта осложнено широкой номенклатурой выпускаемых изделий и большим количеством режущего инструмента. Кроме того, в зависимости от диаметра обрабатываемых отверстий и количества отверстий на плате, а также от качества базового материала расход свёрл до их очередной переточки будет варьироваться.

Данная задача является довольно сложной и трудоёмкой, поэтому расчёт потребности в свёрлах обычно сводится к общей оценке, инструменты приобретают с запасом и размещают на складе. Для оптимизации работы инженера ГИХ разработана программа SverloProg автоматического расчёта количества свёрл.

Алгоритм работы программы для расчёта необходимого количества свёрл представлен на рис. 2.

Разработанный алгоритм реализован в программной среде Delphi. Программа предусматривает работу с предварительно созданной базой данных, которая обеспечивает:

накопление и хранение данных о видах обрабатываемых печатных плат;

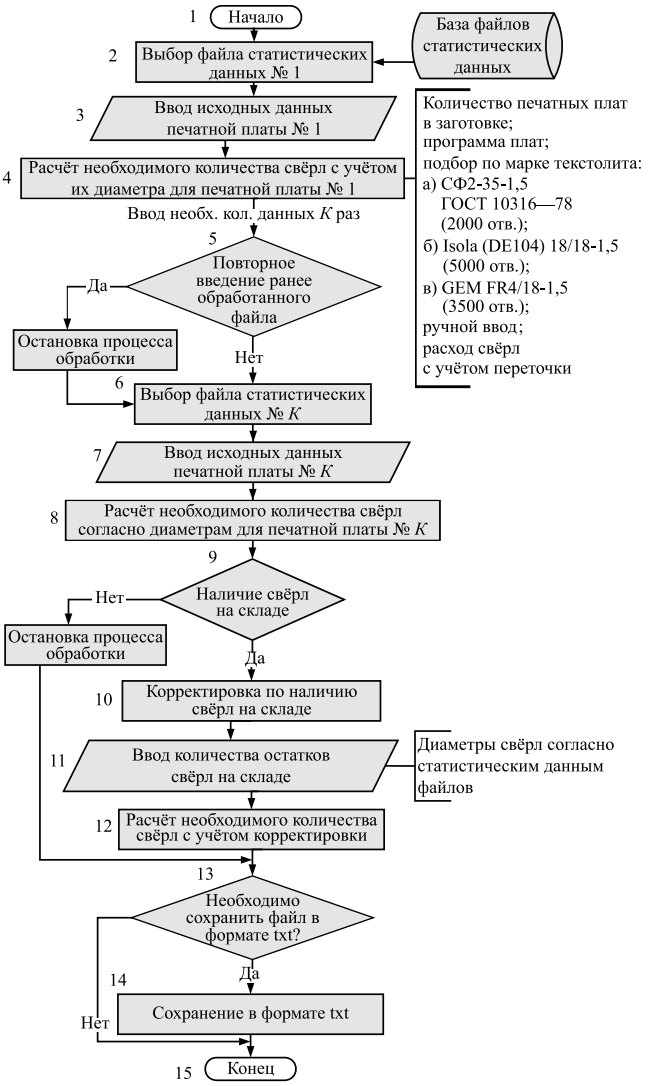

Рис. 2. Алгоритм работы программы для расчёта необходимого количества свёрл

накопление и хранение данных об обрабатываемых материалах;

хранение данных о количестве обрабатываемых отверстий с учётом диаметра свёрл;

хранение данных о топологии печатной платы;

привязку конкретной обрабатываемой печатной платы к конкретному заказу, что позволяет сделать выборку номенклатуры изделий в рамках конкретного заказа.

Необходимо отметить, что программа снабжена простым интерфейсом, интуитивно проста и понятна в работе, позволяет провести качественную и количественную оценку необходимого количества свёрл в производстве.

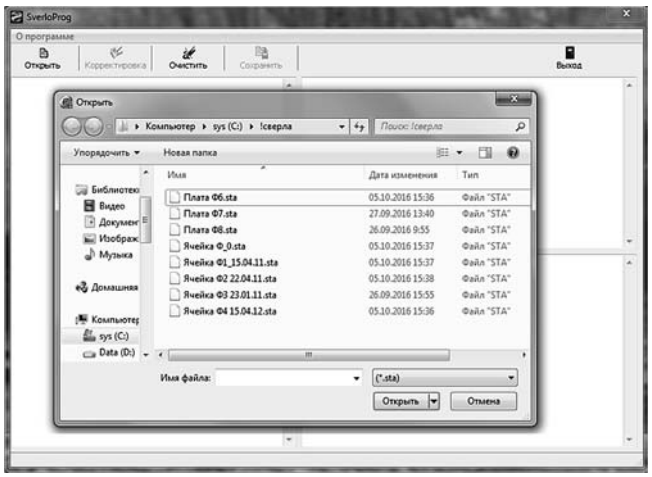

Рис. 3. Открытие файлов статистических данных

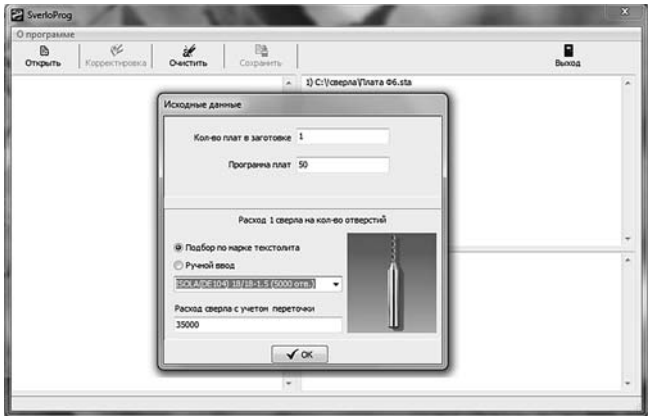

Рис. 4. Ввод исходных данных в программу

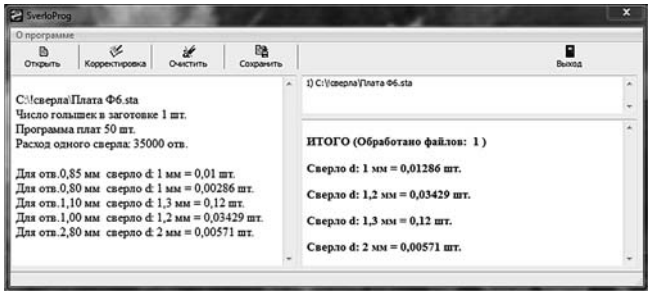

Рис. 5. Обработка файла статистических данных

Работа программы заключается в следующем: после загрузки файла SverloProg v2.0.2.exe появляется диалоговое окно, в котором после нажатия клавиши «Открыть» выбираем необходимый файл статистических данных (рис. 3).

Далее программа запрашивает исходные данные о количестве плат в заготовке, программе плат, расходе свёрл с учётом количества обрабатываемых отверстий [1—8] (согласно ОСТ 107.460092.004.01—86 базово установлено 1500 отверстий до переточки). Программно установлены 3 типа базовых материалов: фольгированный стеклотекстолит марки СФ (МИ) производства ЗАО «Завод "Молдавизолит"», DE104 марки Isola (Германия) и GEM (КНР). Именно эти марки базовых материалов чаще всего применяются на предприятии. Установлено следующее количество обработанных отверстий до переточки: 5000 отверстий для материала DE104, 3500 отверстий для материала GEM, 2000 отверстий для материала СФ [9, 10]. Кроме того, возможен ручной ввод данных о просверленных отверстиях с учётом переточки.

На рис. 4 в качестве исходных данных выбраны стеклотекстолит марки DE104, одиночная заготовка печатной платы и программа плат, состоящая из 50 изделий.

После введения исходных данных программа производит расчёт необходимого количества свёрл с учётом применяемого режущего инструмента. При разработке программного обеспечения учтён перевод диаметров обрабатываемых отверстий в диаметры свёрл с учётом необходимого зазора [1—4, 6—8], применяемых типоразмеров режущего инструмента и шестикратной переточки сверла (рис. 5).

Далее процедура повторяется в зависимости от производственного плана загрузки. В результате работы программы определяется общее количество свёрл, которое необходимо приобрести (правое нижнее окно). Программа снабжена модулем блокировки идентичных файлов для предотвращения случаев повторного ввода уже имеющейся информации (рис. 6).

Кроме того, программа предусматривает работу с остатком свёрл на складе, что позволяет производить расчёт с высокой степенью точности и оптимально распоряжаться бюджетом отдела и организации в целом (рис. 7).

Остаток режущего инструмента вводится с помощью кнопки «Корректировка», а ввод данных по количеству свёрл производится вручную. В результате программа выдаёт данные с учётом корректирующего остатка режущего инструмента (рис. 8).

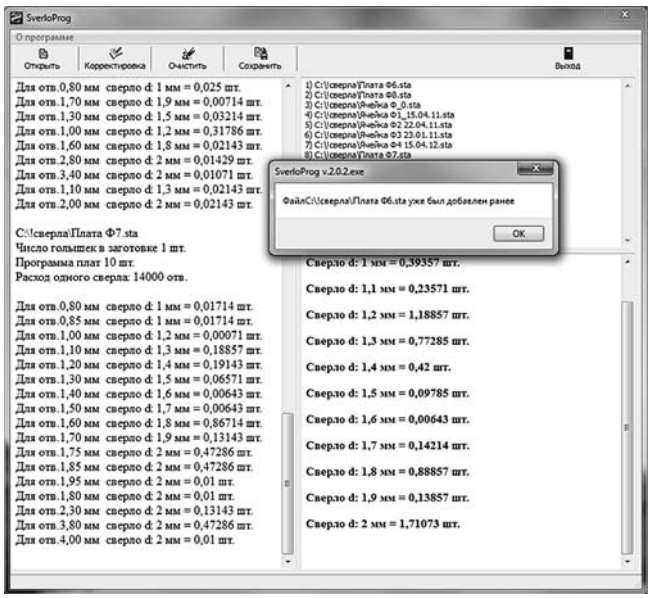

Рис. 6. Итоговые данные и блокировка идентичных файлов

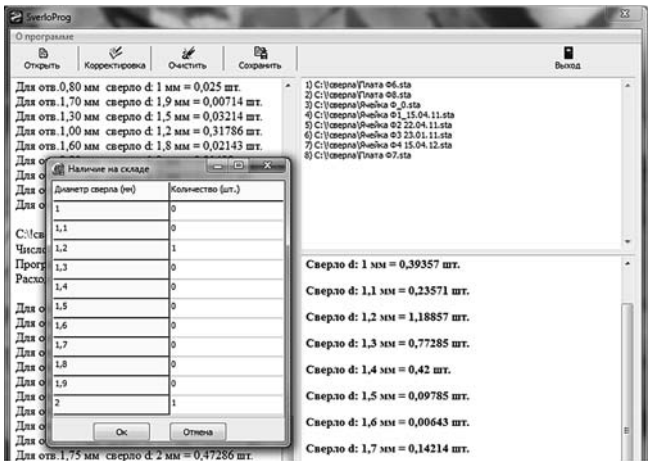

Рис. 7. Учёт остатка свёрл на складе

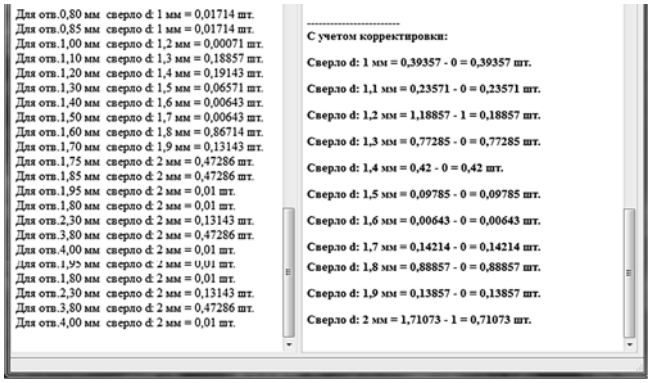

Рис. 8. Скорректированные данные с учётом остатка свёрл на складе

Таким образом, программа SverloProg значительно упрощает работу инженера по инструменту (инженера ГИХ) в части расчёта необходимого количества режущего инструмента для обработки фольгированного стеклотекстолита. При корректном введении расчётных данных довольно сложный и трудоёмкий процесс расчёта производится в полуавтоматическом режиме с помощью ЭВМ за считанные минуты.

Библиографические ссылки

1. **ГОСТ 23664—79.** Печатные платы. Получение монтажных и подлежащих металлизации отверстий. Требования к типовым технологическим процессам. М.: Изд-во стандартов, 1981. 34 с.

2. **ГОСТ Р 53429—2009.** Платы печатные. Основные параметры конструкции. М.: Стандартинформ, 2010. 8 с.

3. **ГОСТ Р 53432—2009.** Платы печатные. Общие технические требования к производству. М.: Стандартинформ, 2010. 15 с.

4. **ГОСТ РД50-708—91.** Инструкция. Платы печатные. Требования к конструированию. М.: Изд-во стандартов, 1991. 40 с.

5. **Ильин В.А.** Технология изготовления печатных плат. Л.: Машиностроение, 1984. 77 с.

6. **ОСТ 107.460092.004.01—86.** Платы печатные. Типовые технологические процессы. М.: Изд-во стандартов, 1987. 297 с.

7. **ОСТ 107.460092.004.02—86.** Платы печатные. Типовые технологические процессы. М.: Изд-во стандартов, 1987. 42 с.

8. **ОСТ4.054.060—82.** Платы печатные. Типовые технологические процессы. М.: Изд-во стандартов, 1983. 179 с.

9. **Шульгин А.Н., Орлов А.А.** Зависимость качественных и количественных показателей обработки отверстий на печатных платах от выбора фольгированного стеклотекстолита и режимов резания // Вестник ЮУрГУ. Сер.: «Машиностроение». 2015. № 2. С. 32—39.

10. **Yuanyushkin A.S., Rychkov D.A., Lobanov D.V.** Surface quality of the fiberglass composite material after milling // Applied mechanics and materials. 2014. Vol. 682. P. 183—187.

Ссылка для цитирования

Дьяконов А.А., Городкова А.Е., Шульгин А.Н. Автоматизированная программа для оптимизации работы группы инструментального хозяйства // Автоматизация. Современные технологии. 2018. Т. 72. № 8. С. 346—349.

УДК 658.511

В.А. Долгов, д-р техн. наук, доц., **А.А. Подкидышев, И.В. Дацюк**
(Московский государственный технический университет «Станкин»),
А.А. Кабанов, канд. техн. наук
(Московский авиационный институт — национальный исследовательский университет),
М.А. Васильцов
(АО «ВНИИРТ», г. Москва)

v-dolgov@yandex.ru

СЕМАНТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЛЯ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Предложена классификация технологических систем машиностроительного предприятия, основанная на видах операций преобразования основного материального потока. Разработаны семантические модели технологических систем операций.

Ключевые слова: имитационное моделирование; семантическая модель; производственно-технологическая система; цифровое производство.

The classification of the machine-building enterprise technological systems, based on transformation operations of the main material flow is proposed. Semantic models of technological operations systems are developed.

Keywords: simulation modeling; semantic model; production and technological system; digital production.

В настоящее время при разработке проектных решений создания цифровых производств в рамках технического перевооружения и модернизации машиностроительных предприятий, а также при технологической подготовке производства широкое применение находят методы математического моделирования производственных процессов [1, 2].

Одним из таких методов является имитационное моделирование, которое играет важную роль в обеспечении перехода отечественных машиностроительных предприятий к производству персонифицированной продукции в рамках цифровых технологий [3]. Эффективность применения имитационного моделирования сдерживается недостаточной проработкой его методического и информационного обеспечения [4].

При разработке имитационных моделей производственных процессов изготовления изделий в качестве объекта проектирования предложено использовать производственно-технологическую систему машиностроительного предприятия, которая включает основные блоки (рис. 1) [5].

Блоки производственно-технологической системы машиностроительного предприятия содержат описания соответствующих производственных процессов.

Блок «Преобразование материального потока» дополнительно содержит информационные модели производственного оборудо-

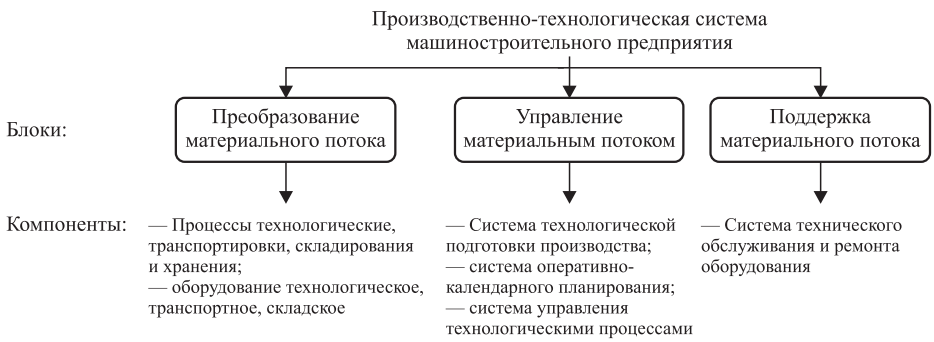

Рис. 1. Основные блоки и компоненты производственно-технологической системы

вания, которое задействовано в изменении основного материального потока: технологическое, транспортное и складское.

Многономенклатурное машиностроительное производство включает различные виды производств: заготовительное, механическое, сборочно-сварочное, механосборочное, нанесение покрытий и др.

Преобразование материального потока главным образом осуществляется на технологическом оборудовании (технологических системах операций).

В соответствии с ГОСТ 27.004—85 под технологической системой (ТС) понимается совокупность функционально взаимосвязанных средств технологического оснащения, предметов производства и исполнителей для выполнения в регламентированных условиях производства заданных технологических процессов или операций.

Выделяются следующие иерархические уровни технологических систем: ТС операций, ТС процессов, ТС производственных подразделений и ТС предприятий.

При разработке имитационной модели необходимо учитывать особенности преобразования основного материального потока большим количеством различных типов технологических систем операций [6, 7].

Для формализации логики работы ТС операций выделены следующие виды операций (работ) по преобразованию основного материального потока:

изменение и/или определение состояния элемента материального потока;

объединение элементов материального потока;

разделение элементов материального потока;

одновременное изменение состояния партии элементов материального потока.

Логика работы ТС операций преобразования материального потока не зависит от реализуемого метода изменения состояния элемента материального потока (изделия). Это позволяет в соответствии с видами технологических операций преобразования материального потока определить логические типы технологических систем операций, которые приведены в табл. 1.

Семантическая модель (СМ) ТС операции включает следующие объекты (сущности):

входной буфер — объект семантической модели технологической системы операции, который обеспечивает предварительное накопление предметов труда (заготовок/изделий);

преобразователь — объект семантической модели технологической системы операции, включающий средства технологического оснащения и исполнителей, на котором выполняется технологическая операция по изменению и/или определению состояния предмета труда;

Таблица 1

Логические типы технологических систем операций

Операция преобразования материального потока	Описание операции	Пример типа ТС операции	Обозначение логического типа ТС операции
Изменение и/или определение состояния элемента материального потока	В ТС операции одновременно осуществляется обработка и/или контроль одного элемента материального потока — изделия (заготовки или сборочной единицы)	Станок, камера окраски, контрольно-измерительная машина и др.	ТСО_И
Объединение элементов материального потока	В ТС операции создаётся один новый элемент материального потока (сборочная единица), может выполняться промежуточный контроль	Сборочный стенд, стапель, сварочный пост и др.	ТСО_СЕ
Разделение элементов материального потока	В ТС операции из одного элемента материального потока (групповой заготовки, паллеты) формируется несколько новых элементов материального потока	Станок гидроабразивной резки и др., рабочие места по разукомплектованию и др.	ТСО_ГЗ
Одновременное изменение состояния партии элементов материального потока	В ТС операции одновременно обрабатывается партия элементов материального потока (заготовок или сборочных единиц)	Гальваническая ванна, термическая печь, окрасочная камера и др.	ТСО_ПИ

Рис. 2. Семантическая модель ТС операции для представления в имитационной модели

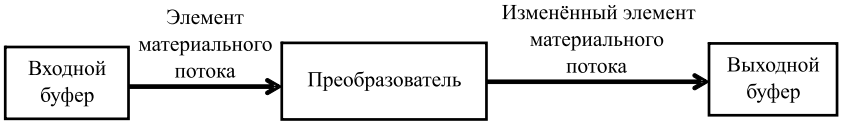

Рис. 3. Связи объектов семантической модели ТС операции изменения и/или определения состояния элемента материального потока

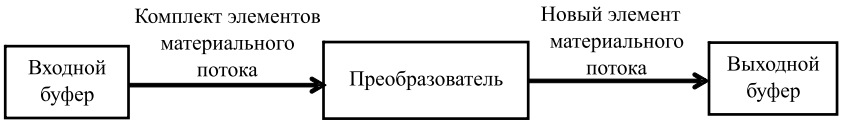

Рис. 4. Связи объектов семантической модели ТС операции объединения элементов материального потока

Рис. 5. Связи объектов семантической модели ТС операции разделения элементов материального потока

Рис. 6. Связи объектов семантической модели ТС операции одновременного изменения состояния партии элементов материального потока

выходной буфер — объект семантической модели технологической системы операции, который обеспечивает накопление изделий после выполнения над ними технологической операции.

Графическое представление семантической модели ТС операции приведено на рис. 2.

Приведённые логические типы ТС операций отличаются логикой работы объектов семантической модели. Связи между объектами семантической модели приведены на рис. 3—6, а описание логики их работы — в табл. 2—5.

Таким образом, разработанные семантические модели логических типов ТС операций позволяют формализовать описание операций преобразования основного материального потока в имитационных моделях производственных процессов и сократить трудоёмкость их разработки.

Подавляющее большинство технологических систем операций многономенклатурных машиностроительных предприятий при построении имитационных моделей можно описать предложенными логическими типами ТС операций. Представленные результаты направлены на совершенствование информационного обеспечения имитационного моделирования производственных процессов.

Таблица 2

Описание логики работы объектов семантической модели ТС операции изменения и/или определения состояния элемента материального потока

Объект СМ ТС операции	Описание логики работы
Входной буфер	Поступление элементов материального потока (заготовки, сборочные единицы) может осуществляться партиями или поштучно. После поступления элементов материального потока подаётся команда на переналадку преобразователя. После поступления информации об окончании переналадки элементы партии материального потока поштучно передаются на преобразователь
Преобразователь	Преобразователь изменяет и/или определяет состояние элемента материального потока, который передаётся на выходной буфер. При этом не формируется новый элемент материального потока
Выходной буфер	На выходной буфер передаются элементы материального потока. По окончании обработки всей партии элементов партия переходит в состояние готовности к дальнейшей маршрутизации

Таблица 3

Описание логики работы объектов семантической модели ТС операции объединения элементов материального потока

Объект СМ ТС операции	Описание логики работы
Входной буфер	Поступление комплектующих изделий для сборочной операции осуществляется одним или несколькими машинокомплектами. После поступления машинокомплекта подаётся команда на переналадку преобразователя. После поступления информации об окончании переналадки машинокомплект передаётся на преобразователь
Преобразователь	Преобразователь формирует новый элемент материального потока (сборочная единица). Элементы, поступившие на преобразователь, «уничтожаются»
Выходной буфер	На выходной буфер по одному подаются новые элементы материального потока. По окончании обработки всей партии элементов партия переходит в состояние готовности к дальнейшей маршрутизации

Таблица 4

Описание логики работы объектов семантической модели ТС операции разделения элементов материального потока

Объект СМ ТС операции	Описание логики работы
Входной буфер	На вход ТС операции подаётся один элемент материального потока (лист, пруток и др.) или пакет изделий (паллета, упаковка и др.). После поступления элемента материального потока на входной буфер подаётся команда на переналадку преобразователя. После поступления информации об окончании переналадки элемент материального потока передаётся на преобразователь
Преобразователь	Преобразователь формирует новые элементы материального потока. Из одного элемента материального потока могут быть получены группы нескольких элементов материального потока. Элементы, поступившие на преобразователь, «уничтожаются». Считается, что групповая заготовка использована полностью
Выходной буфер	На выходной буфер подаются новые элементы материального потока

Таблица 5

Описание логики работы объектов семантической модели ТС операции одновременного изменения состояния партии элементов материального потока

Объект СМ ТС операции	Описание логики работы
Входной буфер	Поступление изделий осуществляется партиями, равными партии запуска. После поступления партии запуска подаётся команда на переналадку оборудования. Передача изделий на преобразователь осуществляется операционными партиями. Размер операционной партии определяется техническими возможностями преобразователя
Преобразователь	Преобразователь одновременно изменяет состояние операционной партии элементов материального потока. При этом не формируется новый элемент материального потока
Выходной буфер	На выходной буфер элементы материального потока передаются операционными партиями. Операционные партии заготовок собираются в выходном буфере до тех пор, пока не будет обработана вся партия запуска. После окончания технологической операции количество элементов материального потока в выходном буфере равно количеству элементов, поступивших на входной буфер

Библиографические ссылки

1. **Григорьев С.Н., Кутин А.А., Долгов В.А.** Принципы построения цифровых производств в машиностроении // Вестник МГТУ «Станкин». 2014. № 4 (31). С. 10—15.

2. **Толуев Ю.И.** Задачи имитационного моделирования при реализации концепции индустрия 4.0 в сфере производства и логистики // Тр. 8-й всерос. науч.-практ. конф. «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД-2017), Санкт-Петербург, 18—20 окт. 2017 г.: Изд-во ВВМ, 2017. С. 57—65.

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

4. **Долгов В.А., Кабанов А.А., Андреев Н.С., Дацюк И.В.** Повышение эффективности разработки имитационных моделей при проектировании новых многономенклатурных машиностроительных цехов // Тр. 7-й всерос. науч.-практ. конф. «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД-2015), Москва, 21—23 окт. 2015 г. В 2 т. / Ин-т проблем упр. им. В.А. Трапезникова РАН. Т. 1. С. 73—79.

5. **Долгов В.А., Кабанов А.А.** Основные подходы к формированию информационной модели производственно-технологической системы машиностроительного предприятия // Автоматизация. Современные технологии. 2018. № 4. С. 178—184.

6. **Dolgov V.A.** Simulation of technological systems in custom production // Russian Engineering Research. September. 2010. Vol. 30. Iss. 9. P. 951—955.

7. **Ивахненко А.Г., Куц В.В., Еренков О.Ю., Ивахненко Е.О., Олейник А.В.** Оценка эффективности методологии структурно-параметрического синтеза металлорежущих систем // СТИН. 2017. № 5. С. 10—15.

Ссылка для цитирования

Долгов В.А., Подкидышев А.А., Дацюк И.В., Кабанов А.А., Васильцов М.А. Семантические модели технологических систем для имитационного моделирования производственных процессов // Автоматизация. Современные технологии. 2018. Т. 72. № 8. С. 350—354.

УДК 004.896

Д.А. Мурзагулов, А.В. Замятин, д-р техн. наук, доц.
(Томский государственный университет)
damir.murzagulov@imperialenergy.ru

АДАПТИВНЫЕ АЛГОРИТМЫ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В УПРАВЛЕНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

Представлены основы адаптивного подхода к организации обработки и анализа данных в управлении технологическими процессами на основе алгоритмов машинного обучения. Рассмотрены аспекты применения современных методов интеллектуального анализа данных с учётом основных преимуществ интеллектуального анализа и текущих возможностей средств автоматизации, применяемых в аналогичных задачах распознавания изображений и речи или выявления заболеваний на основе биомедицинских сигналов. Приведены некоторые принципы построения интеллектуальной системы, которая позволит реализовать адаптивную обработку данных и существенно повысить эффективность управления сложным производственным оборудованием. Предложена обобщённая модель взаимодействия интеллектуальной системы обработки и анализа технологических данных с типовыми структурами систем диспетчерского контроля и управления на промышленных объектах.

Ключевые слова: машинное обучение; технологические процессы; измерительные сигналы; автоматизация и управление; SCADA-системы.

The adaptive approach fundamentals to the organization of data processing and analysis in the management of technological processes on the basis of machine learning algorithms are presented. The aspects of the modern methods application for data intellectual analysis taking into account the main advantages of intellectual analysis and current capabilities of automation means used in analogous problems of image and speech recognition or detection of diseases based on biomedical signals are considered. Some principles of constructing an intelligent system, which will allow implementing adaptive data processing and significantly improve the management efficiency of complex production equipment, are presented. A generalized model of the interaction of an intelligent system for processing and analyzing technological data with typical structures of dispatching and control systems at industrial objects is proposed.

Keywords: machine learning; technological processes; measuring signals; automation and control; SCADA systems.

Введение. В настоящее время в нашей стране и в мире бóльшая часть промышленных процессов находится под автоматизированным или автоматическим контролем [1]. При этом происходит генерация огромного объёма технологических и нетехнологических данных,

которые собираются и архивируются на базе соответствующей ИТ-инфраструктуры [2]. Накопленные данные о протекании технологических процессов с учётом действий диспетчерского персонала, параметров среды, состояний агрегатов и характеристик исходного сырья могут содержать полезную информацию не только о текущем состоянии того или иного агрегата, но и о начавшихся критических изменениях в технических характеристиках агрегата и его потребительских свойствах.

Большинство предприятий для отслеживания негативных изменений в работе оборудования используют базовые средства контроля, предоставляемые производителями. В их основе лежит принцип агрегации и визуализации данных из различных источников в доступном формате для проведения анализа. Основные функции таких систем генерации отчётов ограничиваются, как правило, лишь построением диаграмм и графиков, а собственно анализ представленной информации остаётся за человеком. Именно такого рода решения сегодня предлагаются ведущими производителями систем диспетчерского контроля и управления (Wonderware, Emerson и т. д.) [3, 4].

Однако подобный экспертный анализ имеет существенные ограничения:

не позволяет анализировать многочисленные косвенные факторы, влияющие на состояние оборудования, и прогнозировать критическую ситуацию априори;

анализ ситуации проводится с существенной задержкой относительно режима реального времени;

эксперт дополнительно использует лишь несложные методы традиционной математической статистики, область применения которых существенно ограничена известными законами распределения данных и их небольшим набором;

требуется высокая квалификация эксперта, позволяющая анализировать неочевидные тренды, прогнозировать развитие ситуации исключительно с учётом своего практического опыта.

Поэтому всё более актуальными становятся методы анализа данных, максимально исключающие человеческий фактор, но базирующиеся на использовании экспертного опыта и в значительной мере заменяющие человека-эксперта. Эти методы получили название методов машинного обучения и всё активнее развиваются в области наук о данных (Data Science) [5]. Несмотря на успешные попытки применения этих методов в различных областях анализа аналогичных биомедицинских [6—8] или речевых сигналов [9], в области индустриальной аналитики такие решения практически отсутствуют. Существующие отдельные примеры (решения Tibco Statistica [10] или Fujitsu [11]) имеют существенные технические ограничения:

слабая интеграция непосредственно с источниками технологических данных, которая препятствует применению результатов анализа в режиме реального времени;

большинство систем управления на промышленных предприятиях являются локальными, закрытыми системами, изолированными от сети Интернет (данный фактор требует дополнительных мер безопасности и учёта специфики промышленных протоколов передачи данных);

высокие вычислительные затраты, которые невозможно реализовать в условиях существующей инфраструктуры.

Отсутствие решений в области анализа технологических данных, главным образом, связано со следующими обстоятельствами:

нестационарность и динамичность технологических процессов, обусловливающие сложность математического описания;

неоднородная структура данных (вещественные значения, события, сообщения);

уникальность каждого объекта управления (в отличие от биомедицинских и речевых данных, которые имеют обобщённые характерные признаки), которая требует адаптивного похода для каждого случая;

наличие аномальных ситуаций, которые могут являться как следствием изменения интересующего тренда технологического сигнала, так и следствием ремонтных или иных регламентных процедур.

Разрешение указанных сложностей позволит извлекать полезную информацию о технических характеристиках агрегатов на производстве, локализовать с высокой точностью область и причину неисправности оборудования, прогнозировать состояние объекта с учётом его ретроспективных характеристик и характеристик других смежных агрегатов. В итоге это позволит оптимизировать управление технологическим процессом и повысить технико-экономические показатели производства.

Наиболее существенная экономическая выгода от применения интеллектуального анализа данных ожидается в области сопровождения технического обслуживания и ре-

монта (ТО и Р) сложного технологического оборудования, которая характеризуется существенными затратами на любых производственных предприятиях. Применение методов интеллектуального анализа технологических данных позволить решить следующие проблемы:

существенно сократить время простоя оборудования;

оптимизировать план мероприятий по техническому обслуживанию, а также уменьшить время внепланового техобслуживания;

проводить углубленный анализ причин отказов оборудования;

получить более полную информацию о технологическом процессе;

повысить срок службы сложного технологического оборудования.

Постановка задачи. С учётом изложенного целью исследования является разработка интеллектуальной системы анализа на основе адаптивных алгоритмов машинного обучения, позволяющих осуществлять контроль и оценку состояния сложных динамических объектов управления. Под адаптивностью понимается подход, обеспечивающий на основании определённых критериев выбор последовательности алгоритмов, позволяющих получать практически значимое решение целевой задачи обработки технологических данных. Предлагается реализовать функционирование системы как в режиме обучения, так и в режиме распознавания и прогнозирования внештатных ситуаций.

В режиме обучения происходит определение характеристик, значимых признаков объектов и выбор нужной технологии моделирования процесса на основе ретроспективных данных. Одним из основных понятий машинного обучения является обучающая выборка $X = (x_i, y_i)_{i=1}^{l}$, где x_i — признаковое описание объекта управления X; y_i — ответы на данном объекте; l — размер выборки. Под признаковым описанием объекта будет трактоваться набор физических измерений (давление, температура, электрические нагрузки и т. п.), связанных с объектом управления, а под ответами — набор состояний объекта (авария, ремонт, штатный режим). Прогнозирование состояний объекта происходит на основе некоторой модели $a(x)$, которая представляет собой функцию из пространства объектов **X** в пространство ответов **Y**. В качестве оценки эффективности модели вводится характеристика $Q(a, x)$ — функционал ошибки модели a на выборке X. При этом задача обучения решается таким образом, что для обучающей выборки X нужно найти такой алгоритм a, на котором будет достигаться минимум функционала ошибки:

$$Q(a, x) = \min_{a}.$$

Второй режим обеспечивает в условиях реального времени контроль состояния объекта и формирование решений по воздействию на технологический процесс. При этом система не прекращает процесс адаптации, постоянно обучается, дополняя имеющиеся знания в процессе обработки данных. Общий порядок адаптации предполагает выбор наилучшего метода, исходя из требования показателя эффективности — качества решения задач обработки. При этом под качеством понимается совокупность следующих параметров: оперативность и точность решения, выраженные через степень схожести сформированного решения и решения, реализованного экспертом предметной области.

Для достижения поставленной цели требуется решение следующих задач:

предварительная обработка сигналов;

классификация технологических сигналов;

разработка метрик оценки качества для обеспечения контролируемой точности алгоритмов;

разработка адаптивного алгоритма распознавания и прогнозирования внештатных ситуаций;

разработка метрик оценки качества для обеспечения контролируемой точности алгоритмов;

разработка технологии динамического обучения;

создание методики контроля точности моделей;

программная реализация разработанных алгоритмов.

Рассмотрим некоторые их этих задач подробнее.

Предварительная обработка сигналов. Единицей технологической информации является сигнал — последовательные значения некоторого физического параметра, зафиксированные в определённые моменты времени: $P = \{p_1, p_2, ..., p_t\}$, где p_t — показания параметра P в момент времени t.

Как правило, сигналы поступают от различного типа измерительных преобразователей: давления, температуры, расхода и т. п. Как

следствие, в сигналах могут присутствовать искажения различного характера — шумы, избыточная информация, пропуски значений и выбросы [12]. До процесса построения модели данные искажения следует устранить или снизить степень их влияния на данный сигнал. Это может быть реализовано применением следующих групп методов:

преобразования временного сигнала в частотную область (спектральный анализ): вейвлет-преобразование [13, 14], преобразование Гильберта [14, 15], преобразование Фурье [16—19] и т. д.;

методы сглаживания и фильтрации: экспоненциальное сглаживание [20], метод скользящего среднего [21], цифровая фильтрация [22];

статистический анализ сигналов: анализ параметров распределения [23], анализ главных компонент [24].

На рис. 1 показан пример обработки показаний давления нефти на выходе насоса экспоненциальным сглаживанием — один из простейших в практической реализации и распространённых приёмов фильтрации сигналов.

Классификация технологических сигналов. Тип технологических сигналов может принимать различный характер — от детерминированных до случайных, стохастических величин, характеризующихся вероятностными показателями. На рис. 2 представлены некоторые виды таких сигналов.

Для детерминированных сигналов, которые могут быть описаны точными математическими соотношениями, математический аппарат анализа будет существенно отличаться от анализа случайных величин, где необходимо оперировать вероятностными характеристиками.

На практике технологические сигналы могут быть представлены как отдельным классом, так и комбинацией классов в случае более сложных процессов. Разбиение сигналов на классы позволяет упростить дальнейшую обработку данных и принятие решений, применяя к каждому классу свой метод анализа. Классификация измерительных сигналов представлена на рис. 3.

Для классификации (контролируемой и неконтролируемой) могут быть применены искусственные нейронные сети различной

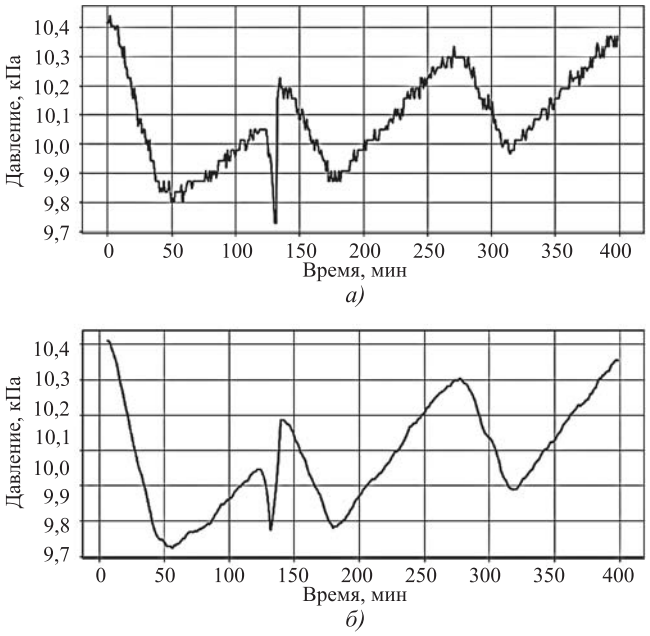

Рис. 1. Результат предварительной обработки сигнала «давление нефти на выходе насоса»:
а — сигнал с шумовой компонентой; *б* — сигнал после обработки

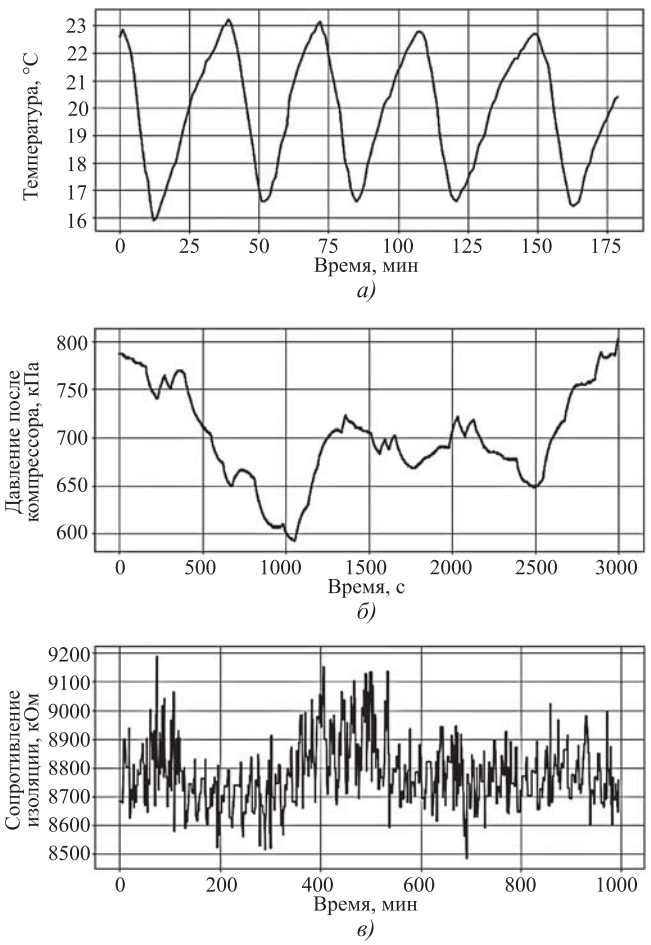

Рис. 2. Примеры измерительных сигналов:
а — периодический сигнал «температура реагента»; *б* — нестационарный сигнал «давление после компрессора»; *в* — случайный стационарный сигнал «сопротивление изоляции обмоток электродвигателя»

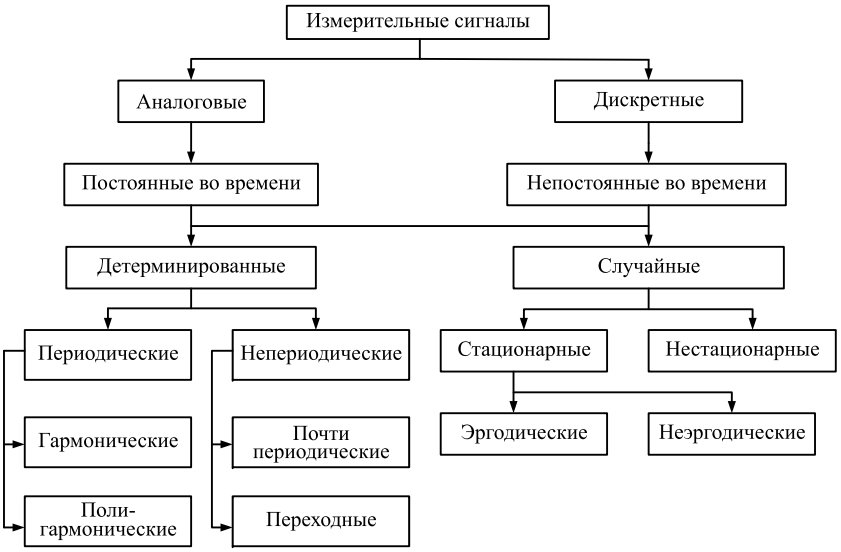

Рис. 3. Классификация измерительных сигналов

архитектуры (рекуррентные, свёрточные, состязательно-генеративные и др.) [24, 25]. В работе предстоит исследовать применимость различных сетевых архитектур и способы их адаптации под особенности обработки технологических данных.

Разработка метрик оценки качества для обеспечения контролируемой точности алгоритмов. Результат работы алгоритма во многом будет определяться выбранной моделью прогнозирования. Для оценивания пригодности модели необходимо разработать подходящие метрики качества. В качестве метрики могут быть использованы среднеквадратичная, абсолютная ошибки и др. Метрики полезны для подбора параметров модели в процессе обучения, в задачах регрессии принято использовать метрики, которые необходимо минимизировать. Часто на практике в качестве такой метрики используют среднеквадратичную ошибку:

$$MSE(a,x)=\frac{1}{l}\sum_{i=1}^{l}(a(x_i)-y_i)^2.$$

В случае классификации, напротив, принято выбирать метрики таким образом, чтобы их нужно было максимизировать. Например, используют метрики или их комбинации (точность, полнота, F-мера, ROC-кривые, каппа-индекс) [26]. Применение метрик позволяет не только оценить качество модели, но и измерить подобие, близость классов между собой — эта информация дополняет знания о структуре данных и может быть также полезна. Непростой задачей является поиск метрик и критериев классификации, которые наилучшим образом позволят учесть специфику технологических процессов и сложность решаемой задачи.

Разработка адаптивного алгоритма распознавания и прогнозирования внештатных ситуаций. Задача заключается в создании моделей, которые путём сопоставления результатов мониторинга текущей ситуации с набором ретроспективных данных предсказывают с определённой долей вероятности возникновение внештатной ситуации или необходимость внепланового технического обслуживания объекта. Процесс мониторинга заключается в контроле отклонения прогнозного и фактического сигналов в каждый момент времени. Чтобы определить возможность отказа оборудования или внештатной ситуации, необходимо уста-

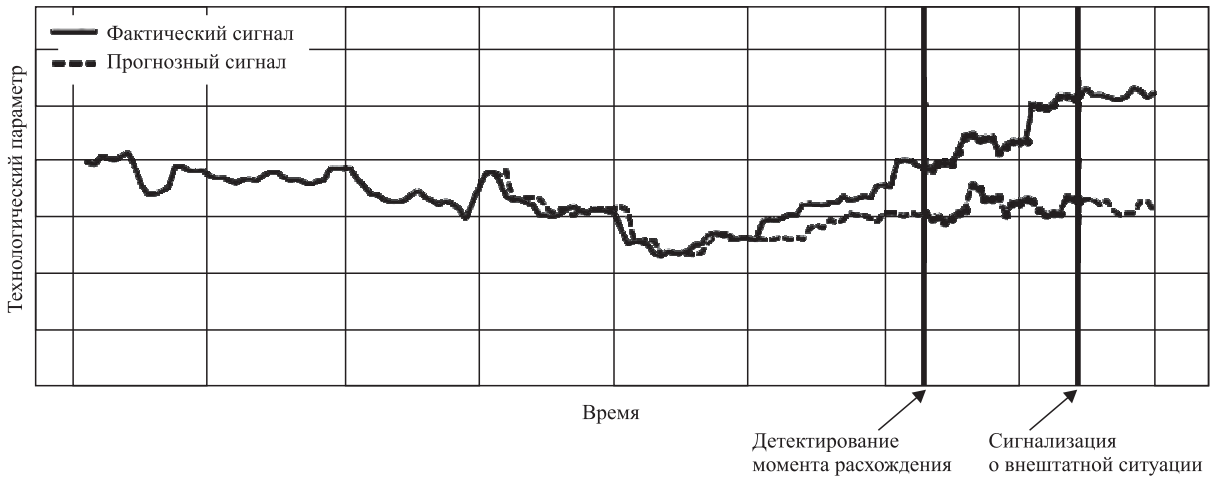

Рис. 4. Выявление внештатной ситуации

новить порог по максимальному возможному отклонению и длительности отклонения во избежание ложных срабатываний (рис. 4).

На данном этапе могут быть применены методы динамического моделирования и прогнозирования (анализ временных рядов) [27], деревья решений [28] и нейронные сети [29]. Модель для прогнозирования выбирается с учётом класса сигнала, определённого на предыдущих этапах (в этом заключается адаптивность подхода). Также предполагается применение процедур «бустинга» и «бэггинга» — последовательное и параллельное построение ансамблей алгоритмов для итеративной оптимизации [30].

Анализ совокупности сигналов и динамическое обучение. Задача анализа одиночных сигналов является важной и требует исследования. Вместе с тем состояние большинства реальных объектов, как правило, характеризуется совокупностью сигналов. Решение этой задачи позволит учитывать скрытые и косвенные факторы влияния на состояние технологического процесса. Для решения этой задачи могут быть применены методы математической статистики (регрессионный и корреляционный анализ) [31], поиск ассоциативных зависимостей, метод анализа независимых компонент [32]. Суть данных методов заключается в поиске взаимных корреляций между независимыми параметрами и в установлении степени влияния друг на друга.

Технологические процессы являются сложными динамическими объектами, поэтому в процессе эксплуатации системы необходимо проводить дополнительное обучение модели. Условия работы оборудования могут изменяться в связи с сезонностью, изменением производственного плана или под влиянием других факторов. Решение данной проблемы также требует гибкого подхода в зависимости от выбранной модели машинного обучения.

Технология динамического обучения требует адаптивной оценки точности модели на всех этапах её использования — обучения, валидации и тестирования [33]. На этом этапе предполагается разработка оригинальной методики контроля точности моделей, позволяющая адаптивно учитывать множество факторов, влияющих на адекватность используемой модели (вид модели, параметры технологических данных и др.) и, при необходимости, заменять модель на более подходящую в данном случае или дообучать существующую.

Программная реализация разработанных алгоритмов. На основе алгоритмов, рассмотренных в предыдущих задачах, предполагается разработка интеллектуальной системы анализа для оценки и контроля состояния технологических процессов. Основная проблема в данном случае заключается в реализации ансамбля математических моделей как семейства дополняющих друг друга решений. Программное обеспечение должно отвечать требованиям производительности, совместимости и предоставлять удобный интерфейс пользователя для оперативной поддержки и принятия решений.

Для достижения автоматического и непрерывного функционирования систему необходимо тесно интегрировать с существующими на предприятии системами диспетчерского контроля и управления (в англ. литературе SCADA) [34], которые послужат источником данных для анализа. Функционирование SCADA происходит за счёт взаимодействия различных компонентов: сервер оперативных данных (OPC DA), сервер истории (OPC HDA), подсистема тревожных сообщений, человеко-машинный интерфейс (HMI) и т. д. [35]. В частности, сервер оперативных данных реализует ввод/вывод информации с полевых устройств, сервер истории агрегирует и обеспечивает удобный доступ к ретроспективным данным. В связи с тем, что основная функция системы заключается в сопоставлении результатов мониторинга текущей производственной ситуации с предшествующим опытом управления, предполагается организовать взаимодействие с указанными компонентами SCADA за счёт применения широко известной спецификации (международного стандарта) OPC UA [36], определяющей передачу данных в промышленных сетях и взаимодействие устройств в них. В ходе исследования ожидается разработка собственного универсального клиента OPC UA, позволяющего собирать данные с любых SCADA-систем и интегрированного совместно с модулем интеллектуальной обработки технологических данных. Предлагаемая обобщённая архитектура управления с применением интеллектуальной системы анализа данных приведена на рис. 5.

Заключение. Выполнен анализ современных подходов и решений в области интеллектуальной обработки технологических данных. Установлено, что такие решения практически отсутствуют, а имеющиеся не обладают свойствами универсальности и адаптивности, характеризуются высокой степенью вовлечения человека в процесс анализа и имеют ряд технических ограничений. Предложены концеп-

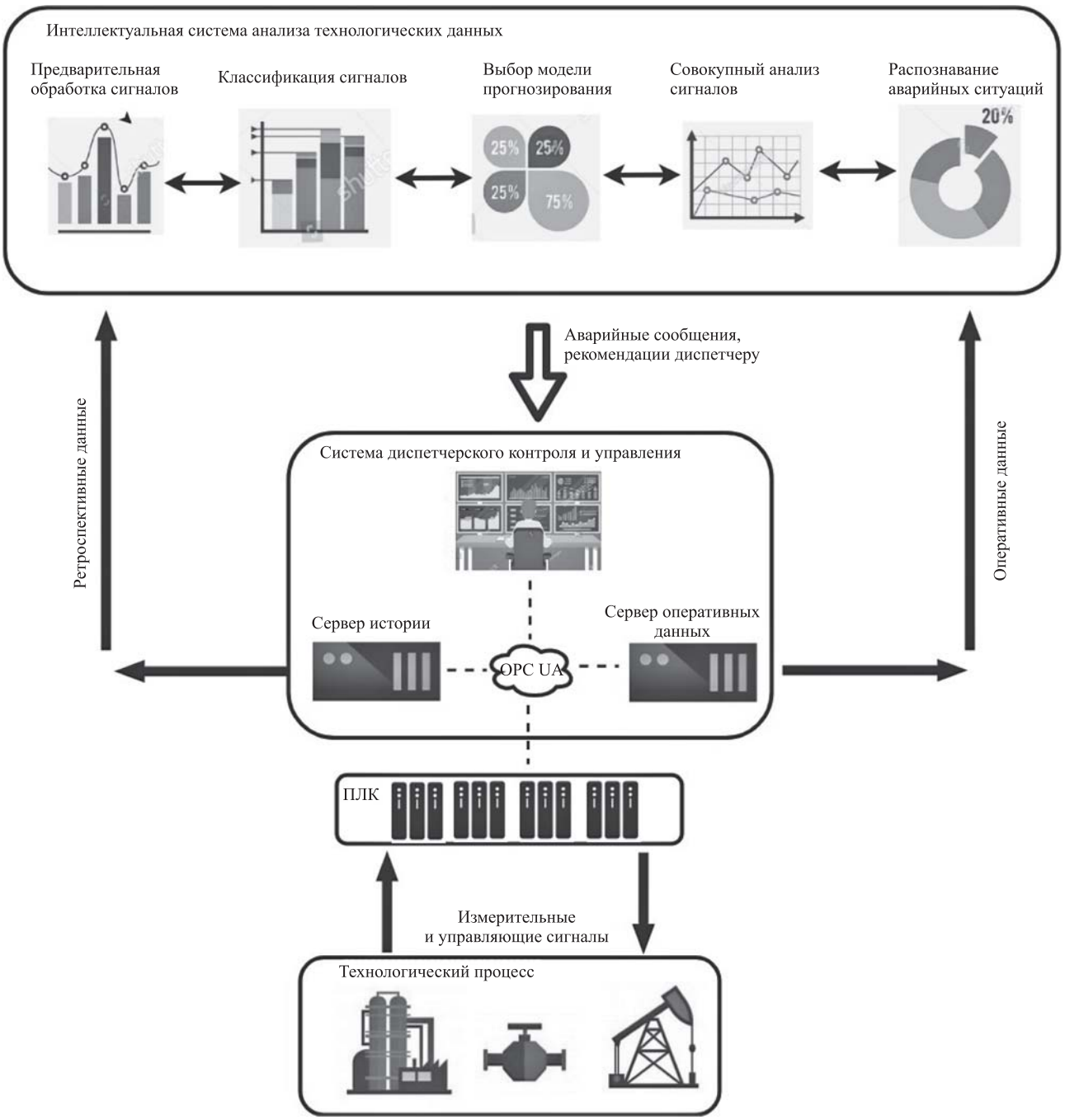

Рис. 5. Обобщённая структура управления технологическим процессом с применением интеллектуального анализа данных

туальные основы построения перспективной системы обработки и анализа технологической информации, которая позволит обеспечить устойчивость и точность выявления отказов с учётом большого разнообразия и динамики объектов управления, а также показан способ интеграции системы с типовой ИТ-инфраструктурой предприятия. Отличительной особенностью предложенного подхода является его адаптивность за счёт применения ансамбля методов машинного обучения, которая позволяет учитывать индивидуальные характеристики каждого объекта и обеспечивает независимость от физики процесса. Рассмотрена технология динамического обучения и постоянного контроля качества для использования в режиме реального времени, что крайне важно в условиях оперативного контроля над технологическими процессами и установками.

Работа выполнена в ходе реализации комплексного проекта при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (договор от 1 декабря 2015 г. № 02.G25.31.0130) в рамках постановления Правительства Российской Федерации № 218 от 9 апреля 2010 г.

Библиографические ссылки

1. **Селевцов Л.И.** Автоматизация технологических процессов. М.: Академия, 2014. 345 с.

2. **Davenport Thomas H.** Analytics 3.0 // Harvard Business Review. 2013. № 4. С. 7.

3. **Wonderware** Software — Powering the Industrial World [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.wonderware.com/industrial-information-management/historian-client (дата обращения: 26.03.2018).

4. **Emerson** Process Management — Automation Solutions [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www2.emersonprocess.com/en-IN/industries/Power/Coal/Optimize-Operator-and-Engineer-Effectiveness/Pages/Remote-Monitoring-Data-Analytics.aspx (дата обращения: 26.02.2018).

5. **Замятин А.В.** Введение в интеллектуальный анализ данных: учеб. пособие. Томск: Изд. дом гос. у-та, 2016. 120 с.

6. **Рангайян Р.М.** Анализ биометрических сигналов. Практический подход / Под ред. Немирко А.П. М.: Физматлит, 2007. 222 с.

7. **Гвозденко С.В.** Интеллектуальный анализ сложных нестационарных сигналов на примере электрокардиографических сигналов // Фундаментальные исследования. 2016. № 3. С. 537—542.

8. **Замятин А.В., Аксёнов С.В., Костин К.А., Иванова А.В., Лианг Дж.** Диагностика патологий по данным видеоэндоскопии с использованием ансамбля свёрточных нейронных сетей // Современные технологии в медицине. 2018. № 2.

9. **Jurafsky B., Ng A.Y.** and all. Building DNN acoustic models for large vocabulary speech // IEEE Transactions on Audio, Speech and Language Processing. 2017. Т. 34. № 9.

10. **Tibco** Statistica Inc [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://statistica.io/wordpress/wp-content/uploads/Striim-Partner-Solution-Brief.pdf. (дата обращения: 24.03.2018).

11. **Tadviser** [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://goo.gl/2xLSFy (дата обращения: 26.03.2018).

12. **Антонью А.** Цифровые фильтры: анализ и проектирование. М.: Радио и связь, 1983. С. 15.

13. **Shyu L.Y., Wu Y.H., Hu W.** Using wavelet transform and fuzzy neural network for VPC detection from the Holter ECG // IEEE Transactions Biomed. Eng. 2004. Т. 51. № 7. С. 1269—1273.

14. **Yang G.** Electrodiogram arrhythmia pattern recognition based on an improved wavelet neural network // J. Mech. Med. Biol. 2013. Т. 13. № 1. 135 с.

15. **Lim J.S.** Finding features for real-time premature ventricular contraction detection using a fuzzy neural network system // IEEE Trans. Neural Networks. 2009. Т. 20. № 3. С. 522—527.

16. **Арутюнов П.А.** Теория и применение алгоритмических измерений. М.: Энергоатомиздат, 1990. 40 с.

17. **Нуссбаумер Г.** Быстрое преобразование Фурье и алгоритмы вычисления сверток. М.: Радио и связь, 1985. 56 с.

18. **Новак М.** Частотные преобразования в теории цепей. М.: Советское радио, 1975. 37 с.

19. **Oppenheim Alan V., Ronald W.** Schafer Digital Signal Processing. Pearson, 1975. 26 с.

20. **Ганеев Р.М.** Математические модели в задачах обработки сигналов. М.: Горячая линия—Телеком, 2004. 114 с.

21. **Афанасьев В.Н.** Анализ временных рядов и прогнозирование // Финансы и статистика. 2001. № 3. С. 123—128.

22. **Айфичер Э., Джервис Б.** Цифровая обработка сигналов. Практический подход. 2-е изд. М.: Вильямс, 2004. 992 с.

23. **Gernot A.** Markov Models for Pattern Recognition From Theory to Applications // Springer. 2014. № 4. 89 с.

24. **Артёмов А.В.** Математические модели временных рядов с трендом в задачах обнаружения разладки // Теория автоматического управления и оптимизации. 2015. № 11. С. 34.

25. **He E., Huang W., Qiao Y., Yao J.** Text-attentional convolutional neural network for scene text detection // IEEE Transactions on Image Processing. 2016. Vol. 25. № 6. P. 2529—2541.

26. **Goodfellow Ian J.** Generative Adversarial Nets // Advances in neural information processing systems. 2014. P. 2672—2680.

27. **Михайлов Г.** Метрики качества [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://glebmikhaylov.com (дата обращения: 20.02.2018).

28. **Kadurin A.** The cornucopia of meaningful leads: Applying deep adversarial autoencoders for new molecule development in oncology // Oncotarget. № 1. 2017.

29. **Breiman L.** Random Forest // Statistics Department University of California Berkeley. 2001. № 7.

30. **Хайкин С.** Нейронные сети: полный курс. М.: Вильямс, 2006. 1104 с.

31. **Breiman L.** Bagging predictors. Technical Report 421. Department of Statistics, University of California at Berkeley, 1994.

32. **Ферстер Э.** Методы корреляционного и регрессионного анализа. М.: Финансы и статистика, 1983. 240 с.

33. **Ведмедь А.Г., Машталир С.В., Сакало Е.С.** Восстановление изображений с использованием анализа главных и независимых компонент // Системы обработки информации. 2010. № 6.

34. **Amari S., Cichocki A., Yang H.** A New Learning Algorithm For Blind Signal Separation. In Advances in Neural Information Processing Systems // The MIT Press. Cambridge, MA. 1996. P. 757—763.

35. **Нестеров А.Л.** Проектирование АСУ ТП. СПб.: Деан, 2009. 552 с.

36. **Bailey D., Wright E.** Practical SCADA for Industry. Elsevier, 2003.

37. **Богданов Н., Киселёва О.** OPC Unified Architecture: изменения в популярной технологии информационных обменов с точки зрения инженера // Современные технологии автоматизации. 2010. Т. 3. С. 60—65.

Ссылка для цитирования

Мурзагулов Д.А., Замятин А.В. Адаптивные алгоритмы машинного обучения в управлении технологическими процессами // Автоматизация. Современные технологии. 2018. Т. 72. № 8. С. 354—361.

УДК 004.89

Г.Ф. Габитова
(ООО «Идеал ПЛМ СиАйЭс», г. Санкт-Петербург)
galia-gabitova@mail.ru

НЕЙРОСЕТЕВОЙ МЕТОД КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА И ГРУППИРОВАНИЯ ТЕЛ ВРАЩЕНИЯ

Представлен метод кластерного анализа и последующего группирования изделий машиностроения с использованием нейронных сетей LVQ и Кохонена. Результаты применения данного метода оценены с использованием метода авторегрессионного спектрального оценивания Берга и расчёта функции распределения плотности вероятностей f для случайной величины x_i методом непараметрического сглаживания.

Ключевые слова: автоматизированные системы технологической подготовки производства; тела вращения; кластерный анализ; группирование; нейронные сети.

The method of cluster analysis and subsequent grouping of machine-building products through the use of neural networks LVQ and Kohonen is presented. The results of this method application are estimated through the use of Berg's method of autoregressive spectral estimation and calculating the density distribution function of the probabilities f for a random variable x_i by the method of nonparametric smoothing.

Keywords: automatic systems of the production technological preparation; rotating bodies; cluster analysis; grouping; neural networks.

Машиностроение — одна из самых важных и самая сложная по своей структуре отрасль промышленности. В машиностроении и, в частности, в авиадвигателестроении — одном из самых ресурсоёмких производств, очень важным является сокращение сроков конструкторской и технологической подготовки производства (ТПП).

В представленной работе рассмотрено группирование деталей типа кольцо привода направляющего аппарата, используемых при изготовлении газотурбинных двигателей (ГТД), на основе применения искусственных нейронных сетей LVQ и Кохонена. Практика ведущих мировых предприятий свидетельствует о необходимости существенного сокращения как трудоёмкости работ по ТПП, так и сроков постановки на производство продукции за счёт применения автоматизированных систем технологической подготовки производства (АСТПП). Наиболее прогрессивным методом совершенствования АСТПП в настоящее время является её интеллектуализация, что обусловливает актуальность применения современных методов искусственного интеллекта. В связи с тем, что в функциональных моделях АСТПП центральное место занимает разработка технологических процессов, рассматриваемая в статье задача кластерного анализа и группирования тел вращения с помощью средств искусственного интеллекта относится к весьма актуальным разработкам, её решение обеспечит создание специализированных производственных участков.

Из функциональной модели разработки межцеховых технологических маршрутов в АСТПП (рис. 1) следует, что после поступления в отдел главного технолога (ОГТ) комплекта рабочей конструкторской документации (КД) осуществляют анализ номенклатуры деталей и сборочных единиц (ДСЕ), в том числе отработку конструкций изделий на технологичность по условиям завода-изготовителя, а также группировку (классификацию и группирование) деталей и сборочных единиц [1].

Группирование представляет собой сложный и ответственный процесс, целью которого является разделение всего множества деталей, подлежащих изготовлению в основном производстве, на определённые группы по технологическому подобию. Перед формированием конструкторско-технологических

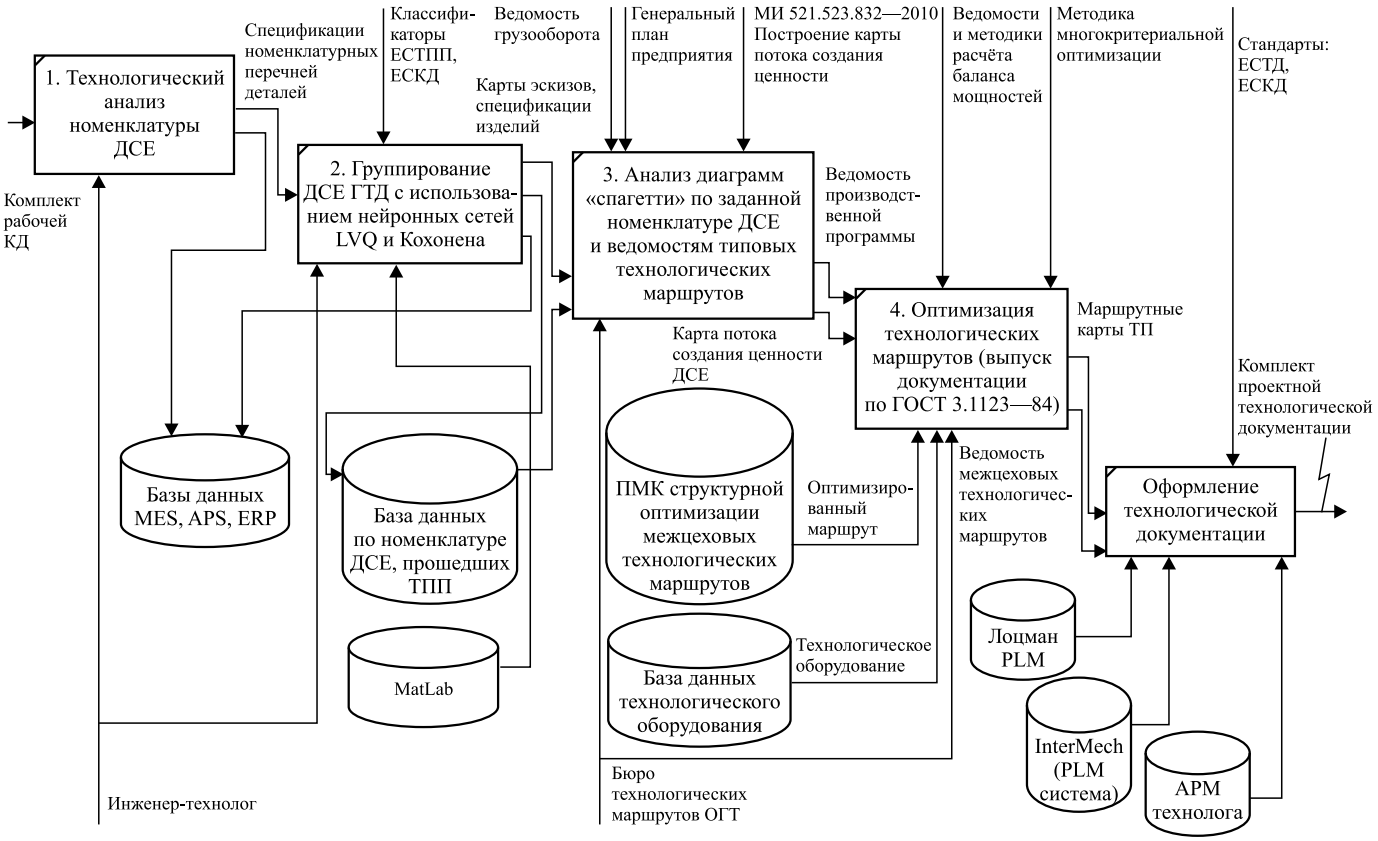

Рис. 1. Функциональная модель для разработки метода оптимизации межцеховых технологических маршрутов изготовления деталей и сборочных единиц на основе применения нейронных сетей и структурных моделей теории графов: ПМК — программно-методический комплекс; АРМ — автоматизированное рабочее место

групп всё множество деталей классифицируют и кодируют по конструкторско-технологическим и технико-экономическим признакам.

В качестве конструкторско-технологических признаков, применяемых для группирования, были взяты признаки описания деталей, используемые при решении задач унификации и стандартизации.

Практика показала целесообразность комплексного подхода к автоматизированному решению всех задач организации группового производства, позволяющему повысить эффективность применения вычислительной техники при ТПП. Использование информационных технологий даёт возможность обеспечить стыковку АСТПП с автоматизированной системой управления производством (АСУП) для повышения технико-экономических показателей предприятия в целом.

Разработанное программное приложение «GSG-группирование» (GSG — Gybrid System of Gabitova) (рис. 2) предполагает осуществление классификации и группирования деталей с помощью использования искусственных нейронных сетей LVQ и Кохонена [2]. Устанавливаемая в данном программном приложении технологическая часть кода деталей предлагается в качестве специальной части к стандартному технологическому коду, устанавливаемому в ЕСТПП (рис. 3, 4).

Предлагаемая специальная часть кода учитывает важнейшие характеристики, необходимые для определения межцехового технологического маршрута деталей:

1. Размерные характеристики: наибольший наружный диаметр, длину, диаметр центрального отверстия. Для определения размерной характеристики используется искусственная нейронная сеть LVQ.

2. Группу технологических операций в соответствии с классификатором технологических операций [3].

3. Вид технологического процесса по способу организации проектирования: типовой, групповой, модульный.

4. Форму организации производственных участков.

В результате работы с программным приложением GSG-группирование была выполнена кластеризация 40 деталей двигателей.

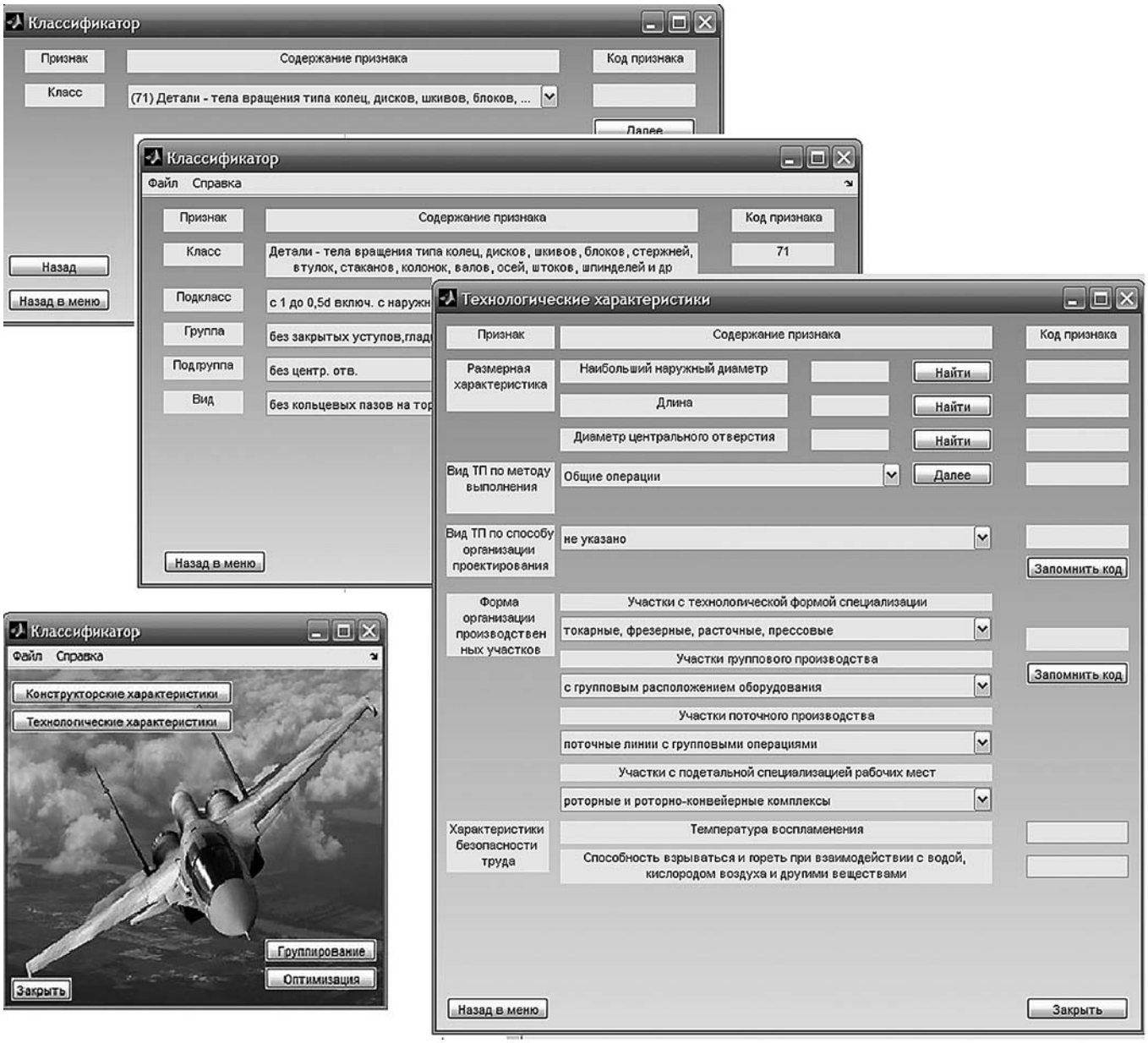

Рис. 2. Диалоговые окна программы GSG-группирование

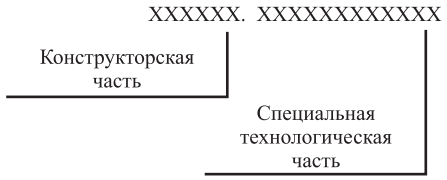

Рис. 3. Предложенная структура конструкторско-технологического кода изделий

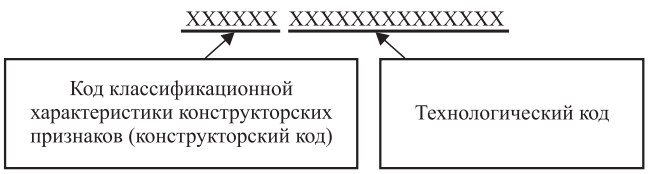

Рис. 4. Структура стандартного конструкторско-технологического кода изделий

На рис. 5 представлен график, отражающий уровень расстояния между соседними нейронами выходного слоя. Линии отражают расстояние между нейронами: светлые — наименьшее, тёмные — наибольшее. На приведённом графике видно, что в нижней левой части расположена группа нейронов с наибольшим расстоянием между соседними нейронами, что означает наибольшую разницу между кластеризованными данными сети.

Распределение входных данных по кластерам показано на рис. 6. Топология сетки: 5 на 5, т. е. в данном случае используются 5 центров кластеризации с общим числом нейронов, равным 25. Максимальное число сгруп-

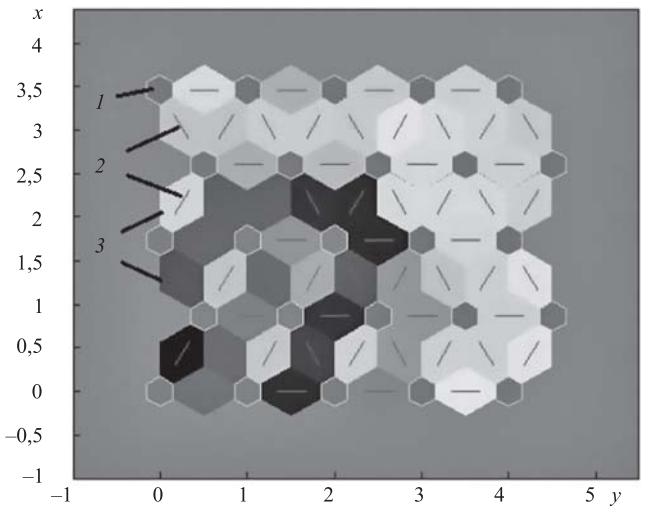

Рис. 5. График, отражающий уровень расстояния (*x*, *y*) между соседними нейронами выходного слоя:
1 — нейрон; *2* — связи между нейронами; *3* — маркеры расстояния между нейронами

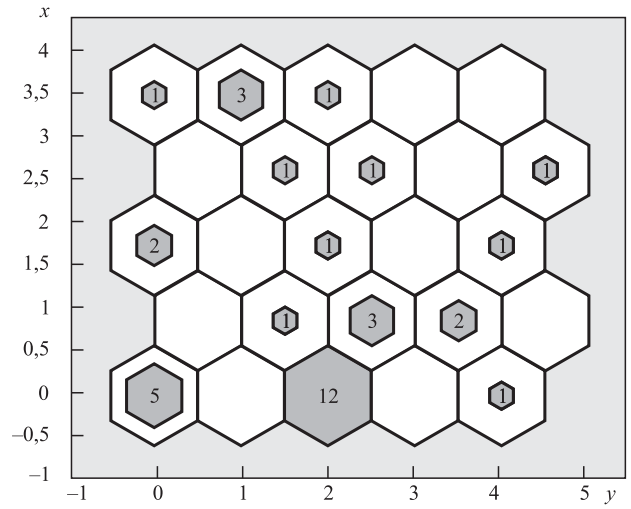

Рис. 6. Распределение входных данных по кластерам (группам)

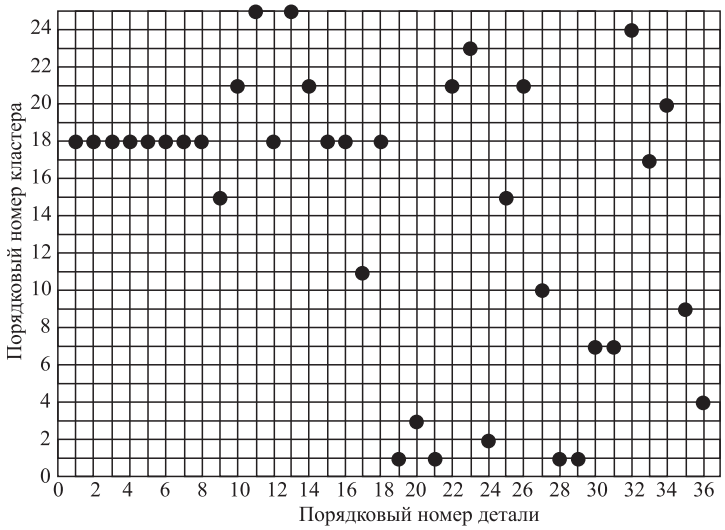

Рис. 7. График, отражающий результаты группирования деталей

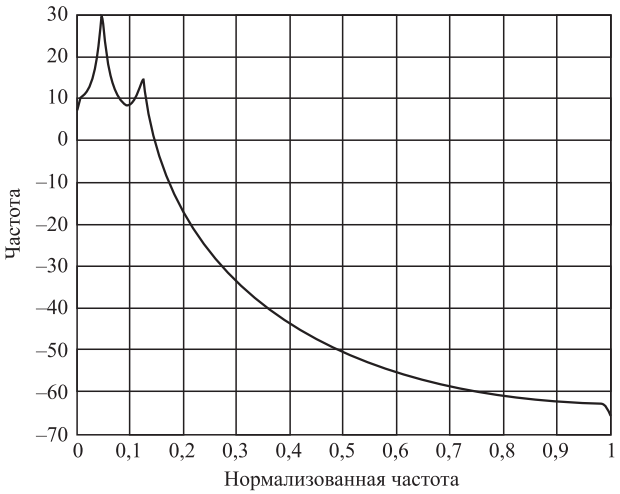

Рис. 8. Оценка результатов работы сети с использованием метода авторегрессионного спектрального оценивания Берга

пированных входных данных — кластеров — 12. Наиболее благоприятным случаем является равномерное распределение входных данных по центрам кластеризации (группам). В целом распределение при данных размерностях входных данных и сетки можно считать удовлетворительным. График, отражающий результаты группирования, представлен на рис. 7.

Оценка результатов работы сети с использованием метода авторегрессионного спектрального оценивания Берга позволяет оценить корреляционную функцию и спектральную плотность по введенным входным данным [4] (рис. 8).

Расчёт значений функции распределения плотности вероятностей f для значений случайной величины x_i проводили методом непараметрического сглаживания по исходной выборке x (детали). Распределение соответствует нормальному закону (рис. 9).

На основании выполненного анализа динамики работы нейронной сети Кохонена для кластеризации деталей авиационных двигателей можно сделать следующие выводы:

1. Зависимость, приведенная на рис. 8, свидетельствует о снижении уровня ошибок при обучении нейронной сети Кохонена, что указывает на адекватность полученных результатов группирования

2. Полученная функция распределения плотности вероятностей f для значений случайной величины x_i методом непараметрического сглаживания по исходной выборке x (число деталей) соответствует базовой функции сглаживания — функции плотности нормального закона (рис. 9).

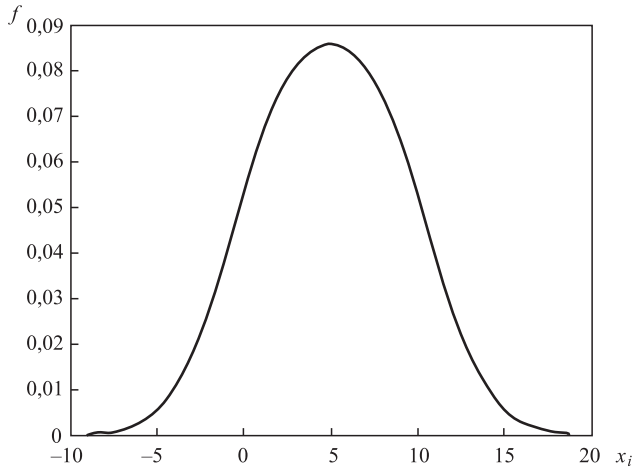

Рис. 9. Распределение плотности вероятностей *f* для значений случайной величины x_i, полученное методом непараметрического сглаживания

Применение информационных технологий в составе автоматизированной системы технологической подготовки позволяет создать подсистему анализа производства, с помощью которой можно решать задачи организации группового производства начиная от определения состава подетально-групповых производственных подразделений и заканчивая разработкой технических заданий на проектирование унифицированных (типовых, групповых, модульных) технологических процессов и оснащения.

Библиографические ссылки

1. **Базров Б.М.** Модульная технология в машиностроении. М.: Машиностроение, 2001. 368 с.

2. **Медведев В.С., Потемкин В.Г.** Нейронные сети, MATLAB 6. М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2002. 496 с.

3. **Haykin S.** Neural networks. A Comprehensive Foundation. Singapore: Pearson Eduction, 1999. 823 с.

4. **Габитова Г.Ф., Селиванов С.Г.,** Оптимизация межцеховых технологических маршрутов машиностроительного предприятия средствами искусственного интеллекта, Saarbrucken, Deutschland: Lambert Academic Publishing, 2013. 147 с.

Ссылка для цитирования

Габитова Г.Ф. Нейросетевой метод кластерного анализа и группирования тел вращения // Автоматизация. Современные технологии. 2018. Т. 72. № 8. С. 362—366.

УДК 681.513

В.Д. Шашурин, д-р техн. наук, проф., **М.С. Селезнева, К.А. Неусыпин,** д-р техн. наук, проф.
(Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана)

m.s.selezneva@mail.ru

РАЗРАБОТКА ДИНАМИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Исследованы подходы к реализации систем управления современными беспилотными летательными аппаратами. Разработана система управления на базе динамической экспертной системы с интеллектуальной компонентой, в качестве которой использован акцептор действия, включающий алгоритм построения прогнозирующих моделей. Предложена модифицированная динамическая экспертная система, основанная на нечёткой логике и алгоритмах построения самоорганизующихся прогнозирующих моделей.

Ключевые слова: летательный аппарат; динамическая экспертная система; интеллектуальная компонента; акцептор действия; прогнозирующие тренды; самоорганизация; нечёткая экспертная система.

The approaches to the implementation of control systems for modern unmanned aerial vehicles are researched. A control system based on a dynamic expert system with an intellectual component is developed. An action acceptor is used in the capacity of intellectual component, which includes an algorithm for constructing predictive models. A modified dynamic expert system based on fuzzy logic and algorithms for constructing self-organizing predictive models is proposed.

Keywords: aircraft; dynamic expert system; intellectual component; action acceptor; predictive trends; self-organization; fuzzy expert system.

Введение. Современные летательные аппараты (ЛА) функционируют в сложных условиях окружающей среды, при пассивных и активных помехах и активном противодействии. Поэтому система управления (СУ) должна обеспечивать высокую точность движения ЛА, эффективное маневрирование, живучесть, надёжность и др.

ЛА для эффективного выполнения поставленных задач обычно имеют возможность перемещаться по разным траекториям. В практических приложениях, как правило, используют различные типы и методы управления ЛА [1].

В настоящее время всё более широкое распространение получают системы интеллектного управления, основанные на нечёткой логике и других правилах.

Разработка таких систем интеллектного управления предполагает выбор переменных состояния и выхода, в терминах которых и формулируются правила. Соответствующие правила описываются в форме «если ситуация такая-то, то следует сделать следующее». В этом случае нечёткое управление предлагает метод представления и использования экспертных знаний оператора, технолога или инженера-разработчика.

Основными задачами, решаемыми при создании интеллектных систем управления (ИСУ) с нечёткой логикой, являются сопоставление описаний состояний объекта управления с условиями истинности продукционных правил, а также определение стратегии, что целесообразно даже на этом уровне.

ИСУ, которые могут быть использованы в современных ЛА, основаны на различных концепциях и теориях. Наиболее перспективным подходом к синтезу интеллектных систем (ИС) ЛА является теория функциональных систем П.К. Анохина [2—4]. Синтез ИСУ ЛА представляет собой сложную и трудоёмкую задачу, поэтому её целесообразно решать поэтапно [5]. Сначала на основе существующих достижений в области адаптивных систем управления проводятся разработка и исследование динамических экспертных систем (ДЭС) ЛА. Построение экспертной модели ЛА для поставленной задачи рассматривается с учётом различных интеллектуальных технологий (методов нечёткой логики, логического вывода, алгоритмов нейроуправления, эволюционного моделирования и т. д.) [6—8]. Кроме того, прогноз динамики ЛА и среды на определённое время для оценки и отбора наиболее предпочтительных сценариев должен быть включён в процесс создания ИС, так как одним из основных принципов функционирования ИС является способность прогнозирования изменений при разных предположениях. На следующем этапе разработки ДЭС ЛА функционирует в соответствии с выбором сценариев из множества конкретных типовых ситуаций, которые определяются из практических соображений.

В ДЭС используются различные механизмы рассуждений, основанные на правилах и методах логического вывода. Эффективность автоматизированного рассуждения зависит от правильного выбора способов представления данных в базе знаний (БЗ). Данные могут быть представлены в виде правил, предикатной логики, семантических сетей или фреймов, которые определяются конкретными свойствами исследуемой предметной области.

Нейроуправление и эволюционные алгоритмы используются для моделирования, точного управления и принятия рациональных решений в ИС при обмене информацией с экспертной системой через БЗ.

В ходе формирования цели возникает проблема достаточности БЗ, а соответственно, и памяти, возможности их реализации как на содержательном, так и на конструктивном уровне. ДЭС наряду с задачами расчёта, оптимизации, моделирования будущих результатов должна обеспечивать высокое быстродействие. Потенциал, накопленный при разработке алгоритмов принятия решений и выработки управления, может успешно использоваться в ИС, однако его реализация требует распараллеливания алгоритмов, их мультитранспьютерной обработки и не исключает синтеза новых эффективных алгоритмов. Возмущающим воздействием для ИС является окружающая среда, а её функционирование должно обеспечить в конечном счёте их компенсацию при достижении цели. Поэтому одной из фундаментальных проблем теории ИС является разработка адекватных живой природе математических моделей.

В ИС закон управления представляется не в виде какого-либо фиксированного преобразователя входных данных в выходные, а в виде некоторой подсистемы, позволяющей на основании входных данных принимать решение и вырабатывать управление на основе использования знаний, хранящихся в этой подсистеме.

В статье использован подход к решению задачи управления ЛА, основанный на системе

управления, которая включает компактную ДЭС. Разработанная ДЭС снабжена акцептором действия и позволяет осуществить выбор сценария движения ЛА на основе прогноза возможного развития событий в зависимости от траектории движения, внешней среды и др.

Предлагается структура компактной ДЭС с интеллектуальной компонентой, в качестве которой использован акцептор действия, сформированный в соответствии с теорией функциональных систем П.К. Анохина [2, 3, 6]. Разработана ДЭС ЛА, которая базируется на нечёткой логике и эволюционном алгоритме построения прогнозирующих моделей.

Компактная ДЭС. Одним из перспективных направлений модернизации ДЭС является её дополнение акцептором действия, сформированным в рамках функциональной структуры П.К. Анохина.

С акцептора действия информация о соответствии результатов действия и прогноза передаётся в ДЭС. На базе модифицированной ДЭС может быть построена структура СУ ЛА, представленная на рис. 1.

Источником данных для прогнозирования является база знаний.

Управление динамическими объектами тесно связано с обработкой данных о местоположении, ориентации в пространстве, скорости и других параметров движения. Обычно на ЛА совместно используются, например, инерциальная навигационная система (ИНС), ГЛОНАС и РЛС.

В современных сложных СУ ЛА специального назначения возникает потребность в прогнозировании не только самих параметров ЛА, но и состояния ЛА или другого объекта. Например, для поражения движущейся цели система управления беспилотным летательным аппаратом (БЛА) должна обладать информацией о положении цели и её скорости в будущем.

Таким образом, появляется необходимость на основе имеющейся выборки данных предсказать поведение функциональной зависимости за пределами значений аргументов, при которых получена выборка. Для выбора метода прогнозирования для каждого конкретного типа СУ необходимо провести сравнительный анализ методов построения модели.

В состав СУ ЛА, обладающего низкой себестоимостью, входят измерительный комплекс и подсистема управления, алгоритмические связи между которыми показаны на рис. 2.

ДЭС СУ ЛА работает на основе информации базы данных (БД) и базы знаний. Информация о результатах функционирования ЛА поступает в БД, где выполняются первоначальная обработка данных для обеспечения эффективного построения моделей, выявление и отсеивание аномальных измерений, формирование измерений в выборках и т. д. В БД информация сохраняется в упорядоченной форме в двух частях па-

Рис. 1. Структура системы управления объектом

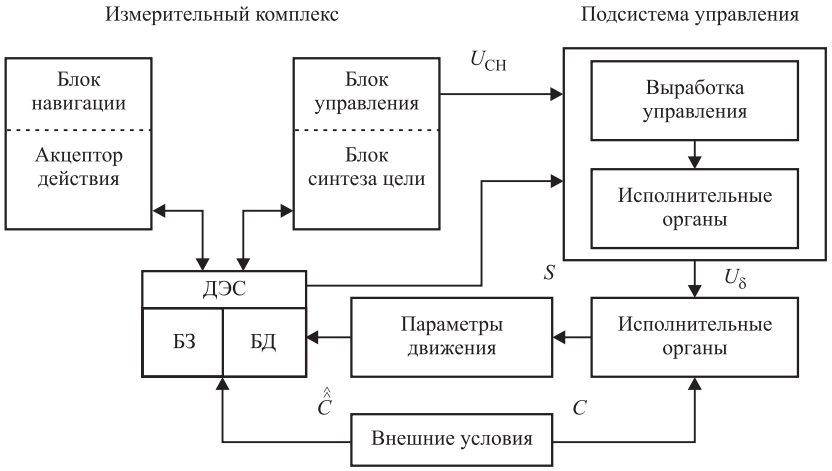

Рис. 2. Взаимодействие между блоками СУ ЛА

мяти — долгосрочной и краткосрочной. В долгосрочной памяти сохраняются шаблоны, т. е. совокупность данных, соответствующих чётко обусловленному режиму функционирования ЛА, и прогнозирующие модели, используемые для конкретных условий полёта. В краткосрочной памяти сохраняются все динамические данные, которые оперативно обновляются при поступлении показателей новых измерений. Для синтеза цели кроме точностных характеристик в БЗ сохраняется информация о внешних условиях функционирования ЛА, где содержится формальное представление фактов, отношений, правил и эвристик, используемых экспертом для решения задач данного класса. Например, такие характеристики, как интенсивность активных помех в области полёта, вероятность выполнения задачи, живучесть, затраты горючего, климатические условия, типы эффективных противоракетных маневров и т. д.

Предварительно обработанные в ДЭС выборки поступают в акцептор действия измерительного комплекса с интеллектуальными компонентами [3, 5], где прогнозируется состояние функционирования ЛА и сравниваются результаты прогноза с реальными действиями. В качестве алгоритма построения прогнозирующих моделей используются модифицированные тренды.

Простые тренды используются в условиях ограниченных измерительных выборок. При увеличении измерительной выборки тренды усложняются методом самоорганизации [4, 7].

Тренды, модифицированные посредством алгоритма самоорганизации, в цепи обратной афферентации СУ ЛА используются при увеличении измерительной выборки, т. е. при значительной измерительной выборке.

Полученные прогнозирующие модели для данной конкретной ситуации пополняются в ДЭС. На основе ансамбля критериев выбирается сценарий движения ЛА по оценочной функции. В исследуемой задаче использованы такие критерии, как минимаксный, критерии Байеса—Лапласа, Сэвиджа, Гурвица, Ходжа—Лемана или их комбинации для принятия решений в технических системах.

На основе прогноза в ДЭС определяется наилучшая структура измерительного комплекса в данный момент его функционирования. ДЭС должна быть компактной и простой, включающей ансамбль критериев и стратегию принятия решений.

Одновременно информация о параметрах ЛА из ДЭС передаётся в подсистему управления для выработки управляющего воздействия.

Таким образом, при отсутствии соответствия результатов действия и прогноза вырабатывается новая экспертная оценка, принимается другое решение и реализуется новое управляющее воздействие. Если соответствия достичь невозможно, происходит упрощение прогнозирующей модели и проводится предварительный анализ на основе линейных трендов. Если результаты действия соответствуют прогнозу, что свидетельствует об удачно выбранном управлении, то цель достигается. Эффективные типы принятых решений при конкретных ситуациях сохраняются в БЗ ДЭС.

На первом этапе выбор сценария функционирования ЛА осуществляется следующим образом. Проводится выделение или отбраковка всех заведомо неприемлемых сценариев. Затем из оставшейся группы сценариев выбирается несколько лучших, которые ранжируются, и принимается к исполнению наилучший из них. Следующий этап характеризуется получением новых данных измерений. Процесс отбора повторяется и по ансамблю критериев из лучших сценариев выбирается наилучший для реализации. Но в разработке по-прежнему остаются несколько сценариев, что соответствует принципу Габора.

После реализации первого полётного задания в динамической БД ДЭС остаётся информация, представляющая собой полученный опыт (как положительный, так и отрицательный). Этот опыт используется при выполнении второго и последующих полётных заданий и для обучения модифицированной ДЭС.

В случае когда все выбранные сценарии полёта ЛА имеют низкие весовые коэффициенты (ниже заранее выбранного порогового значения) осуществляется переход от рассмотрения путей выполнения конкретного полётного задания к поиску наилучшего возможного альтернативного задания, которое может быть эффективно выполнено и не противоречит миссии ЛА.

Алгоритмы построения моделей в ДЭС. На основе имеющейся выборки данных появляется необходимость предсказать изменение функциональной зависимости за пределами значений аргументов, при которых получена выборка. Чтобы выбрать оптимальный метод прогнозирования, для каждого конкретного типа СУ необходимо провести сравнительный анализ методов построения модели.

Градиентный метод прогнозирования является одним из наиболее простых, но и наименее точных методов. При изменении функции по нелинейному закону получаемые значения прогноза могут отличаться от действительного поведения функции на несколько порядков, что недопустимо в данной задаче.

Методы аналитического прогнозирования помимо высоких вычислительных затрат требуют довольно точного выбора прогнозируемой модели, что в случае ошибки может привести к существенному искажению результатов. Следует отметить, что при монотонно изменяющихся функциях данные методы позволяют получить сравнительно точный прогноз и вследствие этого могут применяться для ограниченной области подзадач.

Методы вероятностного прогнозирования подходят для случайных процессов, которые могут быть при анализе динамических параметров цели. Недостатками методов являются повышенные затраты на вычисление степенных и экспоненциальных функций, а также необходимость в достаточно обширной статистике, которая в общем случае может отсутствовать.

Необходимость большого объёма статистических данных и знаний детерминированной основы процесса не позволяет использовать в данной задаче *методы статической регрессии*. Ещё одним недостатком этой группы методов является невозможность предсказания резкого изменения значений параметров ЛА.

Классические *математические методы экстраполяции* (полиномиальная аппроксимация Лагранжа и тригонометрическая аппроксимация) редко применяются в данной области, так как позволяют построить прогноз лишь для фиксированного набора функциональных зависимостей, вид которых в большинстве случаев не соответствует реально протекающим процессам изменения характеристик ЛА.

Одним из перспективных способов получения прогноза для данной задачи является комбинирование генетических алгоритмов и аппроксимации многочленами по методу наименьших квадратов. Применение совмещённого алгоритма позволяет строить прогнозы практически для любых моделей процессов при сравнительно небольшой априорной информации, которая также может быть использована при инициализации поиска решения и построения модели.

Генетические алгоритмы (ГА) — это стохастические, эвристические оптимизационные методы, основывающиеся на идее эволюции путём естественного отбора. ГА применяются для решения задач, имеющих множество локальных минимумов.

Сущность ГА заключается в том, что прежде всего генерируется начальная популяция особей — некоторый набор решений задачи, который может быть получен случайным образом. Затем моделируется размножение внутри этой популяции: случайно отбираются несколько пар индивидуумов, производится скрещивание между хромосомами в каждой паре, а полученные новые хромосомы помещаются в популяцию нового поколения. В ГА сохраняется основной принцип естественного отбора — чем лучше приспособлен индивидуум (чем больше соответствующее ему значение целевой функции), тем с большей вероятностью он будет участвовать в скрещивании. После этого моделируются мутации — в нескольких случайно выбранных особях нового поколения изменяются некоторые гены. Затем старая популяция частично или полностью уничтожается, и процесс циклически повторяется с рассмотрения следующего поколения, популяция которого в большинстве реализаций генетических алгоритмов содержит столько же особей, сколько начальная, но в силу отбора приспособленность в ней в среднем выше. Описанные процессы отбора, скрещивания и мутации повторяются для этой популяции и далее до получения значения, удовлетворяющего оптимальному решению задачи в пределах установленной точности.

В каждом следующем поколении возникают новые решения задачи, среди которых могут присутствовать как плохие, так и хорошие, но благодаря отбору число приемлемых решений будет возрастать.

В итоге популяция будет сходиться к оптимальному решению задачи. Преимущество ГА состоит в том, что он находит приблизительные оптимальные решения за относительно короткое время при минимальной априорной информации.

Использование только генетического алгоритма для решения задачи не эффективно, так как в этом случае поиск оптимального значения параметров аппроксимирующей функции проводится недостаточно направленно. В связи с этим для более быстрого и точного нахождения решения следует использовать один из математических методов поиска минимума функционала, представляющего собой, например, среднеквадратичное отклонение построенной модели от имеющихся значений

выборки реальной функции времени. Тем не менее найти глобальный минимум в общем случае довольно трудно из-за наличия большого числа локальных экстремумов, и такая задача требует значительных вычислительных затрат при практически полном переборе возможных решений с заданной точностью. Приемлемым способом нахождения значений параметров аппроксимирующей функции, приближённых к оптимальным, является поиск локальных экстремумов с помощью градиентного спуска и переход к другим экстремумам, более близким к глобальному, с помощью генетического алгоритма модификации найденных векторов решений с критерием минимизации среднеквадратичного отклонения.

Наиболее полно удовлетворяющим поставленной задаче способом получения прогноза является совмещённый алгоритм, который позволяет строить прогнозы практически любых процессов при сравнительно небольшой предыстории.

Модифицированные тренды основаны на классических трендах с добавлением нелинейной составляющей, найденной методом самоорганизации. В процессе построения нелинейной прогнозирующей модели осуществляется усложнение линейной модели, найденной на предыдущем ряду селекции. Синтез нелинейной модели проводится в соответствии с концепцией системного синтеза относительно переменных состояния, выбранных для линейной модели.

Алгоритмы самоорганизации — это многорядные алгоритмы, базирующиеся на гипотезе селекции. Необходимо решить систему нормализованных уравнений Гаусса:

$$\begin{cases} \sum\limits_{i=1}^{N} y_i = a_0 N + a_1 \sum\limits_{i=1}^{N} g_{0,j}(x_i) + a_2 \sum\limits_{i=1}^{N} g_{1,j}(x_i); \\ \sum\limits_{i=1}^{N} y_i g_{0,j}(x_i) = a_0 \sum\limits_{i=1}^{N} g_{0,j}(x_i) + \\ + a_1 \sum\limits_{i=1}^{N} g_{0,j}^2(x_i) + a_2 \sum\limits_{i=1}^{N} g_{0,j}(x_i) g_{1,j}(x_i); \\ \sum\limits_{i=1}^{N} y_i g_{1,j}(x_i) = a_0 \sum\limits_{i=1}^{N} g_{1,j}(x_i) + \\ + a_1 \sum\limits_{i=1}^{N} g_{0,j}(x_i) g_{1,j}(x_i) + a_2 \sum\limits_{i=1}^{N} g_{1,j}^2(x_i). \end{cases} \quad (1)$$

При введении в базис константы от свободного члена в уравнениях можно отказаться:

$$y_i = a_{0,j} g_{0,j}(x_i) + a_{1,j} g_{1,j}(x_i), \quad j = 1, \ldots, C_N^2;$$

$$\begin{cases} \sum\limits_{i=1}^{N} y_i g_{0,j}(x_i) = \\ = a_0 \sum\limits_{i=1}^{N} g_{0,j}^2(x_i) + a_1 \sum\limits_{i=1}^{N} g_{0,j}(x_i) g_{1,j}(x_i); \\ \sum\limits_{i=1}^{N} y_i g_{1,j}(x_i) = \\ = a_0 \sum\limits_{i=1}^{N} g_{0,j}(x_i) g_{1,j}(x_i) + a_1 \sum\limits_{i=1}^{N} g_{1,j}^2(x_i). \end{cases} \quad (2)$$

Вычисления прекращаются, когда будет достигнут минимум используемого ансамбля критериев. Результатом является лучшая модель в последнем ряду.

Из вектора состояния моделей выделяются ключевые параметры с помощью общих и специальных критериев [6]. Общие критерии являются универсальными, а специальные критерии, как правило, определяют качество исследуемого процесса на основе определённых физических характеристик, присущих анализируемому процессу.

Далее, в зависимости от режима функционирования ЛА, формируются различные виды моделей. Например, для режима интенсивного маневрирования в СУ используются простые модели, включающие основные ключевые параметры ЛА.

Таким образом, для осуществления управления ЛА целесообразно использовать концепции, заложенные в ДЭС, и интеллектуальные технологии. В качестве интеллектуальной технологии используются алгоритмы акцептора действия. В модифицированной ДЭС анализируются редуцированные векторы состояния прогнозирующих моделей, что позволяет упростить её реализацию в бортовых цифровых вычислительных машинах (БЦВМ) ЛА.

Построив модели внешней среды функционирования ЛА, появляется возможность разрабатывать сценарии управления на длительные интервалы времени его функционирования.

Модифицированная ДЭС имеет структуру ДЭС C-PRIZ и FDI-метода, основанного на нечёткой логике. Предполагается использование данных из БД испытаний ЛА, которые подаются на вход математической модели, а затем векторы выходных параметров модели необходимо сравнить с данными испытаний. В результате получается вектор отклонений, анализ которого на базе нечётких правил ДЭС формирует соответствующее решение о фактическом состоянии ЛА. Элементы нечёткой

логики применяются совместно с методом диагностических матриц (матриц Л.А. Урбана).

Модели в векторной форме имеют следующий вид:

$$\overrightarrow{\delta x} = A^{-1}B\overrightarrow{\delta y}, \qquad (3)$$

где $\overrightarrow{\delta x}$ — вектор параметров состояния ЛА; $\overrightarrow{\delta y}$ — вектор диагностических признаков относительных отклонений измеряемых параметров ЛА; B и A — матрицы коэффициентов, позволяющие устанавливать количественную взаимосвязь указанных параметров на определённых режимах полёта ЛА.

Диагностическая матрица конкретного ЛА на определённом режиме представляет собой таблицу численных значений коэффициентов a_{ij} и b_{ij}, позволяющих по отклонениям ряда измеряемых параметров δy_{ij} определять отклонения непосредственно неизмеряемых параметров состояния δx_{ij} (табл. 1).

Пусть в процессе функционирования ЛА были измерены следующие параметры: n_2 — погрешность в определении широты местности, %; G_v — погрешность в определении скорости ЛА, v_x; T_2^* — погрешность определения курса; P_2^* — оценка скорости дрейфа ГСП, ε_x; T_3^* — погрешность определения тангажа; T_4^* — погрешность определения крена; P_4^* — оценка скорости дрейфа ГСП, ε_y; F_c — погрешность в определении долготы местности; G_t — погрешность в определении скорости ЛА, v_y; R — кажущееся ускорение.

В табл. 2 приведены параметры отклонений (невязок) и соответствующие им лингвистические переменные: *LN* (Large Negative) — очень малое; *MN* (Middle Negative) — небольшое; *Z* (Zero) — около нуля; *MP* (Middle Positive) — среднее; *LP* (Large Positive) — очень большое. Процесс тестирования работоспособности ДЭС проверяется по тем строкам базы правил, которые не вошли в обучающее множество: по двум предшествующим строкам (с отклонением параметров состояния ИНС в узлах на 1 и 3 % соответственно).

В процессе наполнения БД помимо текущих измерений дополнительно использованы прогнозные значения анализируемых параметров ЛА. ДЭС с алгоритмом построения прогнозирующих моделей методом диагностических матриц и правил нечёткой логики позволяет определять степень достоверности информации о параметрах ЛА.

Таким образом, исследованы особенности решения задач управления современными БЛА с использованием нечёткой ДЭС, процесс формирования БД, а также реализация FDI-метода. Построена диагностическая матрица ДЭС.

Таблица 1

Фрагмент диагностической матрицы ЛА

№ п/п	D_N2	D_Gv	D_N2	D_T2	D_P2	D_T3	D_P4	D_P6	D_Fc	D_Gt	D_R	RESULT
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	ETALON
2	−0,18	0,12	0,16	0,14	0,00	−0,08	−0,33	−0,33	0,41	−0,03	−0,06	АКС1 %
3	−0,46	0,31	0,52	0,39	0,00	−0,27	−0,93	−0,93	1,11	−0,11	−0,18	АКС 3 %
4	−0,69	0,56	0,85	0,65	0,00	−0,46	−1,57	−1,57	1,87	−0,19	−0,31	АКС 5 %
5	0,19	0,07	−0,28	0,04	0,00	0,16	0,82	0,82	−0,66	0,33	0,49	АКС1 1 %
6	0,78	0,24	−0,95	0,16	0,00	0,45	2,57	2,53	−2,08	1,03	1,54	АКС1 3 %
7	1,16	0,39	−1,61	0,27	0,00	0,85	4,27	4,28	−3,60	1,76	2,62	АКС1 5 %
8	−0,10	0,84	0,13	0,85	0,00	−0,07	0,53	0,51	0,26	0,72	1,02	АКС2 1 %
9	−0,29	2,46	0,36	2,49	0,00	−0,17	1,55	1,59	0,79	2,16	3,01	АКС2 3 %
10	−4,28	6,80	2,16	0,36	0,00	−1,16	−0,11	−0,14	4,55	3,21	5,14	АКС2 5 %
11	−0,78	−0,06	0,06	−0,07	0,00	−0,03	−0,18	−0,18	0,11	−0,10	−0,15	АКС3 1 %
12	−2,33	−0,20	0,16	−0,18	0,00	−0,08	−0,53	−0,53	0,30	−0,34	−0,47	АКС3 3 %
13	−4,07	−0,37	0,25	−0,32	0,00	−0,13	−0,96	−1,00	0,55	−0,59	−0,84	АКС3 5 %
14	0,68	0,21	−0,12	0,25	0,00	0,07	0,52	0,53	−0,28	0,31	0,46	АКС4 1 %
15	2,04	1,20	−0,41	0,58	0,00	0,20	1,65	1,64	−0,93	0,94	1,38	АКС4 3 %
16	3,45	1,39	−0,71	0,96	0,00	0,36	2,71	2,71	−1,8	1,62	2,30	АКС4 5 %

Таблица 2

Фрагмент базы нечётких экспертных правил

№ п/п	Атрибуты и их значения	Результат
1	Если $(\Delta T_2 = Z) \wedge (\Delta P_4 = Z) \wedge (\Delta P_6 = Z) \wedge (\Delta F_c = MP)$	То Y_1 = АКС
2	Если $(\Delta N_2 = Z) \wedge (\Delta T_2 = Z) \wedge (\Delta F_c = MN) \wedge (\Delta G_t = MP)$	То Y_2 = АКС1
3	Если $(\Delta N_2 = LN) \wedge (\Delta T_2 = Z) \wedge (\Delta P_2 = LP) \wedge (\Delta R = LP)$	То Y_3 = АКС2
4	Если $(\Delta N_2 = LN) \wedge (\Delta G_v = Z) \wedge (\Delta P_2 = Z) \wedge (\Delta R = Z)$	То Y_4 = АКС3
5	Если $(\Delta N_2 = MP) \wedge (\Delta G_v = Z) \wedge (\Delta T_2 = Z) \wedge (\Delta R = MP)$	То Y_5 = АКС4

Формирование базы нечётких правил осуществляется на основе диагностической матрицы, строки которой легли в основу создания БЗ и функций принадлежности соответствующих лингвистических переменных.

Для отклонения оценки скорости БЛА относительно заданной траектории на 1 %, используя базу нечётких правил ДЭС, а также операцию пересечения нечётких множеств, получаем

$$\min\begin{bmatrix} \mu z(\Delta T_2^k) \left| \mu z(\Delta P_4^k) \right| \\ \left| \mu z(\Delta P_6^k) \right| \mu z(\Delta F_C^k) \end{bmatrix} \to 0,85.$$

Полученный результат означает, что достоверность принятия решения об изменении сценария полёта составляет 0,85. Для строки диагностической матрицы, соответствующей отклонению оценки скорости БЛА на 3 %, получим

$$\min(\mu_{Z_{\in i}}) \to 0,59.$$

Достоверность принятия решения об изменении сценария полёта составляет 0,59, а для неисправного состояния ДЭС коэффициент доверия будет 0,24. Данные показатели говорят о том, что есть высокая вероятность реализации неправильного сценария полёта ЛА.

Результаты анализа ДЭС совпадают с результатами исследований, проведённых в ходе лётных испытаний ЛА.

Результаты математического моделирования продемонстрировали работоспособность предложенных алгоритмов ДЭС. Анализ результатов математического моделирования показал, что разработанное алгоритмическое обеспечение модифицированной ДЭС позволит повысить эффективность выполнения БЛА поставленных задач за счёт заблаговременного определения оптимального сценария полёта.

Выводы. Разработана СУ БЛА на основе модифицированной ДЭС с акцептором действия. Модифицированная ДЭС позволяет реализовать её в серийных БЦВМ БЛА.

Предложена модифицированная нечёткая ДЭС с акцептором действия, который состоит из линейного прогнозирующего тренда, усложняемого при значительной измерительной выборке с помощью алгоритма самоорганизации. Представленные результаты моделирования продемонстрировали работоспособность предложенной ДЭС.

Библиографические ссылки

1. **Неусыпин К.А.** Современные системы и методы наведения, навигации и управления летательными аппаратами. М.: МГОУ, 2009. 500 с.

2. **Пролетарский А.В.** Концепция системного синтеза динамических объектов // Автоматизация и современные технологии. 2007. № 8. С. 28—33.

3. **Неусыпин К.А.** Системный синтез систем управления с интеллектуальной компонентой // Автоматизация и современные технологии. 2007. № 3. С. 35—39.

4. **Селезнева М.С., Шэнь Кай, Пролетарский А.В., Неусыпин К.А.** Динамический системный синтез алгоритмического обеспечения навигационного комплекса летательного аппарата // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2017. № 2. С. 36—42.

5. **Емельянов В.В., Курейчик В.В., Курейчик В.М.** Теория и практика эволюционного моделирования. М.: Физматлит, 2003.

6. **Selezneva M.S., Neusypin K.A.** Development of a measurement complex with intelligent component // Measurement Techniques. 2016. С. 1—7.

7. **Пролетарский А.В., Неусыпин К.А.** Разработка редуцированного алгоритма самоорганизации для коррекции навигационных систем // Научное обозрение. 2013. № 9. С. 333—447.

8. **Ивахненко А.Г., Мюллер Й.Я.** Самоорганизация прогнозирующих моделей. Киев: Техника, 1985.

Ссылка для цитирования

Шашурин В.Д., Селезнева М.С., Неусыпин К.А. Разработка динамической экспертной системы для беспилотного летательного аппарата // Автоматизация. Современные технологии. 2018. Т. 72. № 8. С. 366—373.

УДК 658.5

С.А. Ханахмедова, д-р филос. по технике, **Ш.Р. Нуруллаев**
(Азербайджанский государственный университет нефти и химии, г. Баку)

samira1009@mail.ru

УПРАВЛЕНИЕ ПРОГРАММИРУЕМЫМИ ЛОГИЧЕСКИМИ КОНТРОЛЛЕРАМИ ПВХ-МИКСЕРА

Рассмотрено управление программируемыми логическими контроллерами (ПЛК) на языке FBD в программе ZelioSoft-2 в целях автоматизации процесса смешивания поливинилхлорида (ПВХ). Применение ПЛК наряду с обеспечением надёжной и качественной работы ПВХ-миксера создаёт возможность для наблюдения за ходом работы, передачи и фиксирования информации об аварийных ситуациях (даты и времени), оперативного перехода на аварийный режим, предупреждения об окончании этого режима, запуска устройства после устранения проблемы и т.д.

Ключевые слова: программируемый логический контроллер; ПВХ-миксер; пластиковое изделие; клапан; соленоид; термодатчик.

The control of programmable logic controllers (PLC) in the FBD language in the program ZelioSoft-2 in order to automate the process of mixing PVC is considered. Application of the PLC along with ensuring reliable and high-quality operation of the PVC mixer creates the opportunity to monitor the course of action, transfer and recording information about emergencies (date and time), efficient transition to emergency mode, warning of the end of this mode, start the device after elimination the problem, etc.

Keywords: programmable logic controller; PVC-mixer; plastic product; valve; solenoid; temperature sensor.

Введение. Сегодня многие изделия, используемые в нашей повседневной жизни, изготавливают из пластиковых материалов. Воздействие на такие материалы солнечного света, температуры, давления, воды и других факторов является одним из наиболее важных вопросов. Кроме того, при изготовлении пластиковых материалов необходимо учитывать, что они могут быть разноцветными, т. е. в полимерное сырьё могут добавляться различные красящие вещества. Процесс смешивания ПВХ с другими ингредиентами и обеспечение их равномерного распределения внутри пластикового изделия очень важны. В противном случае можно получить изделия с неравномерной жёсткостью или с несоответствующими цветами [1—4].

Таким образом, при изготовлении изделий из ПВХ очень важную роль играет ПВХ-миксер (рис. 1).

Целью работы является автоматизация процесса работы ПВХ-миксера. Во многих случаях при изготовлении пластиковых изделий для автоматизации процесса используются релейные контакторы.

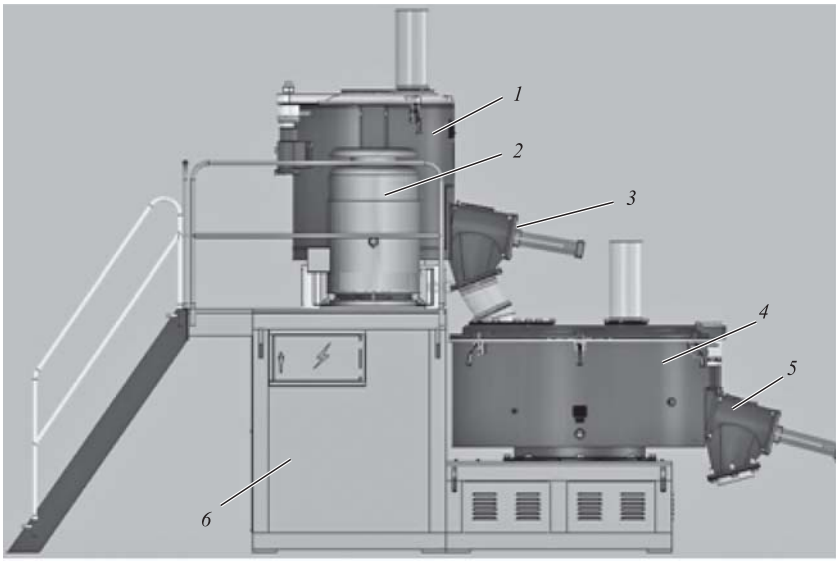

Рис. 1. ПВХ-миксер:
1 — горячий котёл; *2* — двигатель горячего котла; *3* — клапан горячего котла; *4* — охлаждающий котёл; *5* — клапан охлаждающего котла; *6* — электрический шкаф; двигатель охлаждающего котла не показан, так как он находится внутри конструкции

В этих целях для повышения надёжности целесообразно использовать программируемые логические контроллеры (ПЛК).

На дисплее ПЛК отображается вся необходимая информация, связанная с работой ПВХ-миксера, что в случае аварии позволяет сократить потери времени на её устранение.

В статье рассмотрен ПЛК типа SR3B261BD фирмы Schneider Electric [2].

Построение ПВХ-миксера. Как следует из рис. 1, ПВХ-миксер состоит из горячего и охлаждающего котлов. В горячем котле размещены специальные резцы, которые вращаются с помощью асинхронного двигателя. Охлаждающий котел аналогичен горячему. Единственное отличие состоит в том, что в охлаждающем котле вместо резцов размещены лопасти, вращающие массу, поступающую из горячего котла. Таким образом масса охлаждается.

Кроме того, в ПВХ-миксере существуют два клапана. Один из них используется для заливки массы на охлаждающий котел, а другой — для её подачи в следующий бункер.

Принцип работы ПВХ-миксера. При производстве пластиковых изделий сырьё проходит через три устройства: миксер, гранулятор и экструдер. Рассмотрим процесс, проходящий в ПВХ-миксере. ПВХ вместе с другими ингредиентами подаётся в горячий котёл миксера. Резцы, размещённые в этом котле, вращаются с помощью двигателя марки Helizone. При вращении резцов сырьё бьётся о стенки котла и начинает нагреваться. После того как оно нагреется до заранее заданной температуры (150 °С), клапан горячего котла ПВХ-миксера открывается и приготовленная масса поступает в другой котёл для охлаждения.

Одновременно запускается двигатель, вращающий лопасти, и начинается процесс охлаждения. Через некоторое время клапан горячего котла закрывается, и его двигатель отключается от сети. После охлаждения приготовленной массы двигатель охлаждающего котла тоже отключается от сети. Находящаяся внутри охлаждающего котла миксера масса является готовым материалом для производства пластиковых изделий.

ПЛК-управление ПВХ-миксера. Для обеспечения надёжной работы ПВХ-миксера использован логический контроллер типа SR3B261BD

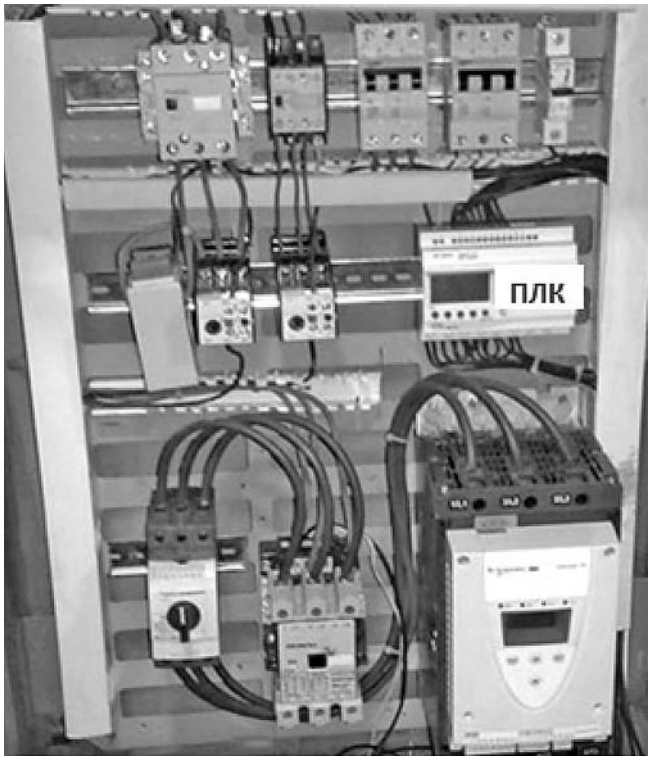

Рис. 2. Панель управления ПВХ-миксера

фирмы Schneider Electric (рис. 2), программа управления составлена на языке FBD программы Zelio Soft-2 [5].

На рис. 3 представлена электрическая схема управления ПВХ-миксера. ПЛК типа SR3B261BD питается от сети с переменным напряжением 220 В (LN). Со входом I1 соединена кнопка «Двигатель горячего котла — start»,

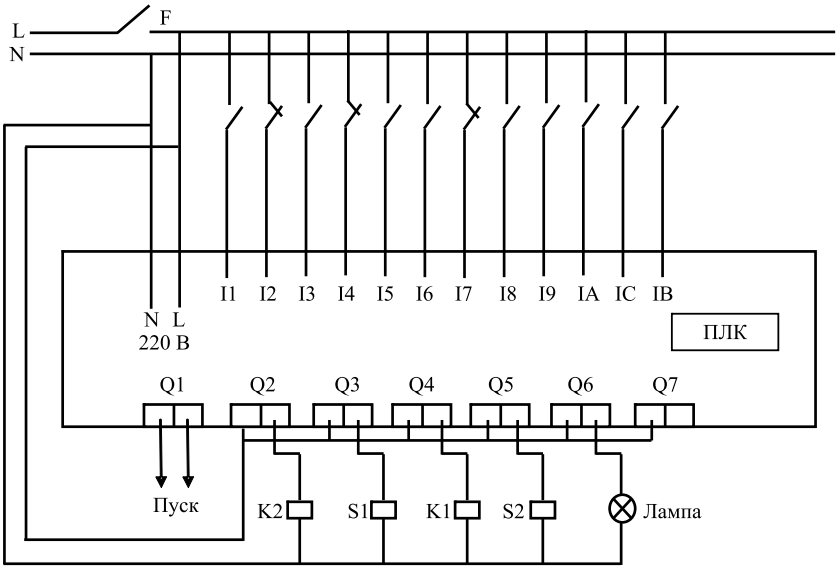

Рис. 3. Схема управления ПВХ-миксера логическим контроллером:
F — кнопка запуска; I1...I9 — дискретные входы; IA...IC — аналоговые входы; K1, K2 — магнитопускатели; S1, S2 — обмотки соленоидов

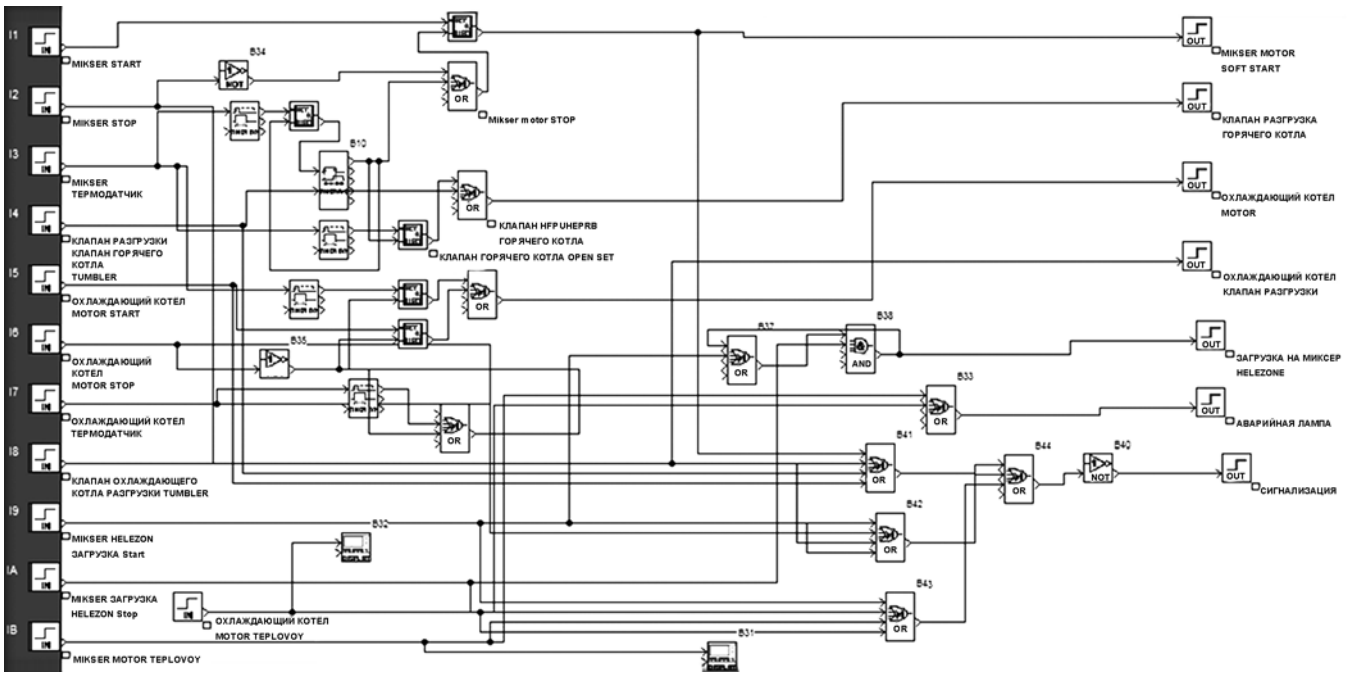

Рис. 4. Логическая программа управления ПВХ-миксера

со входом I2 — кнопка «Двигатель горячего котла — stop», со входом I3 — кнопка «Двигатель охлаждающего котла — start», со входом I4 — кнопка «Двигатель охлаждающего котла — stop», со входом I5 — кнопка «Термодатчик горячего котла», со входом I6 — «Заполнение горячего котла — Helizone start», со входом I7 — кнопка «Заполнение горячего котла — stop», со входом I8 — «Охлаждающий котел термодатчик — start», со входом I9 — «Клапан горячего котла — open», со входом IA — «Клапан охлаждающего котла — open», со входом IB — кнопка «Реле нагрева двигателя горячего котла», а со входом IC — «Реле нагрева двигателя охлаждающего котла». Выход Q1 соединен с дискретным входом плавнопускателя двигателя горячего котла, выход Q2 — с обмоткой реле магнитопускателя двигателя охлаждающего котла, выход Q3 — с соленоидом клапана горячего котла, выход Q4 — с обмоткой реле магнитопускателя, запускающего двигатель Helizone горячего котла, выход Q5 — с соленоидом клапана охлаждающего котла и выход Q6 — с аварийной лампой. Выход Q7 предназначен для сигнализации при аварийном режиме и соединен со входами Q2...Q6.

Программа управления ПВХ-миксера на языке FBD представлена на рис. 4. Управление выполняется следующим образом. Устройство запускается сразу же с нажатием кнопки «Start» горячего котла. Далее с помощью логического контроллера подаётся сигнал на магнитопускатель горячего котла, и двигатель начинает вращаться. Затем нажимается кнопка «Start» двигателя марки Helizone, двигатель запускается и в горячий котёл поступает сырье. После заполнения горячего котла сырьём нажимается кнопка «Stop» двигателя горячего котла и логическим контроллером прекращается подача сигнала на магнитопускатель. Двигатель горячего котла обеспечивает смешение сырья под давлением, и сырьё нагревается. Внутри котла размещён термометр, подающий на термодатчик сигнал о текущей температуре. При достижении определённой температуры термодатчик подаёт сигнал на ПЛК. Одновременно логическим контроллером подаётся сигнал на двигатель охлаждающего котла, и клапан горячего котла закрывается. Как только клапан охлаждающего котла откроется, сырьё из горячего котла начнёт подаваться в охлаждающий котёл. Приблизительно через 2 мин логическим контроллером двигатель горячего котла отключается от сети и его клапан закрывается, а клапан охлаждающего котла остаётся включённым в сеть. В этом котле тоже размещён термометр для наблюдения за температурой котла. При достижении её определённого значения термодатчик получает сигнал, и ПЛК отключает двигатель охлаждающего котла от сети.

В программе использован функциональный блок Archive, предназначенный для фиксирования информации об аварийных ситуа-

циях (дата и время), оперативного перехода на аварийный режим, предупреждения об окончании этого режима, запуске устройства после устранения проблемы и т. д. Для постоянного наблюдения за технологическим процессом использован блок Display, где представляется вся необходимая информация.

Выводы. Проанализированы принцип работы и схема управления ПВХ-миксера логическим контроллером типа SR3B261BD фирмы Schneider Electric. Рассмотрено управление ПВХ-миксером с использованием программы Zelio Soft-2 на языке FBD.

Для автоматизации процесса управления работой ПВХ-миксера, используемого в различных современных технологических процессах, предлагается ПЛК-управление. Кроме того что составленные программы на языке FBD дают возможность оперативно получить информацию об аварийных ситуациях, при применении логических контроллеров с их использованием можно определить время аварий, остановки устройств, изменения каких-либо параметров технологического процесса и т. д.

Библиографические ссылки

1. **Reha Gur.** MEGEP (Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi) Plastik teknolojisi yardimci ekipmanlarla üretim-1. Ankara, 2007. S. 52.

2. **Yavuz Eroglu** / PAGEV Plastik Araştırma — Geliştirme ve İnceleme Dergisi, 2005. S. 78.

3. **Смеситель** ПВХ, одностадийный и двухстадийный смесители, высокоскоростной миксер. URL: https://www.youtube.com/watch_hdA (дата обращения: 11.08.2017).

4. **Смеситель** двухстадийный для ПВХ. URL: friend-extrusion.com/recpvc2.html (дата обращения: 19.07.2017).

5. **Гасанов З.А., Ханахмедова С.А.** Программируемые логические контроллеры-2: Учеб. пособие. Баку: Изд-во АГУНП, 2016. С. 127.

Ссылка для цитирования

Ханахмедова С.А., Нуруллаев Ш.Р. Управление программируемыми логическими контроллерами ПВХ-миксера // Автоматизация. Современные технологии. 2018. Т. 72. № 8. С. 374—377.

УДК 004.7

М.М. Комаров, канд. техн. наук, **Е.А. Дормидонтова**
(Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», г. Москва)
mkomarov@hse.ru

КАЧЕСТВО ПРЕДОСТАВЛЕНИЯ УСЛУГ ДЛЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ В СЕТЯХ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Рассмотрены подходы к формированию оценки качества сервисов в сетях 4G и к оценке качества услуг в сетях нового (пятого) поколения, предложены метрики и подходы к данной оценке, определены её критерии. Описаны возможные пути развития сетей 5G.

Ключевые слова: 5G; сети нового поколения; качество обслуживания; предоставление услуг; беспроводные сети.

Approaches to the formation of service quality evaluation in 4G networks and to the evaluation of service quality in the networks of the new (fifth) generation are considered. The metrics and approaches to this evaluation are proposed, and evaluation criteria are determined. Possible ways of 5G networks development are described.

Keywords: 5G; new generation of networks; quality of service; provision of services; wireless network.

Введение. Технологии беспроводной передачи данных получили широкое распространение. Это объясняется простыми причинами — людям значительно проще использовать устройство, не привязанное к какой-либо станции или кабелю. Его можно носить с собой, при этом оставаясь на связи и получая всю необходимую информацию онлайн.

В настоящее время качества интернета 4G достаточно для взаимодействия человека с устройствами, но для взаимодействия устройств друг с другом нужны принципиально другие уровни сервисов и качества беспроводной связи. Данная статья посвящена оценке качества услуг в сетях пятого поколения, или 5G.

Основной целью работы является формирование агрегированных оценок качества услуг, которые могут быть предоставлены в сетях пятого поколения. Для этого должен быть решён ряд задач: постановка проблемы, формирование возможных путей развития сетей 5G, определение критериев оценки качества услуг, выбор метода агрегирования данных критериев в единую оценку.

Обзор подходов к реализации и внедрению сетей нового поколения. ***Сети нового поколения: определения и понятия.*** Мобильный интернет пятого поколения (так называемый 5G) — это технология, направленная на удовлетворение потребностей мирового интернет-сообщества и бизнесов, которая в отличие от своих предшественников должна иметь принципиально иной уровень качества предоставляемых услуг (QoS [1]) в условиях значительно возросшей плотности сети.

QoS (Quality of Service) — качество обслуживания или качество предоставляемой услуги. В телекоммуникационной среде QoS есть набор специальных требований, предъявляемых пользователем к сети в соответствии с необходимой функциональностью. К ключевым параметрам оценки качества относятся задержка при передаче данных (delay), дрожание сети (jitter), потеря пакетов (packet loss) [2].

Для сетей нового поколения наряду с QoS необходимо оценивать и QoE (Quality of Experience) — меру общей удовлетворённости потребителя продуктом или услугой, поставляемой вендором. Оценка QoE состоит из объективной и субъективной компонент, тогда как QoS всегда можно оценить объективно [3].

Технология сетей пятого поколения требует принципиально нового подхода при реализации сетевого взаимодействия для того, чтобы обеспечить необходимый уровень QoS. В статье [2] предлагается рассмотреть три различных принципа взаимодействия различных устройств и сети для реализации 5G: D2D (Device-to-Device Communications, или M2M); FD (Full-Duplex Communications); CR (Cognitive-Radio Communications).

Способы реализации сетей пятого поколения. Остановимся на наиболее перспективном и популярном в настоящее время методе взаимодействия различных устройств — D2D-5G Networks [4].

Основная проблема состоит в том, что сегодня технология беспроводной передачи данных подразумевает наличие некоторого центрального сервера, который обрабатывает поступающие запросы в виде пакетов и перенаправляет их по нужным адресам [5]. Существует несколько различных способов реализации технологии D2D для сетей пятого поколения: контролируемая оператором установка соединения, передача данных через третье устройство (DR-OC); контролируемая оператором установка соединения, передача данных напрямую между устройствами (DC-OC); контролируемая одним из устройств установка соединения, передача данных через третье устройство (DR-DC); контролируемая одним из устройств установка соединения, передача данных напрямую между устройствами (DC-DC) [6]. Ключевыми проблемами при реализации подобных способов взаимодействия устройств можно считать безопасность, надёжность и устойчивость соединения.

Качество предоставления услуг в сетях четвёртого поколения. Считается, что по максимальной производительности 4G-сети не должны уступать стандартным WiFi-соединениям. Ключевые параметры оценки качества 4G-сетей [7]:

Технологии доступа	OFDM/OFDMA
Схема дуплекса	FDD and TDD
Задержка, мс	10...100
Пропускная способность, МГц	100
Максимальная мобильная скорость, км/ч	200
Частотный канал, ГГц	От 2 до 8
Скорость обмена данными, Мбит/с:	
скачивание	До 100
закачивание	До 48

В работе [7] приведены критерии оценки качества использования LTE-сети:

HTTP-тесты. Оцениваются скорость и надёжность доступа к веб-страницам четырёх различных сайтов, с разной степенью сложности контента;

FTP-тесты. Оцениваются скорости скачивания и закачивания файлов из/в облако через соответствующий протокол;

тест видеотрансляции. Оценивается скорость ответа сервера с момента отправки запроса до получения видеоконтента;

PING-тесты. Оцениваются стабильность соединения и скорость передачи пакетов от клиента (пользователя) на сервер.

Тесты показывают [7], что вероятность успешного доступа к ресурсам через протоколы HTTP, FTP и PING для LTE-сети не ниже соответствующей вероятности для домашних и офисных беспроводных сетей (табл. 1).

Пропускная способность LTE-сетей значительно ниже пропускной способности офисных сетей (табл. 2). Это свидетельствует о том, что LTE-сети неприменимы к M2M-соединениям с множественными подключениями, в отличие от 5G-сетей.

Таблица 1

Вероятность успешного доступа к ресурсам через беспроводные сети [7], %

Тип сети	HTTP	FTP	PING
Домашняя	100	99	90
Офисная	99	96	98
LTE	100	100	99

Таблица 2

Пропускная способность беспроводных сетей [7], мс

Тип сети	HTTP	FTP	
		Закачивание	Скачивание
Домашняя	579	762	1269
Офисная	1158	6801	8485
LTE	1335	2054	2596

Примеры применения сетей пятого поколения. Как уже было отмечено, ключевым результатом реализации сетей пятого поколения станет взаимодействие пользователя и сервера в режиме реального времени, а также взаимодействие M2M в режиме реального времени.

Мультимедиа контент в больших пространствах. Во время спортивных состязаний, находясь на стадионе, зритель в режиме реального времени сможет получать полную статистику по каждой команде и каждому игроку в любой момент времени. Каждый зритель на своём смартфоне будет иметь возможность просматривать повтор игрового момента сразу же после того, как он завершится [8].

Природные катаклизмы. Благодаря более устойчивому соединению 5G-сети смогут работать в условиях природных катастроф — ураганов, землетрясений. Это позволит пострадавшим людям быстро передавать сигналы бедствия и свои точные координаты, а экстренным службам сократить время проведения спасательных операций.

Контроль трафика. Мгновенная передача данных между устройствами — бортовыми компьютерами транспортных средств позволит предотвращать аварийные ситуации и ускорять продвижение спецтранспорта. Взаимодействие светофоров и транспортных средств повысит эффективность управления трафиком, что может значительно снизить количество пробок [8].

Удаленное манипулирование роботами. Хирурги смогут проводить операции, находясь за тысячи километров от пациентов, которые по разным причинам не могут добраться до центральных больниц [8].

Следует отметить, что перечисленными примерами применение 5G-сетей далеко не ограничивается.

Сложности в оценке качества предоставления услуг сетями 5G. Передача данных в режиме реального времени является одним из критичных параметров сетей нового поколения. Однако однозначно оценить данный параметр качества сложно.

С точки зрения пользователя, находящегося на стадионе, задержка в несколько секунд (до 5...10) вполне приемлема, так она не повлияет на осознание того, что произошло действительно знаковое событие в игре и необходимо просмотреть его повтор. Более того, данная задержка не является критичной для безопасности пользователя.

С точки зрения пассажира автоматически управляемого такси 5...10 с — это очень много, так как ситуация на дороге может измениться несколько раз за секунду, особенно при плотном трафике. В этом случае для обеспечения безопасности движения информация должна поступать с задержкой менее 0,1 с.

Хирургическая операция, проводимая удалённо, требует не только крайне малой задержки — также менее 0,1 с, но и очень высокого качества видеоизображения, так как хирургу приходится работать с мельчайшими сосудами и тканями, используя микроскоп.

Значительно более широкий спектр применения сетей пятого поколения по сравнению с сетями 4G создаёт проблемы при выработке универсальных критериев оценки качества предоставляемых сервисов и услуг. Вероятно, не будет существовать единого критерия, а оценку качества будет необходимо рассматривать через призму конкретного кейса применения 5G-технологии.

Методология оценки качества услуг в сетях пятого поколения. ***Параметры (факторы) оценки качества услуг для 5G-сетей***. Для оценки качества услуг в сетях 5G необходимо разработать систему оценки ключевых показателей. Первый комплекс факторов касается технической стороны реализации сетей 5G, второй — оценки качества услуг с точки зрения потребителя (пользователя).

В первый комплекс входят:

пропускная способность. Канал должен обладать в 1000 раз большей пропускной способностью для обеспечения взаимодействия множества устройств между собой;

энергоэффективность. Стоимость энергии, потребляемой инфраструктурой мобильных беспроводных сетей, превышает более чем 50 % затрат телекоммуникационных компаний

на энергию. Поэтому крайне важно, чтобы инфраструктура сетей пятого поколения была энергоэффективной и энергосберегающей;

время работы батареи. Время разрядки батареи должно быть увеличено минимум в 10 раз благодаря применению специальных технологий;

покрытие. Необходимо обеспечивать высокоскоростное соединение на узких пространствах с большим скоплением людей (круизные лайнеры, высокоскоростные поезда, самолеты) [9].

Необходимо определить показатели и факторы, относящиеся к оценке качества предоставляемых услуг с точки зрения пользовательского взаимодействия. Все эти факторы можно условно разделить на три ключевые группы: доверие, удобство, услуги (рисунок). Рассмотрим факторы, входящие в эти группы [10].

Безопасность и защищённость. Минимизация уязвимостей, которыми могли бы воспользоваться злоумышленники с целью украсть или неправомерно использовать персональные сведения и данные.

Однозначная идентификация. Каждое устройство в сети должно идентифицироваться однозначно с помощью уникального кода. Это позволит решать множество задач — от предоставления персонифицированных данных до определения местоположения объекта в чрезвычайной ситуации.

Сохранение приватности личных данных. Данные пользователей, собираемые автоматически и предоставляемые самими пользователями, должны быть защищены технически и юридически.

Использование в режиме реального времени. Ключевая особенность сетей — мгновенная передача информации между устройствами. Этот фактор необходим для функционирования большинства сервисов пятого поколения и M2M-взаимодействия.

Персонифицированность получаемых информации и услуг. В настоящее время множество сервисов предоставляет данные на основе «исторических» сведений об активности пользователя. В сетях нового поколения это должно получить ещё большее развитие. Бортовой компьютер автомобиля, «зная», что человек опаздывает, сможет коммуницировать с другими автомобилями и дорожными регулировщиками в целях предоставления ему приоритетного проезда (задержки зелёного света светофора на 1 с).

Три группы факторов оценки качества

Вовлечённость пользователя в процесс предоставления услуги. Пользователь должен быть полноценным участником процесса предоставления услуги. Например, доставка товара должна осуществляться не в определённый интервал времени, определяемый интернет-магазином, а в конкретное время с точностью до минуты с учётом текущего местоположения заказчика. При этом заказчик должен иметь возможность сам выбирать способ и точное время доставки. Предполагается, что доставку в сервисах нового поколения будут осуществлять автоматические дроны.

Контекст предоставления услуги. Каждая услуга должна быть предоставлена в момент, наиболее для этого подходящий. Стиральный порошок должен доставляться тогда, когда он закончился, а не перед новой стиркой. В последнем случае необходимо в течение некоторого времени ожидать фактической доставки. Подобного рода услуги станут возможными при распространении «умных» домов и квартир.

Выбор методологии оценки качества услуг для 5G-сетей. В качестве метода агрегации предполагается использовать технологии машинного обучения и анализа больших объёмов данных. Машинное обучение позволит понять, какие из параметров оказывают большее влияние на восприятие пользователем качества услуги. Однако для проведения подобного рода анализа необходимо разработать метрики оценки удовлетворённости услугой пользователя, собрать необходимый объём информации в автоматическом и полуавтоматическом режимах, подобрать необходимые инструменты и алгоритмы для анализа.

Метрики оценки удовлетворённости будут различаться в зависимости от услуги. На первом этапе необходимо выбрать спектр услуг, максимально покрывающий различные сегменты пользователей. Затем для каждой услуги должна быть разработана отдельная метрика оценки удовлетворённости на основе опросов пользователей или логов взаимодействия пользователей с сервисом (автоматически).

Рассмотрим пример тактильного сервиса — удалённая хирургия. В данном случае пользователем услуги является не только пациент, но

и хирург. С точки зрения пациента удовлетворительное предоставление услуги — сохранение ему качественной жизни. Для упрощения можно полагать, что пользователь сервиса может дать бинарную оценку (или она даётся автоматически на основе анализа логов): 0 — не удовлетворён; 1 — удовлетворён. Таким образом, получается бинарная классификация.

Вторым этапом является сбор информации по оказанию данной услуги и удовлетворённости пользователей. Важно также отметить, что помимо информации об удовлетворённости необходимо иметь обратную связь по описанным выше параметрам трёх групп (доверие, удобство, услуга) для каждого отдельного случая.

Третьим этапом должен стать подбор и анализ методов и алгоритмов машинного обучения, применяемых для оценки важности факторов.

Логистическая регрессия [11] — один из наиболее часто используемых методов для бинарной классификации. На выходе алгоритм даёт коэффициенты с положительным или отрицательным знаком и вероятность, с которой конкретный случай принадлежит к определённому классу (в нашем случае удовлетворён — не удовлетворён).

Полученные коэффициенты параметров и их абсолютные значения позволят оценить степень влияния этих параметров на качество предоставления услуги.

Исследования предполагаемой оценки качества на основе опроса пользователей беспроводных сетей 4G. Наряду с утверждением о важности режима реального времени был сформулирован ряд других предположений, описанных ниже и касающихся оценки качества предоставления услуг в сетях нового поколения. Для проверки данных гипотез был проведён опрос пользователей сетей третьего и четвёртого поколений. Пользователям предлагали представить себя водителями автомобилей будущего, которые способны общаться между собой и дорожными регулировщиками в автономном режиме, используя новые технологии. Пользователи должны были выбрать наиболее значимую для себя услугу, которую они при этом смогли бы получить. Результаты опроса отражены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты опроса пользователей

Услуга	Количество проголосовавших за услугу, %	
	Пользователи разных полов (141 человек)	Женщины (59 человек)
Связь автомобиля с регулировщиками (светофорами) и выдача вам рекомендаций по подстройке режима скорости таким образом, чтобы на пути были по большей части зелёные сигналы	9,9	13,6
Автопилот, ведущий автомобиль по дороге самостоятельно, обменивающийся данными в режиме реального времени с другими автомобилями, находящимися поблизости	31,9	23,7
Система мгновенного предупреждения о возникающих опасностях на дороге путём передачи сигналов через специальные дроны-наблюдатели за движением	18,4	23,7
Безопасность вашего автомобиля, полная защищённость от хакерского вторжения и программного взлома со стороны, в том числе от автоматизированного угона	20,6	23,7
Система расчёта страхового коэффициента, который позволит вам экономить до 50 % стоимости страховки и будет считаться в режиме реального времени в зависимости от дорожной обстановки, стиля вождения с помощью обмена информацией с другими устройствами и датчиками атомобиля	2,1	0
«Умный» навигатор, который сможет прогнозировать пробки и заранее прокладывать маршрут, где число автомашин снижается и не будет увеличено в будущем	14,2	15,3
Ничего из перечисленного выше / Свой вариант применения 5G-сервисов	2,8	0

Общее число проголосовавших пользователей различных полов — 141, что даёт возможность заявить о достаточной достоверности результатов. Более того, голосовали люди разных возрастных групп, а также из разных регионов (число пользователей из Москвы — 58).

Наибольшее число голосов собрал вариант — автоматизированное управление автомобилем в режиме реального времени, что в целом подтверждает теорию о том, что параметр режим реального времени будет одним из определяющих при оценке пользователями качества предоставляемой услуги.

Следует отметить, что для женщин параметр режим реального времени имеет такую же значимость, что и параметры группы доверие. Что касается параметра вовлечённость пользователя в процесс формирования услуги, то результаты опроса свидетельствуют о невысоком интересе к данному параметру оценки качества со стороны женской части аудитории.

Заключение. Развитие и распространение сетей пятого поколения значительно изменяет наше представление о беспроводных технологиях. Станут распространёнными такие сервисы, как удалённая хирургия, автоматические контроль за трафиком и пилотирование автомобиля, мгновенное распространение массовой информации на большие расстояния и многое другое. Оценка качества данных услуг, предоставляемых сетями нового поколения, станет одной из ключевых задач с точки зрения повышения эффективности работы таких сервисов. На начальном этапе после внедрения сетей пятого поколения будут выделяться ключевые параметры и факторы, которые оказывают влияние на качество, затем будет проводиться сбор данных, основанных на опросах пользователей, логах использования сервисов. На последнем этапе будут строиться скоринговые модели, которые определяют наиболее важные факторы с точки зрения оценки качества.

Для предварительной оценки качества будущих сервисов, которые могут быть представлены в сетях пятого поколения, был проведён опрос среди пользователей социальных сетей, показавший, что наиболее важным фактором для заказчика является использование услуг в режиме реального времени с минимальной задержкой.

Распространение сетей нового поколения будет связано с существенными изменениями в инфраструктуре и архитектуре, задействованных при передаче данных между устройствами. В настоящее время именно эти проблемы остаются самым серьёзным препятствием для реализации сетей пятого поколения.

Библиографические ссылки

1. **5g-ppp.eu. (2017).** Vision Papers & Roadmaps 5G-PPP. URL: https://5g-ppp.eu/roadmaps/ (дата обращения: 24.05.2017).

2. **5G Vision White Paper**, 2015. URL: http://www.samsung.com/global/business-images/insights/2015/Samsung-5G-Vision-0.pdf (дата обращения: 15.02.2015).

3. **A deliverable** by the NGMN Alliance, NGMN 5G White Paper. Feb. 2015. URL: https://www.ngmn.org/uploads/media/NGMN_5G_White_Paper_V1_0.pdf (дата обращения: 29.05.2015).

4. **Alomary F., Kostani I.** Evaluation of Quality of Service in 4th Generation (4G) Long Term Evolution (LTE) Cellular Data Networks // Universal J. of Communications and Network. 2013. No. 1 (3). P. 110—117.

5. **Digital** Strategies for Big Picture Results, Tata Consultancy Services. URL: http://www.tcs.com/SiteCollectionDocuments/White-Papers/Unlocking-5G-Latency-Reduction-0615-1.pdf (дата обращения: 10.01.2017).

6. **Driving** the Convergence on the Physical and Digital Worlds White Paper, 2014. URL: http://wwwen.zte.com.cn/en/products/bearer/201402/P020140221415329571322.pdf (дата обращения: 13.07.2014).

7. **Chin W., Fan Z., Haines R.** Emerging technologies and research challenges for 5G wireless networks // IEEE Wireless Communications. 2014. Vol. 21. No. 2. P. 106—112.

8. **Ericson** white paper, 5G-systems. Jan. 2015. URL: http://www.ericsson.com/res/docs/whitepapers/what-is-a-5g-system.pdf (дата обращения: 29.05.2015).

9. **Kim S.** Study on Applicability of Radio over Fiber system for 5G New Radio Access Technology // The J. of the Korea institute of electronic communication sciences. 2016. No. 11 (9). P. 849—854.

10. **Longgang B.** 5G: A Technology Vision. Huawei Industrial Base, 2013. P. 1—16.

11. **Логистическая** регрессия (пример). URL: http://www.machinelearning.ru/wiki/ (дата обращения: 24.05.2017).

Ссылка для цитирования

Комаров М.М., Дормидонтова Е.А. Качество предоставления услуг для пользователей в сетях нового поколения // Автоматизация. Современные технологии. 2018. Т. 72. № 8. С. 377—383.

Уважаемые читатели!

Подписку можно оформить в любом почтовом отделении по каталогу:
«Пресса России» — индекс **27838**.

ПО СТРАНИЦАМ ЖУРНАЛОВ

Автоматизированный выбор инструментального материала для штампов объёмного деформирования. *Вестник машиностроения.* 2018. № 3.

Предложен системный подход к автоматизированному выбору инструментального материала для тяжёлонагруженных штампов холодной и полугорячей объёмной штамповки по их стойкости. Оценка стойкости штампа выполняется с помощью математических моделей основных видов разрушения. Выбор инструментального материала осуществляется по интегральному критерию.

Технологические особенности ультразвуковой резки полимерных материалов. *Вестник машиностроения.* 2018. № 3.

Рассматриваются применение энергии ультразвуковых колебаний (УЗК) при резке пластмасс, синтетических тканей и полимерных плёнок и схемы процесса, а также преимущества и целесообразность ультразвуковой (УЗ) резки пластмасс по сравнению с другими способами. Определено влияние основных параметров режима УЗ резки на производительность процесса и качество разрезаемых пластмасс.

Формирование донной части электрошлаковой отливки и наплавленного слоя. *Заготовительные производства в машиностроении.* 2018. Т. 16. № 3.

Рассмотрены особенности формирования электрошлакового металла в начальной стадии процесса. Показана перспективность применения твёрдого старта при изготовлении и ремонте штамповой малогабаритной оснастки.

Современное оборудование для охлаждения горячекатаной полосы на отводящем рольганге непрерывных широкополосных станов и литейно-прокатных комплексов. *Заготовительные производства в машиностроении.* 2018. Т. 16. № 3.

Рассмотрены основные способы охлаждения горячекатаной полосы на отечественных и зарубежных непрерывных широкополосных станах и литейно-прокатных комплексах. На основании данных по влиянию условий охлаждения проката на механические свойства показана актуальность модернизации существующего оборудования и автоматизации на отводящем рольганге. Особое внимание уделено системам интенсивного охлаждения и общей эффективности от их использования.

Компьютерное моделирование процесса механической обработки для оптимизации упрочняющего воздействия на заготовку. *Упрочняющие технологии и покрытия.* 2018. Т. 14. № 3.

Компьютерное моделирование процессов лезвийной обработки машиностроительных изделий позволяет решить многие вопросы, связанные с оптимизацией режима резания, шероховатости обработанной поверхности, производительности обработки и т. д. В статье показана возможность упрочнения материала заготовки во время обработки путём оптимизации величин внутренних напряжений. В основу оптимизации положено моделирование напряжений и деформаций. Достигнут прирост микротвёрдости.

Способы уменьшения ртутной опасности, упрочняющие технологии и защитные покрытия. *Упрочняющие технологии и покрытия.* 2018. Т. 14. № 3.

Ведутся работы по созданию ламп с ртутьнепроницаемыми неразрушающимися оболочками. Рассмотрены наиболее эффективные решения по составу защитных покрытий и способам их формирования на поверхности ламп. Приведены данные, полученные экспериментальным путём.

Перспективные ИТ-решения в задачах анализа и контроля испытаний двигателей внутреннего сгорания. *Сборка в машиностроении, приборостроении.* 2018. Т. 19. № 3.

Усовершенствовано алгоритмическое обеспечение автоматизированных производственных испытаний ДВС. Предложены новые решения в организации хранилища данных и обработки измерительной информации.

Исследование морфологических изменений наноструктурного трехкомпонентного покрытия TiAlN. *Сборка в машиностроении, приборостроении.* 2018. Т. 19. № 3.

Экспериментально исследовано влияние температуры и пластической деформации на структурно-фазовые изменения, происходящие на границе «наноструктурное покрытие—подложка».

Исследование характеристик центробежных погружных насосов. *Вестник машиностроения.* 2018. № 4.

Рассмотрены основные этапы разработки эмпирических зависимостей для характеристик центробежных погружных насосов.

Исследование параметрического режима вибрационной машины с гидрообъёмным возбуждением колебаний. *Вестник машиностроения.* 2018. № 4.

Рассмотрен параметрический резонанс вибрационной машины с гидрообъёмным вибропривода, выявлены области параметров системы с устойчивым режимом колебаний и особенности его рекулирования. Методом осреднения «быстрой» фазы проведён анализ фазочастотных характеристик колебательной системы. Установлены причины возникновения параметрического режима. Приведены технические решения, основанные на использовании свойств гидравлических рукавов высокого давления — упругих оболочек

Управляемость и наблюдаемость системы автоматизированной сборки. *Сборочное оборудование и его элементы.* 2018. № 4.

Предложена расчётная схема системы автоматизированной сборки. Получено описание системы автоматизированной сборки в переменных состояния в наблюдаемом и управляемом канонических представлениях. Сформулированы условия управляемости и наблюдаемости системы и проведён их анализ. Определены соотношения параметров, приводящие к потере управляемости и наблюдаемости системы сборки.

Обоснование параметров устройства и режимов движения ползунов для подачи резьбовых деталей в зону завинчивания многошпиндельного шпильковёрта. *Сборочное оборудование и его элементы.* 2018. № 4.

Приведена кинематическая схема многошпиндельного шпильковёрта и обоснование предельных режимов движения ползунов, обеспечивающих подачу резьбовых деталей на позицию завинчивания.

Методика нормирования герметичности и точности разъёмных соединений систем безопасности контайнмента реактора. *Сборочное оборудование и его элементы.* 2018. № 4.

Приведён алгоритм расчёта герметичности разъёмных соединений систем безопасности контайнмента, а также подходов к нормированию утечек и функциональных параметров их обеспечения для оборудования, трубопроводов и арматуры систем безопасности.

Исследование влияния параметров протягивания на температуру рабочей зоны при обработке фасонных отверстий. *Сборочное оборудование и его элементы.* 2018. № 4.

Исследовано влияние температуры рабочей зоны на повышение стойкости протяжного инструмента при обработке фасонных отверстий больших размеров в изделиях из легированной стали в зависимости от подъёма на зуб, твёрдости материала заготовки, скорости протягивания, наработки инструмента на отказ и переднего и заднего углов режущих зубьев.

Влияние добавки NaCl на свойства гипсовых смесей и форм для отливок из алюминиевых сплавов. *Заготовительные производства в машиностроении.* 2018. № 4.

Приведены результаты экспериментов по оценке влияния хлорида натрия на свойства гипсовых смесей и форм для алюминиевого литья. Даны рекомендации, необходимые для разработки технологии изготовления гипсовых форм и стержней из смесей с добавкой соли.

Технология изготовления заготовок для медных стенок кристаллизаторов машин непрерывного литья заготовок. *Заготовительные производства в машиностроении.* 2018. № 4.

Рассмотрена технология изготовления заготовок для медных рабочих стенок кристаллизаторов машин непрерывного литья заготовок из бескислородной меди, полученной в печи электронно-лучевого переплава. Исследована стойкость рабочих стенок из различных марок меди.

Журнал распространяется по подписке, которую можно оформить в любом почтовом отделении (индекс по каталогу «Пресса России» — 27838) или непосредственно в издательстве по e-mail: realiz@mashin.ru, на сайте www.mashin.ru (без почтовых наценок, с любого месяца, со своего рабочего места); телефон для справок: (495) 785-60-69

Сдано в набор 30.05.2018.	Отпечатано в ООО «Канцлер»
Подписано в печать 25.07.2018.	150008, г. Ярославль, ул. Клубная, д. 4, кв. 49.
Формат 60 × 88 1/8. Бумага офсетная.	Оригинал-макет: ООО «Адвансед солюшнз».
Усл. печ. л. 5,88. Цена свободная.	119071, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 19, стр. 1. Сайт: www.aov.ru

Перепечатка материалов из журнала «Автоматизация. Современные технологии» возможна при обязательном письменном согласии редакции журнала. При перепечатке материалов ссылка на журнал «Автоматизация. Современные технологии» обязательна. За содержание рекламных материалов ответственность несёт рекламодатель