Автоматизация. Современные Технологии

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ МЕЖОТРАСЛЕВОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ИЗДАЁТСЯ С 1947 ГОДА

5

2015

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЛЕГИЯ:

Бучаченко А.Л. — д.х.н., проф., ИПХФ РАН
Ван Сяофэн — д.т.н., проф., Нанкинский ун-т науки и технологии (КНР)
Дегтярёв Ю.И. — д.т.н., проф., МАИ
Елисеев В.А. — д.т.н., проф., Ин-т инновац.-технологич. менеджмента
Иванов А.П. — д.э.н., проф., МГУПС (МИИТ)
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»
Осипова В.Г. — ООО «Изд-во Инновационное машиностроение» (заместитель главного редактора)
Пролетарский А.В. — д.т.н., проф., МГТУ им. Н.Э. Баумана
Румянцева О.Н. — генеральный директор ООО «Изд-во Инновационное машиностроение»
Хэ Юн — д.т.н., проф., Нанкинский ун-т науки и технологии (КНР)
Шибанов Г.П. — д.т.н., проф., Гос. лётно-испытат. центр им. В.П. Чкалова
Янович Е.А. — д.э.н., проф., Кошалинский политехнич. ин-т (Польша)

Редактор — **Лутовинина О.Н.**
Редактор — **Селихова Е.А.**
Компьютерная вёрстка — **Конова Е.В.**

УЧРЕДИТЕЛИ:

ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ "НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО "ИННОВАЦИОННОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ"

Журнал зарегистрирован 29 мая 2014 г. за № ФС77-58102 в Роскомнадзоре

Журнал входит в перечень утверждённых ВАК РФ изданий для публикации трудов соискателей учёных степеней, а также в систему Российского индекса научного цитирования (РИНЦ)

ООО "Издательство "Машиностроение"

Адрес редакции:
107076, Москва,
Колодезный пер., 2А.
Тел.: (495) 661-38-80.
E-mail: ast@mashin.ru; astmashin@yandex.ru;
http://www.mashin.ru

Адрес издательства:
107076, Москва,
Стромынский пер., 4.
Тел.: (499) 268-38-58.
Факс: (499) 269-48-97.

© Издательство "Машиностроение",
© Издательство "Инновационное машиностроение",
"Автоматизация. Современные технологии", 2015

СОДЕРЖАНИЕ

АВТОМАТИЗАЦИЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Коноплев В.И., Анцев В.Ю. Устройство для предотвращения закручивания канатов при запасовке полиспастов механизмов крана 3

Ухов В.И., Ковцова И.О. Разработка и реализация анализатора качества электроэнергии SysteLLogic ПКЭ.13 для цифровой подстанции 6

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Бубырь Д.С., Булыжев Е.М., Грехов Ю.А., Клячкин В.Н., Кувайскова Ю.Е., Орлов Г.А. Прогнозирование физико-химических показателей источника водоснабжения 14

Шеков И.С., Князев Н.Л., Янишевская А.Г. Математическая модель анализа поверхностей 3D-модели детали 17

Ширялкин А.Ф., Шанченко Н.И., Угасин А.Н. Анализ классификации деталей на машиностроительном предприятии 22

Ложников П.С., Сулавко А.Е. Технология идентификации пользователей компьютерных систем по динамике подсознательных движений 31

Болдырев А.В., Павельчук М.В. Формализация проектирования силовых схем авиационных конструкций на основе процессного подхода 37

ЭКОНОМИКА

Иванов А.П., Михалёв А.С. Кредитование юридических лиц как фактор устойчивости банка 40

Макаров В.Ф., Туктамышев В.Р., Масленков С.В., Глухов Д.В. Техническое нормирование труда в машиностроении. Анализ известных методов 44

ОБЗОР ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ПЕЧАТИ

По страницам журналов 47

CONTENTS

AUTOMATION OF SCIENTIFIC-RESEARCH AND PRODUCTION PROCESSES

Konoplev V.I., Antsev V.Yu. A device for ropes twisting prevention at polispast reeving of the crane mechanisms 3

Ukhov V.I., Kovtsova I.O. Development and realization of the electricity quality analyzer SysteLLogic PKE.13 for digital substation 6

MODERN TECHNOLOGY

Bubyr D.S., Bulyzhev E.M., Grekhov Yu.A., Klyachkin V.N., Kuvayskova Yu.E., Orlov G.A. Prediction of physical and chemical parameters of water supply source . 14

Shekov I.S., Knyasev N.L., Yanishevskaya A.G. Mathematical model of the surface analysis for 3D-model of part 17

Shiryalkin A.F., Shanchenko N.I., Ugasin A.N. Analysis of the details classification on machine-building enterprise 22

Lozhnikov P.S., Sulavko A.E. Identification technology of the computer systems users on the grounds of subconscious movement dynamics. 31

Boldyrev A.V., Pavelchuk M.V. Designing formalization of the aircraft constructions from a procedure approach. 37

ECONOMIY

Ivanov A.P., Mikhalev A.S. Lending to legal entities as a factor of stability of the bank 40

Makarov V.F., Tuktamyshev V.R., Maslenkov S.V., Glukhov D.V. Technical regulation of labor in industry. Analysis of the known methods 44

SURVEY OF PERIODICALS

Periodicals review 47

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

Сдано в набор 03.03.2015.
Подписано в печать 23.04.2015.
Формат 60 × 88 1/8. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 5,88. Цена свободная.

Отпечатано в ООО "Канцлер"
150008, г. Ярославль, ул. Клубная, д. 4, кв. 49.
Оригинал-макет: ООО "Адвансед солюшнз".
119071, г. Москва, Ленинградский 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

© Издательство "Машиностроение",
© Издательство "Инновационное машиностроение",
"Автоматизация. Современные технологии", 2015

УДК 621.86.065

В.И. Коноплев, канд. техн. наук, доц., **В.Ю. Анцев,** д-р техн. наук, проф.
(Тульский государственный университет)

konoplev.vi@yandex.ru

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ЗАКРУЧИВАНИЯ КАНАТОВ ПРИ ЗАПАСОВКЕ ПОЛИСПАСТОВ МЕХАНИЗМОВ КРАНА

Рассмотрено устройство, предотвращающее закручивание стальных канатов при их сматывании с барабана во время запасовки на механизмах подъёма и передвижения кранов.

Ключевые слова: стальной канат; полиспаст; напряжения свивки; закручивание; устройство снятия напряжений.

A device for steel ropes twisting prevention when unwinding from the reel during reeving on the lifting and movement cranes mechanisms is considered.

Key words: steel rope; polispast; strand stress; swirl; stress relief device.

Одной из ответственных операций при эксплуатации кранов является запасовка канатов на механизмах подъёма и передвижения. При запасовке новых канатов полиспаст часто закручивается с образованием узлов и петель [1]. В настоящее время закручивание канатов устраняют тремя способами: предварительной раскаткой каната на всю длину в одну прямую линию при запасовке; раскручиванием полиспаста; раскручиванием петель. Ручные операции по снятию упругих напряжений свивки перечисленными выше способами малоэффективны и занимают много рабочего времени. Вопросу предотвращения закручивания канатов при запасовке в полиспастные системы посвящены работы [2, 3]. Предлагаемое устройство позволяет эффективно проводить снятие упругих напряжений свивки и облегчает запасовку каната в полиспастную систему [4].

Поставленная задача достигается тем, что устройство для предотвращения закручивания канатов при запасовке полиспастов механизмов крана включает полый цилиндр, опорную раму, установленное между ними опорно-поворотное устройство и механизм поворота. Оси вращения полого цилиндра и опорно-поворотного устройства совпадают, расположены вертикально и перпендикулярны опорной поверхности рамы и оси вращения барабана с ребордами. На верхней торцевой поверхности полого цилиндра диаметрально установлен на телескопической оси барабан с ребордами и зафиксирован по торцам от осевого смещения. По концам оси барабана выполнены пазы для установки в них стенки полого цилиндра. Подвижная обойма опорно-поворотного устройства закреплена к нижней торцевой поверхности полого цилиндра, а неподвижная, имеющая с наружной стороны зубчатый венец, — к опорной раме. Механизм поворота установлен на консольной площадке, закреплённой к нижней торцевой поверхности полого цилиндра и его боковой стенке.

Устройство для предотвращения закручивания канатов при запасовке полиспастов механизмов крана (рис. 1) содержит механизм поворота *1*, барабан *2* с ребордами *3*, полый цилиндр *4*, опорно-поворотное устройство *5*, опорную раму *6*. Механизм поворота, включающий электродвигатель *7*, червячный редуктор *8* и шестерню *9* на выходном валу *10*, установлен на консольной площадке *11*, закреплённой к нижней торцевой поверхности полого цилиндра и его боковой стенке. Нижняя торцевая поверхность полого цилиндра установлена на подвижной обойме *12* опорно-поворотного устройства. Неподвижная обойма *13* опорно-поворотного устройства, имеющая с наружной стороны зубчатый венец *14*, закреплена к опорной раме. Шестерня находится в зацеплении с зубчатым венцом. На верхней торцевой поверхности полого цилиндра диаметрально установлен на телескопической оси *15* барабан с ребордами, зафиксирован по торцам от осевого смещения стопорными кольцами *16* с винтами *17*. По концам телескопической оси барабана выполнены пазы *18* для установки

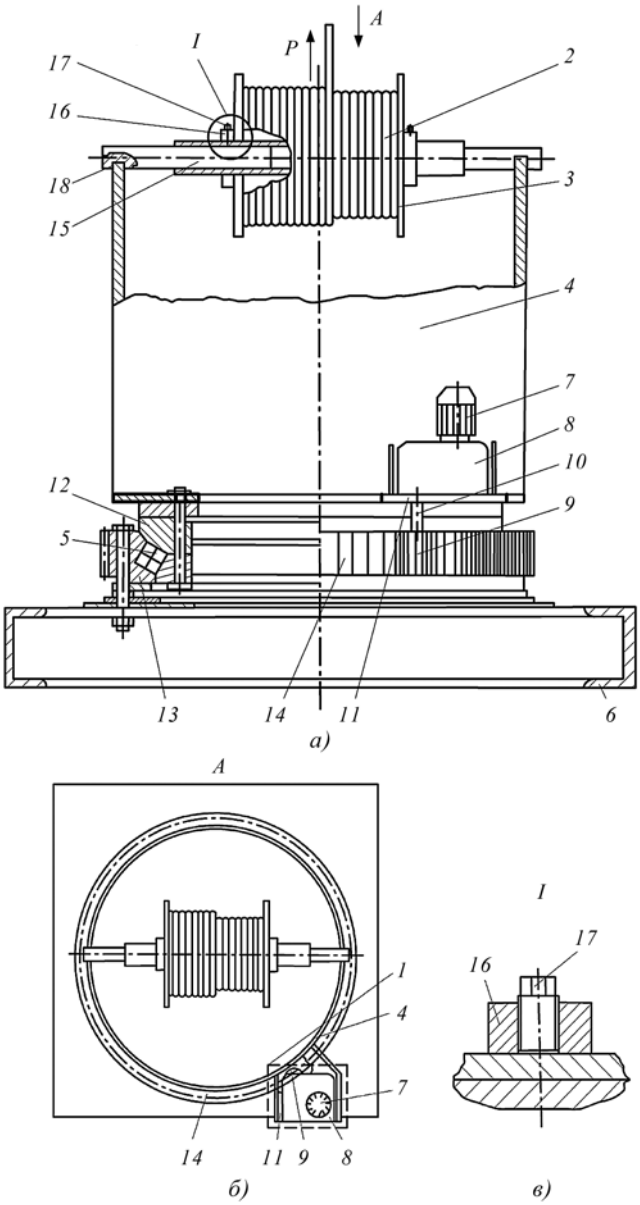


Рис. 1. Устройство для предотвращения закручивания канатов при запасовке полиспастов механизмов крана: *а* — общий вид; *б* — привод; *в* — фиксатор барабана от осевого смещения

в них стенки полого цилиндра. Оси вращения полого цилиндра и опорно-поворотного устройства совпадают, расположены вертикально и перпендикулярны опорной поверхности рамы и оси вращения барабана с ребордами.

Устройство для предотвращения закручивания канатов при запасовке полиспастов механизмов крана работает следующим образом.

С помощью стопорных колец и винтов фиксируют барабан с ребордами с гибким элементом на телескопической оси. Барабан с ребордами устанавливают пазами на телескопической оси на стенки полого цилиндра. Прикладывая усилие P к концу гибкого элемента, сматывают его с барабана с ребордами и проводят запасовку полиспастной системы. В процессе сматывания гибкого элемента с барабана упругие напряжения свивки приводят к образованию узлов и петель.

Для исключения скручивания гибкого элемента при сматывании с барабана периодически включают механизм поворота, установленный на консольной площадке. Крутящий момент от электродвигателя через червячный редуктор, шестерню на выходном валу передаётся на зубчатый венец неподвижной обоймы, закреплённой на опорной раме опорно-поворотного устройства. Барабан с ребордами и телескопической осью, полый цилиндр с консольной площадкой, подвижная обойма опорно-поворотного устройства, электродвигатель, червячный редуктор, шестерня, выходной вал начинают вращаться относительно вертикальной оси. Используя реверсивный механизм поворота, направление вращения барабана с ребордами выбираем таким, чтобы обеспечить снятие упругих внутренних напряжений в гибком элементе при его сматывании и запасовке в полиспастную систему. Устройство включают по мере необходимости при возникновении узлов и петель в стальном канате.

Стальные канаты склонны к кручению с образованием узлов и петель. Ручные операции по снятию упругих напряжений свивки малоэффективны и занимают много рабочего времени. Предлагаемое устройство позволяет эффективно снимать упругие напряжения свивки и облегчает запасовку каната в полиспастную систему.

Общий расчёт механизма поворота заключается в определении нагрузок на опоры поворотной части устройства, в определении сопротивлений вращению, выборе двигателя, редуктора, муфты и расчёте конечного звена (зубчатой передачи).

Момент сопротивления вращению поворотной части устройства на валу двигателя в период пуска запишется в виде [5]

$$T_{\text{пуск}} = T_{\text{ин}} + T_{\text{с}} = T_{\text{ин}} + T_{\text{тр}}/u\eta, \qquad (1)$$

где $T_{\text{ин}}$ — момент сопротивления от сил инерции при пуске; $T_{\text{с}}$ — момент статического сопротивления на валу двигателя для механизма вращения поворотной части устройства; $T_{\text{тр}}$ — момент статического сопротивления от сил трения относительно оси вращения устройства; u — общее передаточное число привода механизма вращения устройства; η — КПД привода механизма вращения устройства.

Момент сил инерции (динамический момент) на валу двигателя (тормоза), возникающий в период пуска (т.е. разгона) механизма вследствие инерции покоя масс механизма или в период торможения механизма — вследствие инерции движения масс механизма, для равномерно ускоренного (замедленного) движения (Н.м) запишется в виде

$$T_{\text{ин}} = \frac{J_{\text{пр}} n}{9,55t},$$

где $J_{\text{пр}}$ — динамический момент инерции эквивалентной системы, приведённый к валу двигателя (тормоза); n — частота вращения вала двигателя; t — время пуска (торможения).

Статическая мощность двигателя привода механизма поворота устройства

$$P_{\text{с}} = \frac{T_{\text{с}} n_{\text{вр}}}{9550\eta}, \qquad (2)$$

где $n_{\text{вр}}$ — частота вращения полого цилиндра с барабаном.

Двигатель предварительно выбираем по статической мощности $P_{\text{с}}$, принимая при этом из каталога ближайший бóльший по мощности. После определения необходимого пускового момента механизма поворота $T_{\text{пуск}}$ (1) согласно формуле (2) определяем необходимую мощность двигателя при пуске $P_{\text{пуск}}$. Необходимая номинальная мощность двигателя может быть определена из условия $P_{\text{дв}} \geqslant kP_{\text{пуск}}$, где k — коэффициент, учитывающий допустимую перегрузку двигателя в период пуска.

В устройстве для предотвращения закручивания стальных канатов при запасовке полиспастов опоры поворотной части расположены в горизонтальной плоскости (рис. 2). Центр тяжести всей поворотной системы (включая бухту с канатом) лежит внутри её опорного контура (опорно-поворотного устройства). Опорной частью являются ролики в обойме, расположенные между двумя опорными кольцами, из которых одно неподвижно, а другое скреплено с поворотной частью устройства. Все действующие на опорно-поворотное устройство силы можно свести к вертикальной силе $F_{\text{в}}$, приложенной по оси опорно-поворотного устройства, горизонтальной силе $F_{\text{г}}$, приложенной к опорным элементам по центру тяжести тел качения и моменту M, определяемому из условия

$$M = F_{\text{в}}L + F_{\text{г}}h,$$

где L и h — плечи сил относительно оси вращения поворотной части устройства.

Среднюю нагрузку на один опорный элемент в секторе с углом β роликового (опорная реакция наклонена под углом γ к вертикали) опорно-поворотного устройства (см. рис. 2) определим по формуле

$$F = \frac{1}{z'\cos\gamma}\left(\frac{F_{\text{в}}}{2} + \frac{M}{D_{\text{ср}}\cos\frac{\beta}{4}}\right),$$

где z' — количество опорных элементов в секторе с углом β; $D_{\text{ср}}$ — диаметр опорного круга по средней линии качения (диаметр беговой дорожки тел качения); β — центральный угол между точками пересечения окружности диаметром $D_{\text{ср}}$

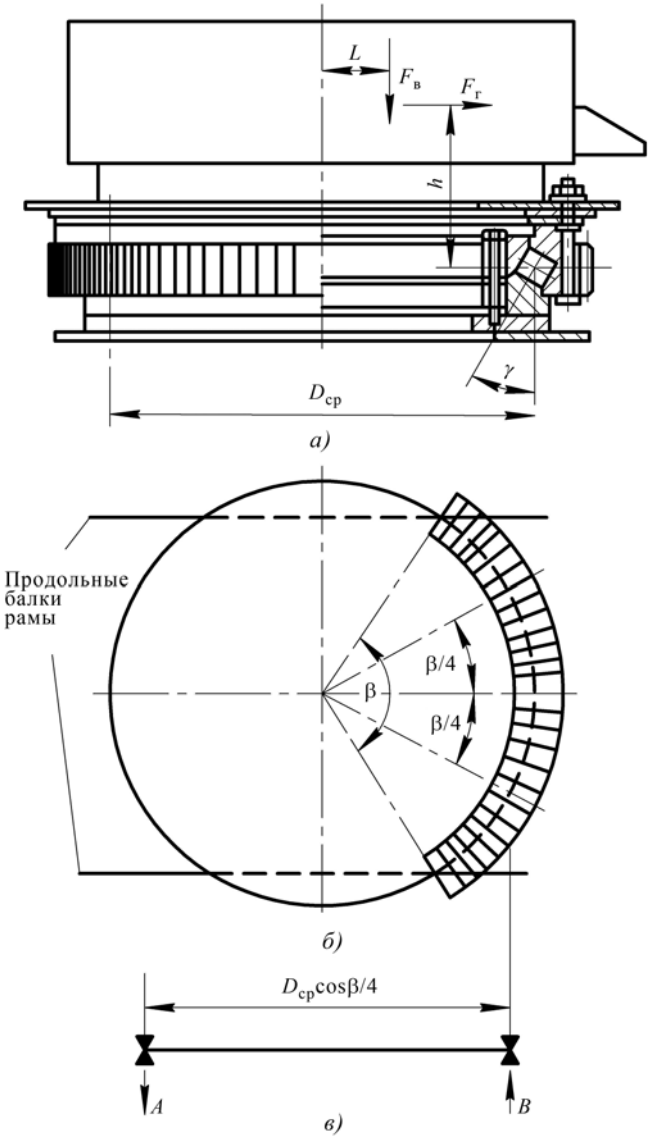


Рис. 2. Расчётные схемы устройства для предотвращения закручивания канатов при запасовке полиспастов механизмов крана:
а — нагружения; *б* — опорного участка; *в* — для установления расчётного пролёта, определяющего опорные реакции

с осями продольных балок неподвижной рамы устройства (см. рис. 2); γ — угол наклона опорной реакции к вертикали.

Для роликового опорно-поворотного устройства

$$z' = z\beta/(2\pi),$$

где z — общее количество роликов в опорно-поворотном устройстве.

Для опорно-поворотных устройств с кольцами из хромистой или марганцовистой стали при твёрдости рабочей поверхности 47—55 HRC со стандартными роликами (диаметр ролика равен его длине) предельная допустимая нагрузка запишется в виде

$$F_{\text{р}} = 30d_{\text{р}}^2,$$

где $d_{\text{р}}$ — диаметр ролика.

Момент сил трения в роликовых опорно-поворотных устройствах относительно оси вращения принят равным

$$T_{\text{тр}} = \frac{0,025M + 0,005F_{\text{в}}D_{\text{ср}}}{\cos\gamma}.$$

Таким образом, необходимо отметить, что рассматриваемое устройство для предотвращения закручивания канатов при запасовке полиспастов механизмов крана обеспечивает снятие упругих внутренних напряжений свивки и исключает его закручивание при запасовке полиспастных систем. Предложена методика по определению основных расчётных параметров привода механизма поворота устройства.

Библиографические ссылки

1. **Беляев Л.М.** Монтаж подъёмно-транспортных механизмов. М.: Стройиздат, 1983. 192 с.

2. **Коноплев В.И.** Расчёт устройства для сматывания гибких элементов // Автоматизация и современные технологии. 2004. № 4. С 9—10.

3. **Коноплев В.И., Шестаков В.А., Ануфриев В.И.** Устройство для сматывания гибких элементов // Патент РФ № 2190570. 2002. Бюл. № 28.

4. **Коноплев В.И., Шестаков В.А., Ануфриев В.И.** Устройство к сматыванию гибких элементов // Патент РФ № 2199483. 2003. Бюл. № 6.

5. **Кузьмин А.В., Марон Ф.А.** Справочник по расчётам механизмов подъёмно-транспортных машин. Минск: Высшая школа, 1983. 350 с.

УДК 621.317.3

В.И. Ухов, канд. физ.-мат. наук, **И.О. Ковцова**
(Международный университет природы, общества и человека "Дубна" филиал "Протвино", г. Протвино, Московская обл.)

kovtsova_irina@mail.ru

РАЗРАБОТКА И РЕАЛИЗАЦИЯ АНАЛИЗАТОРА КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ SysteLLogic ПКЭ.13 ДЛЯ ЦИФРОВОЙ ПОДСТАНЦИИ

Рассмотрены архитектура цифровой подстанции, а также основные функции и структура программного обеспечения для интеллектуального электронного устройства SysteLLogic ПКЭ.13, обеспечивающего измерение и фиксацию показателей качества электроэнергии.

Ключевые слова: цифровая подстанция; IEC 61850; ИЭУ; показатели качества электроэнергии (ПКЭ); архитектура; программное обеспечение.

The digital substation architecture, as well as the main functions and structure of software for intelligent electron device SysteLLogic PKE.13 providing measurement and fixation indicators of electric power quality are considered.

Key words: digital substation; IEC 6185; IED; electric power quality indicator; architecture; software.

На современном этапе развития российской электроэнергетической отрасли ведётся активная модернизация основных фондов благодаря внедрению инновационных технологий и новейших технических решений. Так, в области автоматизации электрических подстанций активно внедряется стандарт IEC 61850 "Системы связи внутри подстанции"

и волоконно-оптические трансформаторы тока и напряжения.

Основная цель использования стандарта IEC 61850 — автоматизация технологических процессов внутри подстанции (ПС). Стандарт принят в качестве информационной модели взаимодействия устройств, работающих на подстанциях, а также для управления этими устройствами.

Стандарт IEC 61850 обеспечивает:

значительное сокращение количества информационных кабелей на подстанции;

более детальное описание функциональных возможностей АСУ ПС;

автоматизированное управление конфигурацией устройств на основе проекта;

сокращение сроков пусконаладочных работ (ПНР) и упрощает обслуживание системы; функциональную совместимость устройств на подстанции, в том числе и различных производителей.

Применение волоконно-оптических трансформаторов тока и напряжения на подстанции вместо аналоговых снимает ряд технических ограничений, связанных с количеством подключаемых устройств ко вторичным цепям трансформатора, а также повышает точность измерений вследствие отсутствия потерь и электромагнитных эффектов, поскольку данные передаются от трансформатора в оцифрованном виде по локальной сети. На подстанции в несколько раз повышается эколого-, пожаро-, взрыво- и электробезопасность.

Архитектура цифровой подстанции (ЦПС) согласно стандарту IEC 61850 представляет собой многоуровневую иерархическую структуру, включающую три уровня:

станционный;

присоединения (ячейки);

полевой (первичного процесса).

В структурной схеме выделяют две локальные вычислительные сети:

шина подстанции;

шина процесса.

Межуровневый обмен данными осуществляется согласно стандарту IEC 61850 по трём типам передаваемой информации [1—3]:

мгновенные значения токов и напряжений от измерительных трансформаторов в цифровом виде (SV — sampled values) — описывается частью IEC 61850-9-2 LE;

дискретная информация или GOOSE-сообщения (Generic Object Oriented Substation Event — протокол передачи данных о событиях на подстанции) — описывается частью IEC 61850-8-1;

MMS-сообщения (Manufacturing Message Specification) — описывается частью IEC 61850-8-1.

Типичная схема ЦПС, включающая в себя станционный уровень, станционную шину, уровень присоединения, шину процесса и полевой уровень, представлена на рис. 1.

Полевой уровень состоит из первичных измерительных преобразователей и/или устройств сопряжения с шиной процесса (УСШ), выносных устройств связи с объектом (УСО).

УСШ оцифровывают аналоговые значения и передают их в формате 61850-9-2 LE.

Выносные УСО обеспечивают управление коммутационными аппаратами (УСО имеют релейные выходы), а также сбор дискретной информации об их положении. Информация с УСО передается с использованием GOOSE-сообщений.

Шина процесса соединяет между собой полевой уровень (уровень первичного процесса) и уровень присоединения (уровень ячейки). По шине процесса передаются мгновенные значения (выборки) токов и напряжений по трём фазам и нейтрали от оптических измерительных трансформаторов либо от УСШ, подключаемых к аналоговым традиционным измерительным трансформаторам. Частота дискретизации передаваемых данных 80 точек на период для устройств релейной защиты и автоматики (РЗА) и 256 точек на период для автоматизированной системы управления технологическими процессами подстанции (АСУТП ПС), автоматизированной информационно-измерительной системы коммерческого учёта электроэнергии (АИИС КУЭ) и др.

Уровень присоединения включает в себя интеллектуальные электронные устройства (ИЭУ) (IED — Intelligent ElectronicDevice).

ИЭУ уровня присоединения считывают поток данных в формате 61850-9-2 LE и производят расчёт и анализ различных электрических величин. К основным устройствам, как правило, относят: мультиметр, счётчик, анализатор показателей качества электроэнергии, регистратор аварийных событий, устройства релейной защиты и автоматики.

Станционная шина также представляет собой локальную вычислительную сеть, соединяющую между собой уровень присоединения и станционный уровень.

От ИЭУ уровня присоединения данные в формате MMS-сообщений (IEC 61850-8-1) передаются на *сервер подстанции*, который обеспечивает сбор, обработку, хранение и

ретрансляцию полученной информации по резервированным каналам связи в диспетчерский центр ЦУС (центр управления сетями) и в РДУ (региональное диспетчерское управление).

В *станционный уровень* входит сервер подстанции и система отображения данных — автоматизированное рабочее место (АРМ), позволяющее отображать информацию в виде, удобном для анализа и принятия решений (управления).

Компания ООО "СИСТЕЛ" имеет большой опыт разработки традиционных электронных многофункциональных счётчиков электрической энергии. С учётом перехода на цифровой поток мгновенных значений, получаемых от оптического трансформатора по сети, особое внимание уделяется программной реализации алгоритмов расчёта и архитектуре прикладного программного обеспечения. При создании линейки интеллектуальных электронных устройств SysteLLogic (IED-мультиметр, -счётчик и -ПКЭ) для цифровой подстанции было принято разрабатывать новые приборы на базе современных микропроцессорных устройств, работающих от операционной си-

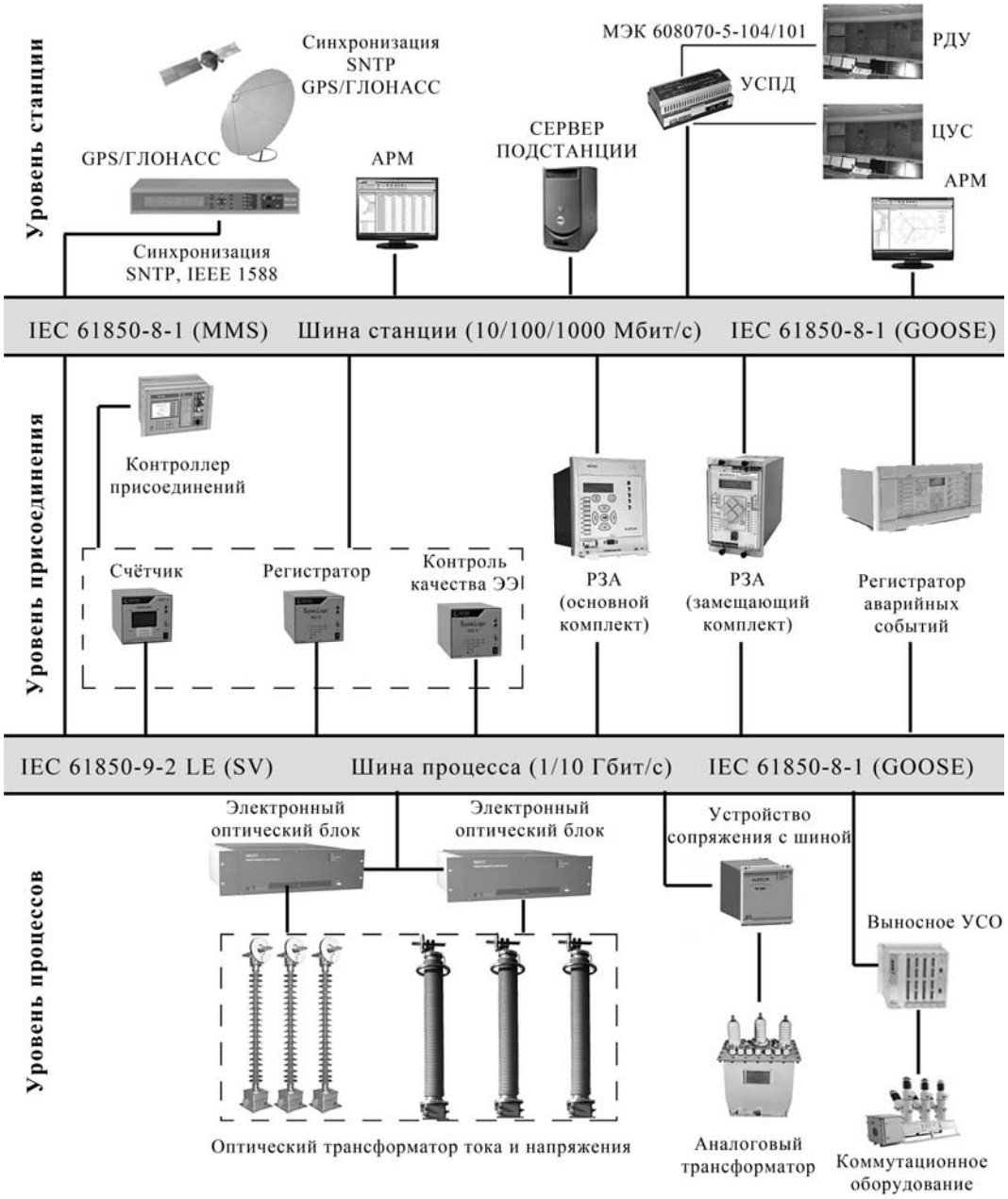


Рис. 1. Структурная схема цифровой подстанции

стемы Linux, а архитектуру ПО создавать по модульному принципу.

Устройство измерения показателей качества электроэнергии SysteLLogic ПКЭ.13 принимает мгновенные значения тока и напряжения по трём фазам и нейтрали в соответствии с протоколом IEC 61850-9-2 LE по сетевому интерфейсу и обеспечивает расчёт:

среднеквадратичного значения тока и напряжения по фазе A, B, C;

частоты по фазам A, B, C;

коэффициентов n-й гармонической составляющей тока и напряжения $KI(n)$ и $KU(n)$;

коэффициентов искажения синусоидальности кривой тока и напряжения KI и KU;

коэффициентов несимметрии напряжений по обратной и нулевой последовательности $K2U$ и $K0U$;

отклонения среднеквадратичного значения напряжения δU.

длительности провала напряжения Δtn;

глубины провала напряжения δUn;

длительности временного перенапряжения $\Delta t_{пер} U$;

коэффициента временного перенапряжения $K_{пер}\ U$;

длительности прерывания напряжения $\Delta t_{прерыв}$;

кратковременной дозы фликера PSt;

длительной дозы фликера PLt.

Частота дискретизации данных согласно IEC 61850-9-2 LE для расчёта ПКЭ 256 выборок на период с частотой сети 50/60 Гц (256·50 = = 12 800 или 256·60 = 15360 срезов мгновенных значений в секунду).

В соответствии с ГОСТ 30804.4.30—2013 "Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Методы измерений показателей качества электрической энергии" основным интервалом для измерений ПКЭ являются 10 периодов для систем электроснабжения частотой 50 Гц или 12 периодов для систем частотой 60 Гц. Измерения на основных интервалах времени 10/12 периодов должны синхронизироваться с текущим временем при каждой 10-минутной отметке текущего времени внутренних часов устройства (рис. 2).

Результаты измерений на основных интервалах времени объединяют для получения значений показателей КЭ для трёх различных увеличенных интервалов времени: 3 с (150/180 периодов); 10 мин; 2 ч.

На рис. 3 приведена структурная схема программного обеспечения MeterQuality, которое

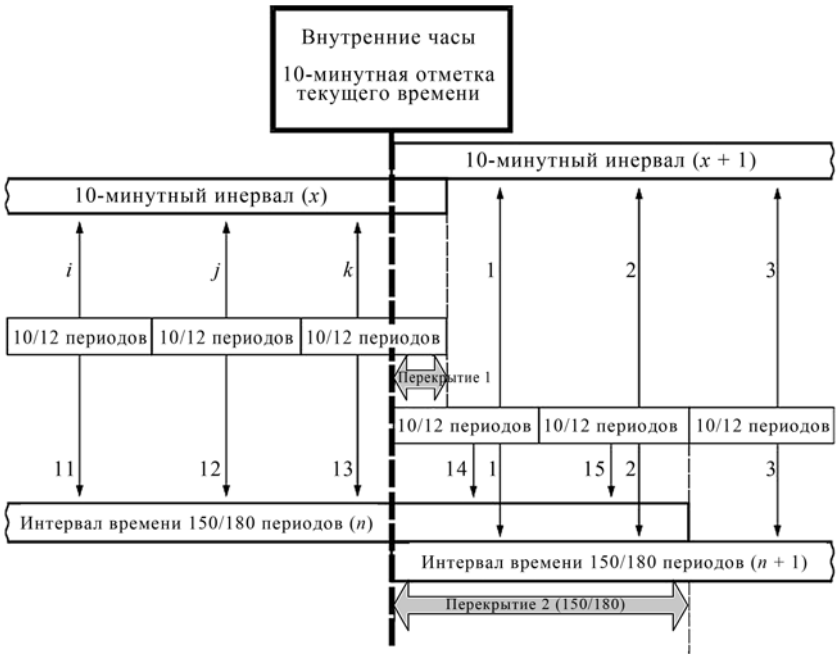


Рис. 2. Синхронизация объединённых интервалов:
i, j, k — номера основных интервалов времени при измерениях показателей КЭ; x и n — количество периодов, по которым рассчитывается увеличенный интервал

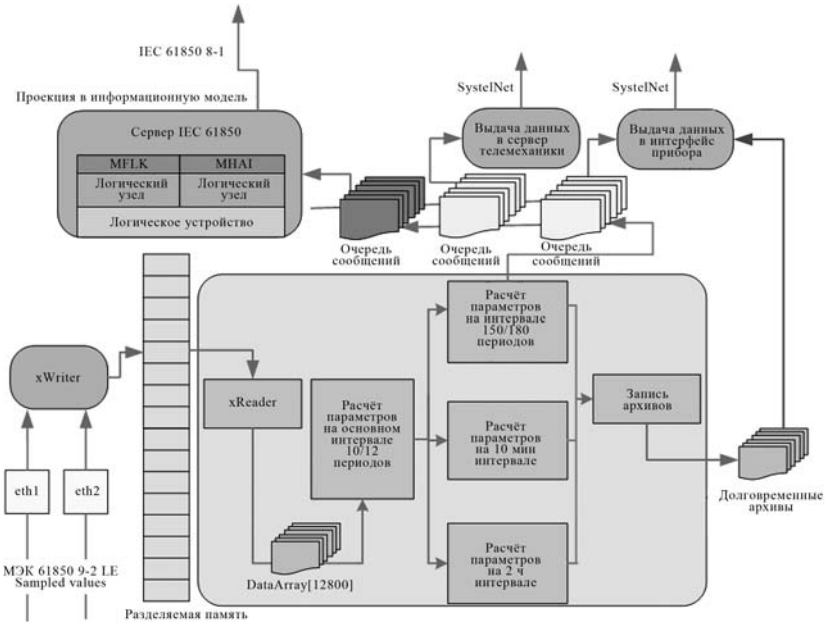


Рис. 3. Структурная схема ПО "MeterQuality"

Таблица 1

Атрибуты типа данных Quality

Имя атрибута типа данных Quality	Значение
validity (достоверность)	Данный атрибут отражает признак достоверности и может иметь значения: **good**, **questionable**, **invalid**. Good считается достоверным и выставляется, если в работе источника получаемой информации не обнаружено каких-либо неисправностей. Invalid считается не достоверным и сигнализирует о том, что обнаружена неисправность в работе источника данных, получаемая информация неверна и её нельзя использовать. Questionable считается сомнительным и выставляется, если функция самодиагностики обнаруживает ненормальное поведение источника данных, хотя сама передаваемая информация может оставаться актуальной
detailQual (детализация качества)	Атрибут detailQual даёт дополнительную информацию о причинах в тех случаях, когда данные приходят со статусом не Good
source (источник)	Атрибут Source предоставляет информацию об источнике данных. Значение может исходить от первичного процесса или вычисляться на основе данных первичного процесса (Process) или быть установленным пользователем (Substituted)
test (тестовый режим)	Сигнализирует о том, что устройство находится в режиме тестирования и данные, формируемые им, не должны быть использованы
operatorBlocked (ручное управление)	Данный атрибут информирует о том, что обновление данных блокировано оператором и данные должны сохранять то значение, которое имело место до момента блокировки. При активизации данного атрибута также производится активизация идентификатора oldData атрибута detailQual

построено по модульному принципу на основе межпроцессного взаимодействия (процесс — это механизм операционной системы, который выполняет некоторую последовательность шагов, а точнее, программный код приложения).

Процесс xWriter (Писатель) принимает мгновенные значения тока и напряжения по трём фазам и нейтрали в соответствии с протоколом IEC 61850-9-2 LE по двум сетевым интерфейсам (для повышения надёжности передачи данных по шине процесса необходимо резервирование) и записывает их с отметкой времени в разделяемую память (Shared memory). Главный процесс MeterQuality считывает данные из разделяемой памяти и производит расчёты и архивацию показателей качества электроэнергии на основных интервалах времени. Рассчитываемые параметры ПКЭ условно разделены на три группы: гармоники и интергармоники, фликер и базовые показатели качества электроэнергии.

Неотъемлемым и наиболее важным является детализация данных, а именно, их статус или качество. В протоколе IEC 61850 качество данных описывается в третьем разделе седьмой части стандарта, где выделено в отдельный тип данных Quality. Quality является общим типом данных для всей системы, имеет единый формат, и может формироваться на любом её уровне, как на первичном, так и на вторичном оборудовании, а также в центрах сбора данных или задаваться оператором системы [4, 6]. Рассмотрим табл. 1, в которой описана структура типа данных Quality.

В табл. 2 приведены идентификаторы, характерные для значений атрибута Validity Invalid и Questionable, в табл. 3 — их описание.

Таблица 2

Зависимость атрибута Validity от идентификаторов DetailQual

Идентификатор DetailQual	Invalid (недостоверный)	Questionable (сомнительный)
overflow (переполнение)	X	
outOfRange (за пределами диапазона)	X	X
badReference (требуется калибровка)	X	X
oscillatory (колебательный)	X	X
failure (повреждение)	X	
oldData (старые данные)		X
inconsistent (несогласованный)		X
inaccurate (неточный)		X

Таблица 3

Описание идентификаторов DetailQual

Название идентификатора DetailQual	Значение
overflow (переполнение)	Значение измеренной величины не может быть правильно представлено (например, простая ошибка переполнения типа)
outOfRange (за пределами диапазона)	Значение измеренной величины выходит за пределы заданного допустимого диапазона значений
badReference (требуется калибровка)	Устройство потеряло калибровку
oscillatory (колебательный)	Сигнализирует о том, что за заданное время сигнал дважды изменил свое значение на одно и то же, фиксируется дребезг и должен быть активирован идентификатор oscillatory
failure (повреждение)	Обнаружена внутренняя или внешняя неисправность
oldData (старые данные)	Данные не обновлялись в течение определённого времени
inconsistent (несогласованный)	Обнаружено несоответствие данных действительности
inaccurate (неточный)	Значение данных не соответствует требуемым точностным характеристикам

Из табл. 2 видно, что некоторые идентификаторы характерны только для Invalid (overflow и failure), а другие — только для Questionable (oldData, inconsistent, inaccurate), данные флаги однозначно определяют значение атрибута Validity. Когда флаги общие, например, outOfRange, oscillatory, сервер (источник данных) должен принять решение о том, будет ли приводить активация этого идентификатора к присваиванию атрибуту Validity значения Questionable или Invalid.

Например, среднеквадратичное значение напряжения рассчитывается по формуле (1) на основном интервале времени (10/12 периодов) с использованием 2560/3072 мгновенных выборок, которые сопровождаются статусом согласно IEC 61850,

$$U = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^{N-1} (U_i)^2}{N}} . \qquad (1)$$

Рассчитанному значению также необходимо выставить статус согласно стандарту IEC 61850. Сначала проверяем и в случае необходимости проводим нормализацию статуса входных значений (2560/3072 выборок), — приводим их в соответствие с IEC 61850-7-3. Затем оцениваем процент появления каждого атрибута и его значение и в зависимости от этого выставляем конечный статус. Разработан ряд правил, позволяющих разрешать такие неочевидные ситуации, когда атрибут Validity на рассчитываемом интервале принимает различные значения. Так, для основного интервала в 10 периодов (2560 значений) 1000 мгновенных выборок пришли с достоверным статусом, 1000 — с недостоверным и 560 — с сомнительным. Либо все значения пришли с недостоверным статусом, но флаги Detail quality различны. Также возможны пропуски данных (пакетов) во время передачи по сети (вследствие перегруженности каналов связи), в итоге имеем только 2000 выборок из 2560 — остальные не пришли. Для различных групп параметров алгоритм расчёта и выставления статусов различен. Так, вычисление гармоник может проводиться только по достоверным значениям на всём периоде, в то время как среднеквадратичное значение напряжения можем оценить, исходя из неполных данных при пропусках или когда часть данных недостоверна, например просто её отбросив.

Передача информации из SysteLLogic ПКЭ.13 осуществляется в несколько подсистем — интерфейс прибора (рис. 4, 5), сервер телемеханики по внутрифирменному протоколу SystelNet и на сервер подстанции с помощью MMS-сообщений. Каждую подсистему обслуживает отдельный процесс, что позволяет отделить логику работы устройства от формата передачи данных. В данном случае межпроцессное взаимодействие осуществляется через очереди сообщений (message queries).

Процесс "Сервер МЭК 61850" позволяет спроецировать устройство SysteLLogic ПКЭ.13 в информационную модель стандарта IEC 61850,

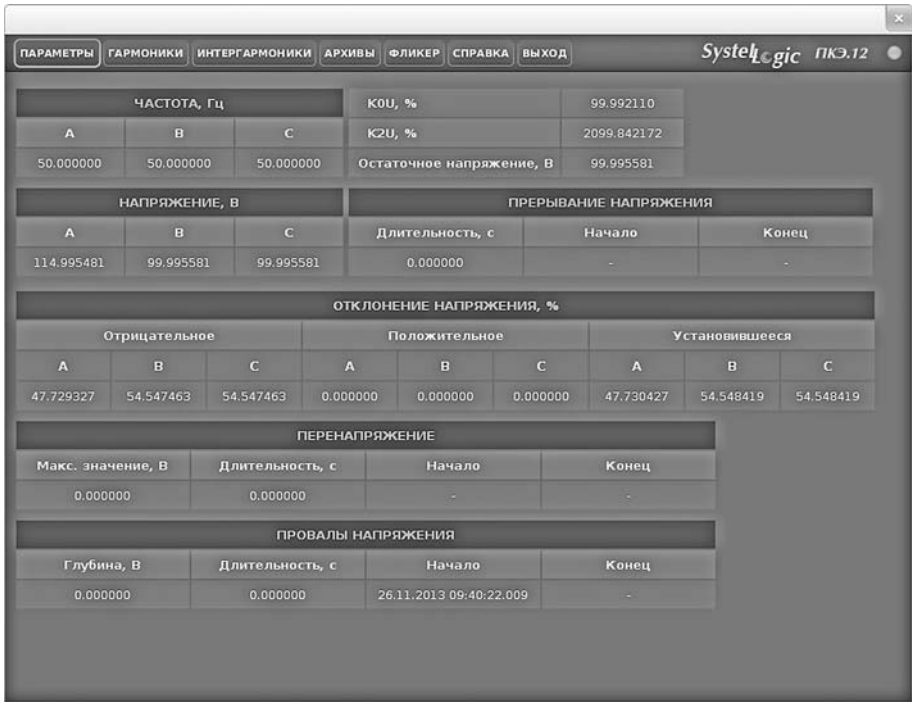


Рис. 4. Режим представления данных "Параметры"

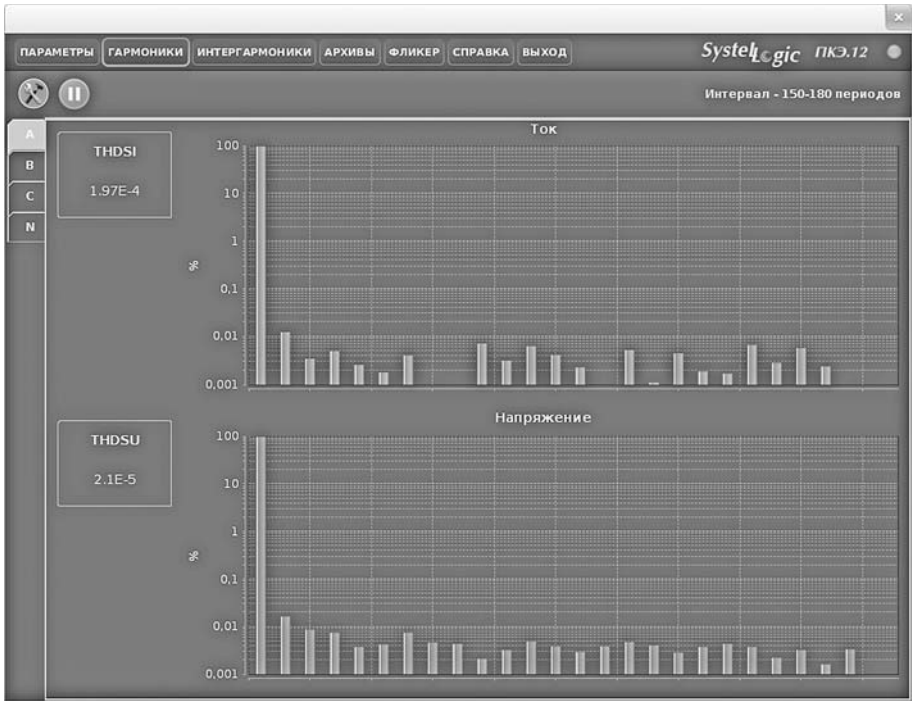


Рис. 5. Режим представления данных "Гармоники"

где каждое физическое устройство должно содержать в себе логический сервер, в рамках которого заложена иерархическая модель, включающая в себя одно или несколько логических устройств, в которых содержатся логические узлы. Каждый логический узел в свою очередь включает в себя элементы и атрибуты данных. Логические узлы — это стандартизованное описание коммуникационного интерфейса различных функций устройств [2].

SysteLLogic ПКЭ.13 состоит из двух логических узлов MHAI и MFLK согласно IEC 61850. Логический узел MHAI используется для передачи гармоник и интергармоник в трёхфазной системе, MFLK — для кратковременной и долговременной дозы фликера [5].

Конфигурация устройства и представление результатов осуществляется с помощью человеко-машинного интерфейса (см. рис. 4, 5). Возможны несколько режимов предоставления данных:

базовые показатели качества электроэнергии;

гармоники;

интергармоники;

фликер;

профили (основные показатели качества электроэнергии на заданном интервале).

Программное обеспечение MeterQuality устанавливается на современную специализированную вычислительную аппаратную платформу на базе микропроцессорного устройства, работающего под управлением операционной системы Linux (Fedora 15 и выше), на рис. 6 представлено устройство SysteLLogic ПКЭ.13.

Архитектура программного обеспечения MeterQuality является модульной и универсальной. Вынесение функции чтения из локальной сети потока IEC 61850-9-2 LE в отдельный процесс xWriter и запись данных в разделяемую память позволяют на одном микропроцессорном устройстве запускать несколько логических устройств (Logical Devices, например, счётчик и анализатор ПКЭ), не нагружая процессор чтением потока для каждого.

Рис. 6. Общий вид устройства SysteLLogic ПКЭ.13

На базе данной архитектуры ПО также разработано устройство SysteLLogic УИП.13, предназначенное для учёта электроэнергии и мощности, измерения параметров электрической сети: напряжения, тока, частоты, коэффициента мощности и т.д.

Устройства SysteLLogic ПКЭ.13 и SysteLLogic УИП.13 применяются в качестве интеллектуального электронного устройства (ИЭУ) в системах автоматизации подстанций на базе стандарта IEC 61850.

Устройства SysteLLogic ПКЭ.12 и SysteLLogic УИП.12 были установлены на действующей подстанции 110/10 кВ "Сосновая" в г. Снежинске Челябинской области в рамках реализации пилотного проекта "Цифровая подстанция", выполненого совместными усилиями специалистов ООО "СИСТЕЛ" и ФГУП "РФЯЦ-ВНИИТФ им. академика Е.И. Забабахина" в 2011—2013 гг. В рамках этого проекта разработан Цифровой информационно-измерительный комплекс (ЦИИК) в соответствии с требованиями стандарта IEC 61850, включающий интеллектуальные электронные устройства (ИЭУ) уровня присоединения.

Опытная эксплуатация SysteLLogic ПКЭ.12 и SysteLLogic УИП.12 позволила провести долговременные испытания не только самих устройств, но и всего цифрового комплекса в целом для выявления стабильности работы и метрологических характеристик.

Заключение. Необходимость модернизации электроэнергетики России, особенно устаревшего оборудования, ни у кого не вызывает сомнений. Будущее — за новыми технологиями и отечественными компаниями, выпускающими программные и технические продукты для автоматизации подстанций на базе использования электронных оптических трансформаторов тока и напряжения и стандарта IEC 61850, что позволит получить ряд технических и экономических преимуществ по сравнению с традиционными подходами [7].

Библиографические ссылки

1. **Горелик Т.Г., Кириенко О.В.** Автоматизация энергообъектов с использованием технологии "цифровая подстанция". Первый Российский прототип // Релейная защита и автоматизация. 2012. № 1. С. 86—89.

2. **Аношин А.О., Головин А.В.** Цифровые подстанции. Проблемы внедрения устройств РЗА // Новости электротехники. 2012. № 2. http://www.news.elteh.ru/arh/2012/74/05.php.

3. **IEC 61850-9-2 LE** Implementation Guideline for Digital Interface to Instrument transformers Using IEC 61850-9-2, UCA International Users Group.

4. **IEC 61850-7-3** Communication networks and systems in substations: Basic communication structure for substation and feeder equipment — Common data classe.

5. **IEC 61850-7-4** Communication networks and systems for power utility automation. — Part 7—4: Basic communication structure — Compatible logical node classes and data object classes.

6. **Стешенко Д.М.** Качество информации в контексте стандарта МЭК 61850 // Релейщик. 2012. № 1. С. 26—28.

7. **Рыкованов С.Н., Ухов В.И., Слабоспицкий С.Р., Ковцова И.О.** Пилотный проект "Цифровая подстанция" // Релейщик. 2014. № 1. С. 32—39.

Уважаемые читатели!

Перепечатка материалов из журнала "Автоматизация. Современные технологии" возможна при обязательном письменном согласии редакции журнала. При этом ссылка на журнал обязательна.

УДК 519.246.8

Д.С. Бубырь, **Е.М. Булыжев**, д-р техн. наук, проф., **Ю.А. Грехов**,
В.Н. Клячкин, д-р техн. наук, проф., **Ю.Е. Кувайскова**, канд. техн. наук, доц., **Г.А. Орлов**
(Ульяновский государственный технический университет)
v_kl@mail.ru

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ИСТОЧНИКА ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Для раннего предупреждения возможной аномальной ситуации, при которой показатели качества питьевой воды выходят за допустимые пределы, описано прогнозирование состояния источника водоснабжения. Физико-химические показатели водоисточника контролируются регулярно, результаты измерений образуют систему временных рядов. Предложена технология прогнозирования состояния источника водоснабжения на основе подхода векторной авторегрессии.

Ключевые слова: источник водоснабжения; физико-химические показатели; временной ряд; прогнозирование; векторная авторегрессия.

The state water source state prediction for early warning of possible anomalous situation in which drinking water quality indicators goes out of permissible limits is described. Water sources physico-chemical indicators are monitored on a regular basis, the measurement results form a system of time series. The prediction technology of water supply source state from a vector autoregression approach is proposed.

Key words: water supply; physical and chemical indicators; time series; prediction; vector autoregression.

Качество питьевой воды определяется состоянием источника водоснабжения и надёжностью работы станции очистки. Для раннего предупреждения возможной аномальной ситуации [1—4], при которой показатели качества питьевой воды превышают допустимые пределы, необходимо прогнозирование физико-химических показателей источника водоснабжения, контролирование которых осуществляется ежедневно (температура, цветность, мутность, щёлочность и др.). Измеренные значения показателей образуют систему временных рядов. По результатам мониторинга физико-химических показателей за определённый период необходимо разработать математическую модель процесса и на её основе спрогнозировать значения показателей водоисточника на несколько дней вперёд. Для этого предлагается использовать метод векторной авторегрессии.

Численные расчёты проведены на примере водозабора из реки Невы. На качество воды источника влияют штормы на Ладожском озере, увеличивающие мутность. Сильные дожди, быстрое таяние снега вызывают кратковременное возрастание показателей мутности и окисляемости. Повышенный уровень загрязнения связан также со сточными водами промышленных предприятий, сельскохозяйственных угодий, водного транспорта.

Векторная авторегрессия. Для моделирования и прогнозирования процесса изменения физико-химических факторов водоисточника применяется модель векторной авторегрессии (VAR) — модель динамики нескольких временных рядов, в которой текущие значения контролируемых показателей зависят от прошлых значений этой же группы взаимосвязанных показателей. Модель предложена Кристофером Симсом как альтернатива системам одновременных уравнений, которые предполагают существенные теоретические ограничения: VAR-модели свободны от ограничений структурных моделей [5, 6].

В модели VAR несколько зависимых переменных, и зависят они от собственных лагов и от лагов других переменных. В отличие от модели обычной регрессии, в VAR-модели нет необходимости делить переменные на исследуемые параметры и независимые факторы. Любая переменная модели VAR по умолчанию включается в состав исследуемых величин.

Каждое из уравнений содержит одни и те же регрессоры, взаимных ограничений между уравнениями нет. Таким образом, эффективная оценка (метод максимального правдопо-

добия с полной информацией) упрощается до обычного метода наименьших квадратов.

Фактически модель VAR — это система эконометрических уравнений, каждое из которых представляет собой модель авторегрессии и распределённого лага.

Пусть y^i, $i = 1, ..., k$, i-й временной ряд. Модель для этого ряда имеет вид:

$$y_t^i = a_0^i + \sum_{j=1}^{k} a_{1j}^i y_{t-1}^j + \sum_{j=1}^{k} a_{2j}^i y_{t-2}^j + \ldots \\ \ldots + \sum_{j=1}^{k} a_{pj}^i y_{t-p}^j + \varepsilon_t^i, \quad (1)$$

где t, $(t - 1)$, ..., $(t - p)$ — моменты времени; k — количество временных рядов; p — порядок авторегрессии; a_{mj}^i — оцениваемые коэффициенты модели ($m = 1, 2, ..., p$).

Более удобной и компактной является векторно-матричная запись модели. Для этого вводится вектор временных рядов $y_t = (y_t^1, y_t^2, \ldots, y_t^k)$. Приведённые выше уравнения для каждого временного ряда можно записать в виде одного уравнения в векторной форме:

$$y_t = a_0 + A_1 y_{t-1} + A_2 y_{t-2} + \ldots + A_p y_{t-p} + \varepsilon_t = \\ = a_0 + \sum_{m=1}^{p} A_m y_{t-m} + \varepsilon_t, \quad (2)$$

где A_m — матрицы элементов a_{mj}^i.

Более простую форму имеют модели векторной авторегрессии в операторной форме с использованием лагового оператора (с задержкой) L: $Lx_t = x_{t-1}$:

$$A(L)y_t = a_0 + B(L)x_t + \varepsilon_t; \\ A(L) = I - \sum_{m=1}^{p} A_m L^m; \quad (3) \\ B(L) = \sum_{n=0}^{q} B_n L^n.$$

Если корни характеристического полинома $\det(A(z))$ лежат вне единичного круга (в комплексной плоскости), то такой процесс векторной авторегрессии является стабильным. Для стабильного процесса допустимо следующее представление VAR-моделей:

$$y_t = A^{-1}(L)a_0 + A^{-1}(L)B(L)x_t + A^{-1}(L)\varepsilon_t = \\ = y_t = A^{-1}(1)a_0 + C(L)x_t + A^{-1}(L)\varepsilon_t. \quad (4)$$

Матричный полином $C(L)$ в данном представлении называется передаточной функцией.

Система прогнозирования состояния водоисточника обеспечивает обработку данных по физико-химическим параметрам водоисточника. Программа решает задачи моделирования и прогнозирования параметров, характеризующих состояние водоисточника, а также визуализации полученных результатов и их сохранения в файл электронных таблиц Excel.

Система использует описанную выше методику. При моделировании в автоматическом режиме осуществляется поиск оптимального порядка модели векторной авторегрессии. В качестве критерия оптимальности выступает минимальное усреднённое значение внешнего среднеквадратического отклонения (СКО) используемых характеристик водоисточника:

$$\frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k} \sigma_{\Delta_i} \to \min, \quad (5)$$

где k — количество временных рядов; σ_{Δ_i} — внешнее СКО для i-го ряда.

В свою очередь,

$$\sigma_\Delta = \sqrt{\sum_{i=1}^{n_0} \Delta_i^2 / (n_0 - p)}, \quad (6)$$

где n_0 — объём контрольной выборки; p — число слагаемых в модели; $\Delta_i = y_i - \hat{y}_i$; y_i — результат i-го наблюдения; $\hat{y}_i$ — прогнозируемое значение по построенной модели.

Построенные модели с учётом найденного порядка авторегрессии применяются для дальнейшего прогнозирования.

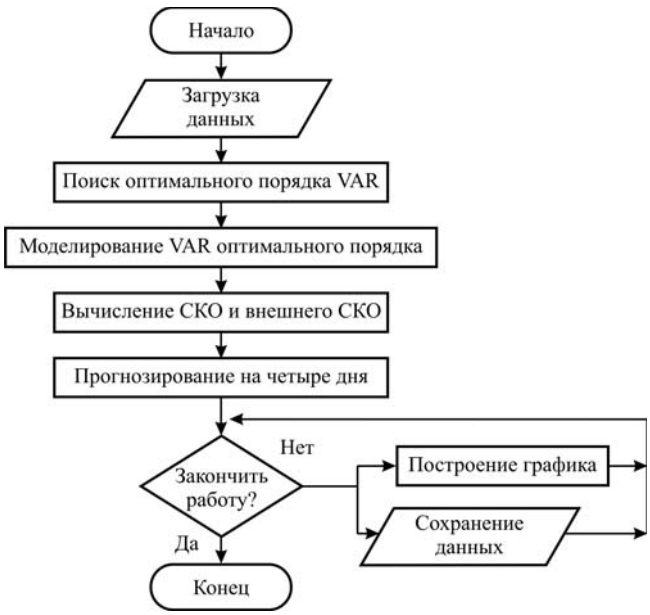


Рис. 1. Алгоритм работы системы

Точность аппроксимации оценивалась по стандартному отклонению (для всей совокупности данных):

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} (y_i - \hat{y}_i)^2 / (n - p)}\,. \qquad (7)$$

На рис. 1 показан алгоритм работы системы прогнозирования.

Моделирование состояния водоисточника. В качестве исходных данных использовались результаты наблюдений шести физико-химических показателей водоисточника "Западный Кронштадт" за 45 дней: X_1 — температуры, X_2 — цветности, X_3 — мутности, X_4 — уровня pH, X_5 — щёлочности, X_6 — окисляемости.

С использованием системы прогнозирования состояния водоисточника были построены модели векторной авторегрессии оптимальных порядков, а также выполнен прогноз на четыре дня вперед. Ниже представлены полученные модели:

$$\begin{gathered} X_1(t) = 12{,}425 + 0{,}484X_1(t-1) + \\ + 0{,}486X_1(t-2) + 0{,}043X_2(t-1) - \\ - 0{,}012X_2(t-2) + 0{,}079X_3(t-1) + \\ + 0{,}122X_3(t-2) - 0{,}404X_4(t-1) - \\ - 0{,}200X_4(t-2) - 6{,}330X_5(t-1) - \\ - 5{,}836X_5(t-2) - 0{,}284X_6(t-1) - \\ - 0{,}104X_6(t-2); \end{gathered}$$

$$\begin{gathered} X_2(t) = 39{,}857 - 0{,}505X_1(t-1) + \\ + 0{,}249X_1(t-2) + 0{,}495X_2(t-1) - \\ - 0{,}048X_2(t-2) - 0{,}016X_3(t-1) - \\ - 0{,}134X_3(t-2) - 3{,}353X_4(t-1) - \\ - 0{,}254X_4(t-2) + 13{,}861X_5(t-1) + \\ + 7{,}217X_5(t-2) + 0{,}064X_6(t-1) - \\ - 0{,}179X_6(t-2); \end{gathered}$$

$$\begin{gathered} X_3(t) = 1{,}935 + 0{,}080X_1(t-1) - \\ - 0{,}246X_1(t-2) - 0{,}137X_2(t-1) + \\ + 0{,}157X_2(t-2) - 0{,}074X_3(t-1) + \\ + 0{,}047X_3(t-2) - 1{,}050X_4(t-1) - \\ - 1{,}530X_4(t-2) + 11{,}303X_5(t-1) + \\ + 15{,}950X_5(t-2) + 1{,}011X_6(t-1) - \\ - 0{,}281X_6(t-2); \end{gathered}$$

$$\begin{gathered} X_4(t) = 7{,}389 - 0{,}002X_1(t-1) - \\ - 0{,}015X_1(t-2) - 0{,}007X_2(t-1) - \\ - 0{,}001X_2(t-2) + 0{,}001X_3(t-1) + \\ + 0{,}001X_3(t-2) - 0{,}022X_4(t-1) - \\ - 0{,}024X_4(t-2) + 0{,}335X_5(t-1) + \\ + 0{,}604X_5(t-2) + 0{,}048X_6(t-1) - \\ - 0{,}005X_6(t-2); \end{gathered}$$

Рис. 2. Зависимости исходных данных и их аппроксимации

$$\begin{gathered} X_5(t) = 0{,}496 + 0{,}000X_1(t-1) - \\ - 0{,}006X_1(t-2) - 0{,}001X_2(t-1) - \\ - 0{,}000X_2(t-2) - 0{,}001X_3(t-1) + \\ + 0{,}003X_3(t-2) + 0{,}017X_4(t-1) + \\ + 0{,}018X_4(t-2) - 0{,}148X_5(t-1) - \\ - 0{,}069X_5(t-2) + 0{,}008X_6(t-1) - \\ - 0{,}004X_6(t-2); \end{gathered}$$

$$\begin{gathered} X_6(t) = 7{,}092 - 0{,}008X_1(t-1) + \\ + 0{,}065X_1(t-2) + 0{,}029X_2(t-1) + \\ + 0{,}022X_2(t-2) - 0{,}030X_3(t-1) - \\ - 0{,}004X_3(t-2) - 0{,}001X_4(t-1) + \\ + 0{,}085X_4(t-2) - 0{,}163X_5(t-1) - \\ - 0{,}566X_5(t-2) - 0{,}003X_6(t-1) - \\ - 0{,}254X_6(t-2). \end{gathered}$$

На рис. 2 показаны зависимости исходных данных и аппроксимации по соответствующей модели.

Сравнение векторной авторегрессии с ARCH-подходом. Для сравнительного анализа эффективности разработанной методики использовался ARCH-подход (авторегрессионной условной гетероскедастичности [7]), реализованный в программном комплексе "Автоматизированная система динамического регрессионного моделирования" [8].

В таблице представлены результаты сравнения точности аппроксимации (внутреннее СКО σ) и прогнозирования (внешнее СКО σ_Δ) для всех временных рядов, полученных по шести физико-химическим параметрам состояния водоисточника.

Результаты численного исследования свидетельствуют об эффективности использования векторной авторегрессии при моделировании и прогнозировании временных рядов состояния

Точность аппроксимации и прогнозирования

Параметр водоисточника	Модель			
	ARCH		VAR	
	σ	σ_Δ	σ	σ_Δ
Температура	0,465	2,720	0,543	0,552
Цветность	1,616	2,384	1,993	2,116
Мутность	2,094	0,253	1,770	0,555
pH	0,065	0,138	0,061	0,325
Щёлочность	0,035	1,284	0,031	0,465
Окисляемость	0,600	0,335	0,653	0,087

водоисточника. Исходя из полученных данных, установлено, что векторная авторегрессия даёт результаты, близкие к результатам ARCH-подхода. Причём в ряде случаев (например, для щёлочности) достигается более высокая точность по обоим критериям, что обусловлено учётом совместной динамики переменных. Стабильность контролируемых параметров водоисточника можно оценить с использованием многомерных контрольных карт [9].

Работа выполнена в рамках задания Минобрнауки России № 2014/232.

Библиографические ссылки

1. **Валеев С.Г., Булыжев Е.М.** Системы раннего предупреждения аномальной ситуации при анализе состояния СОЖ // Справочник. Инженерный журнал. 2011. № 10. С. 39—42.

2. **Клячкин В.Н., Кувайскова Ю.Е., Алешина А.А.** Моделирование вибраций гидроагрегата на основе адаптивных динамических регрессий // Автоматизация и современные технологии. 2014. № 1. С. 30—34.

3. **Клячкин В.Н., Кувайскова Ю.Е., Алёшина А.А., Кравцов Ю.А.** Информационно-математическая система раннего предупреждения об аварийной ситуации // Известия Самарского научного центра РАН. 2013. № 4 (4). С. 919—923.

4. **Кувайскова Ю.Е., Клячкин В.Н., Бубырь Д.С.** Прогнозирование состояния технического объекта на основе мониторинга его параметров / XII Всероссийское совещание по проблемам управления: Труды. М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2014. С. 7616—7626.

5. **Sims C.A.** Macroeconomics and Reality // Econometrica, 1980. 48. P. 1—48.

6. **Stock J.H., M.W. Watson**. Vector Autoregressions // Journal of Economic Perspectives, 2001. V. 15. P. 101—115.

7. **Bollerslev T.** Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity // Journal of Econometrics, 1986. 31. P. 307—327.

8. **Валеев С.Г., Кувайскова Ю.Е.** Программное обеспечение обработки временных рядов техногенных характеристик // Обозрение прикладной и промышленной математики. 2009. Т. 16. Вып. 6. С. 1037—1038.

9. **Клячкин В.Н., Кравцов Ю.А.** Повышение эффективности статистического контроля многопараметрического технологического процесса на основе карты Хотеллинга с предупреждающей границей // Автоматизация и современные технологии, 2013. № 10. С. 35—37.

УДК 658.512

И.С. Шеков, Н.Л. Князев, А.Г. Янишевская, д-р техн. наук, проф.
(Омский государственный технический университет)
anna-yanish@mail.ru

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АНАЛИЗА ПОВЕРХНОСТЕЙ 3D-МОДЕЛИ ДЕТАЛИ

Рассмотрена проблема автоматического создания технологического процесса изготовления детали в машиностроении. Приведён метод декодирования информации о 3d-модели детали из исходного файла. Описано программное решение задачи автоматического анализа геометрических характеристик модели детали. Приведены математические формулы, описывающие геометрические поверхности.

Ключевые слова: система автоматического проектирования; технологический процесс; геометрическая поверхность.

The problem of the technological process automatic creation of the part manufacturing in machine building is considered. An information decoding method about the 3D-model of part from the initial file is adduced. The automatic analysis task software solution of the model part geometrical characteristics is described. Mathematical formulas describing geometrical surfaces are adduced.

Key words: automatic design system; technological process; geometrical surface.

На сегодняшний день широко известны системы автоматического проектирования (САПР) твёрдотельных моделей различных деталей, позволяющие ускорять процесс проектирования изделий. Уровень автоматизации производства возрастает, однако не все этапы производства автоматизированы на должном уровне. При быстром и точном проектировании моделей будущих деталей и изделий возможно анализировать эти модели. Это необходимо для составления карт технологических процессов. При автоматическом составлении карт технологических процессов проанализируем поверхности, которые образуют форму детали. В большинстве систем 3D-моделирования применяются общие математические и геометрические принципы описания и параметризации поверхностей.

Предположим, что поверхности 3D-модели детали в будущем воплотятся в металле (в случае металлообработки) при механическом воздействии, с выполнением различных операций обрабатывающим инструментом. Для получения данных поверхностей существует различный инструмент и станки многочисленных групп. Выполняя задачу по подбору инструмента и станков, необходимо знать характеристики получаемых поверхностей: тип и направление поверхности, векторы, координаты точек.

Рассмотрим основные типы поверхностей, методы их проектирования, математического и программного описания. Все поверхности отличаются друг от друга по основным параметрам. В системах проектирования из-за особенностей принято разделять поверхности на несколько видов по способам их проектирования: аналитические; на базе точек; на базе линий; на базе поверхностей; фаски; скругления; поверхности ограниченные контуром.

В свою очередь аналитические поверхности подразделяются на: плоскость, сферу, эллипсоид, однополостный гиперболоид, двуполостный гиперболоид, эллиптический параболоид, гиперболический параболоид, цилиндрическую поверхность, коническую поверхность, тороидальную поверхность.

Во многих случаях фаски и скругления являются коническими и тороидальными поверхностями, но в САПР их принято разделять из-за различий в самом процессе проектирования. В текстовых файлах моделей эти элементы закодированы как конические и тороидальные поверхности.

В поверхности на базе точек входят: четырёхугольная поверхность, поверхность Безье,

Рис. 1. Взаимосвязь способов построения поверхностей

NURBS поверхность, треугольная поверхность, треугольная поверхность Безье.

Поверхности на базе линий включают: поверхности выдавливания, вращения, сдвига, заметания, линейчатую, Кунса, Эрмита, Лагранжа, Гордона.

Поверхности на базе поверхностей включают: эквидистантную, продолженную, ссылочную.

При проектировании поверхностей определённые взаимосвязи представлены на рис. 1.

Все поверхности равноправны по отношению к своим функциям и выполняемым над ними операциям. Кроме общих функций произвольного геометрического объекта поверхности выполняют функции вычисления радиус-вектора поверхности, частных производных радиус-вектора по параметрам, нормали поверхности и её частных производных, коэффициентов первой и второй квадратичных форм поверхности, функции предоставления информации об области определения параметров поверхности (замкнутость, граничные контуры), функции определения принадлежности заданных параметров области определения поверхности, функции изменения положения и ориентации в пространстве, функции модификации формы поверхности [1]. Математическая модель поверхности должна содержать функции, благодаря которым определяется взаимодействие конкретной поверхности с другими объектами геометрии.

Рассмотрим группу аналитических поверхностей, а именно те, которые являются поверхностями второго порядка. Это самые распространённые поверхности в моделях деталей, и именно их необходимо рассматривать в первую очередь.

Общее уравнение поверхности второго порядка в декартовой системе координат записывается в виде:

$$F(x, y, z) \equiv a_{11}x^2 + 2a_{12}xy + a_{22}y^2 + 2a_{13}xz + 2a_{23}yz + a_{33}z^2 + 2a_1x + 2a_2y + 3a_3z + a_0 = 0. \quad (1)$$

Инварианты поверхности второго порядка относительно параллельного переноса и поворота осей имеют вид:

$$\Delta = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_1 \\ a_{12} & a_{22} & a_{23} & a_2 \\ a_{13} & a_{23} & a_{33} & a_3 \\ a_1 & a_2 & a_3 & a_0 \end{vmatrix}; \quad \delta = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{12} & a_{22} & a_{23} \\ a_{13} & a_{23} & a_{33} \end{vmatrix};$$

$$S = a_{11} + a_{22} + a_{33};$$

$$J = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{12} & a_{22} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} a_{22} & a_{23} \\ a_{23} & a_{33} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} a_{33} & a_{13} \\ a_{13} & a_{11} \end{vmatrix}.$$

Характеристическая квадратичная форма уравнения (1) имеет вид:

$$n(x, y, z) \equiv a_{11}x_2 + 2a_{12}xy + a_{22}y2 + + 2a_{13}xz + 2a_{23}yz + a_{33}z_2. \qquad (2)$$

Характеристическое уравнение квадратичной формы (2) имеет вид:

$$\begin{vmatrix} a_{11} - \lambda & a_{12} & a_{13} \\ a_{12} & a_{22} - \lambda & a_{23} \\ a_{13} & a_{23} & a_{33} - \lambda \end{vmatrix} = 0.$$

Связь между корнями λ_1, λ_2, λ_3 характеристического уравнения квадратичной формы и инвариантами [2]: $S = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3$; $J = \lambda_1\lambda_2 + \lambda_1\lambda_3 + \lambda_2\lambda_3$; $\delta = \lambda_1\lambda_2\lambda_3$; Δ — инварианта.

В таблице приведена классификация поверхностей второго порядка в зависимости от значений инварианты.

Здесь x, y, z — координаты точек поверхностей в декартовой системе координат; a, b, c — полуоси поверхностей.

Приведённые формулы позволяют анализировать поверхности3D-модели детали, так как именно по данным выражениям и моделируются в большинстве современных САПР.

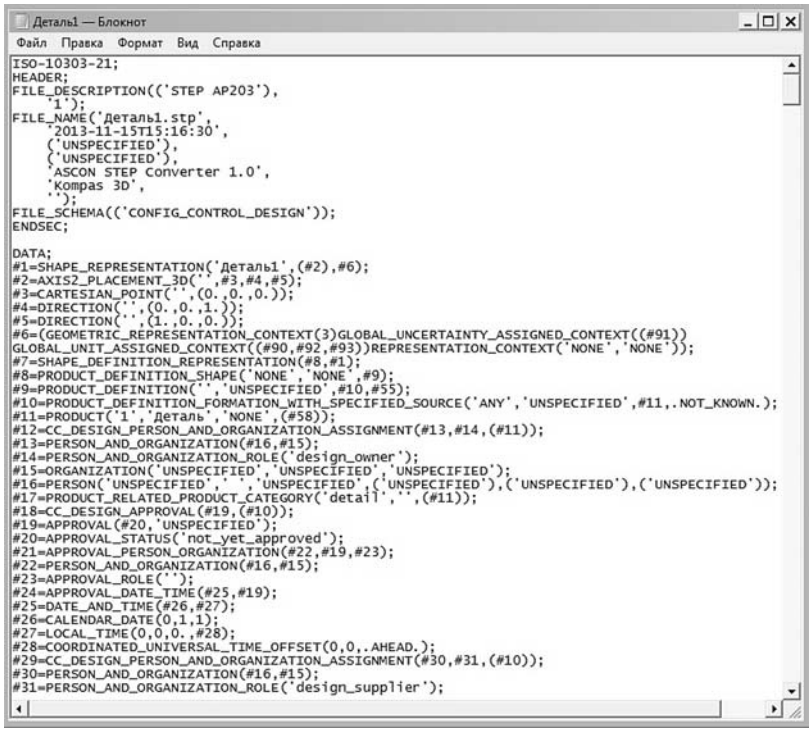
Но существует проблема, связанная с доступом к информации файла 3D-модели детали. Файл имеет скрытый программный код, в котором и содержится необходимая информация. Увидеть модель можно в графическом окне соответствующей программы, но получить напрямую доступ к свойствам поверхностей для их автоматического анализа невозможно.

Возникает задача по извлечению данных о модели детали. Для оптимального решения задачи предлагается сохранение файла с моделью не в формате программы, а в формате файла с расширением .stp. STEP-файл — это наиболее используемая форма обмена данными. Механизм кодировки определяется по международному стандарту ISO 10303-21 [3]. Благодаря своей структуре в виде ANCII-кодировки текстового документа файл должен легко читаться, его можно открыть в приложении операционной системы Windows — "Блокнот". В открывшемся файле приведён программный код файла модели детали. Пример отображения кода файла таким методом показан на рис. 2.

Данный файл позволяет работать с оптимальным быстродействием. В программном коде можно определить команды, характеризующие образование различных поверхностей.

Классификация поверхностей второго порядка в зависимости от инварианты

I. $\delta \neq 0$:		
Условия $S \times \delta > 0$, $J > 0$		
	Выполнены	Нарушены
$\Delta < 0$	Эллипсоид: $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1$	Двуполостной гиперболоид: $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2} = -1$
$\Delta > 0$	Мнимый эллипсоид: $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = -1$	Однополостной гиперболоид: $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2} = 1$
$\Delta = 0$	Мнимый конус с действительной вершиной: $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 0$	Конус: $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2} = 0$
II. $\delta = 0$:		
$\Delta < 0$	Эллиптический параболоид: $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = \pm z$	
$\Delta > 0$	Гиперболический параболоид: $\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = \pm z$	
$\Delta = 0$	Цилиндр: эллиптический: $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$ при $J > 0$; гиперболический: $\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1$ при $J < 0$; параболический: $y^2 = 2px$ при $J = 0$	
	Пары плоскостей: пересекающиеся: $\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 0$; мнимые пересекающиеся: $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 0$; параллельные: $y^2 - b^2 = 0$; мнимые параллельные: $y^2 + b^2 = 0$; совпадающие: $y^2 = 0$	



```
ISO-10303-21;
HEADER;
FILE_DESCRIPTION(('STEP AP203'),
    '1');
FILE_NAME('Деталь1.stp',
    '2013-11-15T15:16:30',
    ('UNSPECIFIED'),
    ('UNSPECIFIED'),
    'ASCON STEP Converter 1.0',
    'Kompas 3D',
    '');
FILE_SCHEMA(('CONFIG_CONTROL_DESIGN'));
ENDSEC;

DATA;
#1=SHAPE_REPRESENTATION('Деталь1',(#2),#6);
#2=AXIS2_PLACEMENT_3D('',#3,#4,#5);
#3=CARTESIAN_POINT('',(0.,0.,0.));
#4=DIRECTION('',(0.,0.,1.));
#5=DIRECTION('',(1.,0.,0.));
#6=(GEOMETRIC_REPRESENTATION_CONTEXT(3)GLOBAL_UNCERTAINTY_ASSIGNED_CONTEXT((#91))
GLOBAL_UNIT_ASSIGNED_CONTEXT((#90,#92,#93))REPRESENTATION_CONTEXT('NONE','NONE'));
#7=SHAPE_DEFINITION_REPRESENTATION(#8,#1);
#8=PRODUCT_DEFINITION_SHAPE('NONE','NONE',#9);
#9=PRODUCT_DEFINITION('','UNSPECIFIED',#10,#55);
#10=PRODUCT_DEFINITION_FORMATION_WITH_SPECIFIED_SOURCE('ANY','UNSPECIFIED',#11,.NOT_KNOWN.);
#11=PRODUCT('1','Деталь','NONE',(#58));
#12=CC_DESIGN_PERSON_AND_ORGANIZATION_ASSIGNMENT(#13,#14,(#11));
#13=PERSON_AND_ORGANIZATION(#16,#15);
#14=PERSON_AND_ORGANIZATION_ROLE('design_owner');
#15=ORGANIZATION('UNSPECIFIED','UNSPECIFIED','UNSPECIFIED');
#16=PERSON('UNSPECIFIED',' ','UNSPECIFIED',('UNSPECIFIED'),('UNSPECIFIED'),('UNSPECIFIED'));
#17=PRODUCT_RELATED_PRODUCT_CATEGORY('detail','',(#11));
#18=CC_DESIGN_APPROVAL(#19,(#10));
#19=APPROVAL(#20,'UNSPECIFIED');
#20=APPROVAL_STATUS('not_yet_approved');
#21=APPROVAL_PERSON_ORGANIZATION(#22,#19,#23);
#22=PERSON_AND_ORGANIZATION(#16,#15);
#23=APPROVAL_ROLE('');
#24=APPROVAL_DATE_TIME(#25,#19);
#25=DATE_AND_TIME(#26,#27);
#26=CALENDAR_DATE(0,1,1);
#27=LOCAL_TIME(0,0,0.,#28);
#28=COORDINATED_UNIVERSAL_TIME_OFFSET(0,0,.AHEAD.);
#29=CC_DESIGN_PERSON_AND_ORGANIZATION_ASSIGNMENT(#30,#31,(#10));
#30=PERSON_AND_ORGANIZATION(#16,#15);
#31=PERSON_AND_ORGANIZATION_ROLE('design_supplier');
```

Рис. 2. Пример программного кода файла детали в формате .stp

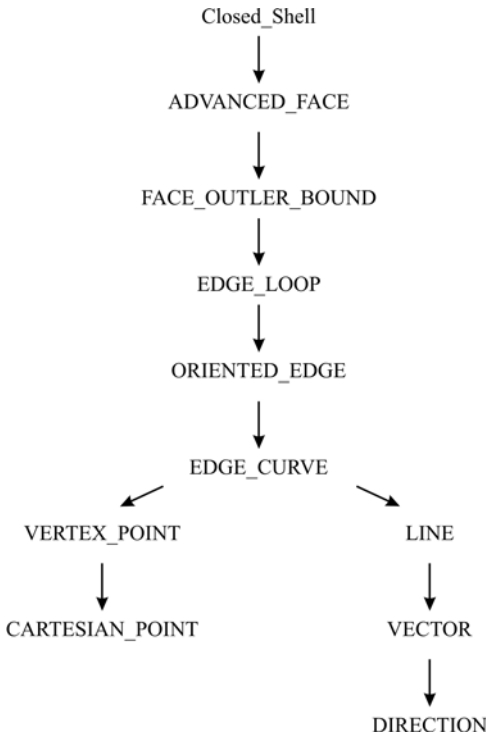


Рис. 3. Структура файла .stp

Файл будет заполнен в виде иерархической конструкции модели от внешних и управляющих поверхностей до декартовых точек и векторов с направлениями. Например, построим трёхмерную модель куба, после чего сохраним его в формате .stp. Иерархическая структура файла приведена на рис. 3.

Из приведённой иерархии видно, что более крупные объекты (фигуры и плоскости) подразделяются на углы, линии, векторы, точки и пр. Именно с этими объектами и необходимо работать, чтобы определить геометрические свойства элементов детали.

Создана программа для прочтения и анализа файла .stp. Разработанная программа осуществляет поиск типов поверхностей детали в программном коде файла детали, находит необходимые поверхности и классифицирует их, составляет список с характеристиками. Для примера приведён анализ 3D-модели цилиндрической детали, созданной в программе "КОМПАС-3DV12" (рис. 4).

Приведён участок STP-файла данной детали, в котором просматриваются участки вида:

#144=*CYLINDRICAL_SURFACE*('',#145,16.);
#145=*AXIS2_PLACEMENT_3D*('',#146,#147,#148);
#146=*CARTESIAN_POINT*('',(-4.4,0.,0.));
#147=*DIRECTION*('',(1.,-0.,-0.));
#148=*DIRECTION*('',(0.,0.,-1.));

Из строки #144 берётся радиус цилиндрической поверхности, а из строки #145 выясняется, по каким координатам и направлению плоскостей построена эта поверхность. В итоге программа выдает следующие логи: цилиндрическая поверхность радиус = 16, $X = -4{,}4$, $Y = 0$, $Z = 0$, XZ {+ −}.

Алгоритм работы программы представлен на рис. 5.

Из рис. 5 видно, что сначала в программу загружается необходимый STP-файл. Программа читает файл и доходит до тех участков описания в текстовом файле, где прописаны различные поверхности. Изначально в программе анализ осуществляется по трём основным поверхностям: цилиндрическая, коническая и то-

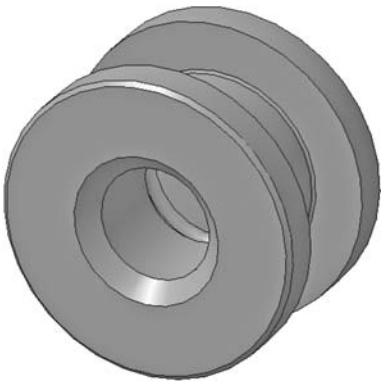


Рис. 4. 3D-модель цилиндрической детали

роидальная. По каждому виду поверхности программа находит индекс входа в функцию программы по заданию поверхности. Затем считываются геометрические характеристики поверхности, находится сектор пространства и направление, а затем задаётся направление построения поверхности. В итоге выводятся данные на экран. Пример вывода данных представлен на рис. 6.

Однако данные, получаемые из файла .stp, являются неполными. Анализируется всего три типа поверхности, которые прослеживаются в данных файла .stp: цилиндрические, тороидальные, конические. Это начальные данные для последующего более детального анализа. В процессе доработки программы математическое ядро программного модуля основывается на математических выражениях, описывающих поверхности (см. таблицу). Работа модуля будет заключаться в следующем: получение данных о поверхностях детали из файла .stp; выделение явных поверхностей (цилиндрические, тороидальные, конические) и их характеристик; выделение данных, указывающих на другие поверхности: координаты точек, векторы, типы кривых линий; выявление области пространства в декартовой системе координат, в которой может находиться поверхность; проверка по инварианте; проверка по математическим формулам с выбором полуосей и координат; получение информации о типе поверхности; выявление области пространства, в которой замкнута поверхность, по средству отслеживания ограничивающего контура, анализа свойств поверхности, дифференциальных вычислений; обобщение информации анализа поверхностей и предоставление отчёта для последующей работы.

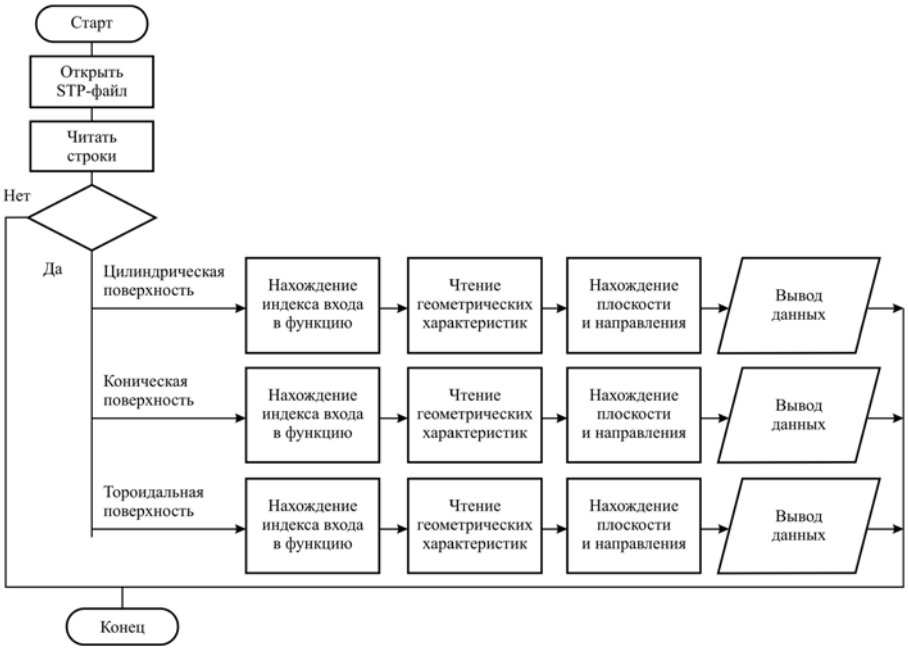


Рис. 5. Алгоритм работы программы анализа 3D-модели детали

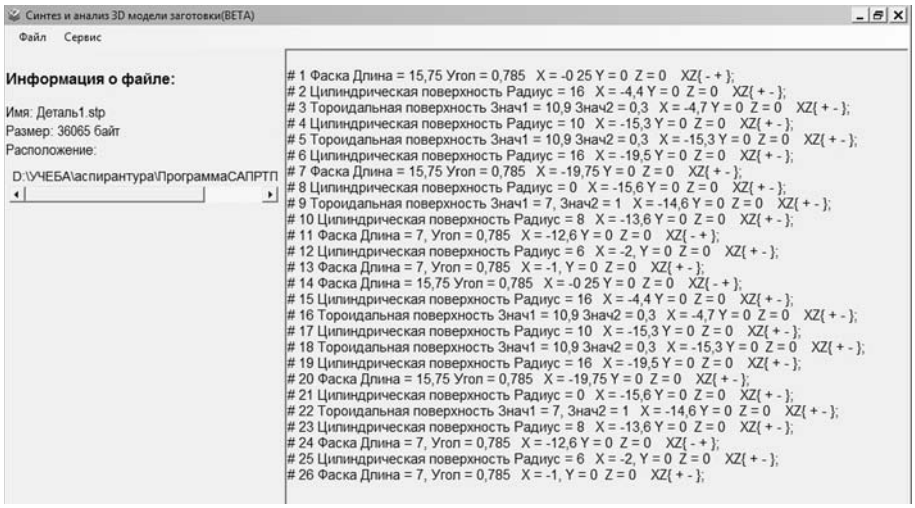


Рис. 6. Результат анализа 3D-модели детали

При реализации всех пунктов будет осуществляться полноценное исследование 3d-модели детали. Для повышения быстродействия модуля анализа моделей необходима реализация приведённого функционала модуля с применением наиболее оптимальных алгоритмических операций. Это необходимо.

Библиографические ссылки

1. **Голованов Н.Н.** Геометрическое моделирование. М.: Изд-во Физико-математическая литература, 2002. 472 с.

2. **Цыпкин А.Г., Цыпкин Г.Г.** Математические формулы. Алгебра. Геометрия. Математический анализ: Справочник. М.: Наука, 1985. 128 с.

3. **ГОСТ** Р ИСО 10303-21—2002. Системы автоматизации производства и их интеграция. Представление данных об изделии и обмен этими данными. Часть 21. Методы реализации. Кодирование открытым текстом структуры обмена.

УДК 621.058.013.8

А.Ф. Ширялкин, канд. техн. наук, доц., **Н.И. Шанченко,** канд. физ.-мат. наук, доц. **А.Н. Угасин**
(Ульяновский государственный технический университет)
n.shanchenko@gmail.com

АНАЛИЗ КЛАССИФИКАЦИИ ДЕТАЛЕЙ НА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОМ ПРЕДПРИЯТИИ

Изложены технология и результаты систематизации производственной среды машиностроительного предприятия на основе использования классификационной системы деталей машин естественного типа. Применяемая технология информационной поддержки технической подготовки производства реализована в рамках генетического подхода.

Ключевые слова: систематизация; производственная среда предприятия; технологическая подготовка производства; классификация деталей; кодирование информации о деталях; генетический подход.

Technology and systematization results of the machine-building enterprise working environment through the use of the classification system for machine parts such as natural are stated. The applied information support technology of the production technical preparation is realized in the framework of a genetic approach.

Key words: ordering; manufacturing enterprise environment; technological preparation of production; details classification; encoding information about the details; the genetic approach.

Для успешной деятельности машиностроительного предприятия необходимо эффективное функционирование его производственной среды и прежде всего технологической подготовки производства (ТПП). Согласно генетическому подходу эффективность ТПП зависит от степени её систематизации и автоматизации, что во многом определяется качеством применяемой классификации деталей машин. Разработка качественной классификации информации о деталях на конкретном предприятии является достаточно длительным итерационным процессом постепенного достижения адекватности информационного обеспечения технологической подготовки производства структуры производственной среды предприятия. Работы по формированию классификационной структуры проводятся непосредственно на самом предприятии в тесной увязке с конкретным набором элементов технологического процесса и начинаются с анализа объектов и структуры основного производства.

Классификационная система, определяющая информационное качество объектов производства, формируется и развивается в некоторой производственной среде, под которой понимается производственное пространство предприятия (внутреннее и внешнее), представляющее собой совокупность элементов сложной человеко-машинной системы, в которой взаимодействие материальной и информационной сфер создаёт изделие [1, 2].

Заметим, что общие законы функционирования больших производственных технических сред наиболее адекватно представлены в сфере технетики. Это понятие разработано и определено Б.И. Кудриным [3]. Технетика представляет собой "науку об общих законах развития технической реальности (техники, технологии, материала, продукции, отходов) и принципах создания изделий и их сообществ". Категории технетики специфично развиваются в конкретных машиностроительных производственных средах на всех этапах жизненного цикла продукции (ЖЦП), проходя различные стадии информационного отбора. Закон информационного отбора является одним из основных законов технетики.

Полный комплект конструкторских, технологических и организационно-экономических документов на изделие, прошедших информационный и документальный отбор, который упорядочивает и закрепляет полный комплекс качественных и количественных признаков производственной среды, становится его генотипом — системой взаимосвязанных единиц документированной информации об изделии, отвечающих за его изготовление.

Комплект документации на изготовление конкретной единичной детали следует рас-

сматривать как техноген изделия — единицу его наследственного материала, ответственного за формирование какого-либо элементарного признака фенотипа (изделия), например, признака материала, геометрической формы и др. Заметим, что этому признаку, в свою очередь, ставится в соответствие определённый признак внутренней технологической среды (оборудования, приспособления, инструмента). Целостность системы техногенов зависит от качества взаимосвязи техногенов деталей между собой. Такие взаимосвязи и осуществляются в техногеноме предприятия, которым в его производственном пространстве является правильно построенная классификационная система (КС) информации о деталях. Последняя на генетическом уровне, отвечая за процесс рождения (изготовления) изделия, во многом определяет как его качество, так и качество генезиса производственной среды. Что, в свою очередь, повышает эффективность управления всей производственной системой предприятия.

Отметим, что качество классификации зависит от степени приближения к естественному типу, т. е. насколько её признаки существенны на каждом системно-информационном уровне [5] и структура этих признаков адекватна рассматриваемой производственной системе.

Существует ряд критериев естественности классификаций [6], из которых выведен обобщённый критерий естественности в области технического производства. Естественной классификацией называется та классификация, которая отвечает многим критериям реальности: объективности, надёжности (стабильности), прогностической силе и др., где количество свойств рассматриваемого объекта производства, поставленных в функциональную связь с его положением в системе, является максимальным, позволяя при этом достигнуть многих целей сразу.

Следует заметить, что упомянутые свойства объектов (деталей машин) равно как и их связи с элементами производственной среды находятся на разных уровнях производственной системы. Соответственно и задачи автоматизации ТПП решаются на разных уровнях информационного обеспечения.

Набор решаемых задач ТПП и сроки их выполнения зависят от специфики и возможностей предприятия. Рассмотрим 2 уровня представления: 1-й уровень, включающий конструктивно-геометрическую информацию об общей форме деталей, и 2-й уровень, определяющий геометрию и размерную характеристику их элементов и отдельных поверхностей.

Данные 1-го уровня предназначены для поддержки автоматизированного решения следующих задач технической подготовки производства (ТеПП):

конструкторского поиска деталей — аналогов при проектировании новых изделий;

технологической проработки деталей и их унификации;

поиска ТП — аналогов для их последующей корректировки при проектировании новых технологических процессов;

группирования деталей по конструктивно-технологическим признакам;

проведения расцеховки деталей по подразделениям предприятия;

выбора и расчёта количества оборудования, в том числе станков с ЧПУ;

подбора деталей для их обработки на станках с ЧПУ;

выбора и расчёта количества заготовок;

формирования укрупнённого маршрута обработки групп деталей;

укрупнённого расчёта трудоёмкости обработки деталей.

Информация 2-го уровня, описывающая детали более подробно и позволяющая решать более широкий круг задач ТеПП, в данной работе не рассматривается.

В качестве примера применения излагаемого подхода опишем работы по систематизации ТПП, выполненные Ульяновским государственным техническим университетом (УлГТУ) для Средневолжской промышленной компании (ЗАО СВПК, г. Ульяновск).

В результате анализа производства и предварительной классификации установлено, что на предприятии изготовляется 18 изделий, представляющих собой относительно несложные подъёмно-транспортные механизмы (ПТМ) — лебёдки, тали, тяговые механизмы и т. д., состоящие из 433 оригинальных деталей [1, 2]. Предприятие в основном имеет серийное производство с годовым выпуском изделий порядка 1000—3000 шт. Станочное оборудование, главным образом, — универсальное. На ЗАО СВПК выполнен комплекс работ, приведённый в табл. 1.

Разработка предварительной КС деталей машин 1-го уровня осуществлялась на основе исходной структуры классификации деталей машин (периодической системы высших таксонов) [1, 2]. Выделено 6 подклассов, 3 из которых (наиболее многономенклатурные)

Таблица 1

План-график проведения работ по систематизации ТПП на ЗАО СВПК

N п/п	Содержание работ	Исполнители	Примерный срок, мес.
1	Анализ номенклатуры деталей и условий производства	УлГТУ	0,5—1,0
2	Разработка предварительной КС деталей машин 1-го уровня	УлГТУ, ЗАО СВПК	2—2,5
3	Формирование и обучение группы технологов-систематиков	УлГТУ, ЗАО СВПК	1,5—2
4	Разработка ведомости информации о детали (ВИД) и инструкции по её заполнению	УлГТУ, ЗАО СВПК	1,5—2
5	Группирование деталей по конструктивно-технологическим признакам 1-го уровня	УлГТУ, ЗАО СВПК	0,5—1
6	Проведение технологической проработки, разработка предложений по конструкторской унификации деталей	УлГТУ, ЗАО СВПК	0,5—1
7	Уточнение и корректировка информации о детали после проведения унификации	УлГТУ, ЗАО СВПК	0,5—1
7.1	Уточнение состава групп, корректировка КС 1-го уровня	УлГТУ, ЗАО СВПК	0,5—1
7.2	Разработка окончательной редакции классификационной системы деталей машин	УлГТУ, ЗАО СВПК	0,5—1
8	Разработка предложений по унификации элементов ТП	УлГТУ, ЗАО СВПК	0,5—1
9	Разработка системного определителя наименований (СОНД)	УлГТУ, ЗАО СВПК	0,5—1
10	Разработка форм унифицированного ТП на обработку деталей, разработка модулей унифицированных ТП	УлГТУ, ЗАО СВПК	2,5—5
10.1	Разработка типовых маршрутных схем	УлГТУ, ЗАО СВПК	0,5—1
10.2	Разработка информационно-маршрутной ведомости (ИМВ)	УлГТУ, ЗАО СВПК	0,5—1
10.3	Заполнение информационно-маршрутной ведомости	УлГТУ, ЗАО СВПК	0,5—1

содержали детали элементарного и однородно-комбинированного типа, 3 подкласса — детали неоднородно-комбинированного типа. На основе анализа номенклатуры разработана компактная четырёхпозиционная КС кодирования информации о форме деталей машин (табл. 2). Структура кода показана на рис. 1.

Детали сгруппированы по нескольким критериям конструктивно-технологического подобия, разработаны предложения по унификации деталей и инструмента и унифицированные ТП для их механической обработки.

Совместно со специалистами предприятия проведён анализ условий производственного процесса предприятия, выявлены его особенности и недостатки, а также разработаны и внедрены следующие документы:

Рис. 1. Структура кода информации о форме детали

концепция классификационно-эволюционного, а впоследствии генетического подхода для оптимизации производственно-технологических решений при проведении работ по систематизации [1, 2];

КС деталей машин естественного типа (табл. 3) согласно конкретным условиям и особенностям данного предприятия;

ведомость информации о детали (ВИД) (см. табл. 3) и информационно-маршрутная ведомость (ИМВ). Данные ведомости позволяют работать с информацией 2-го уровня, учитывают специфические особенности производства ЗАО СВПК, основаны на типовых документах, применяемых в групповой технологии [7], однако имеют форму представления, отличную от традиционной и отражающую принципы генетического подхода. Предложена методика заполнения указанных форм документов.

Кроме того, были разработаны предложения по унификации номенклатуры деталей предприятия, 1-я редакция системного определителя наименований деталей (СОНД), форма и методика заполнения унифициро-

Таблица 2

4-позиционная КС кодирования информации о форме деталей машин (вариант ЗАО СВПК)

Подкласс		Группа		Подгруппа	
Наименование	Код	Наименование	Код	Наименование	Код
Круглые	ВК	Осеобразные (без внутренней поверхности)	Н	Простые (гладкие)	Г
				Сложные односторонние	О
				Сложные двусторонние	Д
				Длинномерные	С
		Втулкообразные (с внутренней поверхностью)	В	Шайбы	Ш
				Втулки короткие гладкие	Г
				Втулки короткие сложные	С
				Гайки	Г
				Ролики	Р
				Блоки	Б
				Втулки (среднедлинные)	П
				Длинномерные	Д
		С элементами зацепления	З	Зубчатые колеса	К
				Зубчатые шестерни	Ш
				Храповые	Х
				Цепные	Ц
Изогнутые	ВИ	Проволочные	П	Пружины токарные	Т
				Пружины слесарные	С
		Листовые	Л	Чашки	Ч
				Кожуха	К
Вращения/невращения	ВН	Грузовые	Г	Крюки	К
				Траверсы	Т
Плоскокомбинированные	НП	Гладкие пластины	Г	Простые	П
				Сложные	С
Изогнутые	НИ	Швеллерообразные	Ш	Простые	П
				Сложные	С
		Замкнутые по контуру (кожухи)	К	Простые	П
				Сложные	С
Комплексные	НМ	Рычажные	Р	Простые	П
				Сложные	С
		Корпусные	К	Простые	П
				Сложные	С

Таблица 3

ВИД. Блок А

ВЕДОМОСТЬ ИНФОРМАЦИИ О ДЕТАЛИ **(ВИД)**					
А. Эскизная модель детали (предполагается автоматическое формирование графической модели в зависимости от системного уровня/подуровня представления информации и автоматизированное решение задачи группирования детали на соответствующих уровнях системы)					
Подкласс	Надсемейство	Семейство	Подсемейство	Род	Вид

А	Б	В
Г1	Г2	Г3

Рис. 2. Структура ведомости информации о детали (ВИД)

ванного ТП для данного конкретного производства, начались работы по созданию системы инструментообеспечения, намечены методы дальнейшего совершенствования системной ТПП, сформированы предложения по созданию информационно-аналитической системы конструкторско-технологического назначения (ИАС КТН).

Структура ВИД показана на рис. 2 и состоит из четырёх частей.

На рис. 2 приведены следующие обозначения: А — эскиз детали-представителя (см. табл. 3); Б — система таблиц кодового описания (табл. 4); В — общая организационно-технологическая информация о группе деталей (табл. 5); Г — классифицированная информация о детали 1-го и 2-го уровней, содержащая общие данные о геометрической форме детали (группе деталей): Г1 — класс, подкласс, надсемейство, семейство и подсемейство и т. д. (табл. 6); Г2 — кодовое описание основных элементов (ОЭ) детали (см. табл. 6); Г3 — кодовое описание дополнительных элементов (ДЭ) детали (табл. 7).

Отличительной особенностью ВИД является возможность её использования как в неавтоматизированном, ручном режиме, так и проводить автоматизированное кодирование в интерактивном диалоге пользователя с ЭВМ. В этом случае ВИД используется как удобный промежуточный документ. Удобству

Таблица 4

ВИД. Блок Б

Код основных элементов (ОЭ)						
Круглые (К)						Некруглые
Необработанные	Цилиндрические		Конические	Радиусные	Фасонные	Призмы
	гладкие	ступенчатые				
Н	Г	С	К	Р	Ф	П
Плоскокомбинированные (П)						
Необработанные	Плоскопараллельные		уклон	рад	комбинированные	произвольные
	гладкие	ступенчатые				
Н	Г	С	У	Р	К	П

Вид поперечного сечения объёмно-профильной детали								
уголок	тавр	швеллер	двутавр	крестообразные	Z-образные	двойной тавр	комбинированные	произвольные
У	Т	Ш	Д	К	Z	2Т	Ко	П

Таблица 5

ВИД. Блок В

Код дополнительных элементов (ДЭ) 3-й знак — количество ДЭ данного типоразмера										
Отверстия (О)										
Цилиндрические					Нецилиндрические					
гладкие	ступен-чатые	зенковка	цековка	кони-ческие						
1	2, 3	З	Ц	К						
Резьба (Р) внутренние (р)					Накатка (Н)					
метр	трап	дюйм	м/зах		прямая	сет				
М	Т	Д	(N)		П	С				
Канавки наружные (Н)					Канавки внутр.(В)					
прямые	угл		рад							
П	У		Р							
Лыски (Л)					Скосы (С) − угловой (с) линейный					
параллельные оси			непарал-лельные оси	комбини-рованные	30	45	XX	Двузначный линейный размер		
1	2	3...	Н1	К	30	45	XX			
Уступы (У) Пазы (П)					Подсечки (П)					
					простые		раздельная полка		двойные	
прямые		угловые	радиальные		прямые	наклон-ные	прямые	наклон-ные	прямые	наклон-ные
ПО	ПЗ	У	Р	К	ПП	ПН	РП	РН	ПД	НД
Радиусы *R* — наружные, *r* — внутренние										

Таблица 6

ВИД. Блоки Г1 и Г2

(Блок Г1) Общая информация о детали									(Блок Г2) Основные элементы								
Номер чертежа	Наименование	Количество изделий	Основные размеры, мм				Вид заготовки	Марка материала	Масса, кг	ОЭ1, ОЭ3, ОЭ5 и т. д.				ОЭ2, ОЭ4, ОЭ6 и т. д.			
			L	$B(D)$	$H(d)$	$d_1\ (t_m - t)$				код ОЭ1	L_1	$B_1\ (D)$	$H(d)$	код ОЭ2	L_2	$B\ (D)$	$H\ (t.d)$

Таблица 7

ВИД. Блок Г3

(Блок Г3) Дополнительные элементы										
ДЭ1, ДЭ3, ДОЭ5 и т. д.					ДЭ2, ДЭ4, ДЭ6 и т. д.					Трудоёмкость r
Код ДЭ1	l_1	b_1	h	®	Код ДЭ2	l_2	b_2	h	®	
20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30

и простоте его использования способствует нахождение большинства классификационно-кодовых таблиц на поле бланка. Ещё одним преимуществом, отличающим данный вид документа, является то, что с его помощью можно осуществить первый этап предварительного группирования как ручного, так и автоматизированного. В целом отметим, что ВИД — это тот документ, использование которого максимально приближает работу технолога-систематика к режиму реального времени, что и определяет максимальную эффективность системной видовой технологии.

Остановимся более подробно на отличиях информации о детали во вновь созданном документе от данных, имеющихся в традиционной ведомости. Традиционно информация о детали, если рассматривать разработанную ВИД (см. табл. 3), занимает его левую часть. Эта информация достаточна для предварительного системного решения задач ТПП (1-й уровень). Информация нового вида, которая отсутствует в традиционной форме этого документа, расположена в правой части ВИД и является логическим продолжением информации левой части. Она представляет собой данные об элементах детали и предназначена для решения задач ТПП 2-го уровня, т.е. уточнения задач формирования маршрута, расчёта трудоёмкости, инструментообеспечения и др. Так как указанный документ предназначен для обработки информации как в автоматизированном, так и в ручном режимах, то для удобства работы в правую верхнюю часть бланка вынесены таблицы кодирования. По существу, в указанной форме ВИД объединяет три автономных документа. При необходимости можно пользоваться каждым из них в отдельности. В целом такой документ, в данных конкретных условиях, обладает более высоким качеством относительно требований удобства и различимости представления информации о детали.

Информационно-маршрутная ведомость (ИМВ) является оригинальным документом, разработанным совместно со специалистами ЗАО СВПК, исходя из требований оперативности работы технолога и плановика в режиме реального времени. ИВМ содержит размер заготовки, массу и норму расхода материала, а также маршрут обработки деталей по конструктивно-технологическим группам и обладает свойствами максимального удобства, простоты и различимости рабочей информации при решении различных производственных задач.

ИВМ имеет много назначений: первое предполагает решение задачи уточнения состава групп, предварительно собранных в ВИД. В этом плане рациональным подбором критериев группирования по форме и размерам деталей удалось добиться оптимизированного расположения деталей в структуре высших таксонов.

Второе назначение ИМВ — решение материально-технических задач, например, учёт нормы расхода материала. Для этого в ВИД включены КИМ и масса заготовки. Заметим, что в таблицу включены и габариты детали ($L \times D$), что позволяет автоматизировать не только расчёт нормы расхода, но и предшествующую задачу — выбор и расчёт заготовки.

Для решения другой задачи этого плана — определения точной массы изделия, суммируются точные значения массы каждой из деталей, данные о которых включены в таблицу и используются как третье назначение документа. Заметим, что все эти задачи расчётно-технического характера целесообразно выполнять автоматизированно, что сократит трудоёмкость рутинных расчётных работ и повысит эффективность производства.

Маршруты обработки детали, включённые в ИМВ как вид ИД и позволяющие решать ряд оперативно-тактических задач подготовки и управления производственным процессом, также имеют и другие назначения. Например, учитывая последовательное усложнение деталей в соответствующем таксоне, можно методом сравнения проверить качество нормирования трудоёмкости по каждой из операций, а также их суммарные значения. В процессе работы такие несоответствия норм были выявлены и скорректированы.

Учитывая возможность разработки ТП на детали разными технологами, можно также скорректировать и сам маршрут обработки детали в соответствии со спецификой конкретного производства. При этом следует ориентироваться как на опыт специалистов, так и на системное восприятие технологического процесса в целом.

Также можно решить и обратную задачу, связанную с проверкой качества группирования деталей. Качество формирования групп определяется по совпадению маршрутов обработки двух или нескольких соседних деталей.

Всего проанализировано и сгруппировано 433 детали, входящие в состав 18 изделий ПТМ, из них 303 детали в классе вращения, 130 — невращения. При этом множество деталей распределилось по 2 классам, 6 подклассам, 9 надсемействам, 32 семействам и 97 видам. Обобщающим результатом группирования стала сводная информация сборника ИМВ, приведённая в табл. 8.

Внешне оптимизация итогов группирования выражена в достижении плавного, периодического изменения (ранжирования) конструктивно-технологической сложности и, соответственно, величин трудоёмкости обработки деталей согласно эволюционному принципу "от простого к сложному". Сравнивая порядок расположения деталей одной и той же подгруппы в разных документах ([1], приложения Г и Д), можно заметить периодичность размерных последовательностей в группах сложности.

Например, при достижении следующего уровня конкретизации информации о детали из неупорядоченного множества деталей подгруппы ВКОО, рассматриваемой в ВИД, возникают некоторые упорядоченные последовательности размерных форм. Эти последовательности образуют некоторую периодичность распределения указанных форм в функционально-информационном пространстве некоторых подгрупп сложности, которые условно названы видами. Важно заметить, что величины периодов имеют тенденцию к сокращению с увеличением сложности деталей в подгруппе, что согласуется с характером проявления закона гиперболического распределения [1—3]. Последнее говорит о приближении системы к естественному типу. Заметим, что более мелкая структуризация множества деталей, связанная с введением в структуру КС существенных для каждого из уровней классификации признаков, не только приближает КС к естественному типу, но и позволяет получить более качественное решение производственных задач, в том числе задачи группирования деталей.

В конечном счёте осуществлено формирование оптимизированной КС деталей машин и других объектов производства [1], которую по отношению к рассматриваемому производству можно рассматривать как приближающуюся к естественной.

Не следует забывать что данные, приведённые в табл. 8, представляют собой срез конкретно-временной информации о мощности обрабатывающего производства СВПК в расчёте на одну деталь. Такие данные, в соответствующей интерпретации и в зависимости от степени обобщённости, необходимы большинству руководителей машиностроительного предприятия: от директора до мастера в зависимости от уровня (таксона) представления информации. Однако эти данные разовые, так как известно, что производственный процесс — явление крайне динамичное.

Информация о детали — его корневая, позвоночная часть меняется не так интенсивно,

Таблица 8

Сводная информация сборника ИМВ (фрагмент)

КЛАССЫ			ПОДКЛАССЫ			СЕМЕЙСТВА			РОД			
Название		Код	Название		Код	Название		Код	Код	Количество		
Количество												
видов	деталей	трудоёмкость	видов	деталей	трудоёмкость	видов	деталей	трудоёмкость		видов	деталей	трудоёмкость
ВРАЩЕНИЯ В			КРУГЛЫЕ ВК			ОСЕОБРАЗНЫЕ ВКО			ВКОШ	3	23	1,257
									ВКОО	2	27	2,992
									ВКОД	5	32	2,479
						12	89	7,988	ВКОС	2	7	1,26
						ВТУЛКООБРАЗНЫЕ ВКВ			ВКВШ	2	27	2,992
									ВКВГ	1	17	0,595
									ВКВС	12	59	8,045
									ВКВР	3	11	2,738
									ВКВБ	1	3	1,159
						22	110	14,138	ВКВД	3	6	0,835
						КРУГЛЫЕ С ЭЛЕМЕНТАМИ ЗАЦЕПЛЕНИЯ ВКЗ			ВКЗК	2	7	3,108
									ВКЗШ	3	12	5,135
									ВКЗХ	3	5	0,528
			45	236	39,225	1	37	17,095	ВКЗЦ	3	13	8,325

однако в день, даже на этом относительно небольшом предприятии проходит по несколько конструктивно-технологических изменений, которые необходимо оперативно отслеживать и вести информацию о детали в реальном времени, что невозможно без системно-компьютерной автоматизации. Заметим, что исходные данные КС при программной реализации соответствующих постановок указанных выше задач позволяют решать их в реальном масштабе времени, сокращая цикл технической подготовки в несколько раз, т. е. задача группирования решалась в несколько раз быстрее. То же самое можно сказать о решении задач унификации и технологической отработки деталей изделий. Классифицированная информация о состоянии номенклатуры деталей должна вводиться в базу данных системы ИАС КТН, отслеживаться в реальном времени и вестись в течение всего цикла подготовки и управления производством. На основе этой информации возможно автоматизированное решение комплекса задач ТПП.

Например, исходя из классификационно-кодового описания геометрической формы детали и её габаритных размеров (см. табл. 3) нетрудно разработать алгоритмы для автоматизированного решения задачи расчёта норм расхода материала для материально-технического учёта и планирования. При известных технических параметрах заводских подразделений и станков также следует решение технологических задач расцеховки и загрузки оборудования. При организации базы данных оборудования можно оптимизировать систему загрузки оборудования заготовками. При наличии справочников приспособлений, инструмента, вида покрытий детали и т. д. можно создать систему обеспечения, учёта и планирования производства средствами технологического оснащения.

Также следует заметить, что постановка автоматизированного решения задачи формирования маршрута обработки деталей в целом — достаточно сложная проблема [7] и может решаться разными способами. Решение этой задачи определяется не только конструктивно-геометрическими свойствами детали, но и факторами конкретной производственной среды, прежде всего спецификой элементов технологической системы (ТС). В этом плане маршрут обработки во многом зависит от системности её элементов, в первую очередь, степени автоматизации обрабатываю-

щего оборудования. Кроме того, предлагаемое решение основывается на итерационном подходе — постепенном приближении классификационно-кодового описания геометрической формы детали к существенным свойствам этих элементов при его иерархическом развитии.

Важной проблемой удобного представления рассмотренной информации является решение задачи системной визуализации эскизов деталей — как эскизов-представителей видов, так и операционных эскизов обработки. Их оперативное формирование следует основывать на элементно-модульном подходе.

В заключение отметим, что предлагаемая технология основана на многих подходах, методах и других технологиях, адаптирована под современные условия и показала эффективность даже при низком уровне автоматизации. При организации базы данных объектов производства, прежде всего деталей машин и создания на этой основе информационно-аналитической системы конструктивно-технологического назначения, необходимая производственная информация будет отслеживаться, обрабатываться в реальном режиме времени.

Таким образом, выполненные на ЗАО СВПК работы показали:

высокую трудоёмкость формирования КС, приближающуюся к естественной. При этом качественное приближение, даже с использованием уже разработанных методов и типовых таблиц, требует нескольких итерационных шагов;

значительную трудоёмкость качественного группирования деталей в ручном режиме, даже при незначительной номенклатуре деталей (433 наименование), имеющейся на предприятии;

применение автоматизации (согласно расчётам) может сократить время работ по группированию примерно в 3—4 раза;

необходимость проведения работ по систематизации на каждом машиностроительном предприятии, имеющем номенклатуру свыше 200 наименований деталей;

необходимость обучения специалистов-технологов среднего уровня для самостоятельного проведения подобных работ;

необходимость проведения работ по комплексной автоматизации задач ТПП с первоначальным созданием баз данных объектов производства в рамках системы ИАС КТН.

В заключение следует отметить, что автоматизация процессов ТПП с использованием современных технологий, в основе которых лежит системно-поуровневое представление информации на основе классификаций естественного типа, позволяет существенно повысить их эффективность и качество, особенно на ранних стадиях подготовки производства.

Библиографические ссылки

1. **Ширялкин А.Ф.** Основы формирования многоуровневых классификаций естественного типа для создания эффективных производственных сред в машиностроении. Ульяновск: УлГТУ, 2009. 298 с.

2. **Ширялкин А.Ф.** О проблемах качества автоматизации машиностроительных производственных сред // Автоматизация и современные технологии. 2012. № 5. С. 30—35.

3. **Кудрин Б.И.** Введение в технетику. Томск: Изд-во гос. ун-та, 1993. 553 с.

4. **Кудрин Б.И.** Два открытия: явление инвариантности структуры техноценозов и закон информационного отбора. Ценологические исследования. Вып. 44. М.: Технетика, 2009. 82 с.

5. **Соснин П.И.** Логика понятий. Саратов: Изд-во Сарат. университета, 1986. 88 с.

6. **Забродин В.Ю.** О критериях естественности классификаций // НТИ, Серия 2, 1980, № 8. С. 22—24.

7. **Технологическая** подготовка гибких производственных систем / Под общ. ред. С.П. Митрофанова. Л.: Машиностроение, 1987. 352 с.

ВНИМАНИЮ АВТОРОВ!

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

УДК 004.896

П.С. Ложников, канд. техн. наук, **А.Е. Сулавко**, канд. техн. наук
(Омский государственный технический университет)

sulavich@mail.ru

ТЕХНОЛОГИЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ ПО ДИНАМИКЕ ПОДСОЗНАТЕЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ

Описана технология идентификации пользователей компьютерных систем по динамике воспроизведения подписи и клавиатурному почерку, включающая методику создания эталонов в пространстве идентифицирующих признаков и разработанный метод формирования идентификационных решений, основанный на использовании статистической теории принятия решений и элементов нечёткой логики. Создан программный комплекс с распределённой архитектурой для идентификации пользователей компьютерных систем и защиты информационных ресурсов заинтересованных предприятий от угрозы неавторизованного доступа.

Ключевые слова: идентификация образов; динамика воспроизведения подписи; клавиатурный почерк; алгоритм нечёткого вывода.

Identification technology of the computer systems users on the grounds of the signature reproduction dynamics and keyboard handwriting is described. The technology includes methodology of creating standards in the identifying indications space and developed method of the identification solutions formation based on the use of the decisions acceptance statistical theory and fuzzy logic elements. The program complex with a distributed architecture identification of users for computer systems and information resources protection of interested companies from the threat of unauthorized access is developed.

Key words: form identification; the signature reproduction dynamics; keyboard handwriting; the algorithm of fuzzy inference.

Введение. Важной задачей обеспечения информационной безопасности является разработка средств защиты от утечек конфиденциальных данных. Суммарный ущерб от утечек корпоративных секретов, нанесённый компаниям в мире за 2013 г., по данным Zecurion Analytics, составил более 25 млрд долл., и с каждым годом ущерб растёт. Примеров несанкционированного вхождения в информационно-вычислительную систему приводится множество. Другая проблема — инсайдер, обладающий правами доступа к конфиденциальному документу, который может обойти защиту информации от утечек. Сформировалась точка зрения, что дальнейшее усовершенствование и модернизация сложившихся направлений защиты информации не исправит ситуацию, так как изменилась постановка задачи: создать защиту от того, кому разрешено всё в соответствии со служебными обязанностями [1]. Традиционные биометрические системы успешно справляются с задачами аутентификации субъектов, однако не позволяют при этом распознать, насколько лоялен сотрудник в момент прохождения процедуры идентификации. Предположение о том, представляет ли сотрудник угрозу для информационных ресурсов организации, можно сделать на основании анализа его психофизиологического состояния, а определить, в каком психофизиологическом состоянии находится субъект, возможно с использованием параметров его подсознательных движений [2]. Ниже предлагается технология и программный комплекс для идентификации пользователей компьютерных систем по динамике их подсознательных движений на основе статистической теории принятия решений и элементов нечёткой логики, позволяющий распознавать пользователей с высокой вероятностью с учётом их психоэмоционального состояния. Технология включает в себя методику получения значений признаков, алгоритм идентификации, метод и алгоритм формирования эталонов подсознательных движений субъектов.

Идентифицирующие признаки и формирование эталонов субъектов. Для идентификации используется клавиатурный почерк субъекта, набирающего парольную фразу на клавиатуре, а также динамика воспроизведения его подписи на графическом планшете. Для выделения значений признаков из подписи решено использовать подход, указанный в работах [3—5]. Предварительно из подписи удаляются участки с давлением, близким к нулю. Функции $x(t)$, $y(t)$ целесообразно пре-

образовать в функцию скорости перемещения пера на планшете $v_{xy}(t)$:

$$v_{xy}(t) = \sqrt{(x(t+\Delta t)-x(t))^2+(y(t+\Delta t)-y(t))^2}, \quad (1)$$

где x и y — координаты точки; t — время регистрации координат положения пера на планшете; Δt — интервал времени между регистрацией координат положения пера.

Для идентификации используются признаки, извлекаемые из функции давления пера на планшет $p(t)$, признаки, извлекаемые из функции скорости пера на планшете $v_{xy}(t)$, коэффициенты корреляции между функциями $x(t)$, $y(t)$, $p(t)$ и их производными. Обработка функций давления и скорости пера на планшете при извлечении признаков происходит в два этапа: разложение функции в ряд Фурье и нормирование амплитуд гармоник по энергии [3]. Наиболее информативными признаками являются амплитуды низкочастотных гармоник, так как колебания руки человека во время написания пароля не могут иметь слишком высокую частоту. В данной работе используются 16 нормированных амплитуд самых низкочастотных гармоник по аналогии с работами [3, 5]. Коэффициенты корреляции вычисляются для каждой подписи между парами следующих функций: $x(t)$, $y(t)$, $p(t)$, $x'(t)$, $y'(t)$, $p'(t)$. Последние три функции определяются по формулам: $x'(t) = x(t + \Delta t) - x(t)$, $y'(t) = y(t + \Delta t) - y(t)$, $p'(t) = p(t + \Delta t) - p(t)$. Таким образом, каждая подпись преобразуется в вектор значений признаков, состоящий из 47 чисел (далее реализация подписи).

В качестве признаков клавиатурного почерка использовалось время удержания клавиш и время между нажатием соседних клавиш при наборе парольной фразы, т.е. реализация клавиатурного почерка представляет собой вектор значений данных параметров.

При изменении психоэмоционального состояния субъекта указанные признаки подписи и клавиатурного почерка меняются, что влечёт за собой снижение идентификационного потенциала подсознательных движений — страх, опьянение, сильное волнение могут являться причиной нелояльного поведения сотрудника и вызвать отказ в доступе. Все указанные признаки имеют распределение, близкое к нормальному [3—5]. Поэтому в качестве эталонной информации о признаке целесообразно использовать параметры функции распределения вероятностей значений признака — математическое ожидание и среднеквадратичное отклонение. Количество реализаций значений признаков для формирования эталона оценивалось на основании теоремы Чебышева. Установлено, что выборка из 26 реализаций является репрезентативной (с вероятностью 0,96 можно утверждать о том, что генеральная совокупность значений большинства признаков подчинена такой же закономерности). Таким образом, для создания эталона субъект не менее 26 раз должен осуществить ввод указанных подсознательных движений. В работе [3] описывается проблема возникновения сбоев в процессе многократного воспроизведения подсознательных движений при создании эталона (дрогнула рука при вводе подписи, неудобство использования планшета и т.д.). Поэтому решено применить методику исключения грубых ошибок, описанную в работе [3], для снижения уровня шума в эталонах подписи и клавиатурного почерка. Методика основана на корреляционном анализе векторов значений признаков подписи. Реализация подписи, коэффициент корреляции которой с другими реализациями принимает несвойственные значения, исключается из эталона, и субъект повторяет ввод подписи. Для реализаций клавиатурного почерка процедура аналогична.

Были собраны биометрические параметры 150 пользователей (70 реализаций клавиатурного почерка и подписи от каждого пользователя). Каждый испытуемый совершил 40 попыток подделки биометрических параметров пользователя, за вводом биометрических данных которого он наблюдал. Полученные данные в дальнейшем использовались для анализа, создания эталонов и проведения экспериментов.

Формирование идентификационных решений. Для принятия идентификационных решений использовался модифицированный алгоритм последовательного применения формулы Байеса [4]. Алгоритм последовательного применения формулы Байеса (или стратегия Байеса) даёт более приемлемые результаты при решении реальных задач идентификации в пространстве малоинформативных признаков. Классический вариант стратегии Байеса практически неприменим при решении задач обозначенного вида (велика вероятность сбоев в работе алгоритма, обусловленных аномальными выбросами значений признаков) [4]. Основное отличие алгоритма, описанного в работе [4], от классической стратегии Байеса состоит в том, что апостериорные вероятности

вычисляются в соответствии с формулой (2), приведённой ниже. Это делается для ограничения приращений апостериорных вероятностей гипотез на каждом шаге в зависимости от того, насколько информативен текущий признак. Таким образом, осуществляется защита процесса принятия решений от сбоев. Под i-й гипотезой подразумевается гипотеза о том, что данные принадлежат i-му зарегистрированному в базе данных субъекту, т.е. каждая гипотеза ассоциируется с эталоном определённого субъекта:

$$P_j(H_i|A) = P_{j-1}(H_i|A) + \left(\frac{P_{j-1}(H_i|A)P(A_j|H_i)}{\sum_{i=1}^{n} P_{j-1}(H_i|A)P(A_j|H_i)} - P_{j-1}(H_i|A) \right) \times (W_j), \quad (2)$$

где W_i — вес j-го признака; $P_j(H_i|A)$ — апостериорная вероятность i-й гипотезы, вычисляемая на j-м шаге при поступлении j-го признака; $P_j(A|H_i)$ — условная вероятность i-й гипотезы при поступлении признака A_j.

Вес признака W_i характеризует его информативность на j-м шаге алгоритма последовательного применения формулы Байеса [4] и вычисляется по формуле:

$$W_j = 1 - \sum_{i=0}^{n} P_{j-1}(H_i|A) Sum_{ji}, \quad (3)$$

где Sum_{ji} — площадь пересечения функции распределения значений j-го признака для i-й гипотезы с функциями распределения значений данного признака для других гипотез (подробное описание оценки информативности признака через вычисление площадей пересечения функций распределения его значений приведено в работе [4]).

При $W_j = 1$ получим классическую формулу гипотез Байеса. Условные вероятности $P_j(A|H_i)$ обычно вычисляются исходя из закона распределения значений признаков (в данном случае нормального), как плотности вероятности значений признаков предъявленных субъектом подсознательных движений в процессе идентификации [4]. Однако было решено применить иной подход. Известно, что при увеличении количества эталонов вероятность ошибки идентификации возрастает, что связано с увеличением площади пересечения собственных областей эталонов [5]. Для решения данной проблемы предложено сжать собственные области эталонов при помощи алгоритма нечёткого вывода Larsen в соответствии с предложенным методом формирования эталонных описаний классов образов [5]. Функции распределения значений признаков модифицируются в момент прохождения субъектом процедуры идентификации в зависимости от значений одного или нескольких дополнительных признаков. В данной работе использованы те же дополнительные признаки, что и в работе [5]. Преобразование плотностей распределения осуществляется за два шага:

1. Распределения дополнительных признаков преобразуются в нечёткие множества с функцией принадлежности: $Y_i(Ar) = f_i(Ar)/f_i(Mr_i)$, где Ar — значение дополнительного признака; $f_i(Ar)$ — функция плотности распределения дополнительного признака i-го образа; Mr_i — математическое ожидание значений дополнительного признака i-го образа. После преобразования будут получены нечёткие числа с функцией принадлежности $Y_i(Ar) \in [0; 1]$. Далее вычисляется степень истинности для предпосылок каждого правила.

2. "Усечённые" функции принадлежности вычисляются по формуле $f_i(x)' = f_i(x)Y_i(Ar)$, где x — значение идентифицирующего признака.

В результате площади пересечения собственных областей эталонов сокращаются в различной степени, что позитивно сказывается на вероятности правильной идентификации [5]. Оценка эффективности приведённого выше алгоритма формирования апостериорных вероятностей на основе формулы Байеса представлена в работе [4], вероятности ошибок 1-го и 2-го рода составили 0,01 и 0,0033.Описанный выше подход к формированию идентификационных решений был усовершенствован. В системах биометрической идентификации, где последствия ошибки 2-го рода весьма высоки, имеет смысл использовать дополнительные способы снижения ошибок данного типа. Для этого можно увеличить пороговое значение, но в таком случае возрастёт вероятность ошибки 1-го рода, в результате чего использование такой системы идентификации на практике будет затруднено. Поэтому решено использовать меру Хемминга совместно с модифицированной стратегией Байеса для подтверждения аутентичности наиболее вероятной гипотезы. При поступлении вектора значений признаков, описывающих идентифицируемый образ, анализируются предъявленные значения признаков A_j, $j = 1, N$ на попадание в установленные эталонами интервалы, границы которых можно вычислить по приведённым ниже формулам (4) и (5), в результате

чего формируется вектор $E = \{e_1, e_2, ..., e_N\}$. Если значение признака A_i попадает в j-й интервал, то $e_i = 0$, в противном случае $e_i = 1$. В результате анализа будет сформирован вектор Хэмминга E. Для известного системе образа этот вектор должен содержать много нулей, для неизвестного — много единиц (будет много несовпадений с эталоном):

$$\min_j = Ma_j - t(N, (1 - P_1))Sa_j; \quad (4)$$

$$\max_j = Ma_j + t(N, (1 - P_1))Sa_j, \quad (5)$$

где N — число признаков; P_1 — заданное значение вероятности ошибок первого рода; $t(N, (1 - P_1))$ — функция, вычисляющая коэффициент Стьюдента; Ma_j и Sa_j — математическое ожидание и среднеквадратичное отклонение значений j-го признака для наиболее вероятного класса образов.

Для меры Хемминга было принято решение минимизировать ошибку первого рода, чтобы количество ложных отказов для верных гипотез существенно не увеличилось. Поэтому P_1 решено взять равным 0,0025, коэффициент Стьюдента при этом принял значение 3,07.

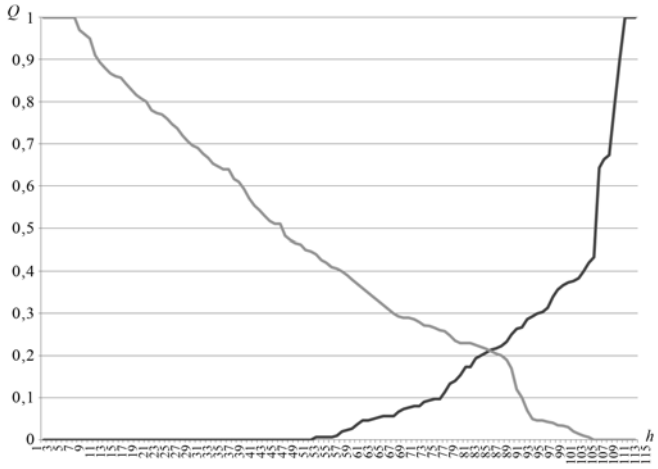


Рис. 1. Вероятности *Q* ошибок распознавания на основе меры Хемминга при пороговом значении *h*

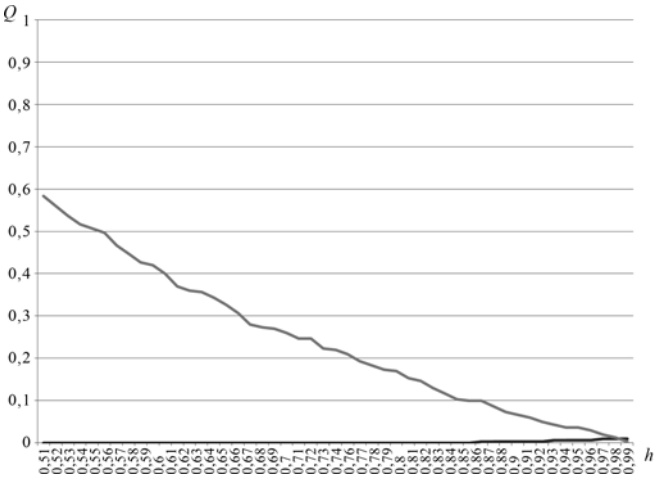


Рис. 2. Вероятности *Q* ошибок распознавания на основе модифицированной стратегии Байеса при пороговом значении *h*

Расстояние Хэмминга до биометрического эталона определяется как общее число несовпадений с биометрическим эталоном. Далее для удобства решено оперировать с общим числом совпадений с биометрическим эталоном E_v. Чтобы осуществить проверку по Хеммингу, необходимо задать пороговое значение, определяющее степень сходства предъявленных данных с эталоном, при котором субъект считается распознанным как "свой". Для выбора оптимального порогового значения проведён эксперимент по аналогии с тем, как это было выполнено в работе [4], только распознавание пользователей осуществлялось в режиме аутентификации при помощи меры Хемминга. Для проведения эксперимента использовались те же данные о подсознательных движениях 150 субъектов, что и в работе [4], а также методика построения эталона, описанная в настоящей работе. По результатам эксперимента построены ROC-кривые (рис. 1).

В качестве оптимального порогового значения E_v целесообразно взять то, при котором ошибка первого рода по результатам проведённого эксперимента была равна 0, а ошибка второго рода была минимальной. При данном пороговом значении вероятности ошибок первого и второго рода равны 0 и 0,446. При совокупном использовании меры Хемминга и модифицированной стратегии Байеса с контролем приращения гипотез значения вероятности ошибки первого рода останутся на уровне 0,01, а вероятность ошибки второго рода может принять значение на отрезке [0,0033; 0,0015], так как гипотеза "своего" должна преодолеть заданное пороговое значение, при этом порядка 55,4 % "чужих" не преодолеют данное пороговое значение. Сопоставив полученные результаты с результатами предыдущего эксперимента [4] (рис. 2), получили следующие вероятности ошибок идентификации: 1-го рода 0,01 (достоверность полученных результатов 0,9999 при доверительном интервале 0,005), 2-го рода 0,002 (достоверность полученных результатов 0,91637 при доверительном интервале 0,001).

Таким образом, для формирования идентификационного решения сначала определяется наиболее вероятный из зарегистрированных субъектов, далее для подтверждения того, что образ, ассоциируемый с наиболее вероятной гипотезой, действительно является зарегистрированным в системе, используется мера Хемминга.

При помощи меры Хемминга были "отсеяны" более 39 % (из предполагаемых 55 %) реализаций "чужих" после преодоления ими порогового значения по Байесу. Описанная технология была реализована в программном комплексе с распределённой архитектурой, который позволяет внедрить функции биометрической защиты в информационные системы заинтересованных организаций.

Архитектура программного комплекса для идентификации пользователей компьютерных систем по динамике подсознательных движений подразумевает наличие:

подсистемы ввода биометрических данных, позволяющей получать материал для выделения признаков;

подсистемы управления, осуществляющей взаимодействие с базой данных и управление аккаунтами зарегистрированных пользователей компьютерных систем и т.д.;

подсистемы принятия решений, которая реализует выделение признаков, создание эталонов и распознавание пользователей;

подсистемы взаимодействия, обеспечивающей обмен данными между компонентами системы идентификации и защиту каналов передачи информации.

Разработанный программный комплекс состоит из следующих компонент, реализующих указанные подсистемы:

JavascriptAPI реализует подсистему ввода биометрических данных;

RestAPI — подсистему управления;

Java-сервис — подсистему принятия решений.

Подсистема взаимодействия реализуется совместно всеми компонентами. Схема взаимодействия компонент программного комплекса представлена на рис. 3. Как видно из рисунка, обмен данными между JavascriptAPI и RestAPI, а также между RestAPI и информационными системами предприятий осуществляется по протоколу https. Данные, используемые внутри сети предприятия, предоставляющего услуги идентификации, могут передаваться по протоколу http. Javascript API служит для внедрения биометрической защиты в стороннюю информационную систему и представляет собой набор функций на языке javascript. Данные функции могут использовать разработчики сайтов и/или других информационных систем предприятий для реализации возможностей ввода парольной фразы и подписи при помощи клавиатуры и дигитайзера через web-интерфейс и отправки этих данных на сервер.

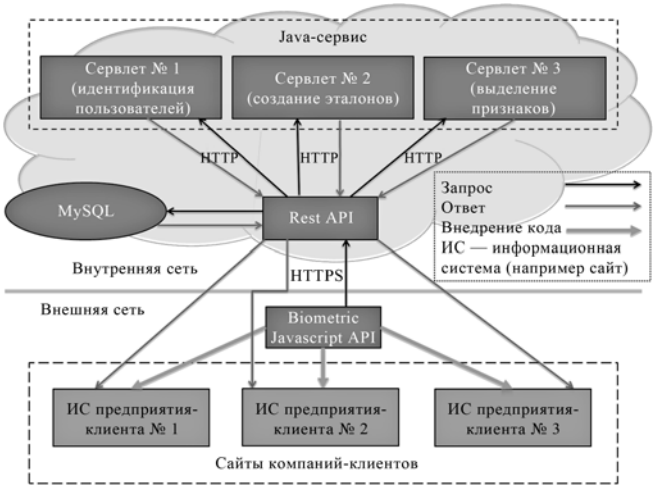


Рис. 3. Взаимодействие компонент разработанного программного комплекса

Rest API определяет набор функций сервера идентификации, к которым разработчики информационных систем могут посылать запросы при помощи функций Javascript API и получать ответы с результатами выполнения этих функций. Ответ приходит на адрес сервера, предварительно указанный разработчиком/системным администратором сторонней информационной системы. Разработчик информационной системы может на своё усмотрение использовать результат выполнения функций: разрешить доступ к ресурсу, заблокировать доступ к ресурсу, повторить ввод биометрических данных и т.д. Rest API реализует правильную последовательность действий при обработке запроса: выделение признаков, создание эталона, идентификация (см. рис. 3). Данный компонент реализован на языке программирования PHP. В качестве системы управления базами данных используется MySQL. Java-сервис представляет собой три модуля, реализованных на языке программирования Java, каждый из которых взаимодействует со сторонними информационными системами посредством принципа запрос-ответ.

Сравнение полученных результатов с достигнутыми ранее. При помощи разработанного программного комплекса проведён натурный эксперимент в реальных условиях с привлечением 175 пользователей. Испытуемые были разделены на две группы — "свой" и "чужой". К группе "свой" отнесено 150 испытуемых, к группе "чужой" — 25. Каждый испытуемый из группы "свой" создал эталон и прошел процедуру идентификации 10 раз, каждый испытуемый из группы "чужой" прошел процедуру идентификации 20 раз. Таким

Технология распознавания субъектов, авторы	Число опытов, испытуемых	FRR	FAR	EER/сумма ошибок 1-го и 2-го рода
По подписи при помощи нейронных сетей, L.P. Cordella	1960, 49 [6]	0,0204 [6]	0,0001—0,0429 [6]	—
По подписи при помощи перекрёстной проверки, A.El. Yacoubi	2400, 60 [6]	0,0117 [6]	0,0064 [6]	—
По клавиатурному почерку при помощи статистических алгоритмов, Lv&Wang	5000, 100 [7]	0,014 [7]	0,014 [7]	0,014 [7]
По клавиатурному почерку при помощи нейронных сетей, Brown&Rogers	1867, 46 [7]	0,12—0,17 [7]	≈0 [7]	—
Разработанная технология — натурное моделирование	12000, 150	0,01	0,002	0,006
Разработанная технология — натурный эксперимент	2000, 175	0,016	≈0	0,012

образом, осуществлено 1500 попыток авторизации пользователей из группы "свой" и 500 — из группы "чужой". Из 500 попыток доступа неавторизованного пользователя ни одна не увенчалась успехом, при этом 1476 из 1500 зарегистрированных пользователей было распознано правильно и допущено в систему (24 ошибки на 2000 опытов). Вероятность ошибки 1-го рода составила 0,016, ошибок 2-го рода в рамках эксперимента зарегистрировано не было. В таблице представлена сопоставительная информация об эффективности технологий распознавания субъектов по динамике подсознательных движений. Указаны наилучшие результаты из обнаруженных в доступной литературе с объёмом выборки, позволяющим делать достоверные заключения. FFR (False Rejection Rate) — вероятность ложного отказа в допуске (ошибки 1-го рода), FAR (False Acceptance Rate) — вероятность ложного допуска (ошибки 2-го рода), EER (Equal Error Rates) — коэффициент равновероятной ошибки (или сумма ошибок 1-го и 2-го рода).

Заключение. Разработаны технология идентификации субъектов по динамике воспроизведения подписи и клавиатурному почерку, программный комплекс для идентификации пользователей компьютерных систем, реализующий предложенную технологию и позволяющий заинтересованным организациям существенно повысить защищённость информационных систем от угрозы неавторизованного доступа к конфиденциальной информации. По результатам проведённого натурного эксперимента с привлечением 175 испытуемых вероятность ошибки идентификации в реальных условиях составила 0,012. Также проведено натурное моделирование с использованием реальных биометрических данных 150 субъектов (12000 образцов для проведения эксперимента и более 4000 образцов для обучения). Полученные результаты превосходят большинство аналогов и соответствуют мировому уровню.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 15-07-09053.

Библиографические ссылки

1. **Эффект** Сноудена. Методы и технологии противодействия XVmatic // Специальная техника. 2013. № 5. С. 62—63.

2. **Епифанцев Б.Н.** Скрытая идентификация психофизиологического состояния человека-оператора в процессе профессиональной деятельности: монография. Омск: СибАДИ, 2013. 198 с.

3. **Сулавко А.Е., Ерёменко А.В., Самотуга А.Е.** Исключение искажённых биометрических данных из эталона субъекта в системах идентификации // Информационные технологии и вычислительные системы. 2013. № 3. С. 96—101.

4. **Епифанцев Б.Н., Ложников П.С., Сулавко А.Е.** Алгоритм идентификации гипотез в пространстве малоинформативных признаков на основе последовательного применения формулы Байеса // Межотраслевая информационная служба / ФГУП "ВИМИ". 2013. № 2. С. 57—62.

5. **Сулавко А.Е., Ерёменко А.В.** Метод сжатия собственных областей классов образов в пространстве малоинформативных признаков // Искусственный интеллект и принятие решений. 2014. № 2. С. 95—102.

6. **Impedovo D., Pirloi G.** "Automatic Signature Verification: The State of the Art", IEEE Transactions On Systems, Man, And Cybernetics. Part C: Applications And Reviews, Vol. 38, № 5, September 2008.

7. **Banerjee S.P.** Biometric Authentication and Identification using Keystroke Dynamics: A Survey / S.P. Banerjee, D.L. Woodard // Journal of Pattern Recognition Research. 2012. Vol. 7. № 1. P. 116—139.

УДК 629.7.023; 681.5.043

А.В. Болдырев, д-р техн. наук, доц., **М.В. Павельчук**
(Самарский государственный аэрокосмический университет им. академика С.П. Королёва (НИУ))
bolav@ssau.ru

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИЛОВЫХ СХЕМ АВИАЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ОСНОВЕ ПРОЦЕССНОГО ПОДХОДА

Разработаны aVAD/aeEPC — модели процессов выбора рациональной силовой схемы авиационных конструкций. Для синтеза объектов проектирования использованы специальные модели метода конечных элементов на основе деформируемого твёрдого тела переменной плотности.

Ключевые слова: автоматизированное проектирование; оптимизация; структура; континуальная модель.

The aVAD/aeEPC-models of selection processes for the rational load-carrying scheme of aircraft constructions are developed. For the designing objects synthesis used Special models of the finite element method based on deformable solid body with variable density are used for the designing objects synthesis.

Key words: automatic design; optimization; structure; continual model.

Силовая схема конструкции (ССК), определяемая на ранних стадиях проектирования, характеризуется типом силовых элементов, их количеством, способом соединения между собой и расположением в пространстве. Выбор параметров ССК влияет на степень совершенства передачи усилий в конструкции и предопределяет её весовую эффективность. Теоретические основы автоматизированного проектирования силовых схем авиационных конструкций с учётом требований прочности, жёсткости и устойчивости на основе модели тела переменной плотности содержатся в работах [1—3], в которых описание процессов проектирования ССК выполнено на вербальном уровне, что затрудняет эффективную реализацию разработанной технологии в современных условиях глобальной автоматизации предприятий авиастроительной отрасли.

Формализованное представление процессов на основе системы условных обозначений имеет ряд преимуществ по сравнению с их вербальным описанием:

выявляет потоки данных, взаимодействующие подсистемы и процессы в ходе моделирования предметной области;

способствует построению однозначной и наглядной модели, чёткому документированию процессов на единообразном языке, устранению возможных ошибок на стадии проектирования и последующих этапах жизненного цикла изделий;

обеспечивает быстрое обучение специалистов конкретному направлению практической деятельности [4].

Ниже предлагается формализованное представление технологии проектирования силовых схем авиационных конструкций [1—3] с использованием процессного подхода [4, 5]. Применяется методология ARIS [4] в нотациях aVAD (цепочки процессов, добавляющих ценность) и aeEPC (расширенные цепочки процессов, управляемые событиями) [6].

На рис. 1 представлена aVAD-модель, в которой отражены приоритетные процессы технологии проектирования [1—3].

Рис. 1. aVAD-модель "Процессы проектирования ССК"

Суть процессов на диаграмме заключается в следующем:

1. В геометрические ограничения, внутри которых может располагаться создаваемая конструкция, с учётом допустимых по компоновочным соображениям зон размещения силовых элементов, определяемых границами грузовых и пассажирских отсеков, ниш шасси, топливных баков, вырезов и т. п., вписывается гипотетическая непрерывная упругая среда переменной плотности и жёсткости (континуальная модель), которую будем называть заполнителем. Потенциально эта среда содержит внутри себя все возможные ССК, которые могут быть образованы сгустками материала. Допустимое геометрическое пространство разбивается сеткой трёхмерных конечных элементов, моделирующих объёмное напряжённое состояние — создаётся конечно-элементная модель первого уровня (КЭМ-1). Плотности материала в элементах принимаются за переменные проектирования.

2. Решается задача об оптимизации распределения плотности материала в КЭМ-1 с учётом ограничений по прочности, жёсткости и устойчивости [2]. В результате определяется теоретически оптимальная конструкция (ТОК). По границе невырожденных элементов определяется рациональная форма силовой части конструкции.

3. С использованием методики [1] анализируются основные пути передачи усилий в ТОК на основе картин распределения потоков главных усилий (ПГУ) и главных касательных сил (ГКС).

4. С учётом конструктивно-технологических требований и рекомендаций по п. 2 и 3 разрабатывается рациональный вариант ССК. Далее технические решения, реализующие выбранную структуру конструкции, находят воплощение в геометрической модели и конечно-элементной модели второго уровня (КЭМ-2), содержащих совокупность определённым образом расположенных силовых элементов объекта проектирования и соединённых между собой.

5. На заключительном этапе проектирования оценивается весовая эффективность ССК.

В процессах, указанных выше, переход от теоретически оптимальной упругой системы

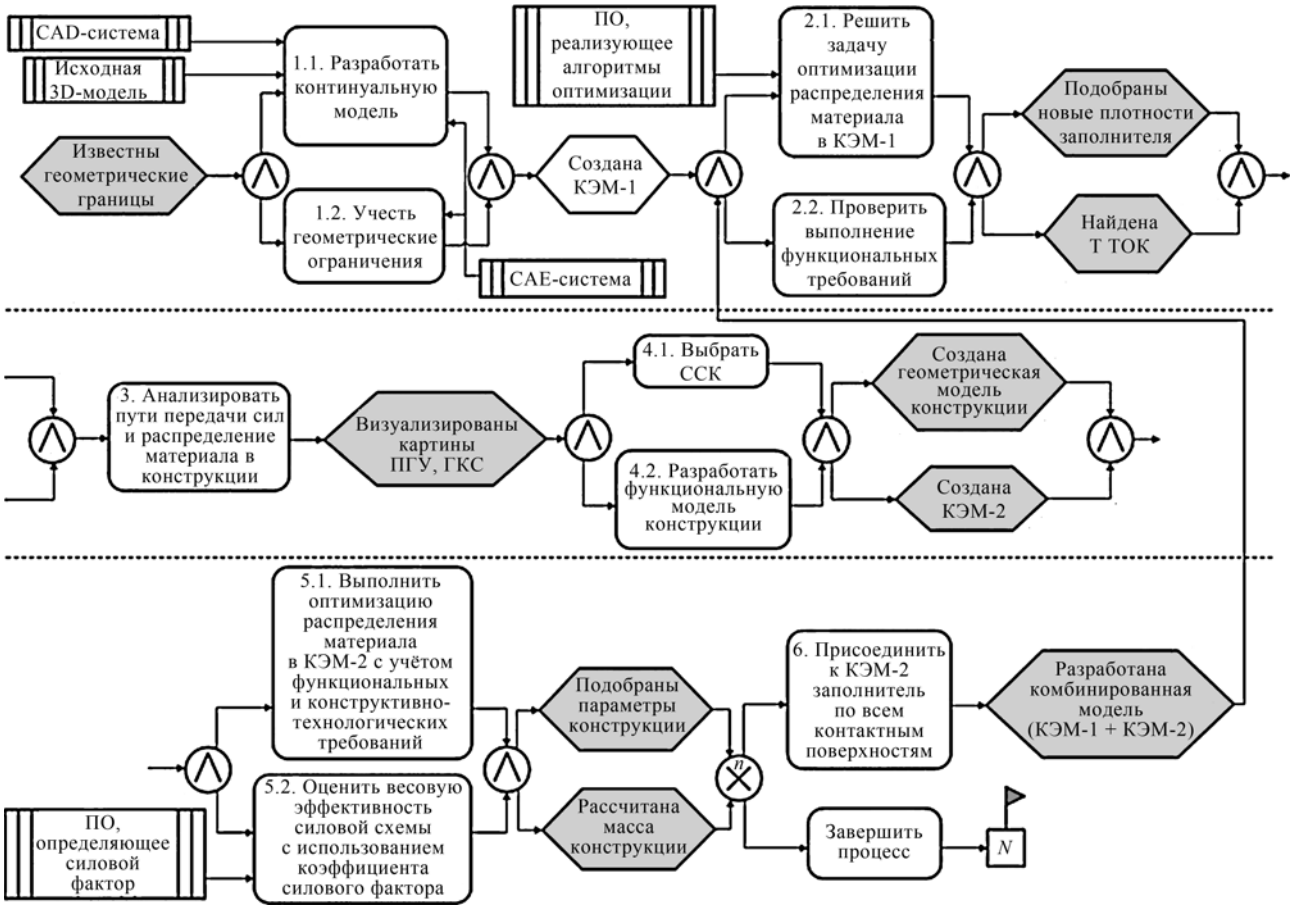


Рис. 2. aeEPC-модель "Процессы проектирования ССК: события и функции"

к реальной конструкции осуществляется с использованием эвристических приёмов, что создаёт риск принятия ошибочных проектных решений. В работе [3] предлагается развитие технологии проектирования ССК на основе поэтапного замещения гипотетического материала в континуальной модели элементами конструкции, реализующими конкретные технические решения. Постепенное внедрение в континуальную модель конструкционных элементов и оценка эффективности их силовой работы позволяют своевременно выявить и скорректировать возможные неудачные решения. Декомпозиция aVAD-модели процессов проектирования ССК с учётом указанного развития технологии представлена на рис. 2.

Процесс 1 начинается с события "известны геометрические границы". Это событие инициирует функции: вписать континуальный заполнитель (функция 1.1) в геометрические ограничения конструкции (функция 1.2). Исходная геометрическая 3D-модель импортируется из CAD-системы, функциональные модели КЭМ-1 и КЭМ-2 создаются в среде CAE-системы. Функции процесса 2 выполняются с использованием программного обеспечения (ПО), реализующего алгоритмы оптимизации континуальной модели [2]. В процессе 3 анализируются картины распределения ПГУ и ГКС в заполнителе. В результате процесса 4 на основе принятых технических решений по ССК разрабатываются геометрическая модель конструкции и КЭМ-2. Далее выполняется оптимизация распределения материала в КЭМ-2 с учётом функциональных ограничений по прочности, жёсткости, устойчивости и конструктивно-технологических требований (функция 5.1). Через специфический критерий "коэффициент силового фактора" [7] прогнозируется масса конструкции и оценивается весовая эффективность ССК (функция 5.2).

Затем к КЭМ-2 по всем контактным поверхностям присоединяется заполнитель (функция 6), и управление передаётся в процесс 2. Анализ основных путей передачи сил и распределения материала в заполнителе после оптимизации позволяет разработать рациональные варианты модификации ССК за счёт изменения формы и расположения имеющихся в КЭМ-2 силовых элементов или добавления дополнительных элементов. Итерационный процесс проектирования продолжается до тех пор, пока очередные изменения параметров ССК не приведут к снижению массы конструкции.

Разработанные в результате выполнения представленных на диаграмме процессов геометрическая модель и КЭМ-2 полностью определяют рациональную силовую схему изделия. На последующих этапах проектирования на базе геометрической модели конструкции с учётом выбранных параметров ССК создаётся более подробная конечно-элементная модель третьего уровня, которая является основой для уточнения формы и размеров силовых элементов и проведения поверочных расчётов.

Таким образом, разработаны aVAD/aeEPC-модели процессов проектирования силовых схем авиационных конструкций, направленные на синтез проектных решений в САПР и формирование базиса для обучения специалистов автоматизированному проектированию. Особенность формализованных процессов заключается в использовании на разных этапах модели первого уровня на основе деформируемого твёрдого тела переменной плотности, модели второго уровня, содержащей ансамбль силовых элементов объекта проектирования, а также комбинации этих моделей.

Библиографические ссылки

1. **Комаров В.А.** Проектирование силовых схем авиационных конструкций. Актуальные проблемы авиационной науки и техники. М.: Машиностроение, 1984. С. 114—129.

2. **Болдырев А.В.** Развитие технологии проектирования авиационных конструкций на основе модели переменной плотности // Общероссийский научно-технический журнал "Полёт". 2009. № 11. С. 23—28.

3. **Болдырев А.В., Павельчук М.В.** Развитие методики проектирования силовых схем авиационных конструкций с использованием модели тела переменной плотности // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2013. Т. 15. № 6 (3). С. 603—606.

4. **Репин В.В., Елиферов В.Г.** Процессный подход к управлению. Моделирование бизнес-процессов. М.: РИА "Стандарты и качество", 2004. 408 с.

5. **Аксёнова О.П., Аксёнов К.А., Антонова А.С., Смолий Е.Ф.** Анализ графических нотаций для имитационного моделирования бизнес-процессов предприятия // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 4. URL: http://www.science-education.ru/110-9745 (дата обращения: 29.05.2014).

6. **Иващенко А.В., Кожевников С.С., Кременецкая М.Е.** Интегративное проектирование единого информационного пространства предприятия. Самара: СНЦ РАН, 2010. 100 с.

7. **Комаров В.А.** Весовой анализ авиационных конструкций: теоретические основы // Общероссийский научно-технический журнал "Полёт", 2000. № 1. С. 31—39.

УДК 65.9

А.П. Иванов, д-р экон. наук, проф.
(Московский государственный университет путей сообщения),
А.С. Михалёв
(ОАО "Уралсиб", г. Москва)

alexmikhalev87@gmail.com

КРЕДИТОВАНИЕ ЮРИДИЧЕСКИХ ЛИЦ КАК ФАКТОР УСТОЙЧИВОСТИ БАНКА

Рассмотрены различные подходы к определению категории финансовая устойчивость. Показано влияние кредитной политики, ориентированной на выдачу ссуд юридическим лицам, на показатели устойчивости банка.

Ключевые слова: финансовая устойчивость; кредитный портфель; просроченная задолженность; доля резервирования; ликвидные средства; средства клиентов.

Various approaches to the definition of the financial stability category are considered. The effect of the credit policy oriented to juridical persons loans payment on the bank performance stability is shown.

Key words: financial stability; the loan portfolio; the time limit exceeded arrears; the backup share; liquid assets; client assets.

В рыночных условиях преимущество банка заключается в способности выстроить оптимальную структуру баланса, наиболее полно отвечающую текущим стратегическим инициативам кредитной организации, её возможностям и определённому долгосрочному вектору развития, географии банка, макроэкономическому фону, потенциальным прогнозируемым угрозам и другим особенностям. В числе первостепенных факторов, учитываемых при планировании структуры активов и пассивов кредитной организации, является "финансовая устойчивость" банка при выбранной политике.

В настоящее время единого определения категории "финансовая устойчивость" не существует [1—3]. В рамках данной статьи содержание рассматриваемого понятия заключается в следующем: "финансовая устойчивость банка характеризуется составом и размещением средств, структурой их источников, способностью данного финансового учреждения погашать свои обязательства в срок и в полном объёме" [4].

Необходимо отметить, что структура баланса банка может существенно зависеть от ориентации на определённый клиентский сегмент кредитования. Существуют кредитные организации, имеющие достаточно сопоставимые объёмы ссуд, выданных юридическим и физическим лицам (например, МТС-Банк, Росбанк, Уральский Банк Реконструкции и Развития, Уралсиб). Банки ВТБ 24, ОТП-Банк, "Русский Стандарт" в большей степени ориентированы на работу с физическими лицами.

В сложившейся структуре отечественного банковского сектора большинство кредитных организаций акцентируют внешнюю деятельность на кредитование юридических лиц. В связи с данным фактом интерес представляет количественная оценка изменений показателей финансовой устойчивости банка при выборе кредитной политики, направленной преимущественно на кредитование юридических лиц.

В качестве базиса исследования были взяты 50 банков с наибольшими объёмами активов на конец 2013 г. [5]. Соответствующие данные по отчётам о прибылях и убытках, а также оборотно-сальдовые ведомости по выбранным банкам были заимствованы из базы данных [6]. Итоговые балансы и отчёты о прибылях и убытках по выбранной группе кредитных организаций получены на основе указания [7]. Ретроспектива указанных отчётов была выбрана с начала 2011 г. по 2013 г. включительно.

Определены три группы банков: "корпоративный", "розничный", "универсальный". К первой группе отнесены кредитные организации, у которых средневзвешенное значение объёма ссудной задолженности юридическим лицам в общем объёме кредитного портфеля (брутто) превышало 80 % в рассматриваемый временной интервал. Аналогично, во вторую группу включены банки, у которых доля кредитов физическим лицам в общем объёме

портфеля также составляет более 80 %. При этом весовые коэффициенты отношения объёма ссудной задолженности отдельному клиентскому сегменту к общему объёму кредитного портфеля в ранние периоды выбирались наименьшими. Далее до конца 2013 г. включительно предполагался равномерный рост указанного весового показателя.

Кредитные организации, не удовлетворившие обозначенным условиям, отнесены в группу "универсальных" банков. На последнем этапе было проведено усреднение рассчитанных показателей эффективности деятельности по указанным группам кредитных организаций. Полученные данные по группе "розничных" банков выделены для более корректного расчёта показателей эффективности по двум другим группам.

Так как указания ЦБ РФ не предполагают жёсткого закрепления группировки счетов оборотно-сальдовой ведомости и символов отчёта о прибылях и убытках в итоговых формах [7], отметим некоторые существенные детали. Под кредитным портфелем будем понимать объём ссудной задолженности без учёта резервов (брутто). Объём резервов по юридическим и физическим лицам включает в себя объём резерва по просроченной задолженности, который распределялся пропорционально объёмам просроченной задолженности юридических и физических лиц в совокупном кредитном портфеле. В состав ликвидных активов включались денежные средства, средства на корреспондентских счетах, овернайты, обязательные резервы в ЦБ. Работающие активы определялись как сумма активных межбанковских кредитов, кредитного портфеля, ценных бумаг (все составляющие с учётом резервов). В состав ликвидных резервов входили долговые обязательства РФ, субъектов РФ и органов местного самоуправления, а также Банка России. В связи с тем, что межбанковские кредиты (МБК) часто используются банками как один из инструментов управления ликвидностью, объёмы по данному виду активов не включались ни в объёмы кредитного портфеля юридических лиц, ни в объём ссудной задолженности в целом. При этом стоит подчеркнуть, что непосредственно ликвидные средства рассчитывались также без учёта МБК, так как на настоящий момент не существует единого мнения, какой срочности МБК можно причислять к ликвидным активам.

Определим инструментарий анализа финансовой устойчивости деятельности кредитной организации. Исследуемые показатели разделим на три группы. В первую группу выделим показатели, непосредственно относящиеся к кредитному портфелю: доля резервирования ссудной задолженности, доля просроченной задолженности в кредитном портфеле (брутто). Во второй группе показателей рассматриваются соотношения, характеризующие качество структуры активной части баланса: отношение ликвидных активов к валюте баланса банка, доля работающих активов, отношение суммы ликвидных активов и ликвидных резервов к валюте баланса. В третью группу входят показатели, характеризующие взаимосвязь пассивной и активной баз кредитной организации, а также структуру обязательств банка: соотношение ликвидных активов к средствам клиентов "до востребования" и срочностью менее 30 дней, доля депозитов "до востребования", соотношение объёма выпущенных векселей и банковских акцептов к собственным средствам.

Проанализируем полученные данные по группе "корпоративных" и "универсальных" банков. Достаточно показательные результаты получаются при рассмотрении доли просроченной задолженности по кредитам юридическим лицам.

Во-первых, необходимо отметить, что на протяжении исследуемого временного интервала данное соотношение по группе "корпоративных" банков оставалось меньшим в сравнении с "универсальными" кредитными организациями.

Во-вторых, темп прироста рассматриваемых показателей по группе "корпоративных" банков в среднем составлял 9 % в год, в то время как прирост просроченной задолженности юридических лиц у "универсальных" банков в среднем находился на уровне 20 % в год. При этом непосредственно кредитный портфель юридических лиц у банков "корпоративной" группы наращивался более высокими темпами, чем у "универсальных" кредитных организаций. Необходимо отметить, что доля резервирования ссудной задолженности юридических лиц у "корпоративных" банков, в отличие от "универсальных" кредитных организаций, хронологически имеет нисходящий тренд (рис. 1).

Из приведённых данных видно, что кредитные организации "корпоративной" группы не только на настоящий момент, но и исторически имеют более качественный портфель ссудной задолженности юридическим лицам. При этом показатель доходности по ссудам, выданным юридическим лицам, у группы "универсальных" банков, как правило, не опускается ниже аналогичного показателя по кре-

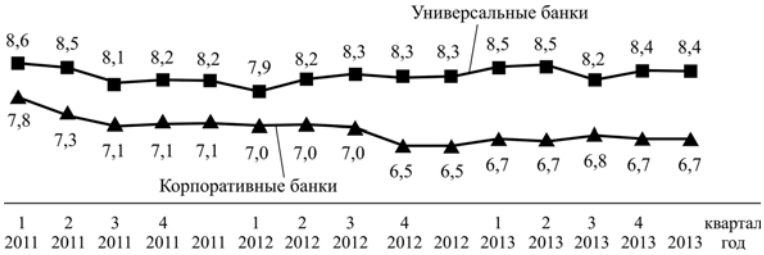


Рис. 1. Доля резервирования кредитного портфеля юридических лиц (%)

дитным организациям, отнесённым к "корпоративным". Данное обстоятельство может объясняться различиями в продуктовой структуре портфеля юридических лиц, а также разной степенью диверсификации совокупного портфеля между клиентами крупного и более доходного среднего и малого бизнесов. Последнее отчасти обуславливает разницу в качестве портфеля ссудной задолженности юридическим лицам определённых групп банков.

Соответствующие показатели кредитного портфеля физических лиц позволяют наблюдать иные тренды. На рассматриваемом временном интервале доля просроченной задолженности по группе "корпоративных" банков снизилась с 10 % на конец 2011 г. до 6 % на конец 2013 г. При этом аналогичный показатель по группе "универсальных" кредитных организаций уменьшился с 7 % на конец 2011 г. до 5 % на конец 2013 г. Таким образом, можно предположить, что "корпоративные" банки предпочитают вести более доходную кредитную политику при работе с физическими лицами, чем "универсальные". Данное обстоятельство может объясняться наличием у первых более крупного и качественного портфеля кредитов юридическим лицам, что позволяет эффективнее диверсифицировать остальные источники дохода по степени риска.

Доля резервирования совокупного кредитного портфеля по группе "корпоративных" банков на протяжении всего исследуемого временного промежутка находилась ниже аналогичного показателя "универсальных" банков. Среднеквартальное значение данного показателя по "корпоративным" кредитным организациям находится на уровне 7,0 %, по второй анализируемой группе банков — 8,5 %. При этом по группе "универсальных" банков динамика рассматриваемого показателя после спада в 2011 г. имеет восходящий тренд. Таким образом, по итогам 2013 г. уровень резервирования кредитного портфеля приблизился к значениям аналогичного показателя на конец 2010 г. В то же время динамика доли резервирования совокупного кредитного портфеля по группе "корпоративных" банков на исследуемой ретроспективе данных имеет нисходящий тренд: с 8,3 % на конец 2010 г. до 6,5 % на конец 2013 г.

Сравним объём ликвидных средств у банков "корпоративной" и "универсальной" групп. Имея меньший объём более доходных кредитов физическим лицам в совокупном объёме ссудной задолженности, банки "корпоративной" группы обладают соответственно и меньшими показателями доходности по кредитному портфелю в целом. Нивелировать сравнительно низкую доходную часть возможно, в том числе за счёт уменьшения стоимости привлечения. Последнее, в свою очередь, может быть реализовано, к примеру, посредством наращивания дешёвых депозитов "до востребования". Однако данная стратегия требует иметь на балансе сравнительно большую долю ликвидных средств.

Приведённое суждение подтвердилось и в расчётных данных. Среднеквартальная доля ликвидных средств за рассматриваемый временной интервал по группе "корпоративных" банков составила 11,6 %. Аналогичное соотношение по "универсальным" кредитным организациям было зафиксировано на уровне 8,9 %. Расчёт доли суммы ликвидных активов и ликвидных резервов в валюте баланса также показал более высокие значения по группе "корпоративных" банков.

Больший запас ликвидных активов отражается и на доле работающих активов в валюте баланса. Среднеквартальное значение указанного соотношения на 2,6 процентных пункта больше у банков "универсальной" группы.

Резюмируя изложенное по активной части баланса, можно констатировать, что кредитные организации "корпоративной" группы большей доходности предпочитают более устойчивую структуру размещения. Основными отличительными характеристиками последнего служат более качественная структура кредитного портфеля и большие запасы ликвидных средств.

Рассмотрим пассивную составляющую баланса. Как отмечалось выше, наличие у "корпоративных" банков менее доходной структуры активов вызывает необходимость иметь более дешёвую структуру привлечения. Данное утверждение подтверждается при рассмотрении доли депозитов "до востребования" в средствах клиентов. Среднеквартальное значение указанного соотношения по группе "универсальных" банков составляет 31 %, что на 5 процентных пункта меньше аналогичного

показателя по "корпоративным" кредитным организациям.

Следующим фактором, влияющим на стоимость депозитной базы, является средняя срочность средств клиентов. Среднеквартальная доля депозитов, принятых на срок более 1 года в совокупных срочных средствах клиентов по группе "корпоративных" банков на рассматриваемом временном интервале составляет порядка 56,9 %. Аналогичный показатель по "универсальным" кредитным организациям находится на уровне 66,8 %. При этом при расчёте среднеквартальной доли депозитов, принятых на срок до 30 дней, были получены результаты на уровне 12,3 и 9,6 % по "корпоративным" и "универсальным" банкам соответственно. Анализ депозитной базы по оставшимся срокам привлечения также подтверждает суждение о более длинных сроках привлечения депозитов кредитными организациями "универсальной" группы. Таким образом, есть основания полагать, что структура срочных депозитов средств клиентов способствует меньшей стоимости привлечения у банков "корпоративной" группы, в сравнении с "универсальными" кредитными организациями.

Структура привлечения, содержащая большую долю депозитов "до востребования" и краткосрочных средств клиентов, несёт в себе больший риск ликвидности. Ранее было показано, что доля ликвидных активов на балансе банков "корпоративной" группы больше, чем у "универсальных" кредитных организаций. Однако интересным представляется вопрос сравнительной достаточности объёма ликвидных средств "корпоративных" банков для поддержания сложившейся структуры пассивной базы. Рассмотрим соотношение ликвидных активов к краткосрочным депозитам (рис. 2).

Необходимо отметить, что по группе "корпоративных" кредитных организаций указанный показатель рассматривался без учёта данных по "МСП-Банк" и АКБ "Национальный клиринговый центр" в силу специфики их деятельности.

Согласно полученным данным (см. рис. 2) можно заключить, что "универсальные" кредитные организации на протяжении рассматриваемой ретроспективы данных имели меньшие значения соотношения ликвидных активов и краткосрочных депозитов. Таким образом, есть основания считать сравнительно дешёвую структуру средств клиентов "корпоративных" банков более обеспеченной ликвидными активами, а следовательно, и сопоставимой по степени финансовой устойчивости с кредитными организациями "универсальной" группы.

Дополнительным фактором, положительно влияющим на стоимость ресурсов, может служить интенсивность использования эмитированных ценных бумаг — векселей и банковских акцептов. Указанные ценные бумаги, в силу сравнительно большей обращаемости, при взаимодействии с юридическими лицами, как правило, являются более дешёвым инструментом привлечения средств. Интенсивность их использования рассмотрим с помощью соотношения выпущенных векселей и банковских акцептов к собственным средствам кредитной организации (рис. 3).

Из представленных данных видно, что кредитные организации "корпоративной" группы на протяжении всего исследуемого временного промежутка больше пользовались возможностью размещения собственных ценных бумаг. Последнее связано со спецификой деятельности "корпоративных" банков, так как рассматриваемые инструменты привлечения в большей степени характерны при работе с юридическими лицами.

Резюмируя изложенное, можно предположить, что банки, акцентирующие свою кредитную политику на работе с юридическими лицами, имеют более устойчивую структуру активов, что выражается прежде всего в более качественном составе кредитного портфеля, меньшем объёме и лучшей динамике резервирования, большей подушке ликвидности.

В связи с тем, что менее рискованная структура активной части баланса влечёт за собой и меньшую доходность бизнеса, кредитные организации "корпоративной" группы более ин-

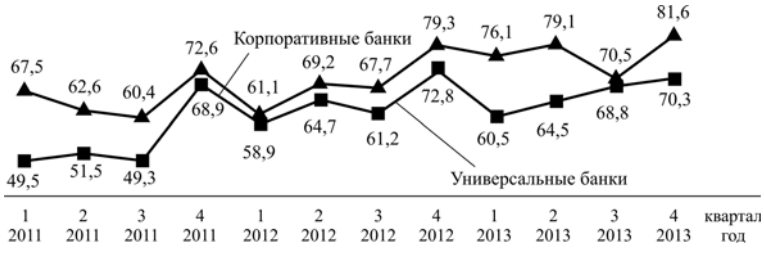


Рис. 2. Отношение ликвидных активов к сумме депозитов "до востребования" и депозитов срочностью менее 30 дней (%)

Рис. 3. Соотношение выпущенных векселей и банковских акцептов к собственным средствам (%)

тенсивно используют эмитированные ценные бумаги и имеют более краткосрочную структуру депозитов. При этом "корпоративные" кредитные организации в большей степени обеспечивают ликвидными средствами свои объёмы краткосрочного привлечения.

Библиографические ссылки

1. **Банк В.Р., Банк С.В., Тараскина А.В.** Финансовый анализ: учебн. пособие. М.: Проспект, 2006. 344 с.
2. **Ковалёв В.В., Ковалёв В.В.** Учёт, анализ и финансовый менеджмент: учебно-методич. пособие. М.: Финансы и статистика, 2006. 688 с.
3. **Тавасиева А.М.** Банковское дело. М.: Юнити, 2005. 672 с.
4. **Шамин Д.В.** Анализ методики финансовой устойчивости банков на основании определения уровня толерантности к рискам // Бухгалтерия и банки. 2014. № 7. С. 4.
5. **Рейтинговые** данные сайта URL: http://bankir.ru (дата обращения 20.08.2014).
6. **Материалы** сайта URL:http://www.Cbr.ru (дата обращения: 20.08.2014).
7. **О перечне**, формах и порядке составления и представления форм отчётности кредитных организаций в Центральный Банк Российской Федерации. Указание Центрального Банка Российской Федерации от 12 ноября 2009 г. № 2332-у.

УДК: 65.015.22

В.Ф. Макаров, д-р техн. наук, проф., **В.Р. Туктамышев,** канд. техн. наук, доц.,
С.В. Масленков, Д.В. Глухов
(Пермский национальный исследовательский политехнический университет)
leon_sk@mail.ru

ТЕХНИЧЕСКОЕ НОРМИРОВАНИЕ ТРУДА В МАШИНОСТРОЕНИИ. АНАЛИЗ ИЗВЕСТНЫХ МЕТОДОВ

Рассмотрены основные методы назначения оптимальных норм времени на изготовление детали. Показаны их преимущества и недостатки. Предложена новая система назначения норм времени.

Ключевые слова: нормирование; нормы времени; хронометрирование.

The basic methods of optimal time norm setting are considered. Their advantages and disadvantages are shown. A new system of time norms setting is proposed.

Key words: rate setting; time norm; timekeeping.

В машиностроении в условиях современной конкуренции важно с минимальными экономическими затратами обеспечить качество изготовляемых деталей. Большая роль в этом отводится техническому нормированию. Как известно, норма времени используется в расчёте заработной платы рабочего, а также вычислении себестоимости производства деталей. Кроме того, с помощью технического нормирования определяют:

необходимое количество оборудования, инструмента и рабочих;

время производственного цикла;

стратегическое и оперативное планирование производства;

производственная мощность цехов, отделений и участков.

Однако при планировании производства возникает проблема расчёта оптимальных норм, так как не всегда можно получить верные результаты по известным методам.

На современном предприятии выделяют следующие основные функции инженера-технолога:

1) разработка технологической документации для обрабатываемых изделий;

2) проведение мероприятий по обеспечению высокого качества изделий;

3) назначение норм расхода материалов и норм времени выполнения технологических операций;

4) проведение работ в целях увеличения эффективности изготовления деталей и сокращения затрат на нее;

5) контроль выполнения исполнителями требований технологической документации.

Сложно осуществить эффективный контроль выполнения исполнителями требований технологической документации, а их нарушение влечёт за собой серьёзные последствия, такие как увеличение расхода материалов и времени изготовления изделий, а также ухудшение качества выпускаемой продукции. Таким образом, возникает необходимость в строгом контроле норм времени на изготовление детали.

Норма времени — интегральный показатель выполнения технологии. Если исполнитель отклоняется от норм, то это означает, что

он действует не по технологическому процессу, либо технологический процесс разработан некачественно и не соответствует реальным условиям обработки. В первом случае требуется дополнительное обучение персонала и проведение разъяснительной работы, во втором — переработка технологического процесса.

Объективные нормы расхода материалов и нормы времени могут служить хорошим фундаментом для обеспечения качества, дальнейшего увеличения эффективности обработки детали и сокращения затрат на обработку.

На сегодняшний день, исходя из практики отечественных и зарубежных предприятий, существует несколько методов назначения норм.

В работе [1] приведена следующая классификация методик определения норм труда:

Аналитический метод. В его основе лежит анализ производства продукции на предприятии, а также возможности улучшения трудового процесса.

При его использовании применяются рациональные нормы, способствующие повышению производительности труда и эффективности производственного процесса.

В работе [2] выделяют две разновидности аналитического метода нормирования:

Аналитически-исследовательский метод. В его основе лежит подсчёт времени, затрачиваемого исполнителем с использованием непосредственно на рабочем месте специальных методов наблюдения, например, фотохронометраж, а также тщательное изучение процесса производства с разделением операции на отдельные элементы. На основе полученных данных проектируют оптимальное место исполнителя и режим загрузки оборудования.

Аналитически-расчётный метод позволяет определить затраты времени по зависимостям, влияющим на длительность выполнения операции; нормам; режимам загрузки оборудования, которые были установлены заранее, а также установить количество занятых вспомогательных рабочих, исполнителей, специалистов и руководителей.

Суммарный метод, также известный как опытно-статистический, основан на статистических данных об изготовлении изделий за определённый период или на оценках экспертов.

Недостатком опытно-статистического метода является то, что он не влияет на эффективность производственного процесса, определяя только непосредственные затраты труда. Таким образом, его применение рационально лишь в определённых случаях (например, при ведении нормированиях опытных работ).

В качестве методов изучения затрат рабочего времени в работе [1] выделяют хронометраж и фотохронометраж.

Прямой хронометраж предусматривает постоянное фиксирование действий исполнителя в течение рабочей смены, при этом используют несколько методов:

хронометраж своих действий непосредственно рабочим, который отмечает свои действия в специальном бланке. Однако указанный метод имеет ряд недостатков: низкая объективность данных, например, исполнитель может не учесть нерегламентированные перерывы в работе или некоторые из своих действий, производимые не по технологии. Также процесс хронометража отнимает время у рабочего, что увеличивает трудоёмкость изготовления деталей;

фиксация действий исполнителя специально выделенным человеком. При таком подходе объективность, несомненно, выше, однако возможны отклонения, связанные с человеческим фактором. Кроме того, возникают дополнительные затраты с вовлечением дополнительного персонала. Желательно использовать высококвалифицированного специалиста, которым может быть технолог. Но это также нежелательно, поскольку на какой-то период выводит из системы подготовки производства необходимые человеческие ресурсы. Поэтому применение данного метода ограничивается проведением эпизодических проверок соответствия нормативов времени реальным условиям производства.

Фотография рабочего дня — это периодическая проверка работы исполнителя, когда фиксируется состояние рабочей зоны станка через определённые периоды времени (каждые 2 ч, 30 мин и т.д.).

Недостатком этого метода является низкая информативность при частой смене номенклатуры. Поэтому его применяют при длинноцикловых операциях с чётко регламентированными периодами отдыха исполнителей. На высокопроизводительных предприятиях, где номенклатура деталей может меняться до 15 раз в течение смены, метод фотографии неприменим. В силу того, что существуют затруднения при выделении основного и вспомогательного времени из времени цикла, этот метод также имеет значительные погрешности.

В качестве методов изучения затрат рабочего времени [3] также выделяют съёмку производственными телевизионными установками и автоматическую регистрацию осциллографом через систему датчиков.

Недостатком этих методов является применение дополнительного дорогостоящего оборудования.

Кроме упомянутых выше методов, выделяют микроэлементное и элементное нормирование работы исполнителя [4, 5]. Суть первого метода в том, что все действия исполнителя состоят из фиксированного числа простых трудовых движений конечностей, глаз, пальцев и т.д. Называются эти базовые элементы микроэлементами.

Недостаток этого метода в том, что он применим только для конкретного оборудования и конкретного исполнителя.

При изучении методов назначения норм времени, сложившихся за рубежом, выделяют три основных направления [4, 6, 7]; использование элементных и микроэлементных нормативов, а также определение норм на основе фактического изучения затрат времени исполнителем (например, с помощью хронометража).

Анализируя описанные выше методы, можно отметить, что каждый из них имеет те или иные существенные недостатки. Предложен метод назначения норм времени — прямое хронометрирование с использованием аппаратного обеспечения станков с ЧПУ.

Данный метод основан на применении дополнительных модулей системы ЧПУ в стойке станка, которые автоматически хронометрируют все действия, производимые на стойке, кроме того, они могут выводить диалоговые окна для оператора, запрашивающие, какие действия он производит в данный момент. Примером такого модуля является MDA фирмы Siemens (Германия) (см. рисунок).

Достоинством указанного метода является то, что назначение и анализ норм времени производится не на точечных сведениях, а на непрерывно пополняющейся базе данных. Следовательно, в этом случае не составляет труда отслеживать и выявлять причины отклонений от норм времени, а также корректировать эти нормы в случае необходимости.

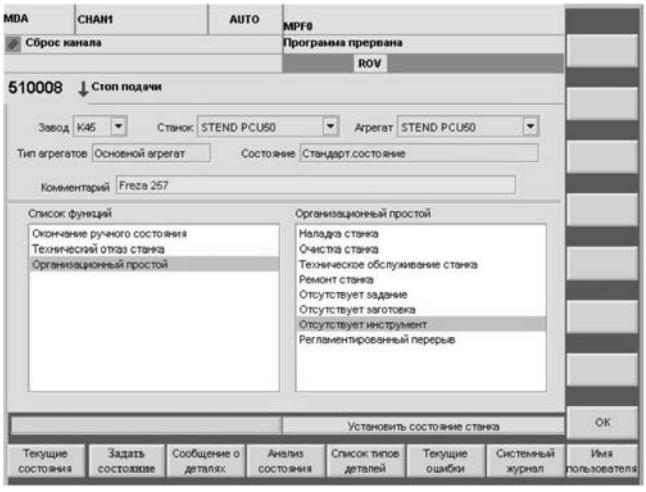
Использование метода предоставит объективную информацию о времени работы станка. Сведения о вспомогательных действиях, таких как подналадка, установка детали, и т.д. будут зависеть от дисциплинированности исполнителя.

Данный метод позволит в кратчайшие сроки с большой точностью назначать нормы времени на механическую обработку изделий, а также выявлять отклонения от них и производить корректировку.

Простое накопление данных о сроках выполнения технологических операций само по себе не даёт конкретных значений, применимых при нормировании технологических процессов. Требуются дополнительный анализ и математическая обработка полученной информации. Задача осложняется тем, что сведения поступают и накапливаются непрерывно, образуя большие массивы данных.

Таким образом, в дальнейшем для эффективного использования нового метода накопления информации о сроках выполнения технологических процессов требуется разработка математического аппарата, позволяющего производить статистическую обработку большого объёма материалов, поступающих непрерывно, выделяя достоверные значения и отсеивая случайные погрешности.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (договор № 02.G25.31.0068 от 23.05.2013 г. в составе мероприятия по реализации постановления Правительства РФ № 218).



Пример экрана стойки станка с выбором причины простоя. Модуль MDA

Библиографические ссылки

1. **Яркина Т.В.** Основы экономики предприятия: учеб. пособ. М.: Российский гуманитарный интернет-университет (РГИУ), 2005. 85 с.

2. **Либерман И.А.** Техническое нормирование, оплата труда и проектно-сметное дело в строительстве: учеб. М.: ИНФРА-М, 2010. 400 с.

3. **Нечаев В.И., Парамонов П.Ф.** Организация производства и предпринимательской деятельности в АПК. КубГАУ: Краснодар, 2007. 466 с.

4. **Пашуто В.П.** Организация, нормирование и оплата труда на предприятии: учеб.-практич. пособ. М.: КНОРУС, 2005. 320 с.

5. **Осипов В.П.** Организация труда персонала: учеб.-метод. комплекс. Ч. 2. Нормирование труда персонала. Новосибирск: НГУЭУ, 2011. 136 с.

6. **Karger, Delmar W. & Bayha, Franklin H.** Engineered work measurement, fourth edition. Industrial Press.

7. **Zandin K.B.** MOST Work Measurement Systems, 3-rd Edition Hardcover — December 19, 2002.

ПО СТРАНИЦАМ ЖУРНАЛОВ

Применение универсальной волнообразной функции в плоской задаче оптимизации формы контактирующих поверхностей деталей машин. *Вестник машиностроения.* 2014. № 11.

Рассмотрена задача упругого контакта криволинейной поверхности с переменной формой и плоской поверхности без учёта трения с использованием специальной периодической функции, описывающей волнистую поверхность, и уравнений плоских периодических контактных задач на основе замены переменных и переходе к интегральным уравнениям с ядром Гильберта. Показано, что при определённой форме выступа достигается равномерное распределение давления. Предложена методика определения такой формы.

Механизм движения самоходной транспортной машины. *Вестник машиностроения.* 2014. № 11.

Рассматривается механизм создания движущей силы — тяги самоходной транспортной машины с использованием силы, развиваемой движителем при взаимодействии машины с опорной поверхностью.

Исследование поворота энергоэффективной быстроходной гусеничной машины с интеллектуальной электрической трансмиссией. *Вестник машиностроения.* 2014. № 11.

Рассмотрены преимущества рекуперативного торможения отстающего борта быстроходной гусеничной машины при повороте по сравнению с динамическим торможением. Определены параметры регулирования силовых преобразователей бортовых вентильных двигателей, обеспечивающих рекуперативное торможение при повороте и прямолинейное движение.

Повышение точности фрезерования многогранников из титановых сплавов. *Вестник машиностроения.* 2014. № 11.

Разработана методика повышения точности автоматизированного изготовления многогранников с использованием специализированной программы анализа данных динамометрии с целью синхронизации начала измерения с началом резания. Получены математические модели составляющих сил резания, используемые в качестве критериальных при адаптивном управлении процессом фрезерованя.

Изотермическое деформирование куполообразных оболочек из высокопрочных анизотропных материалов в режиме ползучести. *Вестник машиностроения.* 2014. № 11.

Предложена математическая модель изотермического деформирования куполообразных оболочек из анизотропных высокопрочных материалов в режиме ползучести, позволяющая оценить кинетику течения материала, напряженно-деформированное состояние заготовки, силовые режимы, геометрические размеры изготовляемых деталей и предельное деформирование. Приведены примеры куполообразных оболочек.

Прозрачные проводящие тонкопленочные покрытия на основе оксидов индия и олова в современных электронных приборах. *Наноинженерия.* 2014. № 11.

На основе публикаций последних лет сделан обзор современного состояния мирового рынка прозрачных проводящих покрытий. Описаны изменения и сделан прогноз развития рынка прозрачных проводящих покрытий и рынка оксида индия-олова как основного компонента рынка прозрачных проводящих покрытий под влиянием новых секторов применения.

Современные оптоэлектронные приборы на основе селенида цинка. *Наноинженерия.* 2014. № 11.

Обсуждается современное состояние мирового рынка селенида цинка, дан анализ тенденций их развития. Рассмотрены особенности технологии роста кристаллов селенида цинка; проведён анализ характеристик получаемых материалов, приборов на их основе, а также основных производителей.

Исследование структурных схем полуфабрикатов в кластерном технологическом оборудовании в полупроводниковом производстве. *Наноинженерия.* 2014. № 11.

Исследуется многокластерный технологический комплекс и варианты его компоновки, а также предлагается методология расчёта различных вариантов компоновки с учётом топологии транспортных связей в кластерах в зависимости от комбинаторно-групповых свойств типов архитектуры комплекса.

Анализ процесса сжигания сырья в производстве активированного угля. *Наноинженерия.* 2014. № 11.

Статья посвящена способу получения активированного угля и диоксида кремния путём утилизации рисовой шелухи. Приведён анализ влияния температурных факторов на процесс термического разложения органических веществ с целью определения оптимальных условий технологического процесса.

Применение нормативных документов в целях оценки соответствия систем менеджмента качества. *Наноинженерия.* 2014. № 11.

Проведён анализ методической базы регулирования систем менеджмента качества. Дополнен набор критериев оценки систем обеспечения качества. Предлагаемый подход к проведению экспертизы гармонизирован с мировой практикой аудита СМК.

Влияние деформационной наследственности на физико-механические свойства стали 08Х18Н10Т при высоких температурах нагрева. *Наукоёмкие технологии в машиностроении.* 2014. № 11.

Исследовано влияние деформационной наследственности стали 08Х18Н10Т на её физико-механические свойства при высоких температурах нагрева.

Метод и устройство для получения ультрамелкозернистой структуры материала прутковых заготовок. *Наукоёмкие технологии в машиностроении.* 2014. № 11.

Представлен процесс получения нанокристаллической структуры материала прутковых заготовок интенсивной пластической деформацией путём прессования прямолинейной заготовки в Z-образный полуфабрикат и последующим формоизменением полуфабриката вновь в прямолинейную заготовку с повторением данного цикла обработки. Рассмотрен вариант устройства для реализации процесса.

Совершенствование способа чистовой анодно-механической обработки цветных металлов и их сплавов. *Наукоёмкие технологии в машиностроении.* 2014. № 11.

Разработан способ комбинированной отделочной механической обработки цветных металлов и их сплавов. Определена схема установки, обеспечивающая необходимые условия протекания процесса обработки. Обработка представляет сочетание механического и анодного воздействия на поверхность заготовки. Способ позволяет получать при обработке алюминиевых и медных сплавов более высокие параметры качества получаемой поверхности.

Расширение технологических возможностей упрочняющей обработки металлических материалов волновым деформационным воздействием. *Наукоёмкие технологии в машиностроении.* 2014. № 11.

Описаны технологические возможности упрочнения ударными волнами деформации металлических материалов.

Автоматизация принятия конструкторских решений в соответствии с технологическими возможностями многономенклатурных производственных систем. *Наукоёмкие технологии в машиностроении.* 2014. № 11.

Предложен подход к обеспечению принятия рациональных конструкторских решений на основе учёта условий и возможностей производственной системы, в которой предполагается изготовление проектируемого изделия.

Сравнительный анализ авиационного дизельного и газотурбинного двигателей в системе легкого регионального самолёта. *Полёт.* 2014. № 11.

Исследованы летно-технические и экономические характеристики самолётов местных воздушных линий с дизельными и газотурбинными двигателями. Приняты типовые полёты общей протяженностью одноплечевого $L_п$ приблизительно 1500 км и двухплечевого маршрутов $L_п$ приблизительно 1000 км с учётом ограничений по продолженному взлёту с бетонной и грунтовой взлётно-посадочных полос длиной 800 м. Показана экономическая целесообразность применения малых авиационных газотурбинных двигателей для самолётов малой (до 5—6 человек) авиации.

Методика определения времени пребывания астероидов на подлётных траекториях вне зоны видимости наземных телескопов. *Полёт.* 2014. № 11.

Описана методика определения времени пребывания опасного астероида вне зоны видимости телескопа, находящегося на гелиоцентрической орбите Земли. Проведена апробация методики применительно к задаче определения множества орбит астероидов, обнаружение которых с Земли затруднено или невозможно вследствие физических ограничений по допустимому углу солнечной элонгации.

Информационно-измерительная система сбора и обработки параметров работы подвесного агрегата заправки. *Полёт.* 2014. № 11.

Рассмотрена реализация информационно-измерительной системы сбора и обработки параметров работы подвесного агрегата заправки. Разработано специальное программное обеспечение, проведён анализ работы агрегата.

Аэродинамическое подобие свободнолетающих моделей. *Полёт.* 2014. № 11.

На основе анализа безразмерного уравнения газовой динамики Навье—Стокса предложен новый критерий аэродинамического подобия $Ru = M^2/Re$, который эквивалентен двум известным критериям: M и Re и более удобен применительно к свободнолетающим моделям. Описана методика его использования для переноса результатов модельных испытаний на натуру.

Методика обоснования целесообразности двойного использования космических комплексов. *Полёт.* 2014. № 11.

Целесообразность двойного использования космических комплексов (КК) определяется возможностью снижения затрат на решение целевых задач (ЦЗ) в космосе по сравнению с вариантом создания нового КК. Предложена методика сравнительной оценки затрат на решение ЦЗ обоими способами. Результаты модельных оценок подтверждают возможность получения существенного выигрыша в стоимости решения ЦЗ при двойном использовании КК.

Облучатели бактерицидные. *Сборка в машиностроении, приборостроении.* 2014. № 11.

Описаны облучатели, предназначенные для обеззараживания воздуха и поверхностей помещений с повышенным риском распространения возбудителей инфекций. Приведена кривая указанного бактерицидного воздействия излучения на микроорганизмы. Представлены основные параметры и технические характеристики облучателей различных видов. Показана сборка общего вида облучателя с основными его элементами.

Способы базирования сопрягаемых деталей при сборке. *Сборка в машиностроении, приборостроении.* 2014. № 11.

Рассмотрены три способа базирования сопрягаемых деталей при сборке: жёсткое, полужёсткое, свободное. Показано, что жёсткое базирование характерно для сборочных систем, в основе которых лежит принцип полной взаимозаменяемости. Полужёсткое базирование используется в системах, построенных по принципу частичной взаимозаменяемости. Свободное базирование в основном имеет место в системах кассетирования деталей с невысокими требованиями к точности операции совмещения.

Автоматизированный стенд компьютерного контроля массовых характеристик изделий в сборочном производстве. *Сборка в машиностроении, приборостроении.* 2014. № 11.

Представлены описание и характеристики стендового оборудования, предназначенного для определения действительных значений массы и трёх координат центра масс готовой продукции в сборочном производстве изделий специального машиностроения.

Резьбовые соединения с периодическим контактом волнистого винтового профиля одной из деталей. *Сборка в машиностроении, приборостроении.* 2014. № 11.

Представлены результаты анализа возможных технологий получения волнообразных винтовых профилей наружных и внутренних резьб для целевой разработки соединений с определёнными конструктивными и эксплуатационными свойствами. Приведён патентный анализ подобных разработок и опыт механической обработки изделий с периодическим винтовым профилем для сборки соединений с натягом.