

Автоматизация. Современные Технологии

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ МЕЖОТРАСЛЕВОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Главный редактор

Белоусов В.Л. — д.э.н., проф., МГУПИ

ИЗДАЁТСЯ С 1947 ГОДА

РЕДАКЦИОННАЯ
КОЛЛЕГИЯ:

- 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»
- Фёдоров И.Б. — д.т.н., проф., академик РАН, президент МГТУ им. Н.Э. Баумана
- Хэ Юн — д.т.н., проф., Нанкинский ун-т науки и технологии (КНР)
- Шахнов В.А. — д.т.н., проф., член-кор. РАН, МГТУ им. Н.Э. Баумана
- Шибанов Г.П. — д.т.н., проф., Гос. лётно-испытат. центр им. В.П. Чкалова
- Янович Е.А. — д.э.н., проф., Кошалинский политехнич. ин-т (Польша)

Редактор — Лутовинина О.Н.

Редактор — Селихова Е.А.

Компьютерная вёрстка — Конова Е.В.

Адрес редакции:

107076, Москва,

Колодезный пер., д. 2А, стр. 2.

Тел.: (499) 268-41-77.

E-mail: ast@mashin.ru; astmashin@yandex.ru;

<http://www.mashin.ru>

10

2015

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

"Инновационное машиностроение"

Адрес издательства:

107076, Москва, Колодезный пер., д. 2А, стр. 2.

Тел.: (499) 268-38-58.

СОДЕРЖАНИЕ

АВТОМАТИЗАЦИЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Тамаркин М.А., Вяликов И.Л., Тищенко Э.Э. Исследование механизма разрушения поверхностного слоя при виброабразивной ультразвуковой обработке 3

Ничков А.В., Ведерников М.А., Ничков А.Г. Методика и результаты исследования износа червячных модульных фрез с двухконусной заборной частью 7

Пельмегов Р.В., Куделин А.Г. Эвристический алгоритм оценки качества одномерных данных с использованием репрезентативных экспертных выборок 11

СОВРЕМЕННЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Мешков Н.А. Методологические основы построения интеллектуальной системы управления инновационным развитием Российского медико- производственного комплекса 16

Бурков И.А., Жердев А.А., Шакуров А.В., Пушкарёв А.В. Компьютерное теплофизическое моделирование процесса местного гипотермического охлаждения для робот-ассистированной хирургии 21

Михайлов А.М., Абраменков А.Н., Петухова Н.В., Фархадов М.П. Кортикальный классификатор и некоторые вопросы его программной реализации 24

Первухина Е.Л., Осипов К.Н., Валентюк М.Р. Современные информационные технологии в задачах производственных испытаний машиностроительных изделий 32

Микаева С.А., Микаева А.С., Петренко Ю.П. Отражающее покрытие для источников света 38

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ НАУЧНОЙ И ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Фахурдинов О.В. Принципы построения универсальной информационной системы экспертизы в научно-технической сфере с привлечением экспертного сообщества 40

ОБЗОР ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ПЕЧАТИ

По страницам журналов 47

CONTENTS

AUTOMATION OF SCIENTIFIC-RESEARCH AND PRODUCTION PROCESSES

Tamarkin M.A., Vyalikov I.L., Tishchenko E.E. Research of the surface layer destruction mechanism at abrasive treatment with ultrasonic vibration 3

Nichkov A.V., Vedernikov M.A., Nichkov A.G. Research methodology and results of the hob wear with double tapered lead 7

Pelmegov R.V., Kudelin A.G. Heuristic algorithm for assessing the quality valuation of one-dimensional data through the use of a representative expert selection 11

MODERN INFORMATION TECHNOLOGY

Meshkov N.A. Methodological basis for building intelligent control system of innovative development of Russian medical production complex 16

Burkov I.A., Zherdev A.A., Shakurov A.V., Pushkarev A.V. Computer thermophysical modeling of the local hypothermic cooling for robot-assisted surgery 21

Mikhaylov A.M., Abramnikov A.N., Petukhova N.V., Farkhadov M.P. Cortical qualifier and some questions of its software implementation 24

Pervukhina E.L., Osipov K.N., Valentyuk M.R. Modern information technology in tasks of engineering articles production test 32

Mikaeva S.A., Mikaeva A.S., Petrenko Yu.P. The reflecting coatings for light sources 38

ECONOMY AND ORGANIZATION OF SCIENTIFIC AND ECONOMIC ACTIVITIES

Fakhurdinov O.V. Construction principles of the expertise universal information system in science and engineering sphere with the assistance of the expert community. 40

SURVEY OF PERIODICALS

On the pages of magazines 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 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 04.08.2015.

Подписано в печать 24.09.2015.

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 "Авансед солюшнз".

119071, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 19, стр. 1. Сайт: www.aov.ru

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



УДК 621.048

М.А. Тамаркин, д-р техн. наук, проф.,
И.Л. Вяликов, канд. техн. наук, **Э.Э. Тищенко**, канд. техн. наук, доц.
(Донской государственной технической университет, г. Ростов-на-Дону)

tenh_rostov@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА РАЗРУШЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ПРИ ВИБРОАБРАЗИВНОЙ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКЕ

Описан процесс виброабразивной ультразвуковой обработки. Рассмотрен механизм разрушения поверхности обрабатываемой детали в ультразвуковом поле. Предложены теоретические зависимости для определения скорости съёма металла и продолжительности обработки, адекватность которых подтверждена результатами проведённых экспериментальных исследований.

Ключевые слова: виброабразивная ультразвуковая обработка; скорость съёма металла с поверхности детали; кавитационное разрушение поверхностного слоя.

The abrasive treatment process with ultrasonic vibration is described. The work piece surface destruction mechanism in an ultrasonic field is considered. The theoretical dependencies for the rate of metal removal rate determining and treatment duration, which adequacy is confirmed on the basis of the experimental studies results.

Key words: abrasive treatment with ultrasonic vibration; metal removal rate from the work piece surface; the cavitation destruction of the surface layer.

Финишные операции значительно влияют на качественные и эксплуатационные показатели деталей машин. Задача повышения качества продукции связана с совершенствованием известных и разработкой новых, эффективных методов финишной обработки, среди которых ведущее место занимают методы вибрационной обработки (ВиО). Большой интерес специалистов к этому процессу объясняется его широкими технологическими возможностями и существенными технико-экономическими преимуществами. Область использования вибрационной технологии в различных отраслях производства достаточно многогранна и имеет тенденцию к дальнейшему расширению. В машиностроении — это отделочно-зачистная и отделочно-упрочняющая обработка, вибрационная стабилизирующая обработка, совмещённые процессы отделочной обработки, нанесения покрытий и др.

Непрерывное совершенствование процесса приводит к созданию новых разновидностей ВиО. Предпосылкой к их разработке является принцип комбинирования различных схем обработки и воздействия различных видов энергии (тепловой и механической, механической и химической, электрической и химической и др.). Совершенствуя существующие методы вибрационной обработки и создавая новые, можно увеличить производительность

обработки, улучшить качество выпускаемых изделий, снизить себестоимость их изготовления, так как совмещённые процессы позволяют не только интенсифицировать известные технологические процессы, но и реализовать новые физико-химические эффекты при обработке деталей. Поэтому разработка новых комбинированных методов обработки деталей и их технологий является весьма перспективным направлением в развитии науки.

Одним из перспективных и малоизученных направлений совершенствования процесса ВиО является его интенсификация вследствие наложения ультразвукового поля.

Привлекательность ультразвука для интенсификации технологических методов обработки деталей объясняется его уникальными особенностями. Так, в ультразвуковом диапазоне можно получить направленное излучение. Оно хорошо поддаётся фокусировке, в результате чего повышается интенсивность ультразвукового поля на ограниченном участке. При распространении в различных средах и твёрдых телах ультразвук порождает интенсивные явления, многие из которых нашли применение в различных сферах деятельности, в том числе и в технологии машиностроения. Метод виброабразивной ультразвуковой обработки (ВиАУЗО), в зависимости от режимов и характеристики рабочей среды, может быть приме-

нен для обработки деталей машин и приборов на операциях шлифования, полирования, удаления заусенцев и облоя и т. п.

Особенностью ВиАУЗО является то, что в процессе обработки поверхности деталей одновременно подвергаются динамическому воздействию потоков абразивных гранулированных частиц, движение которых инициируется низкочастотными колебаниями стенок рабочей камеры и кавитационно-абразивному разрушению, обусловленному ультразвуковым полем, которое генерируется ультразвуковым преобразователем. Результатом совмещённого воздействия этих двух процессов является повышение интенсивности процесса съёма металла с поверхности обрабатываемых деталей. Несмотря на то, что ведущим процессом в условиях ВиАУЗО является виброабразивный, осуществляющий съём металла и формирование параметров качества поверхностного слоя (шероховатости), введение ультразвукового поля позволяет облегчить процесс съёма металла абразивными гранулами вследствие предварительного разрушения поверхностного слоя обрабатываемых деталей и обеспечить дополнительный съём металла за счёт кавитационно-абразивного разрушения [1].

Проведённый анализ показал, что при ВиАУЗО имеются все необходимые предпосылки и условия для эффективного применения ультразвукового поля в целях использования процесса кавитационно-абразивного разрушения поверхности и, как следствие, повышения интенсивности обработки деталей.

Можно предположить, что процесс кавитационно-абразивного разрушения поверхности в зоне действия ультразвукового поля будет протекать по двум взаимодополняющим схемам, представленным на рис. 1.

На первой схеме показано, что тонкодисперсные частицы, находясь под воздействием

ультразвукового поля, перемещаются хаотично со скоростью, сообщаемой им в результате захлопывания кавитационных пузырьков, которые, как свидетельствуют результаты экспериментальных исследований [1—3], скапливаются в точках поверхности с наибольшей напряжённостью (вершины и впадины микронеровностей). В момент их схлопывания возникает ударная волна, которая сообщает частицам кинетическую энергию. В результате многократного соударения частиц с поверхностью микронеровностей она подвергается упругопластической деформации, повреждается, и, как следствие, разрушается на микроуровне.

Во второй схеме кавитационно-абразивного разрушения предусматривается, что между поверхностью ультразвукового преобразователя и поверхностью детали в пределах зоны действия ультразвуковой волны могут попадать абразивные гранулы. В этом случае они, подвергаясь ультразвуковым колебаниям, будут выполнять роль волноводов, и тем самым усиливать эффект кавитационно-абразивного разрушения, главным образом, на уровне вершин микронеровностей.

Предложенные схемы, моделирующие механизм кавитационно-абразивного разрушения в условиях ВиАУЗО, базируются на экспериментально установленном факте, что энергетической основой протекания этого процесса являются ударно-волновые явления, активируемые ультразвуковым полем.

В процессе ВиАУЗО обрабатываемые детали при их свободной загрузке, перемещаясь в направлении циркуляции среды, изменяют свою ориентацию, совершают колебания и медленное вращение вокруг некоторой точки своей поверхности. Характер и скорость перемещения деталей зависят от их форм, размеров и режимов обработки. Траектории движения абразивных гранул и обрабатываемых деталей в вибрирующей среде практически сходны.

Двигаясь в процессе обработки по определённой траектории, деталь периодически с определённой вероятностью проходит зону влияния ультразвукового поля. При попадании в неё поверхность микронеровностей, обращённая к ультразвуковому преобразователю, подвергается кавитационно-абразивному воздействию, в то время как другие поверхности детали продолжают находиться под воздействием абразивных гранул, осуществляющих их микрорезание.

Известно, что любому процессу деформационного усталостного разрушения при-

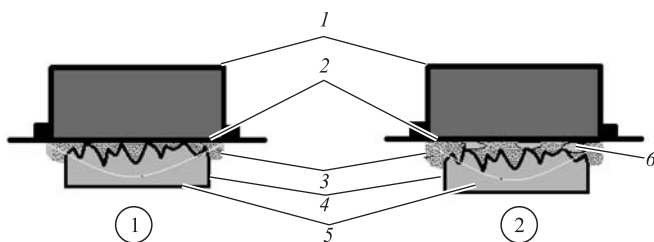


Рис. 1. Схемы, раскрывающие механизм эрозии поверхности детали в ультразвуковом поле:

1 — ультразвуковой преобразователь; 2 — тонкодисперсные частицы; 3 — технологическая жидкость; 4 — деталь; 5 — ультразвуковое поле; 6 — абразивная гранула

сути обуславливающие его протекающие события.

Динамическому силовому воздействию подвергаются дискретные участки поверхности.

Накопление повреждений локализуется в микрообъёмах материала дискретного участка поверхности, ограниченной площадью и глубиной, на которой находится зона наибольшей концентрации дислокаций и других повреждений металла. Качественно граничный микрообъём этого слоя характеризуется преобладанием разрыва межатомных связей над их релаксацией, что обуславливает необратимость его разрушения.

Разрушение каждого локализованного микрообъёма поверхности имеет полидеформационный характер и протекает за время кинетического цикла — упрочнение—разупрочнение—разрушение. При этом на первой стадии накопление носит латентный (скрытый) характер. На второй стадии идёт процесс отделения частиц от поверхности металла. После удаления частиц начинаются новые накопления повреждаемости и разрушения на новой совокупности микрообъёмов.

Изложенное позволяет сформулировать основные требования к общей схеме расчётной модели процесса кавитационно-абразивного разрушения, которая должна учитывать:

дискретный характер разрушения материала поверхностного слоя в пространственном и временном измерениях;

наличие процесса накопления повреждений; вероятностный характер процесса разрушения.

Рассмотрение процесса, протекающего в ультразвуковом поле, как диссипативного процесса позволяет обосновать в общем виде структурную схему расчётной модели кавитационно-абразивного разрушения поверхности. Для этого учтём длительность цикла разрушения обратной ему величиной, интерпретируя её как частоту появления разрушающего фактора за единицу времени. Также предположим, что в реальности не каждое появление разрушающего фактора определяется актом разрушения.

На основе данной интерпретации модель для оценки скорости кавитационно-абразивного разрушения в ультразвуковом поле представим следующим образом:

$$\gamma_{к.р} = \frac{V_d P_p}{\tau_0 \exp\left(\frac{v_0 - \beta \sigma}{RT}\right)}, \quad (1)$$

где знаменатель $t_{ц} = \tau_0 \exp\left(\frac{v_0 - \beta \sigma}{RT}\right)$ — продолжительность элементарного акта усталостного разрушения; V_d — объём материала, разрушаемого в процессе кавитационно-абразивного воздействия на площади квадрата упаковки; P_p — вероятность реализации фактического ударно-импульсного деформирования микрообъёма поверхности; τ_0 — постоянная времени, равная периоду атомных колебаний; v_0 — энергия активации разрушения материала; β — структурно-чувствительный коэффициент; σ — эквивалентное напряжение; R — универсальная газовая постоянная; T — абсолютная температура.

Для использования полученной модели в инженерной практике сделаем ряд допущений.

Примем в качестве количественной характеристики металла, накапливающего повреждения Q , активированный к разрушению микрообъём, равный молярному объёму V_m .

Выражение для оценки вероятности разрушения молярного объёма представим следующим образом:

$$P_p = \frac{\rho}{HB}, \quad (2)$$

где ρ — удельное давление в зоне контакта тонкодисперсных частиц с обрабатываемой поверхностью; HB — твёрдость материала обрабатываемой детали.

С учётом допущений расчётная модель имеет вид:

$$\gamma_{к.р} = \frac{V_m \rho}{HB \tau_0 \exp\left(\frac{v_0 - \beta \sigma}{RT}\right)}. \quad (3)$$

Для оценки скорости весового разрушения выражение (3) будет иметь вид

$$\gamma_{к.р} = \frac{V_m \rho_m \rho}{HB \tau_0 \exp\left(\frac{v_0 - \beta \sigma}{RT}\right)}, \quad (4)$$

где ρ_m — плотность материала обрабатываемой детали.

Полученное выражение содержит константы (R , τ_0), величины внешних факторов, влияющих на процесс усталостного разрушения (T , ρ), активационные характеристики материала (v_0 , β), геометрические характеристики разрушаемой зоны (V_m).

В результате обоснования указанных параметров с учётом размерности было получено выражение для определения скорости ка-

витационно-абразивного разрушения поверхности в ультразвуковом поле:

$$\gamma_{к.р} = K_{и} \frac{V_{m\rho m\rho} N P_k}{H B \tau_0 \exp\left(\frac{\Delta H_{T_s} - 0,3V_{m\rho}}{RT}\right)}, \quad (5)$$

где P_k — вероятность того, что за один оборот массы загрузки деталь попадает в зону ультразвукового воздействия и подвергается кавитационно-абразивному разрушению; N — количество молярных объёмов, одновременно подвергаемых кавитационно-абразивному разрушению на площади квадрата упаковки при нахождении детали в зоне ультразвукового воздействия; $V_0 = \Delta H_{T_s}$ — предельное искажение кристаллической решётки, равное разности теплосодержания (энтальпии) материала в твёрдом состоянии, при температуре плавления и энтальпии при 293 К; V_m — молярный объём материала, разрушаемого в процессе кавитационно-абразивного воздействия.

Скорость съёма металла с поверхности обрабатываемой детали при ВиАУЗО можно представить в виде суммы:

$$\gamma_0 = \gamma_{в} + \gamma_{к.р}, \quad (6)$$

где $\gamma_{в}$ — скорость съёма металла в процессе вибрационного воздействия потока абразивных гранул.

Если принять за единичный элемент площадь квадрата упаковки абразивных гранул обрабатывающей среды на поверхности со стороной равной диаметру описанной окружности радиусом R_r , то зависимость для оценки скорости съёма металла в процессе вибрационного воздействия потока абразивных гранул можно представить в виде:

$$\gamma_0 = P_1 P_2 \omega q + K_{и} \frac{4\sqrt[3]{V_{m\rho m\rho} R_r^2 P_k}}{H B \tau_0 \exp\left(\frac{\Delta H_{T_s} - 0,3V_{m\rho}}{RT}\right)}, \quad (7)$$

где $K_{и}$ — корректировочный коэффициент интенсивности процесса кавитационно-абразивного разрушения.

При этом уравнение продолжительности обработки примет вид:

$$\tau_p = \frac{Q_{к.р}}{\gamma_0}, \quad (8)$$

где $Q_{к.р}$ — объём металла, который необходимо удалить с поверхности (на площади квадрата упаковки) для решения технологической задачи.

В качестве предельного съёма металла при ВиАУЗО в зависимости от решаемой технологической задачи может быть принята одна из следующих величин:

масса дефектного слоя металла толщиной ΔL , удаляемого с площади квадрата упаковки,

$$Q = 4R_r^2 \Delta L \rho_m; \quad (9)$$

объём металла исходного микропрофиля $Rz_{исх}$ на площади, ограниченного квадратом упаковки, требующий удаления для получения установившейся шероховатости:

$$W = k_{пр} Rz_{исх} 4R_r^2, \quad (10)$$

где $k_{пр}$ — коэффициент, учитывающий вид профиля исходной шероховатости;

объём металла, удаляемого с острых кромок для получения закругления требуемого радиуса:

$$W_k = 0,43R_r^2. \quad (11)$$

В целях установления степени адекватности расчётной модели был проведён комплекс экспериментальных исследований, результаты которых позволяют подтвердить описанный механизм кавитационно-абразивного разрушения материалов при ВиАУЗО. В таблице приведены результаты сравнения теоретических расчётов и экспериментальных исследований процесса удаления металла.

Расчётные (Y^p) и экспериментальные ($Y^э$, $Y_\phi^э$) значения скорости кавитационно-абразивного разрушения образцов из стали 45

Расчётные и экспериментальные значения	Продолжительность ультразвукового воздействия, мин			
	15	30	45	60
$\gamma^p \cdot 10^{-7}$, г/с	1,56	1,61	1,59	1,52
$\gamma_\phi^э \cdot 10^{-7}$, г/с	1,57			
$\gamma^э \cdot 10^{-7}$, г/с	1,34			
Погрешность, %	14,4			

Для оценки влияния ультразвукового поля на процесс съёма металла исследования предусматривали серию экспериментов с включённым и отключённым цилиндрическим магнестрикционным преобразователем. Результаты экспериментальных исследований представлены на рис. 2 и 3.

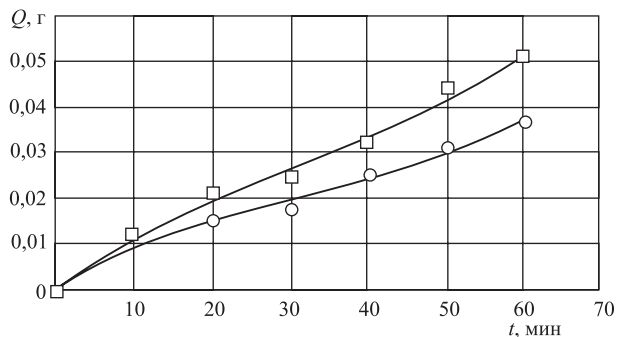


Рис. 2. Исследования металlosъема с образцов из сплава Д16Т при ВиО и ВиАУЗО:

□ — ВиАУЗО, ○ — ВиО

Сравнительный анализ результатов теоретических и экспериментальных исследований показал, что предложенная модель научно обоснованно раскрывает физическую сущность процесса разрушения поверхности в ультразвуковом поле при ВиАУЗО. Модель позволяет с достаточной для практики точностью (в пределах 15 %) оценить степень влияния введённых в рабочую камеру вибростанка с помощью преобразователя ультразвуковых колебаний на величину съема металла и, как следствие,

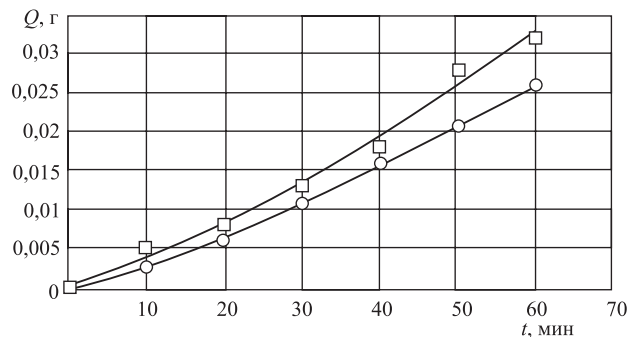


Рис. 3. Исследования металlosъема с образцов из стали 45 при ВиО и ВиАУЗО:

□ — ВиАУЗО, ○ — ВиО

интенсификацию процесса вибрационной отделочной обработки деталей.

Библиографические ссылки

1. Агранат Б.А. Ультразвуковая технология. М.: Металлургия, 1974. 504 с.
2. Акустическая кавитация / М.Г. Сиротюк и др. М.: Наука, 2008. 271 с.
3. Физика и техника мощного ультразвука. Мощные ультразвуковые поля [под ред. Л.Д. Розенберга]. М.: Наука, 1968. 266 с.

УДК 621.9.02

А.В. Ничков, канд. техн. наук, доц., М.А. Ведерников, А.Г. Ничков, д-р техн. наук, проф. (Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург)

nav8080@yandex.ru

МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗНОСА ЧЕРВЯЧНЫХ МОДУЛЬНЫХ ФРЕЗ С ДВУХКОНУСНОЙ ЗАБОРНОЙ ЧАСТЬЮ

Изложены методика и некоторые результаты исследования износа червячной модульной фрезы с двухконусной заборной частью по сравнению с износом обычной червячной фрезы и червячной фрезы с одним заборным конусом.

Ключевые слова: червячная фреза; зубофрезерование; износ фрезы; зона резания.

Research methodology and some results of the hob wear with double tapered lead are stated in comparison with standard hob wear and hob wear with single tapered lead.

Key words: hob; gear milling; hob wear; cutting zone.

При нарезании цилиндрических зубчатых колёс червячные модульные фрезы нередко в силу ряда причин выполняются с заборным конусом. Это может быть связано с перегрузкой первого вступающего в резание зуба фрезы вследствие её недостаточной длины или намерением повлиять на износ и стойкость фрезы перераспределением нагрузки между её зубья-

ми, или использовать осевую перестановку фрезы. Однако, как показано в работе [1], заборный конус, выбранный необоснованно (особенно $>7...10^\circ$), нередко приводит к резкому снижению стойкости инструмента.

Для того чтобы избежать этого отрицательного фактора иногда делают заборную часть червячной фрезы с двумя конусными участ-

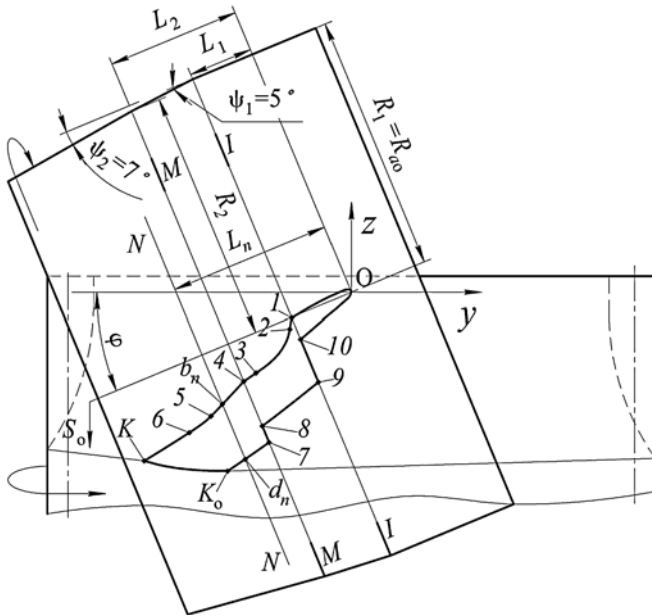


Рис. 1. Схема зоны резания червячной фрезы с двухконусной заборной частью

ками: конус с меньшим углом примыкает к цилиндрическому участку червячной фрезы, а конус с большим углом — к малому конусу. Однако методики расчёта оптимальных параметров этих конусных участков фрезы в литературе нет, поэтому их выбор определяется экспериментально, что трудоёмко и дорогостояще.

В статье предложена расчётно-экспериментальная методика определения износа зубьев червячной модульной фрезы с двухконусной заборной частью, основанная на понятии о зоне резания, размерах срезаемых слоёв и их влиянии на износ зубьев фрезы.

Рассмотрим последовательность решения данной задачи на примере нарезания зубчатого колеса по одной из технологических схем зубофрезерования, когда направление витков фрезы и зубьев колеса разноимённое, а осевая подача — встречная. На рис. 1 представлена зона резания при нарезании зубьев колеса червячной фрезой

с двухконусной заборной частью. Зона резания как пространство, в пределах которого вершинные кромки зубьев фрезы режут, ограничена сложным контуром — $O123456KK_0789-10-O$. Для определения границ зоны резания и её участков запишем уравнения поверхностей, при пересечении которых эти границы образуются, а именно, цилиндрического и конических участков червячной фрезы, окружностей, по которым они соприкасаются, их огибающих поверхностей, образующихся на зубчатом колесе при согласованном относительном движении фрезы и заготовки, и, наконец, наружного цилиндра нарезаемого колеса.

Уравнение наружного цилиндра нарезаемого колеса:

$$x^2 + y^2 = R^2, \quad (1)$$

где R — наружный радиус заготовки.

Уравнение конуса, примыкающего к цилиндрическому участку фрезы и движущемуся относительно заготовки, имеет вид:

$$F = \pm \sqrt{\left\{ (x \sin \alpha + y \cos \alpha) \sin \varphi + \left[z + S_0 \left(N + \frac{\alpha}{2\pi} \right) \cos \varphi \right] \right\}^2 + (x \cos \alpha - y \sin \alpha + A)^2} - k_1 \left\{ \begin{aligned} &(x \sin \alpha + y \cos \alpha) \cos \varphi - \\ &\left[z + S_0 \left(N + \frac{\alpha}{2\pi} \right) \right] \sin \varphi - (l_{k1} + L_1) \end{aligned} \right\} = 0, \quad (2)$$

где α — угловой параметр; φ — угол разворота оси фрезы; A — межосевое расстояние; S_0 — осевая подача; k_1 — уклон первого конуса; $R_1 = R_{ao}$ — радиус основания первого конуса; l_{k1} — высота конуса; L_1 — расстояние от межосевого перпендикуляра (МОП) до основания первого конуса; N — целое число оборотов колеса.

Продифференцировав уравнение (2) по параметру α , получим:

$$F_\alpha = \frac{\left\{ (x \sin \alpha + y \cos \alpha) \sin \varphi + \left[z + S_0 \left(N + \frac{\alpha}{2\pi} \right) \right] \cos \varphi \right\} \left[(x \cos \alpha - y \sin \alpha) \sin \varphi + S_0 \frac{\cos \varphi}{2\pi} \right]}{\sqrt{\left\{ (x \sin \alpha + y \cos \alpha) \sin \varphi + \left[z + S_0 \left(N + \frac{\alpha}{2\pi} \right) \right] \cos \varphi \right\}^2 + (x \cos \alpha - y \sin \alpha + A)^2}} + \frac{(x \cos \alpha - y \sin \alpha + A)(-x \sin \alpha - y \cos \alpha)}{\sqrt{\left\{ (x \sin \alpha + y \cos \alpha) \sin \varphi + \left[z + S_0 \left(N + \frac{\alpha}{2\pi} \right) \right] \cos \varphi \right\}^2 + (x \cos \alpha - y \sin \alpha + A)^2}} - k_1 \left[(x \cos \alpha - y \sin \alpha) \cos \varphi - \frac{S_0}{2\pi} \sin \varphi \right] = 0. \quad (3)$$

Система уравнений (2) и (3) описывает огибающую поверхность, образованную первым конусом при согласованных относительных движениях фрезы и заготовки.

Аналогичным образом можно вывести уравнения цилиндрического участка фрезы и его огибающей поверхности или получить их из уравнений (2) и (3) как частный случай конуса при $l_{k1} \rightarrow \infty$.

Уравнение для второго конуса и его огибающей поверхности тоже получим из уравнений (2) и (3), заменив индекс 1 у параметров k_1, l_{k1}, L_1 и R_1 на индекс 2, т. е. подставив в указанные уравнения значения k_2, l_{k2}, L_2 и R_2 , относящиеся ко второму конусу.

Огибающую поверхность окружности сопряжения первого конуса 1 (см. рис. 1) с цилиндром фрезы получим из совместного решения уравнений цилиндра фрезы (уравнение 4) и плоскости $I-I$ (уравнение 5), движущихся относительно заготовки:

$$F = \sqrt{\left\{ \begin{aligned} & (x \sin \alpha + y \cos \alpha) \sin \varphi + \\ & \left[z + S_o \left(N + \frac{\alpha}{2\pi} \right) \cos \varphi \right]^2 \\ & + (x \cos \alpha - y \sin \alpha + A)^2 \end{aligned} \right\}^2} - R_{ao} = 0; \quad (4)$$

$$y \cos \varphi - \left(z + S_o \left(N + \frac{\alpha}{2\pi} \right) \right) \sin \varphi + L_1 = 0. \quad (5)$$

Огибающую поверхность окружности основания второго конуса получим аналогично предыдущему случаю из совместного решения уравнений второго конуса (уравнение 2) и плоскости $M-M$, заменив в уравнении (5) L_1 на L_2 .

Располагая формулами (1—5), можно определить зону резания, ограниченную контуром $O123456KK_0789-10-O$. В этом контуре участок $O123456K$ образован при пересечении цилиндрического и конических участков фрезы с огибающими поверхностями, образованными ими же на предыдущем обороте заготовки; участок KK_0 — при пересечении конического участка 1 фрезы с наружным цилиндром заготовки; участки $K_0-7, 8-9, 10-O$ — при пересечении соответственно конических и цилиндрических участков фрезы в двух её последовательных положениях относительно заготовки при повороте последней на угол α_z за период по-

ворота фрезы на угол между двумя соседними по витку зубьями:

$$\alpha_z = \frac{2\pi^2 m z_{10}}{z_0 (\pi m z_1 \pm S_o \sin \beta_1)} \times \left[1 + \frac{m z_{10} \sin (\gamma_{m0} - \varphi)}{2 R_{ao} \cos \varphi \cos (\gamma_{m0} + \lambda_{m0})} \right]. \quad (6)$$

Участок $O1$ образован пересечением цилиндра фрезы с образованной им же огибающей поверхностью; участок $1-2$ — результат пересечения первого конуса 1 с огибающей поверхностью цилиндра фрезы; участок $2-3$ — результат пересечения первого конуса 1 с огибающей поверхностью окружности в сечении $I-I$; участок $3-4$ — результат пересечения первого конуса 1 с образованной им же огибающей поверхностью; участок $4-5$ — результат пересечения второго конуса 2 с огибающей поверхностью первого конуса 1; участок $5-6$ образован пересечением второго конуса 2 с огибающей поверхностью окружности в сечении $M-M$; участок $6-K$ — результат пересечения второго конуса 2 с образованной им же огибающей поверхностью.

Для определения граничных координат указанных участков на линии $O-K$ необходимо найти граничные координаты участков на линии $O-K_0$. Координаты точки 7 определим из совместного решения уравнений (2) с параметрами второго конуса 2 при двух значениях α ($\alpha = 0, \alpha = \alpha_z$) и уравнения (5) при $L_1 = L_2$; точки 8 — из уравнений (2) с параметрами первого конуса 1 при тех же двух значениях α и уравнения (5) при $L_1 = L_2$; точки 9 — из уравнений (2) с параметрами первого конуса 1 при тех же двух значениях α и уравнения (5); точки 10 — из уравнений (4) цилиндра при тех же двух значениях α и уравнения (5). После этого через указанные точки проведём винтовые линии, общий вид которых выражается уравнениями:

$$z = S_o \frac{\alpha}{2\pi}; r_i = \sqrt{x_i^2 + y_i^2}. \quad (7)$$

После этого координаты граничных точек на линии $O-K$ определим из совместного решения следующих уравнений: для точки 1 — из уравнений, описывающих линию $O-I$ и плоскость $I-I$; для точки 2 — из уравнений первого конуса 1 и винтовой линии, проходящей через точку 10; для точки 3 — из уравнений первого конуса 1 и винтовой линии, про-

ходящей через точку 9; для точки 4 — из уравнений огибающей поверхности, образованной первым конусом I , и плоскости $M-M$; координаты точек 5 и 6 определяют аналогично координатам точек 2 и 3, но уже для второго конуса 2 фрезы; для точки K — из уравнений второго конуса 2 и наружного цилиндра колеса (уравнение 1).

Зная границы зоны резания и уравнения участков, её ограничивающих, можно определить размеры слоёв, срезаемых зубьями червячной фрезы. Для этого проводится перпендикулярно оси фрезы плоскость $N-N$ (см. рис. 1) через какой-либо зуб фрезы и определяются координаты точек входа зуба в зону резания (точка b_n) и выхода из неё (точка d_n) совместным решением уравнения плоскости с уравнениями линий зоны, которые она пересекает. Зная координаты точек b_n и d_n , определим длину l и толщину a срезаемого слоя:

$$l = r_{a0} \arcsin \frac{y_{bn} \sin \varphi + z_{bn} \cos \varphi}{r_{a0}} - \arcsin \left[\frac{-y_{dn} \sin \varphi + z_{dn} \cos \varphi}{r_{a0}} \right], \quad (8)$$

$$a = (x_1 - x_2) \cos \theta, \quad (9)$$

где $r_{a0} = k \left[y \cos \varphi + \left(z + S_o \frac{\alpha}{2\pi} \right) \sin \varphi - l_0 \right]$ — радиус окружности в сечении первого конуса фрезы плоскостью $N-N$; $\theta = \arcsin \frac{-y \sin \varphi + z \cos \varphi}{r_{a0}}$ — текущий угол контакта зуба фрезы с заготовкой; x_1, x_2 определяют из уравнения (2) соответственно при $\alpha = \alpha_z$ и $\alpha = 0$.

Вычислив наибольшую толщину срезаемого слоя на входе зуба в зону резания ($a_{вх}$) и выходе из неё ($a_{вых}$), определим среднюю толщину среза:

$$a_{cp} = (a_{вх} + a_{вых}) / 2. \quad (10)$$

В дальнейшем для определения износа зубьев фрезы при обработке некоторых материалов необходимо ввести коэффициент формы срезаемого слоя λ , влияющего на износ:

$$\lambda = 1 + \frac{a_{вых}}{a_{cp}}. \quad (11)$$

Располагая параметрами срезаемого слоя (a_{cp}, l, λ) для каждого зуба фрезы, формулой их влияния на износ h_1 за один рез — напри-

мер, при обработке стали 38ХС [1], эта формула имеет вид:

$$h_1 = 324 \cdot 10^{-8} \cdot a_{cp}^{1,05} l^{0,9} V^2 / n, \quad (12)$$

и вычислив число резов за период работы фрезы, можно определить суммарный износ каждого зуба червячной фрезы и построить график распределения износа по её зубьям.

Выполнить это можно для любого сочетания конструктивных и технологических параметров зубофрезерования и при необходимости обработать математически полученные графики для получения эксплуатационных характеристик процесса зубофрезерования, например, выбора режимов резания, оптимальных технологических схем зубофрезерования, конструктивных параметров фрез и др.

В качестве примера применения изложенной методики исследования процесса зубофрезерования приведены результаты расчёта зоны резания, размеров срезаемых слоёв и износа зубьев червячной фрезы с двухконусной заборной частью при следующих исходных параметрах: нарезаемого колеса ($m = 6$ мм,

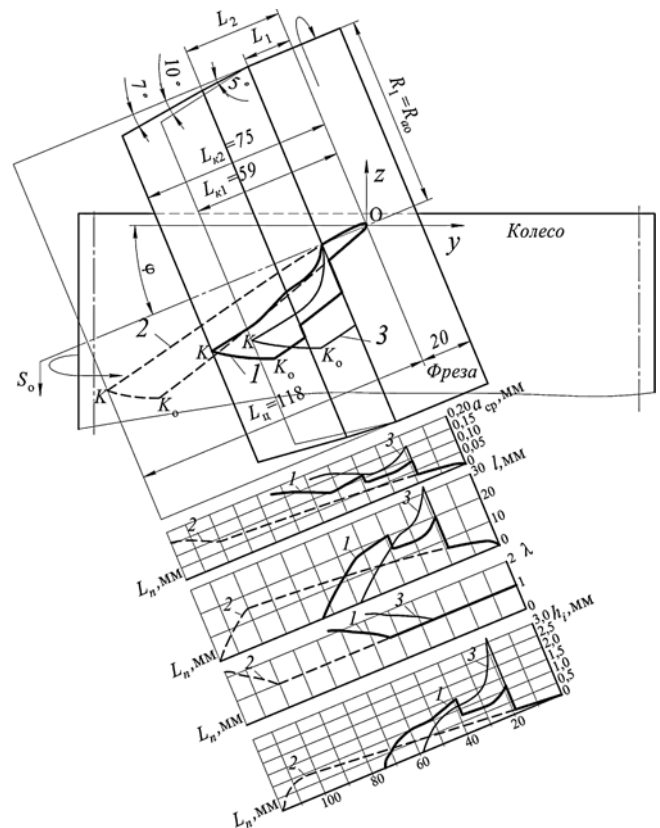


Рис. 2. Графики зон резания, размеров срезаемых слоёв и износов зубьев червячных фрез при зубофрезеровании: 1 — для фрезы с двумя заборными конусами ($\psi_1 = 5^\circ$ и $\psi_2 = 7^\circ$); 2 — для фрезы без заборной части; 3 — для фрезы с одним заборным конусом $\psi_1 = 10^\circ$

$z_1 = 150$, $\beta_1 = 0^\circ$, $B = 352$ мм, материал 38ХС), червячной фрезы ($D_{ao} = 150$ мм, $L_1 = 19$ мм, $k_1 = \text{tg } 5^\circ$, $L_2 = 39$ мм, $k_2 = \text{tg } 7^\circ$, материал Р6М5), режимов резания ($S_o = 3$ мм/об, $V = 37,7$ м/мин, $n = 80$ об/мин). Зона резания, размеры срезаемых слоев (a_{cp} , l , λ) и износ (h_3) зубьев фрезы представлены в виде графиков на рис. 2. Для сравнения на этом же рисунке представлены зоны резания, размеры срезаемых слоёв и износ зубьев червячной фрезы без заборного конуса и с одним заборным конусом ($k_3 = \text{tg } 10^\circ$, $L_3 = L_1$). Из рис. 2 видно, что при переходе от фрезы без заборного конуса к фрезе с двухконусной заборной частью необходимая длина фрезы сокращается в 1,4 раза, максимальный износ увеличивается в 1,4 раза, а путь врезания фрезы в заготовку сокращается в 1,3 раза. Отсюда видно, что в этом случае затраты на операцию зубофрезерования снизятся за счёт уменьшения пути врезания. При анализе зоны резания и износа зубьев фрезы с одним конусом видно, что, несмотря на ещё большее уменьше-

ние необходимой длины фрезы, вариант явно нерационален вследствие резкого возрастания износа (в 3 раза).

Очевидно, варьируя параметрами заборных конусов, можно определить оптимальное сочетание длины червячной фрезы и её износа, и тем самым обеспечить минимальную себестоимость операции зубофрезерования.

Рассмотренный пример показал, что червячную фрезу с двухконусной заборной частью следует применять не только при недостаточной длине фрезы, но и проектировать её. При достаточной длине фрезы можно сэкономить благодаря возможности применения периодической осевой перестановке фрезы.

Библиографическая ссылка

1. Ничков А.В. Исследование износа червячных модульных фрез в технологических схемах зубофрезерования: дис. ... канд. техн. наук. Екатеринбург, УГТУ-УПИ, 2004. 220 с.

УДК (550.832:681.5.03)

Р.В. Пельмегов, А.Г. Куделин, канд. техн. наук
(Ухтинский государственный технический университет)

rpelmegov@ugtu.net

ЭВРИСТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ОДНОМЕРНЫХ ДАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕПРЕЗЕНТАТИВНЫХ ЭКСПЕРТНЫХ ВЫБОРОК

Работа посвящена развитию научных основ, методов и технологий автоматизированного контроля качества входящего регулярного дискретного сигнала. Предложена конструкция эвристического алгоритма решения задачи контроля качества данных с применением итерационного моделирования неполных данных с помощью линейных и самоорганизующихся многообразий малой размерности, используемых в авторской реализации алгоритма.

Ключевые слова: контроль качества; итерационное моделирование; автоматизация; геофизические исследования.

The work is devoted to development of scientific foundations, methods and technologies of automated quality control of the entering regular discrete signal. The heuristic algorithm structure for solving the data quality control task with application of an incomplete data iterative modeling by means of linear and self-organizing low-dimensional multiformalities used in the author algorithm realization is proposed.

Key words: quality control; iterative modeling; automation; geophysical researches.

Введение. Качество данных представляет собой один из типов рисков, оценка которого играет значительную роль в проектах, включающих в себя построение интерпретационных схем, прогнозов и т.п. Основной особенностью задачи контроля качества данных, как и всех трудноформализуемых задач, является нали-

чие общей формальной постановки, не имеющей, однако, единого алгоритма решения. Иными словами, для каждого набора данных необходим собственный, присущий только этому случаю алгоритм решения.

При постановке подобных задач часто используются подходы, основанные как на логи-

ческих рассуждениях с математическими доказательствами, так и на теории искусственных нейронных сетей, полученные в результате эксперимента. На практике наиболее приближённым к реальной конечной цели оказывается применение экспертных оценок в сочетании с другими методами оценки качества данных (в основном, со статистическими методами). Кроме того, экспертиза и экспертные оценки при всех очевидных недостатках человеческих трудо- и времязатрат до сегодняшних дней остаются единственным способом анализа и решения плохоформализуемых задач.

Постановка задачи. Поставим следующую задачу: на вход вычислителя подаётся необработанный материал—одномерный дискретный сигнал с фиксированным шагом, являющийся изображением информационного объекта в единицах одного из его параметров. Требуется, руководствуясь подтверждёнными экспертами материалами, оценить качество тестируемого сигнала. Таким образом сформулированная постановка задачи контроля качества данных оказывается близка к теории распознавания образов.

Известен парадокс Джонсона о том, что по мере накопления опыта процесс принятия решения экспертом всё больше начинает носить неосознаваемый характер. Эксперт не всегда способен оценить важность тех или иных знаний для принятия решения, а накопленный опыт сложно вербализовать и представить в формализованном виде. В статье «A Hierarchical Approach to Improving Data Quality» [1] присутствует во многом схожая проблематика и постановка задачи. Предлагаемый авторами в работе [1] подход к контролю качества геоинформационных данных основан на сопоставлении изображений одной местности, полученных из разных источников. Критерием качества считаются величины взаимных отклонений пар матриц смежности графов, представляющих наборы данных. Подбор и сопоставление изображений выполняются экспертами вручную, являясь при этом актом формализации их опыта, поскольку основная проблема инженерии знаний — это процесс извлечения знаний. В работе [2] для проверки качества материалов геофизических исследований скважин описан способ многоскважинного статистического контроля, основанный на предположении о постоянстве распределения какого-либо геофизического параметра по площади для достаточно выдержанной мощной толщи пластов. При наличии этого усло-

вия очевидно, что распределение должно быть схожим в разных скважинах.

Алгоритм решения задачи. Основная идея предлагаемого метода базируется на представлении о том, что информационный сигнал формирует дискретное изображение информационного объекта. В случае исследования схожих объектов, даже существенно отличающихся по амплитуде и уровню шумов изображения, имеется и сходное содержание. Сравнивая тестируемое изображение с подобранными по содержанию изображениями из базы эталонов, являющейся аккумулятором опыта эксперта, можно судить о качестве изучаемого материала. Для определения подобия сигналов применяется некоторая мера расстояния, при помощи которой можно получить численную оценку их сходства. Два сигнала также могут называться подобными, если возможно такое преобразование определяющих параметров, после которых сигналы «выглядят» одинаковыми. Понятие меры сходства широко используется в теории подобия [3], более того, эта задача является одной из основных.

На основе изложенного выше разработан следующий критерий эквивалентности изображений и алгоритм вычисления оценки подобия сигналов. В качестве основной характеристики информационного объекта предложено считать морфологический градиент, отображающий перепады сигнала. Для оценки подобия двух сигналов в этом случае достаточно вычислить площадь фигуры, образуемой взаимными отклонениями кривых градиентов, величина которой обратно пропорциональна степени сходства сигналов. Для корректного сравнения тестируемого и эталонного сигналов их уровни должны быть нормированы. Это необходимо, поскольку уровни сигналов могут отличаться по мощности на несколько порядков. Таким образом, разработанный алгоритм вычисления оценки подобия двух сигналов равной длины по критерию содержания имеет следующий вид:

нормирование сигналов по ограничиваемой их кривыми площади;

нахождение градиентов нормированных кривых;

вычисление интеграла модуля разности градиентов.

Для снятия ограничения на протяжённость исследуемых объектов предлагают использовать метод локального усреднения показателя, так называемый метод скользящего окна. Критерий подобия рассчитывают в пределах окна, полученное значение присваивают

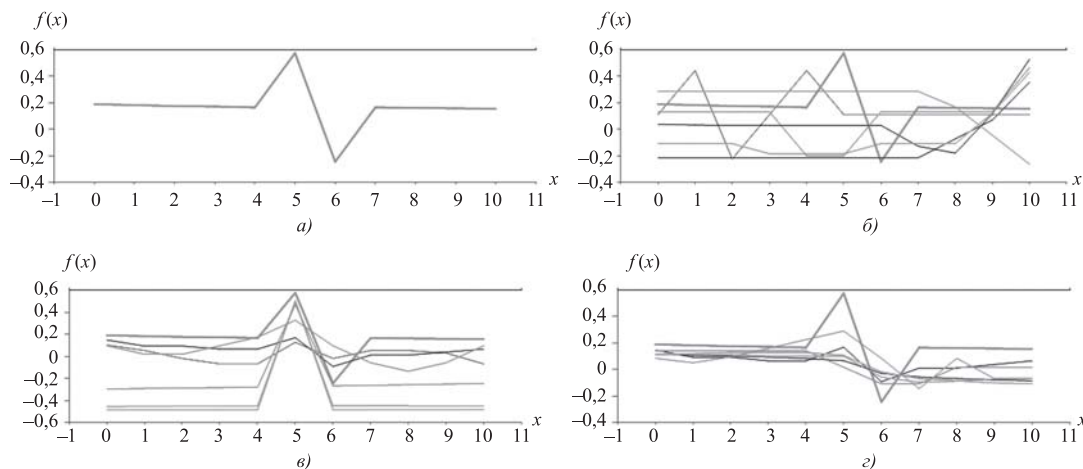


Рис. 1. Результат подбора похожих участков:

a — исходная кривая; *б* — критерий минимальной разницы стандартных отклонений; *в* — критерий максимума корреляции; *г* — критерий минимального интеграла модуля разности градиентов

средней точке. Затем в заданном направлении окно перемещается на одну точку, и операция повторяется. Размер окна зависит от характера распределения и обычно включает от 10 до 50 ближайших точек. Результат подбора участков по разработанному алгоритму представлен на рис. 1.

Следующим этапом предлагаемого метода является исследование тестируемой кривой на предмет выявления особенностей не присутствующих эталонам. Для нахождения таких особенностей предлагают применить метод итерационного моделирования неполных данных с помощью многообразий малой размерности [4]. Все версии метода трактуют как построение нейросетевого конвейера, решающего следующие задачи:

заполнение пробелов в данных;

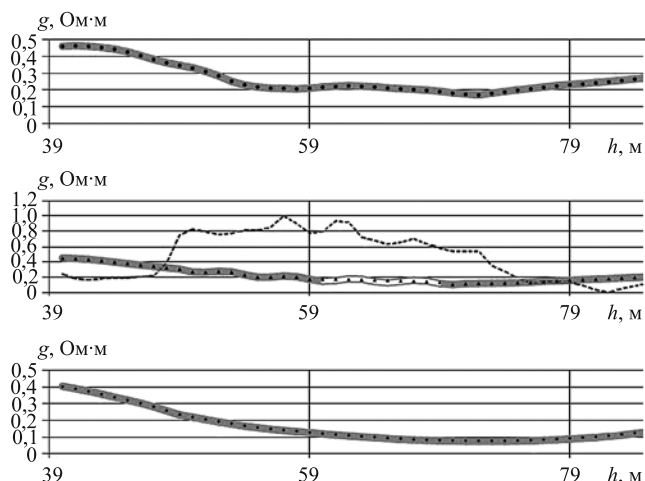


Рис. 2. Оценка сомнения в качестве участка, искажённого гармоническими колебаниями малой амплитуды:

■ — исходная кривая; □ — удалённый участок; ● — восстановленная кривая; --- — оценка сомнения

«ремонт» данных, корректировка значений исходных данных так, чтобы наилучшим образом работали построенные модели.

Алгоритм выявления локальных особенностей кривых на основе методов заполнения пробелов был построен следующим образом:

нормирование подобранных на предыдущем этапе кривых по мощности;

удаление участка тестируемой кривой, качество которого подвергается сомнению;

формирование из кривых матрицы (поверхности) с пробелами;

восстановление участка по имеющимся избыточным данным;

вычисление интеграла квадрата разности исходной и восстановленной кривой.

Оценка отклонения предстанет числом, прямо пропорциональным величине неуверенности системы в качестве данного участка (рис. 2).

В целях улучшения работы используемых методов восстановления данных формирующие матрицу кривые выстраиваются по критерию образования максимально «гладкой» поверхности. Для этого среди всех уникальных комбинаций кривых необходимо выбрать поверхность, обладающую минимальной суммой градиентов.

Методы итерационного моделирования неполных данных при помощи многообразий малой размерности. Рассматривают две версии метода [4]: *линейный* — с моделированием данных последовательностью линейных многообразий малой размерности; *существенно нелинейный*, основанный на построении «главных кривых» с использованием вариационного принципа.

Пусть задана прямоугольная матрица $A = (a_{ij})$, клетки которой заполнены действительными числами или знаком @, означающим отсутствие данных. Требуется представить исходную матрицу A в виде суммы одноранговых матриц P_q : $A = \sum_q P_q$, где каждая P_q имеет вид $x_i y_j + b_j$. Следовательно, ставится задача поиска наилучшего приближения A матрицей вида $x_i y_j + b_j$ методом наименьших квадратов:

$$\Phi = \sum_{\substack{i,j \\ a_{ij} \neq @}} (a_{ij} - x_i y_j - b_j)^2 \rightarrow \min. \quad (1)$$

Поскольку процедура является итерационной, то в качестве начального приближения вектора y возьмём случайное значение, но нормированное на 1, а в качестве b — средние значения в соответствующих столбцах исходной матрицы A : y — случайный, нормирован на 1 (т. е. $\sum_j y_j^2 = 1$):

$$b_j = \frac{1}{n_j} \sum_{\substack{i \\ a_{ij} \neq @}} a_{ij}, \quad (2)$$

$$\text{где } n_j = \sum_{\substack{i \\ a_{ij} \neq @}} 1.$$

Задаваясь практически произвольными начальными приближениями для y_j и b_j , получим значение x_i , далее объявляем неизвестными y_j и b_j и находим их значения при фиксированном x_i и т. д. Решая задачу (1), для данной матрицы A находим наилучшее приближение матрицей P_1 вида $x_i y_j + b_j$. Далее из матрицы A вычитаем полученную матрицу P_1 , и для полученной матрицы уклонений $A - P_1$ вновь ищем наилучшее приближение P_2 этого же вида и т. д. Контроль ведётся, по остаточной диспер-

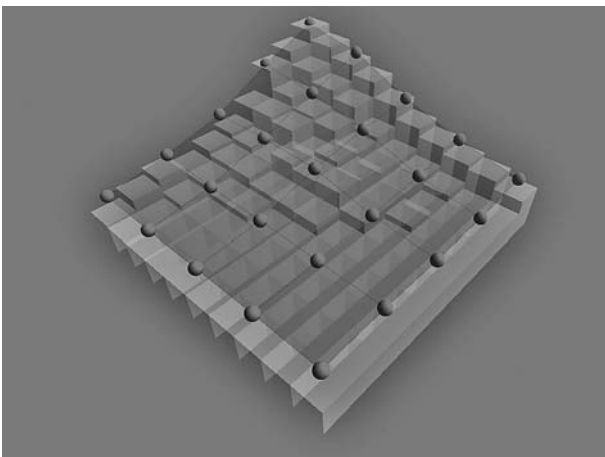


Рис. 3. Аппроксимация SOM набора данных

сии столбцов. В результате исходная матрица данных A представляется в виде суммы матриц P_q , т. е. $A = P_1 + P_2 + \dots + P_q$.

С использованием Q полученных факторов можно решать задачи заполнения пропусков в таблице и ремонта искажённых значений:

Q-факторное заполнение пропусков: пропущенные значения в исходной матрице A определяются из суммы Q полученных матриц вида $x_i y_j + b_j$;

Q-факторный «ремонт» таблицы: значения в исходной матрице заменяются на сумму Q полученных матриц вида $x_i y_j + b_j$.

Самоорганизующиеся карты Кохонена (Self-Organizing map — SOM) [4] — это модификация алгоритма линейного векторного квантования данных, т. е. представления N точек данных меньшим числом точек-ядер. Каждое из ядер заменяет локальное сгущение данных (таксон) (рис. 3). Заменённые данные представляются с ошибкой аппроксимации.

Пусть SOM определяется набором точек (ядер) $Y = \{y_{ij}\}$ ($i, j = 1 \dots m$), последовательно расположенных на квадратной сетке (аналогично для прямоугольной). На сетке требуется отобразить набор точек данных $X = \{x_j\}$. Введём преобразование Π , которое каждому вектору $x \in X$ сопоставляет ближайшую к нему точку из Y :

$$x \xrightarrow{\Pi} y_{ij}, |y_j - x|^2 \rightarrow \min, \quad (3)$$

каждому ядру y_{ij} сопоставляется его таксон

$$K_{ij} = \{x \in X \mid x \xrightarrow{\Pi} y_{ij}\}. \quad (4)$$

Минимизируемый функционал состоит из следующих слагаемых:

$$D_1 = \sum_{ij} \sum_{x \in K_{ij}} \|x - y_{ij}\|^2; \quad (5)$$

$$D_2 = \sum_{ij} \|y_{ij} - y_{i+1,j}\|^2 + \sum_{ij} \|y_{ij} - y_{i,j+1}\|^2; \quad (6)$$

$$D_3 = \sum_{ij} \|2y_{ij} - y_{i-1,j} - y_{i+1,j}\|^2 + \sum_{ij} \|2y_{ij} - y_{i,j-1} - y_{i,j+1}\|^2. \quad (7)$$

Для построения SOM требуется минимизировать функционал:

$$D = \frac{D_1}{|X|} + \lambda \frac{D_2}{m^2} + \mu \frac{D_3}{m^2}, \quad (8)$$

где λ, μ — параметры связности и нелинейности — «модули упругости».

В случае евклидовой метрики функционал D является квадратичным по положениям узлов y^{ij} , и с заданным разбиением точек данных на таксоны для его минимизации требуется решить систему линейных уравнений размерами $pq \times pq$. Следовательно, эффективным методом минимизации функционала D окажется такой алгоритм:

1. Узлы сетки так или иначе располагаются в пространстве данных.

2. При заданных положениях узлов сетки проводится разбиение множества точек данных на таксоны — подмножества K_{ij} .

3. При заданном разбиении множества точек данных на таксоны осуществляется минимизация функционала D .

Шаги 2 и 3 повторяются, пока функционал D не перестанет изменяться (в пределах заданной точности). Процесс сходится, так как на каждом этапе минимизации величина D будет уменьшаться, вместе с тем она ограничена снизу нулем. Более того, число вариантов разбиения точек данных на таксоны конечно, и процесс сходится за конечное число шагов.

Экспериментальные результаты. В настоящее время бурение любой скважины обязательно сопровождается комплексом геофизических исследований скважин (ГИС) [5]. Основой ГИС является каротаж, который заключается в измерении вдоль ствола скважины при помощи каротажного зонда какой-либо геофизической величины. Контроль качества первичных материалов экономически эффективно проводить непосредственно при полевых работах. Однако в большинстве случаев по ряду причин эта процедура переносится на этап интерпретации, тем самым увеличивая затраты времени и средств на выдачу заключений. В связи с изложенным выше, актуальна разработка систем автоматизированной оценки качества первичных материалов ГИС, обеспечивающих возможность оценивать качество материала перед его отправкой на интерпретацию.

Для анализа каротажных данных авторами создан программно-вычислительный комплекс «Комплекс инструментов для автоматизированного контроля качества данных ГИС» (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014611497), использующий представленный эвристический алгоритм. Результаты экспериментов позволяют утверждать, что при наличии слабых гармонических помех в наблюдениях он является наиболее предпочтительным. Участки

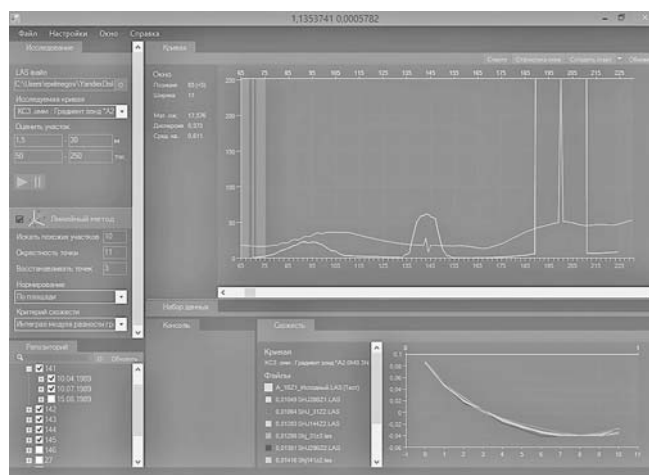


Рис. 4. Визуализация входных данных и результатов анализа их достоверности

с помехами отличались аномально высоким уровнем несоответствия от имеющихся в базе образцов (рис. 4).

Заключение. Сформулирована задача автоматизированного контроля качества входящего регулярного дискретного сигнала с использованием методов восстановления данных. Доказана возможность применения методов восстановления данных в задачах оценки качества. Методика основана на использовании методов теории подобия и восстановления данных с пропусками. Построена вычислительная схема, алгоритмы и создана программа решения задачи контроля качества ГИС. Автоматизация первичного контроля каротажных материалов позволит избежать дополнительных выездов на скважины для повторного проведения ГИС.

Библиографические ссылки

1. Marcey L. Abate, Kathleen V. Diegert, Heather W. Allen. A Hierarchical Approach to Improving Data Quality // Data Quality Journal. 1998. V. 4. № 1. P. 365—369.
2. Ботвиновская О.А., Ганичев Д.И., Хамитов И.Г., Хасанова Р.Г. Многоскважинные технологии интерпретации данных ГИС в ОАО «НК «Роснефть». URL: <http://prime.geotec.ru/ROSNEFT.doc> (дата обращения: 4.04.2014).
3. Веников В.А. Теория подобия и моделирование. М.: Высшая школа, 1976. 479 с.
4. Россиев А.А. Итерационное моделирование неполных данных с помощью многообразий малой размерности. Красноярск: Красноярский ГТУ, 2000. 83 с.
5. ГОСТ Р 54362—2011. Геофизические исследования скважин. Термины и определения. URL: http://www.sanse.ru/text/GOST_2008.pdf (дата обращения: 9.02.2014).



УДК 614:338 + 614.2:004

Н.А. Мешков, канд. техн. наук, доц.

(Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», г. Москва)

nmeshkov@gmail.com

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ИННОВАЦИОННЫМ РАЗВИТИЕМ РОССИЙСКОГО МЕДИКО-ПРОИЗВОДСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА

Рассмотрены перспективы инновационного развития российского здравоохранения на основе реализации возможностей, предоставляемых информационным обществом. Изучаются сущность и генезис информационно-коммуникационного медико-производственного пространства. Сформулирована задача создания информационно-аналитического интернет-портала российского медико-производственного комплекса (МПК). Изложена методология построения интеллектуальной системы управления инновационным развитием МПК на базе интернет-портала МПК.

Ключевые слова: инновационное развитие здравоохранения; медико-производственный комплекс; информационно-коммуникационное медико-производственное пространство; интеллектуальные системы управления; функциональные системы.

Russian health care innovative development prospects on the basis of opportunities realization given by information society are considered. The essence and genesis of information-communication medical-production space are studied. The creation problem of the information-analytical internet portal for Russian medical-production complex (MPC) is formulated. The intellectual control system creation methodology of MPC innovative development on the basis of MPC internet portal is stated.

Key words: health care innovative development; medical-productional complex; information-communication medical-production space; intellectual control systems; functional systems.

Эффективная модернизация российского здравоохранения невозможна без глубокого осмысления проблем инновационного развития отечественного медико-производственного комплекса (МПК) как множества взаимосвязанных и взаимодействующих между собой хозяйствующих субъектов, реализующих в процессе своего согласованного функционирования одну общую цель — обеспечение валеодемографической безопасности Российской Федерации на основе повышения эффективности и качества медико-социальной помощи населению страны, сохранения и укрепления физического и психического здоровья россиян, максимального продления активной творческой жизни и гармоничного развития личности. Инновационная направленность современных экономических процессов в медико-производственной сфере предъявляет особые требования к содержанию, организации, формам и методам управления развитием МПК, учитывающие возрастающее значение невещественных форм и качественных нетрадиционных факторов экономического роста.

Концепция развития системы здравоохранения в Российской Федерации до 2020 г. выдвигает на роль одного из определяющих факторов гарантированного обеспечения населения страны качественной медицинской помощью создание правовых и экономических условий для формирования саморегулируемой системы оказания медицинской помощи, обеспечивающей мотивированную эффективную работу медицинских служб каждого уровня, преемственность их действий на всех этапах лечения для достижения наилучшего результата. Актуальность и значимость формирования основ самоорганизации в российском здравоохранении особо отметил в одном из своих интервью председатель Комитета Государственной Думы РФ по охране здоровья С.В. Калашников: «Мы начисто потеряли гражданский институт мощной корпоративной ответственности, без которого обеспечение качественного здравоохранения невозможно. Необходимо создание эффективных, саморегулируемых медицинских организаций, которые бы взяли на себя огромный пласт проблем, начиная от аккре-

дитации врача, требований к качеству подготовки медицинских кадров, обеспечения повышения его квалификации и, самое главное, качества врачебной услуги» [1].

Закон РФ «Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации» устанавливает информированное добровольное согласие на медицинское вмешательство и на отказ от медицинского вмешательства в качестве необходимого предварительного условия медицинского вмешательства. В законе «Об обязательном медицинском страховании в Российской Федерации» подтверждается право застрахованного лица на выбор страховой медицинской организации, медицинской организации из участвующих в реализации территориальной программы обязательного медицинского страхования, выбор врача, оказывающего медицинскую помощь в выбранной застрахованным лицом медицинской организации.

Крайне важно, чтобы политика здравоохранения в области расширения свободы выбора пациента была направлена на «обеспечение разумного баланса между целями расширения выбора и содействие более эффективной организации предоставления медицинской помощи» [2].

В полной мере формирование саморегулируемой системы оказания медицинской помощи, принцип добровольного информированного согласия на медицинское вмешательство, право граждан на выбор по своему усмотрению страховой медицинской организации, медицинской организации и врача могут быть реализованы только в информационно-коммуникационном медико-производственном пространстве (ИКМПП), представляющем собой форму существования отношений, складывающихся в процессе осуществления субъектами МПК здравоохранительной и сопутствующей ей деятельности с использованием информационно-коммуникационных технологий [3].

Вместе с тем, пока еще крайне мало работ, посвящённых поиску возможностей, открывающихся перед гражданами и организациями в информационном обществе, изучению феномена ИКМПП.

Цель проведённого исследования — разработка теоретико-методологического подхода к построению интеллектуальной системы управления (ИСУ) инновационным развитием российского МПК, ориентированного на наиболее полную реализацию возможностей, открывающихся перед гражданами и органи-

зациями в связи с использованием информационно-коммуникационных технологий.

Достижение цели исследования было связано с решением следующих основных задач: уточнить дефиницию «информационно-коммуникационное медико-производственное пространство», определить сущность ИКМПП, изучить условия его формирования и развития, раскрыть его инновационный потенциал; разработать концепцию единого общероссийского информационно-аналитического интернет-портала МПК как ключевого системообразующего элемента инновационной инфраструктуры ИКМПП; сформировать методологию построения интеллектуальной системы управления инновационным развитием МПК на базе информационно-аналитического интернет-портала МПК.

Принципиально важным моментом в дискуссии относительно теории и практики управления инновационным развитием МПК в условиях информационного общества является вопрос о соотношении понятий «информационно-коммуникационное пространство» и «информационно-коммуникационная среда». Понятие «пространство» коренным образом отличается от нередко отождествляемого с ним понятия «среда». Главным критерием в определении среды как окружающих человека социально-бытовых условий, обстановки, а также совокупности людей, связанных общностью этих условий, служит выполнение средой контекстной функции по отношению к любому существующему в ней объекту, происходящему в ней явлению или процессу, тогда как под пространством понимается место, где эти объекты существуют, эти явления и процессы реализуются. В процессе формирования и развития информационно-коммуникационного пространства в результате конструктивной деятельности его субъектов возникают качественно новые ресурсы, в то время как управление информационно-коммуникационной средой лишь позволяет актуализировать потенциально существующие в ней ресурсы.

С расширением присутствия субъектов МПК в ИКМПП ускоряется процесс социальной институционализации ИКМПП. Активизируется формирование валеологического интернет-сообщества (объединения людей, имеющих общие интересы, общую цель — сохранение и укрепление здоровья россиян, обеспечение валеодемографической безопасности России). С возникновением и развитием

в валеологическом интернет-сообществе обменных процессов возникают и развиваются социальная общность участников медико-производственных и лечебно-оздоровительных процессов и их ценностная ориентация.

Ключевым системообразующим элементом инновационной инфраструктуры ИКМПП является единый общероссийский информационно-аналитический интернет-портал МПК — основанная на последних достижениях интернет-технологий глобальная саморазвивающаяся проблемно-ориентированная информационно-коммуникационная система, виртуальная организация, предоставляющая пользователям возможность расщепленной и децентрализованной работы, средство массовой информации, инструмент общественного и административного контроля за деятельностью органов государственной власти и местного самоуправления, учреждений здравоохранения, других субъектов МПК, направленной на сохранение и укрепление здоровья россиян, социальная сеть работников МПК и пациентов.

Стратегия развития портала МПК предполагает активизацию деятельности органов государственной власти и местного самоуправления, субъектов МПК и граждан в ИКМПП. На стадиях роста и зрелости портала основной вклад в формирование контента портала своими действиями будут вносить его участники и пользователи по схеме краудсорсинга [4]. Формирование контента портала должно осуществляться в организациях МПК, научно-исследовательских и производственных организациях, государственных и муниципальных структурах, региональных и местных отделениях политических партий, общественных организациях и др.

В организационно-экономическом аспекте портал МПК представляет собой своеобразный «виртуальный бизнес-центр» с существенно расширенными и видоизмененными функциями. Финансирование функционирования и развития портала в значительной мере должно осуществляться по схеме краудфандинга. Взаимоотношения портала с участниками портала строятся по схеме аутсорсинга. Как аутсорсер портал МПК предлагает всем своим участникам широкий спектр услуг и ресурсов, вплоть до создания и обеспечения функционирования их автономных интернет-представительств в рамках портала.

В результате развития интеграционных процессов, инициируемых порталом МПК,

в ИКМПП возникает мощный позитивный синергетический эффект. Реализация синергизма в ИКМПП способствует повышению эффективности функционирования российского здравоохранения.

Для выявления и изучения доминирующих тенденций развития МПК, моделирования и прогнозирования инновационной деятельности в медико-производственной сфере следует использовать системные экономико-математические модели [5—9].

На стадии перехода России к рыночным отношениям особого внимания заслуживают модели гермейеровского типа. В гермейеровских системах нет отношений подчиненности: в условиях рынка экономические отношения между хозяйствующими субъектами строятся на принципах равенства, автономии воли и имущественной самостоятельности их участников.

Там, где есть отношения подчиненности, МПК и его подсистемы можно рассматривать как активные системы, в которых один или несколько управляемых субъектов (активных элементов) могут целенаправленно выбирать своё состояние, руководствуясь личными интересами и предпочтениями.

Для качественного анализа инновационных процессов, происходящих в ИКМПП, целесообразно использовать методы и средства теории самоорганизации — синергетики [6, 10]. На основе этого подхода построены и исследованы следующие синергетические модели: информационного развития ИКМПП; экономического развития ИКМПП; предпринимательской активности субъектов МПК в ИКМПП; развития науки в ИКМПП; профессиональной подготовки организаторов здравоохранения и врачей-менеджеров; выработки коллективных решений, направленных на повышение социально-экономической эффективности функционирования МПК.

Порталу МПК предстоит внести свой вклад в повышение роли участия региональной общественности в формировании местной политики в области здравоохранения. Большое влияние на развитие МПК будет оказывать организованная по схеме ноосорсинга инновационная деятельность формирующегося на базе портала МПК экспертного профессионального интернет-сообщества. Объединяясь на портале МПК, представляющем собой открытую медицинскую платформу [7], все заинтересованные в сохранении и укреплении здоровья россиян стороны смогут

разрабатывать, развивать и распространять новые концепции и решения в области организации здравоохранения.

Для управления инновационным развитием МПК в условиях информационного общества целесообразно использовать интеллектуальные технологии управления, включающие или основанные на теории функциональных систем П.К. Анохина [8, 9]. Результат, способствующий достижению цели функциональной системы, получается на основе принципа саморегуляции. Реализуя возможности, предоставляемые современными информационно-коммуникационными технологиями, на базе информационно-аналитического интернет-портала МПК можно построить интеллектуальную систему управления инновационным развитием МПК — объединённую единым информационно-коммуникационным процессом совокупность технических и программных средств, работающую во взаимодействии с человеком (коллективом людей), способную на основе информации о состоянии внешней среды и собственном состоянии МПК, а также прогноза этих состояний при наличии мотивации и постоянно обновляемых знаний, касающихся самых разных аспектов медико-производственной деятельности, синтезировать цель управления (в виде формального описания задач развития МПК), принимать управленческие решения и находить рациональные способы достижения цели [11—14]. Построение ИСУ инновационным развитием МПК предполагает реализацию механизма синтеза цели управления, динамической экспертной системы, методов самоорганизации, принятия решений и прогнозирования, объединённых в рамках функциональной структуры П.К. Анохина.

Цель управления инновационным развитием МПК формируется на основе базы знаний и механизма мотивации. Для формирования цели нужна полная, достоверная и актуальная информация о собственном состоянии МПК и о состоянии его внешней среды.

Ключевым элементом ИСУ инновационным развитием МПК является акцептор действия [13—14]. Располагая статистической и экспертной информацией, акцептор действия осуществляет экстраполяцию исследуемых параметров инновационного развития МПК и сравнение результата экстраполяции с результатами измерений. Информация о соответствии результатов действия и прогноза передаётся в экспертную систему и систему синтеза

цели управления. Если результат действия соответствует прогнозу, цель управления признаётся достигнутой, выбранное управление — правильным. В случае несоответствия результата действия и прогноза выполняется новая экспертная оценка, принимается новое решение и реализуется новое управляющее воздействие. Когда же оказывается, что достигнуть соответствия в принципе невозможно, происходит изменение цели управления — синтезируется новая цель [11].

При формировании акцептора действия ИСУ инновационным развитием МПК метод построения прогнозирующих моделей предлагается сочетать с подходом самоорганизации [13]. В ИСУ инновационным развитием МПК портал МПК будет выполнять следующие функции: сбор, накопление и хранение информации о состоянии внешней среды и собственном состоянии МПК; синтез цели управления на основе оценивания информации о состоянии внешней среды и собственном состоянии МПК, а также прогноза этих состояний при наличии мотивации и специальных знаний; формирование и развитие базы знаний, касающихся самых разных аспектов медико-производственной деятельности; выработка оценки, необходимой для принятия решения, а также прогноза для акцептора действия; принятие решения; проверка акцептором действия соответствия результата действия (при реализации выбранного управления) прогнозу.

По аналогичной методике могут быть построены, с учётом конкретной специфики, ИСУ инновационным развитием российского образовательного комплекса [11], региональных масс-медийных комплексов [12], других сложных социально-экономических систем.

Таким образом, из всего вышеизложенного можно сделать следующие обобщающие выводы: в условиях движения страны к информационному обществу открываются новые возможности инновационного развития российского МПК, связанные с формированием и развитием ИКМПП как формы существования отношений, складывающихся в процессе осуществления субъектами МПК здравоохранительной и сопутствующей ей деятельности с использованием современных информационно-коммуникационных технологий;

Предлагаемая методология управления инновационным развитием российского МПК в условиях информационного общества предполагает: изучение особенностей инноваци-

онного развития МПК в условиях информационного общества, исследование условий формирования и развития ИКМПП, оценку его инновационного потенциала; создание единого общероссийского информационно-аналитического интернет-портала МПК как ключевого системообразующего элемента инновационной инфраструктуры ИКМПП; конструирование интеллектуальной системы управления инновационным развитием МПК.

Необходимым элементом предлагаемой методологии является метод построения на базе интернет-портала МПК интеллектуальной системы управления инновационным развитием МПК, предполагающий реализацию механизма синтеза цели управления, динамической экспертной системы, методов самоорганизации, принятия решений и прогнозирования, объединённых в рамках функциональной структуры П.К. Анохина.

Библиографические ссылки

1. **Калашников С.В.** Интернет-интервью на тему: «Инновационное развитие и модернизация здравоохранения в Российской Федерации. Правовой аспект» (22 февраля 2012 г.). [Электронный ресурс]. URL: <http://www.garant.ru/action/interview/382320> (дата обращения: 06.05.2015).
2. **Sheiman I., Shishkin S., Markelova H.** Opportunities and limitations of patient choice: The case of the Russian Federation // *Health Policy and Planning*. 2014. Vol. 29. Issue 1. P. 106—114.
3. **Мешков Н.А.** Медико-производственный комплекс в глобальном информационном обществе. М.: МИЭМ, 2008. 256 с.
4. **Brabham D.C., Ribisl K.M., Kirchner T.R., Bernhardt J.M.** Crowdsourcing applications for public health // *American Journal of Preventive Medicine*. 2014. Vol. 46. Issue 2. P. 179—187.
5. **Мешков Н.А.** Системное моделирование медико-производственного комплекса // *Автоматизация и современные технологии*. 2003. № 11. С. 37—40.
6. **Мешков Н.А.** Методика качественного анализа инновационных процессов, происходящих в информационно-коммуникационном медико-производственном пространстве // *Качество. Инновации. Образование*. 2011. № 6 (73). С. 44—47.
7. **Bullinger A.C., Rass M., Adamczyk S., Möslein K.M., Sohn S.** Open Innovation in Health Care: Analysis of an Open Health Platform // *Health Policy*. 2012. Vol. 105. Issues 2-3. P. 165—175.
8. **Неусыпин К.А., Цибизова Т.Ю.** Некоторые аспекты реструктуризации систем управления современными учебно-научными центрами // *Автоматизация и современные технологии*. 2012. № 1. С. 30—34.
9. **Бородулин И.Н., Неусыпин К.А.** Вопросы синтеза систем управления качеством образовательных организаций // *Качество. Инновации. Образование*. 2004. № 3. С. 21—27.
10. **Мешков Н.А., Неусыпин К.А., Абрамешин А.Е., Александров А.А., Пролетарский А.В.** Разработка и исследование системы управления инновационным развитием российского образовательного комплекса в условиях информационного общества // *Качество. Инновации. Образование*. 2012. № 10 (89). С. 2—15.
11. **Мешков Н.А.** Конструирование интеллектуальной системы управления инновационным развитием российского медико-производственного комплекса // *Качество. Инновации. Образование*. 2011. № 9 (76). С. 55—59.
12. **Meshkov N.A.** Application of self-organization approach for solving the problem of forecasting in an intelligent management system of innovative development of the Russian medical-industrial complex in the information society // *Инновационные информационные технологии*. 2014. № 3. С. 346—350.
13. **Мешков Н.А.** Методологические основы построения интеллектуальной системы управления инновационным развитием российского образовательного комплекса в условиях информационного общества // *Инновации в образовании*. 2014. № 4. С. 163—173.
14. **Мешков Н.А., Матвеев А.С.** Концепция инновационного развития регионального масс-медийного комплекса в условиях информационного общества // *Бизнес-информатика*. 2013. № 2 (24). С. 19—26.

Вниманию авторов!

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

УДК 536.2; 617-089; 615.47; 004.94

И.А. Бурков, А.А. Жердев, д-р техн. наук, проф., **А.В. Шакуров**
(Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана),
А.В. Пушкарёв (Российская медицинская академия последипломного образования, г. Москва)

shakurov@bmstu.ru

КОМПЬЮТЕРНОЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА МЕСТНОГО ГИПОТЕРМИЧЕСКОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ДЛЯ РОБОТ-АССИСТИРОВАННОЙ ХИРУРГИИ

Одними из основных трендов в развитии современной хирургии являются внедрение малоинвазивных и роботических технологий, часто имеющих совмещённый характер. Основная задача данной работы — создание теплофизической модели, проверка её адекватности и проведение последующего численного исследования, которое позволит рассчитывать гипотермическое газовое охлаждение биологической ткани для различных задач с применением различных рабочих сред. В частности, для этого создаётся и совершенствуется инструмент для моделирования процессов теплообмена текучей среды и биоткани с гарантированной точностью, возможностью анализировать процесс и вносить изменения во входные параметры для различных частных задач. Также проводятся исследования процессов теплообмена и движения среды в случае базового типичного применения такого рода воздействия. По итогам работы можно сделать вывод о том, что компьютерное моделирование перспективно применять при создании автономных блоков роботических систем, служащих для автоматизированного расчёта процессов.

Ключевые слова: гипотермия; роботическая медицина; робот-ассистированная хирургия; Ансис; МКЭ; модель теплообмена.

One of the main development trends of the modern surgery is minimally invasive and robot-assisted technologies implementation, which often have the combined character. This work cardinal task is the thermophysical model creation, checking its adequacy and carrying out subsequent computational investigation. This investigation allows calculating hypothermic gas cooling of biological tissues for different purposes with application of various working environments. In particular, it is created and improved tools for modeling of fluid heat exchange processes and the biological tissue with guaranteed accuracy, the ability to analyze the process and to make changes in the input parameters for various particular tasks. Also processes research of heat exchange and the medium movement in the case of the typical basic application of this kind of exposure is carried out. According to the work results it can be concluded that computer modeling is promising to use when creating a stand-alone unit robotic systems used for processes automatic calculation.

Key words: hypothermia; robotic medicine; robot-assisted surgery; ANSYS; FEM; heat transfer model.

Низкие температуры, как физический фактор в медицине, имеют актуальное применение и потенциал к развитию, которые могут стимулировать её дальнейшее развитие. Например, сегодня недостаточно раскрыт потенциал использования криоконсервации на практике [1], позволяющий снизить количество и степень большого числа осложнений при травмах головного мозга с использованием гипотермии [2]. Современные технические возможности позволяют расширить применение охлаждения в лапароскопической хирургии, в том числе с использованием роботических манипуляторов [3].

В работе [4] теплофизическое моделирование применяется для расчёта гипотермического охлаждения почек с помощью бинарного льда. Используя программный комплекс ABAQUS, разработана трёхмерная компьютерная модель, служащая для прогнозирования

охлаждения почки во время малоинвазивной лапароскопической хирургической операции. В работе [5] проведён расчёт теплообмена методом конечных элементов при охлаждении почки пакетом, содержащим охлаждающую среду. Приведены данные о полученном поле температур и их изменении по времени, проведён модельный эксперимент. Также приведены параметры конечной температуры, скорости её достижения в конкретном случае. Отсюда сделан вывод, что для расчёта и прогноза хода криовоздействия при конкретной его реализации перспективно проведение вариантных расчётов (для определения параметров оборудования в заданной ситуации) с использованием расчётной геометрической модели, отражающей особенности протекающих процессов. Для этого необходимо использовать теплофизическое моделирование процедуры, как в предоперационный период, так и во время операции в режиме

реального времени (при контроле температуры во время процедуры). На сегодняшний день данная потребность реализуется недостаточно. Например, для пошагового обеспечения эффективности локального воздействия с применением компьютерного подхода.

При проведении робот-ассистированной радикальной простатэктомии (РАЛП) имеются примеры применения гипотермического охлаждения. Для этого непосредственно во время операции для локального охлаждения применяется состав на основе воды с температурой около 4 °С, а также осуществляется предварительное ректальное охлаждение специальным зондом [6]. Сегодня возникают трудности с подбором оптимальных параметров охлаждения. На текущий момент они выбираются опытным путём, причём без количественной оценки температуры, получаемой в целевой области охлаждения. Таким образом, охлаждение при РАЛП имеет сугубо эмпирическое применение. Ниже предлагается исследовать гипотермическое охлаждение, проводимое с помощью подачи холодного газа. Такой метод может обеспечить благоприятный режим охлаждения, уменьшающий травмирующее воздействие на оперируемые ткани. Газовая гипотермия имеет преимущества по сравнению с охлаждением водой: отсутствуют дополнительные паузы в работе хирурга; удобен отвод газа из зоны проведения хирургических манипуляций; роботические системы могут осуществлять температурное воздействие одновременно с наддувом.

Ранее в результате анализа биооперационной системы (оборудование и пациент) была разработана математическая модель теплообмена, включающая дифференциальные уравнения конвективного теплообмена в газе, находящегося в брюшной полости, и уравнение кондуктивного теплообмена в тканях с учётом кровотока [7]. Данная математическая модель описывает общий случай теплообмена при газовом охлаждении брюшной полости для робот-ассистированной медицины.

Современный расчёт процессов теплообмена в биоткани подразумевает создание компьютерной программы расчёта для конкретной геометрической области с конкретными условиями однозначности с помощью программных пакетов, реализующих численные методы [4, 5]. В данном случае применялось программное обеспечение ANSYS версии 14.5 Academic Research. Это универсальная программная система конечно-элементного анализа, которая является универсальной платформой для создания расчётных программ.

На базе доработанной математической модели сконфигурирована компьютерная программа, позволяющая прогнозировать распределение температур расчётной геометрической модели при их охлаждении в зависимости от различных исходных данных. Базовая программа, направленная на моделирование процесса теплообмена в интервале температур биоткани от 0 до 37 °С, позволяет менять физические свойства биоткани (теплопроводность, плотность, теплоёмкость и т. д.), наддувочного газа, его температуру и расход. Время воздействия холодного газа на биоткань определяется пользователем и изменяется в интервале от 0,01 до 100 000 с. В процессе оптимизации разработанной программы было определено количество конечных элементов, на которое необходимо разбить базовую геометрию для получения точного результата и снижения необходимых вычислительных мощностей. Их число составило 1 615 743, каждый элемент имеет форму тетраэдра. Таким образом, созданная программа является инструментом для моделирования заданных процессов сопряжённого теплообмена между газом и внутренними органами биоткани. Это обусловлено применяемой геометрической расчётной моделью (рис. 1, см. обложку) и заданными условиями однозначности, приближёнными к условиям робот-ассистированных операций. Расчётная геометрическая модель состоит из двух тел. Верхнее тело — это область, в которой находится текущая среда. Нижнее тело — область моделирующей биоткани среды (содержит углубление). Также представлена трубка подачи газа.

При проверке программы на адекватность применён гибридный подход, сочетающий экспериментальные исследования и методы численного моделирования. Было проведено экспериментальное исследование процесса охлаждения модельной среды, имитирующей условия хирургической операции на внутренних органах. Разработанный экспериментальный стенд состоит из трёх основных частей: камеры имитации РАЛП (рис. 2, см. обложку), набора измерительного оборудования, системы подачи газа. Камера имитации РАЛП состоит из ёмкости с крышкой, стенки которой оборудованы кабельными вводами для проводки датчиков температуры, а также держателя для датчиков. Перед проведением эксперимента в камере формируется модельное вещество и пустое пространство, предназначенное для циркуляции газа, что с точки зрения теплообмена имитирует хирургическую операцию в брюшной полости. Форма модельного вещества и его теплофизические свойства близки к реальной

конфигурации при РАЛП, т. е. формируемое углубление подобно форме хирургического доступа во время операции. Размеры соответствуют расчётной геометрической модели базовой компьютерной программы. Предложенная в работе методика может рассматриваться для тестирования эффективности воздействия на клетки различного, в том числе человеческого, происхождения и поиска путей его оптимизации. Желатиновый гель состоит из 95 % воды и 5 % желатина (аналог *in vitro* для биоткани соответствующего влагосодержания). Чтобы имитировать работу инсуффлятора в экспериментальном стенде используется диоксид углерода. Данные об изменении температурных полей в модельном веществе получают при использовании восьми термометров сопротивления, об изменении температуры газа — двумя термометрами сопротивления. Во время эксперимента в камеру подаётся холодный газ, данные об измерениях передаются автоматически с помощью системы сбора и анализа данных.

На подготовленном стенде проведена серия физических экспериментов, в ходе которых проводилось охлаждение биоткани с параметрами, аналогичными параметрам при вычислительных экспериментах. Полученные замеры применялись для верификации и уточнения математической модели. Для этого в созданной программе был проведён ряд вычислительных экспериментов. В частности, моделировалось охлаждение биоткани при начальной температуре от 20 до 37 °С газобразным диоксидом углерода при температуре газа на входе от минус 15 до минус 5 °С в течении 500—1500 с. В результате расчётов получены распределения температур в аналоге биоткани в зависимости от времени. Для сравнения результатов вычислительного и физического экспериментов использовались данные изменения температуры во времени для контрольных точек. Основная контрольная точка расположена на границе целевой области — на глубине 5 мм по оси сформированного углубления. В камере имитации РАЛП располагался контрольный термометр сопротивления. В компьютерной программе значения в точке рассчитывались автоматически. Сравнение экспериментальных и расчётных результатов (рис. 3, см. обложку) показывает, что расхождение между ними весьма мало, максимальное расхождение получается в середине расчёта и составляет около 10 %, причём это расхождение уменьшается по мере приближения к стационарному состоянию на 500 с расчёта (характерное время для гипотермического газового охлаждения) составляет 3,5—4 %.

Следующая часть работ, после проверки адекватности компьютерной программы, — проведение вычислительного эксперимента. Физические параметры ткани внутренних органов приведены в таблице.

Теплофизические параметры области аналога биоткани

Молярная масса	μ , кг/кмоль	18
Плотность	ρ , кг/м ³	1050
Теплопроводность	λ , Вт/(м·К)	0,5
Теплоёмкость	c , Дж/(кг·К)	4073
Начальная температура	$T_{\text{нач}}$, К	293

При варьировании получены окончательные параметры расчёта. Время охлаждения 600 с. Наддувающий охлаждающий газ — диоксид углерода при температуре минус 5 °С, создающий в полости избыточное давление 2100 Па. Диаметр трубки, подводящей газ, 8 мм. В результате проведения вычислительного эксперимента получено распределение температур (рис. 4, см. обложку). Так, температура поверхности домена «биоткань» понизилась до 10 °С, что соответствует температуре спазма сосудов.

В результате моделирования можно сделать следующие выводы. Анализ линий тока охлаждающей текучей среды показал низкое влияние площадки отвода газа и относительно высокий уровень интенсификации теплообмена вблизи его подачи.

Подвод газа рекомендуется осуществлять вблизи целевой области на удалении от 5—10 мм, что позволяет сконцентрировать турбулентный поток газа на охлаждении целевой области и близлежащих к ней тканей. При формировании струи подвода газа в первую очередь важны расход и сечение подачи газа. Предлагается прокачивать газ через брюшную полость и отводить его организованным способом через трубку. Сечение подвода рекомендуется в диапазоне 6—8 мм, что отвечает требованиям малоинвазивной лапароскопической хирургии. Форма сечения трубки предлагается круглой. Возможно использовать полукруг при совмещении каналов притока и выхода газа в одной трубке. С точки зрения применения различных газов рекомендуется применять диоксид углерода, ввиду его относительно высокой теплоёмкости и возможности интенсифицировать теплообмен добавлением аэрозольных частиц в твёрдом состоянии. Также перспективно было бы использовать модифицированные смеси газ-жидкость, в том числе газ-бинарный лёд. При этом можно варьировать теплофизиче-

скими свойствами подаваемой текучей среды. С точки зрения полученных данных о глубине охлаждения и скорости изменения температуры, как и ожидалось, газовое охлаждение, при прочих равных условиях, уступает охлаждению жидкостью. Однако турбулизация потока позволила локализовать его при простоте отвода позволили снизить этот разрыв. На текущий момент расчётное и проверенное с помощью модельных наблюдений охлаждение жидкостью позволяет ускорить процесс получения гипотермического состояния в два раза по сравнению с охлаждением газом при выбранных условиях подачи. Однако при охлаждении водой необходим её интенсивный отвод, так как она скапливается в полости, что вызывает определённые трудности, также наблюдается более интенсивное охлаждение биоткани, далёкой от целевой зоны, что является нежелательным.

Таким образом, проведённый вычислительный эксперимент подтвердил выдвинутые ранее предположения о целесообразности применения охлаждения одновременно с наддувом при проведении робот-ассистированной операции. В ходе анализа предложенной схемы и основываясь на данных, полученных в ходе библиографического поиска, было накоплено достаточно информации для перехода на следующий этап — усложнение структуры рас-

чётной области и расчёта различных вариантов реализации рабочего тела.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 13-08-12030 офи_м.

Библиографические ссылки

1. **Zhmakin A.I.** Physical aspects of cryobiology *Physics-Uspekhi*. 2008. Т. 51. № 3. С. 231—252.
2. **Smith K.D.** Brain hypothermia induced by cold spinal fluid using a torso cooling pad: theoretical analyses / Smith K.D., Zhu L. // *Medical and Biological Engineering and Computing*, Vol. 48, № 8, Aug 2010. P. 783—791.
3. **Greer D.M.** Hypothermia for Cardiac Arrest // *Current Neurology and Neuroscience Reports*. 2006. Vol. 6. P. 518—526.
4. **Kasza K., Wu Y.** Ice Slurry Medical Protective Organ Cooling: Buying Surgeons and Emergency Responders More Time // *Argonne National Laboratory*, September 2009. 7 p.
5. **Summers E., Cervantes T., Batzer R., Stark J., Lewis R.** Innovative Renal Cooling Device for Use in Minimally Invasive Surgery // *Journal of Medical Devices*, Vol. 5, № 2, 2011. P. 1—9.
6. **Finley D.S., Osann K., Chang A., Santos R., Skarecky D., Ahlering T.E.** Hypothermic robotic radical prostatectomy: impact on continence. *J Endourol*, 2009, 23(9). P. 1443—1450.
7. **Жердев А.А., Шакуров А.В.** Моделирование полостного защитного гипотермического охлаждения, Тезисы Шестой Российской национальной конф. по теплообмену. Т. 3. М.: Издательский дом МЭИ, 2014. С. 245—247.

УДК 681.5: 519.68: 004.93

А.М. Михайлов, канд. техн. наук, **А.Н. Абраменков**, **Н.В. Петухова**, **М.П. Фархадов**, д-р техн. наук
(Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, г. Москва)

serena@ipu.ru

КОРТИКАЛЬНЫЙ КЛАССИФИКАТОР И НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ЕГО ПРОГРАММНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ

Рассмотрена концепция использования колонковой структуры коры головного мозга для построения искусственного нейронного кортекса, способного эффективно решать задачи распознавания и кластеризации образов. Предложенная концепция позволила построить математическую модель биологических процессов распознавания. Построенная модель нейронного кортекса доведена до программных экспериментов, в результате которых получены оценки его быстродействия и надёжности.

Ключевые слова: биологический кортекс; искусственный нейронный кортекс; распознавание и кластеризация образов; кора головного мозга; биологический индекс образов; распараллеливание вычислений.

Utilization conception of the head brain cortex columnar structure for the artificial neural cortex construction that can effectively solve the problems of recognition and clustering images is considered. The proposed conception allowed building a mathematical model of the biological processes recognition. Constructed model of the neural cortex is led as far as software experiments, as a result of which its performance and reliability valuation is received.

Key words: biological cortex; artificial neural cortex; images, recognition and clustering; head brain cortex; images biological index; calculation paralleling.

Введение. Искусственный нейронный кортекс представляет собой многомерную индексную систему, структура которой напоминает колонковую организацию нейронов коры головного мозга. Авторы идеи создания искусственного нейронного кортекса [1] предположили, исходя из собранного нейрофизиологами материала о функционировании коры головного мозга, что в функциональном отношении кора является по существу биологическим индексом образов. В 2007 г. был получен патент США на создание устройства «Neural Cortex» [2], которое включало оперативную память, индексную нейронную сеть с колонковой топологией и метод обработки информации для решения задач распознавания образов. Это изобретение было запатентовано в Европе, Австралии и в других странах [3, 4].

Принципы, положенные в основу искусственного нейронного кортекса, позволяют значительно ускорить алгоритмы решения задач распознавания и кластеризации образов за счёт увеличения памяти. Эта технология может стать наиболее перспективной для задач большой размерности или требующих высокого быстродействия. Ниже приводится описание принципов построения искусственного нейронного кортекса, обзор его свойств и описание программной реализации. Также приводятся полученные оценки качества функционирования разработанного программного обеспечения.

Некоторые сведения об анатомии и функционировании коры головного мозга. Кора головного мозга (cerebral cortex) представляет собой слой ткани толщиной 2 мм, состоящий из нейронных клеток. Площадь коры головного мозга человека составляет около 2200 см², что приблизительно равно площади четырёх листов формата А4 [5]. Поскольку диаметр черепа не превышает 18 см, то кора скомкана и образует множество складок.

Строение коры головного мозга. Первое свидетельство того, что нейроны коры анатомически организованы в колонки, было получено в 1929 г. [5]. Диаметр этих тонких цилиндров или мини-колонок равен 0,03 мм, а высота 2 мм (рис. 1) [5]. Эти мини-колонки образованы пирамидальными нейронами, связанными вместе наподобие стеблей в пучке (рис. 1).

Каждая мини-колонка содержит около 100—110 кортикальных пирамидальных нейронов [6], скрученных в один жгут. У других видов млекопитающих количество нейронов в мини-колонке также не превышает этой величины. Известно, что мини-колонки анато-

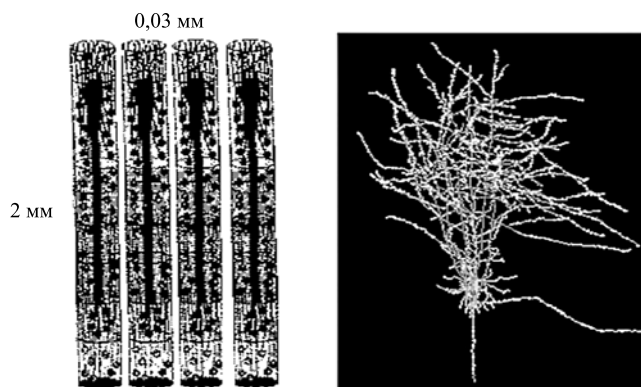


Рис. 1. Кортикальные колонки (слева) и пирамидальный нейрон (справа)

мически агрегированы в макроколонки, содержащие несколько сотен мини-колонок [6].

Сопоставление размеров мозга человека и других млекопитающих позволяет сделать вывод о том, что более высокий уровень интеллекта достигается не увеличением высоты нейронных колонок (количества нейронов в колонке), а увеличением общего количества колонок. Смысл этой стратегии состоит в минимизации энергии, потребляемой мозгом.

Можно предположить, что количество потребляемой энергии пропорционально общему количеству колонок, но это не так в случае, если большинство колонок находится в неактивном состоянии, хотя волны активности могут достигать любых областей кортекса. На рис. 2 (см. обложку) [7, 8], полученного с помощью функционального магнитно-резонансного томографа, показано нормальное распределение активности в кортексе. На рис. 2 видно, что большая часть кортекса остаётся неактивной (тёмные области), в то время как активные области (светлые пятна) занимают не более 5—10 % общего объёма кортекса. Единственное известное нейрофизиологическое состояние, когда все области кортекса одновременно активизируются — это эпилептический припадок, в результате которого мозг мгновенно выкачивает всю энергию из организма и человек теряет сознание.

Известно, что кора головного мозга — это некоторая система памяти [9], но она не является параллельным запоминающим устройством, когда все элементы коры активизировались бы одновременно, чего не наблюдается на томограммах.

Функции нейронной колонки. Несмотря на интенсивные нейрофизиологические исследования в области строения и функционирования кортекса [10], ещё нет полного понимания функции кортикальной колонки. Однако

концепция колонковой организации нейронов имеет ряд серьёзных аргументов в свою пользу и может быть применена в качестве модели выполнения некоторых функций по восприятию внешних факторов. Главный аргумент в пользу нейронных колонок состоит в том, что вертикально расположенные нейроны одновременно реагируют на один стимул [11], т. е. все нейроны одной мини-колонки активизируются одновременно. Другое соображение, говорящее в пользу колонки, вытекает из способа формирования кортекса. В эмбрионе единичная клетка-предшественник мигрирует из внутренней полости мозга к месту формирования кортекса. Затем в результате деления каждой клетки-предшественника возникают около 100 нейронов, образующих мини-колонку. Таким образом, термин мини-колонка может относиться к группе клеток, произошедших от одного предшественника [9]. Аргументы в пользу организации нейронов колонкой можно найти в работе [9].

Известным примером избирательных кортикальных колонок являются ориентационные колонки зрительной коры мозга, нейроны которых реагируют на линии, проектируемые на них под определённым углом. Нейроны в одной колонке реагируют на границы под углом в 25° , другой колонки — в 35° и т. д. [6]. Аналогично, сенсорные нейроны обоняния реагируют только на строго определённые компоненты запаха [12]. Каждый сенсорный нейрон запаха подсоединён через свой аксон только к одной колонке кортекса обоняния. Поэтому индивидуальные колонки кортекса обоняния реагируют только на компоненты запаха. Индивидуальные колонки кортекса осязания реагируют только на индивидуальные компоненты ощущений. Эти примеры показывают, что индивидуальные кортексные колонки реагируют только на индивидуальные признаки.

С другой стороны, каждая индивидуальная колонка различных областей кортекса реагирует на различные многокомпонентные сенсорные образы. Например, одна колонка кортекса обоняния активизируется различными запахами [12]. Этот кажущийся парадокс объясняется тем, что, как отмечено выше, не существует сенсорных нейронов, реагирующих на определённый запах, т. е. на сложный конгломерат молекулярных компонентов, а каждый сенсорный нейрон реагирует на свой компонент запаха независимо от того, в каком виде запаха этот компонент присутствует. Поэтому каждая колонка запаха активизируется любым запахом из множества запахов, в которых присутствует компонент, за который эта колонка

отвечает. Другими словами, если множество запахов имеет *общий признак*, то колонка, которая настроена на этот признак, будет реагировать на любой из этих запахов. Кортекс обоняния затем рассматривает всю комбинацию активированных колонок и интерпретирует её как определённый запах. Эта интерпретация и является тем, что мы воспринимаем как запах.

Коммуникация нейронов. В работе [13] отмечено, что когда нейроны активизируются, то проводимость синапсов усиливается. Аналогичным явлением является долговременная потенциализация [14], состоящая в возникновении синапсов между нейронами, которые активизируются одновременно. Поскольку коммуникации нейронов осуществляются через синапсы, то долговременная потенциализация считается основным механизмом обучения и памяти [14]. Следовательно, когда входной образ активизирует набор нейронов, то можно ожидать появления новых синаптических связей, если они не существовали ранее.

Кортикальная иерархия. В каждой полушере головного мозга можно выделить 52 кортикальные области [6]. Однако известно, что в структурном отношении выделенные области почти идентичны. Поэтому вероятно, что для всех областей характерен один и тот же способ функционирования [9]. Зрительный кортекс служит примером кортикальной иерархии.

Зрительный кортекс содержит первичную зрительную область $V1$ и примыкающие к нему области $V2$, $V3$, $V4$ и $V5$. Анатомически первичный зрительный кортекс расположен в области, известной как поле Бродмана 17, а примыкающие к нему области расположены в полях 18 и 19 [15].

Входом в область $V1$ служит поток информации, поступающий от сетчатки глаз через примерно 1 миллион аксонов, образующих оптический нерв [9].

Зрительная область $V2$ — это вторая главная часть зрительного кортекса. В неё направлен поток информации из $V1$, а её выход поступает в $V3$, $V4$ и $V5$. Нейроны области $V2$ реагируют на более сложные признаки, такие как ориентация контуров, восстановленных по неполным или разрывным изображениям. Кроме того, реакция области $V2$ зависит от того, является ли элемент изображения частью фигуры или принадлежит к фону [16].

Зрительная область $V3$ реагирует на когерентное или глобальное перемещение крупных объектов [17].

Область $V4$ посылает информацию в расположенную выше инферо-темпоральную об-

ласть, которая реагирует на такие признаки, как геометрические формы средней сложности.

Область *V5* реагирует на различные скорости и направления движущихся объектов [15].

В работе [9] также отмечается, что в иерархически разделённых областях коры головного мозга кортикальный алгоритм повторяется на каждом уровне. При этом входами области служат признаки образов, а выходами — имена образов, поступающие в следующую область. С этим связан процесс обобщения, поскольку выходные имена не содержат детальной информации об образах более низкого уровня.

Некоторые гипотетические предположения. Информация об анатомии и функциях коры головного мозга может быть использована при построении математической модели кортикальных процессов распознавания образов. Гипотетическое предположение состоит в следующем.

Гипотеза 1. Кора головного мозга — это биологический индекс образов. В качестве аналога можно рассмотреть такую простую вещь, как книжный индекс. В общем случае книжный индекс — это алфавитный набор ключевых слов или тем, рассматриваемых в книге. При этом с каждым словом (темой) связана строчка или колонка, или список номеров страниц, на которых можно встретить данное слово (тему).

В индексе свойств с каждым элементом можно связать список объектов или образов, для которых характерно данное свойство (один цвет глаз могут иметь разные люди, т. е. в одном списке или колонке могут присутствовать имена разных объектов). И наоборот, одно имя может находиться в разных колонках. Таким образом, в индексе свойств колонки связываются общими именами.

Нейронный индекс. Как отмечено выше, нейроны коры головного мозга организованы в колонки (100—110 пирамидальных нейронов в колонке), каждая из которых реагирует на определённое свойство объекта. Нейроны колонки, активизируемые каким-либо входным сигналом или свойством, выращивают на своих аксонах синапсы, связывающие эту колонку с другой активной колонкой. Если два образа обладают общим свойством, то очевидно, что колонка, реагирующая на это свойство, будет синаптически связана с колонками обоих образов [14]. При этом под колонками образа понимаются все колонки, реагирующие на свойства рассматриваемого образа. В отличие от книжного индекса, в одной колонке вместо имён разных страниц будут находиться синапсы, связывающие эту колонку с колонками других образов.

Нейронные имена. В контексте распознавания образов термин *имя образа* был предложен в работе [9]: «Когда мы даем имя некоторому объекту, то имеем в виду, что некоторый набор признаков совместно характеризует данный объект. В коре имя образа реализуется в виде группы клеток, чья совместная активность представляет набор признаков этого образа. Каждая кортикальная область обладает внутренними именами объектов, которые ей известны». В работе [9] также отмечено, что если входы кортикальной области являются признаками образов, то выходы кортикальной области — это имена этих образов.

Выше отмечено что, каждый признак (свойство) может быть элементом многих образов. С помощью групп синапсов кортикальная колонка создаёт и хранит список имён образов, каждый из которых обладает свойством, на которое настроена данная колонка. Эти соображения лежат в основе *гипотезы о функциональной роли нейронной колонки*.

Гипотеза 2. Одна из функций кортикальной колонки состоит в создании и хранении имён образов, обладающих свойством, на которое данная колонка реагирует.

Если кортикальная колонка — это синаптический список образов, связанных общим свойством, то кортикальная область — это биологический индекс. Из этих гипотез следует вывод, что кора не производит каких-либо заметных вычислений. Данный вывод экспериментально подтверждён в работе [11], где отмечено, что в коре головного мозга «отсутствуют синаптические вентили, которые бы позволили информации, выходящей из нейронов через их аксоны, циркулировать внутри кортикальной области перед отправкой окончательного результата. Это значит, что кортикальные области отправляют информацию в такой спешке, что у них нет времени для итеративных вычислений».

Выходами цифрового кортекса являются имена наиболее активных образов. Согласно работе [11], в биологическом кортексе выходные сигналы нейронов — это последовательности импульсов. В неактивном состоянии нейрон генерирует сигналы частотой от 1 до 5 Гц. Когда нейрон активизируется, то частота генерации импульсов возрастает до 100 Гц, а в короткие интервалы времени до 500 Гц. Трудно представить память с тактовой частотой в 500 Гц, которая могла бы конкурировать с цифровыми устройствами с тактовой частотой в несколько гигагерц, если это не индексная память.

Кортикальный классификатор. Кортикальный классификатор (нейронный кортекс) —

это индексная система для распознавания и кластеризации образов. Эта система индексирует каждый образ, позволяя в дальнейшем мгновенно его найти по его признакам, которые могут быть как текстовыми, так и его числовыми характеристиками; и объединяет образы в классы, позволяя классифицировать или распознавать новые, неизвестные образы.

Некоторые математические аспекты кортикального классификатора. Пусть даны два конечных множества целых чисел:

$$C = \{1, 2, \dots, c, \dots, C\}; \tag{1}$$

$$N = \{1, 2, \dots, n, \dots, N\}, \tag{2}$$

которые интерпретируются, соответственно, как значения свойств и имена образов. Кроме того, даны два набора конечных множеств, интерпретирующиеся как множества значений свойств, присущих образам в той или иной комбинации, и множества имён образов:

$$\{c\}_n \subset C, \forall n \in N; \tag{3}$$

$$\{n\}_c \subset N, \forall c \in C. \tag{4}$$

Множества (3) и (4) являются взаимно-обратными в том смысле, что их имена и свойства можно поменять местами. Множества $\{n\}_c$, $c \in C$ будем называть колонками свойств.

Пример 1. Даны два набора: набор множеств признаков (свойств), т. е. набор образов с именами, представленными нижними индексами:

$$\{a, c\}_z, \{b, c, d\}_y, \{a, b\}_u, \{a, d\}_x, \{d\}_v$$

и набор множеств имен, нижними индексами которых служат значения свойств:

$$\{z, u, x\}_a, \{y, u\}_b, \{y, z\}_c, \{y, x, v\}_d.$$

Эти наборы можно представить в виде двух таблиц или «дробей», знаменатели которых содержат имена образов z, y, u, x, v (левая таблица) и значения свойств a, b, c, d (правая таблица) (рис. 3).

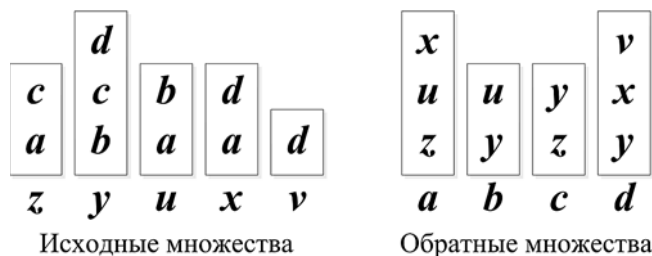


Рис. 3. Колонки с прямыми и обратными наборами

Определение. Будем называть набор (4) кортикальным классификатором образов (3) тогда и только тогда, когда каждое имя $m \in N$ удовлетворяет кортикальному уравнению:

$$m = \bigcap_{\forall c \in \{c\}_m} \{n\}_c. \tag{5}$$

Обозначим кортикальный классификатор как $\mathfrak{Z} = (N_C, C_N)$.

Построение кортекса (операция записи). При построении кортекса значения свойств являются физическими адресами множеств имён образов. Построение кортекса осуществляется внесением нового имени в колонки тех свойств, которые присущи данному образу. Пусть дан кортекс $\mathfrak{Z} = (N_C, C_N)$ и множество свойств $\{c\} \subset C$. При этом

$$\bigcap_{\forall c \in \{c\}} \{n\}_c = \emptyset,$$

т. е. образ $\{c\}$ не имеет имени в N . Тогда кортекс пополняется следующим образом: общее число имён увеличивается на 1: $N = N + 1$, $n = N + 1$ заносится во все колонки $\{n\}_c$ с адресами $\{c\}$.

Распознавание образов — это поиск пересечения имён, находящихся в колонках свойств, присущих данному образу.

Пусть дан образ как множество свойств $\{c\} \subset C$, имя которого m неизвестно. Тогда имя находится в пересечении колонок $\{n\}_c$, где $c \in \{c\}$:

$$m = \bigcap_{\forall c \in \{c\}} \{n\}_c, \text{ если } |\{c\}| = |\{c\}_m|. \tag{6}$$

В примере 1 имя z множества $\{a, c\}$ можно найти пересечением 1- и 3-й колонок правой таблицы.

Гистограмма имён — это эффективный практический инструмент нахождения пересечения (6). Каждый образ $\{c\}$ выделяет в кортексе множество колонок, а гистограмма имён $H(n)$ показывает, сколько экземпляров каждого имени содержится в выделенных колонках. Нетрудно видеть, что если

$$m = \bigcap_{\forall c \in \{c\}_m} \{n\}_c,$$

то тогда и только тогда $H(m) = \max_{n \in N} H(n)$ и высота самого высокого отсчёта гистограммы равна количеству элементов образа по имени m :

$$H(m) = |\{c\}_m|.$$

Векторный случай. Выше рассматривался случай, когда образы представлены мно-

жествами свойств. Отметим, что если образы представлены множествами свойств, то определяется только одна группа колонок, а количество копий имени образа равно количеству свойств каждого образа. В случае образов, представленных множествами свойств, количество копий имён образов может изменяться, а в случае образов, представленных векторами свойств, число копий имён образов фиксировано и равно длине L векторов x . Предположим, что значения каждого свойства s изменяются в диапазоне R . Тогда R колонок можно продублировать L раз так, что каждая из L групп будет содержать по R колонок. В результате общее количество колонок увеличивается в L раз, количество имён образов остаётся прежним, а средняя высота колонки уменьшается в L раз. Последнее обстоятельство позволяет ускорить процесс распознавания также в L раз, поскольку время считывания информации из колонки пропорционально её высоте.

Иерархия кортексов. Важным качеством искусственного нейронного кортекса является возможность использования иерархии кортексов, что важно при решении задач распознавания объектов с большим количеством признаков разной природы, при решении задач распознавания сцен со многими объектами, при распознавании динамически меняющихся объектов. Имена, найденные на первом уровне, используются в качестве свойств образов на втором уровне, активизируя соответствующие колонки, и т.д.:

$$\{c\} \Rightarrow \{n\}_c \Rightarrow \{i\}_n \Rightarrow \dots,$$

где $\{c\}$ — набор локальных признаков (образ нижнего уровня), например, градиенты контуров объектов изображения; $\{n\}_c$ — имена образов нижнего уровня, содержащих признак c .

Множество имён $\{n\}_c$ используется в качестве набора признаков второго уровня, активизирующих колонки $\{i\}_n$ образов третьего уровня, и т. д. Например, локальные признаки c — это градиенты контуров изображения; образы n второго уровня — контуры изображённых объектов; и образы i третьего уровня — это сцены, составленные из изображённых объектов, или временные последовательности контуров, т. е. динамически изменяющиеся объекты.

Биологический и искусственный кортексы. В работе [18] показана замена кусочка черепа обезьяны над инферо-темпоральной областью стеклом с камерой, чтобы установить, какие точки кортикальной области высвечиваются, когда обезьяна смотрит на различные предметы. Установлено, что «...некоторые точки,

активизируемые одним объектом, также активизировались другими объектами. Это происходило в тех случаях, когда объекты имели некоторую общую черту (признак)». На рис. 4 (см. обложку) такой чертой является контур головы кошки. Эти области отмечены тремя наклонными стрелками (объект 3) и обведены тремя кружочками. Это означает, что эти области активизировались также объектом 2 и объектом 1. Очевидно, что на каждом из этих объектов присутствует контур головы кошки. Области, обведённые двумя кружочками, активизировались объектом 2 или объектом 1. Области, обведённые одним кружочком, активизировались только объектом 1. Таким образом, можно утверждать, что если образы имеют общие признаки, а область S реагирует на эти признаки, то область S будет активизироваться любым из этих образов.

Справа (см. рис. 4) показана реакция цифровой коры головного мозга на эти же изображения, которые были сняты веб-камерой и спроецированы на искусственную зрительную область цифровой коры. При этом цифровая кора имеет иерархическую архитектуру, в которой имена признаков более низкого уровня используются как признаки следующего уровня, а совокупность последних признаков рассматривается как образ следующего уровня. Необходимо отметить, что реальная и цифровая кора головного мозга реагируют одинаково на одни и те же стимулы. Активные точки цифровой коры головного мозга обведены маленькими, средними и большими кругами. Из рис. 4 видно, что маленькие круги активизированы верхней картинкой (полное изображение), средние круги — средней (частичное изображение) и большие круги — нижней (изображение с минимальным количеством подробностей). При этом видно, что большие круги всегда содержат средние и маленькие, а средние круги — маленькие. Вместе с тем очевидно, что контур головы имеет меньше локальных признаков, чем полное изображение головы, которое, в свою очередь, содержит меньше признаков, чем полное изображение кошки. Поэтому количество больших кругов, реагирующих на контур головы, меньше количества средних, реагирующих на полное изображение головы. Сравнение левой и правой частей (см. рис. 4) показывает, что хотя расположение активных точек отличается, цифровые коды реальной и цифровой коры головного мозга следуют одному и тому же отношению включения.

Возможность распараллеливания вычислений. Кортекс достаточно просто распараллели-

вается, так как его части (колонковые группы) работают независимо и не обмениваются информацией. При распараллеливании в M раз число колонок увеличивается в M раз, а их высота уменьшается во столько же раз. При обучении сначала заполняется первая часть именами от 1 до N/M , затем вторая от $N/M + 1$ до $2N/M$, и, наконец, последняя от $(M - 1)N/M$ до N , где N — это общее число имён, записанных в колонки. При распознавании один и тот же образ посылается во все части, которые работают параллельно и находят своих победителей и их значения в гистограмме. Затем центральный модуль выбирает из X победителей одного.

Быстродействие искусственного нейронного кортекса. Нейронный кортекс может обладать высоким быстродействием, так как он не перебирает образы-прототипы в K -мерном пространстве в поисках наиболее подходящего образа, а вычисляет его имя пересечением небольшого множества колонок. Очевидно, что чем меньше имён записано в каждую колонку (чем меньше высота колонки), тем быстрее выполняется операция их пересечения. При этом средняя высота колонки пропорциональна общему количеству имён в колонках, поделённому на суммарное количество колонок.

Таким образом, увеличение общего количества колонок увеличивает скорость классификации. Подход к увеличению производительности увеличением количества колонок был заимствован у природы. Как отмечено выше, в коре головного мозга нейроны анатомически организованы в колонки, а сама кора головного мозга похожа на тонкий «блин» толщиной в 2 мм и диаметром в 0,5 м. У человека этот тонкий слой сильно скомкан для того, чтобы он мог уместиться в 18-сантиметровый череп, а у других млекопитающих слой коры головного мозга гладкий, так как его диаметр значительно меньше. Например, у человекообразных обезьян он меньше в 4 раза и может уместиться в черепе без складывания в комок. Таким образом, эволюция усиливает интеллектуальные способности добавлением дополнительных колонок, т. е. увеличением диаметра слоя, поддерживая при этом высоту колонок (число нейронов в колонке) неизменной.

Если имеется N образов, для описания каждого из которых используется L свойств, то поиск неизвестного вектора займёт при линейном переборе $O(NL)$ циклов, в то время как нейронный кортекс справится с этой задачей за $O(NL/C)$ циклов, где C — количество колонок. Заметим, что величину C можно резко увеличить за счёт перехода к 2-, 3-мерным

и т. д. признакам. При этом величина C будет ограничена только памятью компьютера. Так, при работе с генетическим материалом четыре значения букв кода a , c , g , t заменяются 16 777 216 значениями последовательности из 12 букв, т. е. 4 колонки заменяются 16 млн колонок. При этом во столько же раз возрастает быстродействие.

Программная реализация искусственного нейронного кортекса. Концепция искусственного нейронного кортекса реализована в виде библиотеки для языка программирования C++. Выбор языка обусловлен желанием создать систему, способную эффективно работать в режиме реального времени, где вопросы производительности занимают первое место. Данная библиотека позволяет создавать нейронный кортекс, а также совершать над ним операции записи (обучение) и чтения (распознавание).

При создании нейронного кортекса можно указать произвольное количество признаков, с которыми он будет работать (количество групп колонок), а также количество градаций их значений (колонок в группе). Также возможно задать радиус макроколонок (степень обобщения) для операций записи и чтения.

Процесс обучения требует работы с обучающими выборками, поэтому в библиотеке предусмотрена возможность загрузки данных из текстовых файлов в формате CSV. Созданная таким образом выборка может быть использована для обучения, распознавания или тестирования нейронного кортекса.

Библиотека представляет собой несколько взаимосвязанных классов, реализующих необходимый функционал.

Класс *cortex* реализует нейронный кортекс. Основные доступные методы позволяют:

add — записать в кортекс либо единичный пример (образ), либо всю обучающую выборку;

get — по заданному вектору признаков определить имя образа;

save — записать данные из кортекса во внешний файл;

load — загрузить данные из внешнего файла в кортекс.

Класс *feature* реализует описание одного признака, который может быть как числовым, так и символьным. Данный класс, по своей сути, представляет группу колонок, отождествляемых с одним признаком. Массив, состоящий из экземпляров данного класса, является составной частью класса *cortex* (фактически это и есть нейронный кортекс). Основные методы позволяют:

add — добавить имя к колонке, соответствующей заданному значению;

get — получить список имён, соответствующих заданному значению;

norm — нормировать значения признака.

Класс *sample* представляет собой один пример, содержащий информацию о названии класса и векторе признаков, который состоит из массива экземпляров класса *value*, обеспечивающий единый интерфейс взаимодействия с числовыми и символьными переменными.

Класс *samples* реализует описание выборки, состоящей из массива экземпляров класса *sample*. Основные методы позволяют:

add — добавить пример к выборке;

from_csv — создать выборку на основе файла в формате *csv*.

В общем случае образ, записываемый в кортекс, состоит из M признаков. Каждому признаку соответствует своя группа колонок. Каждая колонка в группе соответствует некоторому диапазону значения признака. Общее количество колонок в группе равно количеству градаций значения признака N . Таким образом, общее количество колонок равно MN . Каждая колонка представляет собой массив имён.

При записи нового образа в кортекс ему сначала присваивается внутреннее имя. Соответствие внутреннего имени образу записывается в массив, где внутреннее имя является порядковым номером элемента массива, а его значение равно образу.

Каждый признак нормируется к диапазону $[0; N)$. Значение из этого диапазона определяет колонку в группе, куда записывается внутреннее имя. Для одного образа произойдёт M операций записи внутреннего имени в кортекс (по одной записи на каждую группу).

Если общее количество записанных образов D , а количество байт, выделяемых под внутренние имена, B (для 32-битного целого числа $B = 4$), то объём памяти, занимаемой именами в колонках, составит MDB байт. Пустой массив колонок будет занимать MNR байт, где R — количество байт, выделяемое под указатель (для 32-разрядных ОС $R = 4$ байта). Таким образом, общий объём памяти, занятой колонками обученного кортекса, составит $MNR + MDB$ байт.

Для проверки эффективности работы нейронного кортекса использованы данные, представленные на UC Irvine Machine Learning Repository [19]. Тестирование проводилось на компьютере с ОС Windows 7 Home Premium (64-разрядная), процессором Core i5 650 (3200 ГГц) и 4 Гб ОЗУ. Ниже приведены некоторые результаты.

Для данных Statlog (Shuttle) [20], содержащих 43 500 обучающих векторов и 14 500 тестовых,

точность распознавания составила 99,94 %. Время записи всех векторов из обучающей выборки составило 1,6 с. Время распознавания всех тестовых векторов составило 0,6 с.

Для проверки производительности проводился синтетический тест. Было создано 1 000 000 случайных векторов по 10 признаков в каждом, одна половина из которых использовалась для записи, а вторая — для чтения. Общее время записи составило примерно 100 с (0,2 мс на один вектор), а общее время чтения — 64 мин (7,7 мс на один вектор). Таким образом, на данный момент подход с использованием концепции искусственного нейронного кортекса обеспечивает хорошую производительность.

Заключение. Искусственный нейронный кортекс является новой технологией, способной показать хорошие результаты при её практическом применении в различных задачах распознавания и кластеризации образов, являющихся, как правило, ресурсоёмкими и предъявляющих высокие требования к быстродействию программного обеспечения. Искусственный нейронный кортекс представляется инструментарием, наиболее соответствующим таким требованиям. Выполнена программная реализация искусственного нейронного кортекса и проверена эффективность его работы с использованием данных, представленных в репозитории Калифорнийского университета для выполнения работ по машинному обучению. Тестирование показало хорошие результаты как по быстродействию, так и по точности. В дальнейшем предполагается на базе созданного программно-аппаратного комплекса выполнить ряд реальных проектов: распознавание жестов и сборка генома из сегментов ДНК, получаемых с помощью секвенсировочных машин.

Библиографические ссылки

1. **Mikhailov A.M., Pok Y.M.** Artificial Neural Cortex // Proceedings of the Artificial Neural Networks in Engineering Conference. 2001. Vol. 11. P. 113—120.
2. **Mikhailov A.M., Pok Y.M.** Neural Cortex // US Patent № 7305370. 2007.
3. **Mikhailov A.M., Pok Y.M.** Neural Cortex // European Patent № 1340160 A1. 2003.
4. **Mikhailov A.M., Pok Y.M.** Neural Cortex // Australian Patent № 2001215675. 2003.
5. **von Economo C.** The Cytoarchitectonics of the Human Cerebral Cortex. London: Oxford University Press, 1929.
6. **Calvin W.H.** How Brains Think. New York: Basic-Books, 1996. 184 p.
7. **Neuro Business.** URL: <http://neuromanagement.files.wordpress.com> (дата обращения: 20.02.2014).

8. **fMRI** — Functional MRI — Imagilys. URL: <http://www.imagilys.com/functional-MRI-fMRI> (дата обращения: 20.02.2014).
9. **Hawkins J., Blakeslee S.** On Intelligence. New York: Times Books, 2005. 152 p.
10. **Horton J.C., Adams D.L.** The cortical column: a structure without a function // *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci.* 2005. Vol. 360. No. 1456. P. 837—862.
11. **Crick F.** Astonishing Hypotheses. London, New York, Sydney, Toronto, Singapore: Touchstone Books, 1995. P. 317.
12. **Wilson D.A.** How do we Remember Smells? // *Scientific American*. 2008. Vol. 298. No. 1.
13. **Hebb D.O.** The organization of behavior. New York: Wiley, 1949. P. 1659—73.
14. **LeDoux J.E.** Synaptic Self. New York: Vicking Penguin, 2002. P. 406.
15. **Visual cortex.** URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Visual_cortex (дата обращения: 20.02.2014).
16. **Fangtu T., von der Heydt Q.R.** Figure and Ground in the Visual Cortex: V2 Combines Stereoscopic Cues with Gestalt Rules // *Neuron*. 2005. Vol. 47. P. 155—166.
17. **Lui L.L., Bourne J.A., Rosa M.G.P.** Functional Response Properties of Neurons in the Dorsomedial Visual Area of New World Monkeys (*Callithrix jacchus*) // *Cereb Cortex*. 2006. Vol. 16. No. 2. P. 162—177.
18. **Tsunoda K., Yamane Y., Nishizaki M., Tanifuji M.** Complex objects are represented in macaque inferotemporal cortex by the combination of feature columns // *Nature Neuroscience*. 2001. Vol. 4. P. 832—838.
19. **UCI Machine Learning Repository: Data Sets.** URL: <http://archive.ics.uci.edu/ml/datasets.html> (дата обращения: 20.02.2014).
20. **UCI Machine Learning Repository: Statlog (Shuttle) Data Set.** URL: [http://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/Statlog + %28Shuttle%29](http://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/Statlog+%28Shuttle%29) (дата обращения: 20.02.2014).

УДК 004.04 + 658.5

Е.Л. Первухина, д-р техн. наук, проф., **К.Н. Осипов**, канд. техн. наук, **М.Р. Валентюк**
(Севастопольский государственный университет)

pervukhina14@mail.ru

СОВРЕМЕННЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЗАДАЧАХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Предложена методика использования современных интеллектуальных информационных технологий в ходе производственных испытаний машиностроительных изделий. Разработаны модули сбора, хранения и анализа данных: спроектирована структура многомерного хранилища данных, программы реализованы алгоритмы автоматической обработки и передачи данных из оперативной базы данных в хранилище. На основе хранилища данных созданы гиперкуб с агрегацией данных измерений и программное приложение с удобным интерфейсом для ввода данных об испытуемых изделиях и их характеристиках, хранения в оперативной базе данных, анализа и представления результатов испытаний. Преимущества предложенной методики проиллюстрированы на примере данных приёмсдаточных испытаний автомобильных четырёхцилиндровых карбюраторных двигателей внутреннего сгорания.

Ключевые слова: машиностроительные изделия; производственные испытания; OLAP-куб; гиперкуб; многомерные хранилища данных; ДВС.

The utilization methodology of modern intellectual information technologies during production tests of engineering articles is proposed. Modules for data collecting, storing and analyzing are developed; structure of the multidimensional data storage is designed; algorithms for data automatic processing and transmission from the operational database to the storage are software implemented. Hypercube with measurement data aggregation and software enclosure with a comfortable interface to enter data about the test products and their characteristics, the storage in the online database, analysis and test results presentation is created on the basis of the data storage. The proposed methodology advantages are illustrated as an example of accepting delivery trials facts for four-stroke carburetor internal combustion engines (ICE).

Key words: engineering articles; production testing; OLAP-cube; hypercube; multidimensional data storage; ICE.

Решение задачи энергосбережения и обеспечения энергоэффективности производства входит в число приоритетных направлений развития науки и техники в РФ [1], как и со-

вершенствование главного инструмента её решения — информационных систем и технологий. Для отечественного машиностроения решение задачи внедрением перспективных

информационных технологий наиболее актуально, поскольку может обеспечить конкурентоспособность выпускаемых изделий. Это, в том числе, важно на завершающем этапе производственного процесса изготовления изделий, этапе приёмосдаточных испытаний, на котором принимается решение о годности изделий к эксплуатации и о затратах на его проведение, так как они велики по отношению к валовым производственным издержкам.

Приёмосдаточным испытаниям подвергают практически все изделия, выпускаемые заводами-изготовителями. Оценку соответствия их качества требованиям нормативных документов (ТУ или ГОСТам) осуществляют за короткий промежуток времени по результатам измерений определённых параметров и сопоставления их значений с эталонными. При усложнении изделий и повышении требований к качеству совершенствование методики испытаний увеличивает их стоимость и, как следствие, стоимость самих изделий в наибольшей степени за счёт увеличения затрачиваемых трудовых, энергетических, вычислительных ресурсов.

Точность и достоверность результатов испытаний во многом определяют методы обработки экспериментальных данных. Используемые методы обработки экспериментальной информации до сих пор не учитывают особенностей производственных испытаний и не соответствуют стандартам современного производства и требованиям, предъявляемым к качеству изделий. Даже самые современные отечественные стенды обеспечивают только управление работой испытуемых изделий, вывод результатов испытаний на экран и их дальнейшее хранение на электронных носителях или печать [2]. Результаты испытаний до сих пор обрабатываются или оператором испытаний, или сотрудниками отдела технического контроля, как правило, вручную, по стандартам прошлого столетия.

Несмотря на отмеченную выше актуальность задачи энергосбережения и обеспечения энергоэффективности производственных испытаний в машиностроении и существующую возможность её решения на основе современных технологий обработки данных (например, *Online Analytical Processing*, сокращённо — OLAP), в научной литературе практически отсутствуют необходимые методики и примеры.

В работе предпринята попытка восполнить этот пробел и показать преимущества использования перспективных информационных технологий для анализа, хранения и передачи измерительной информации, получаемой в ходе приёмосдаточных испытаний сложных

изделий машиностроения. В результате создана законченная информационная технология для повышения точности и достоверности принимаемых по результатам испытаний решений о техническом состоянии изделий. Для чёткости выводов и наглядности преимуществ предлагаемой технологии рассматривают пример её использования при анализе реальной экспериментальной информации, полученной в ходе приёмосдаточных испытаний ДВС. Инструментом выбрана технология OLAP.

Сложным считается изделие, состоящее из множества взаимодействующих элементов с отношениями между ними, вследствие чего изделие приобретает новые свойства, которые отсутствуют у его составляющих [3].

Производственные испытания изделий в серийном машиностроительном производстве имеют свои особенности, главными из которых являются следующие:

- испытаниям подвергают каждое собранное изделие или определённую выборку из партии изделий;

- в ходе испытаний одновременно измеряют, регистрируют и обрабатывают большое количество разнообразных параметров, в результате чего накапливается большой объём информации;

- используют уникальные дорогостоящие инженерные конструкции и сооружения;

- проводимые исследования охватывают разнообразные области науки и техники [4].

По мнению авторов, совершенствование методики обработки результатов испытаний сложных машиностроительных изделий, например ДВС, предполагает решение следующих задач:

- быстрый и удобный ввод измеренных значений параметров, в том числе, при необходимости, вручную;

- загрузка измеренных значений параметров из файла или напрямую с измерительных устройств (по выбору оператора испытаний);

- сохранение введённых данных;

- выбор методики обработки данных;

- представление результатов обработки данных в удобном для оператора виде (графическом, табличном и т. д.);

- поддержка принятия решения об исправности изделия.

Эффективное решение перечисленных задач испытаний изделий современными средствами предполагает, в первую очередь, создание модулей ввода, хранения и анализа данных.

С экономической точки зрения целесообразно все данные с испытательных стендов хранить на сервере, который будет распола-

гаться, к примеру, в аналитическом отделе или в ОТК. Для каждого стенда достаточным будет наличие ПК, сопряжённого с сервером через локальную сеть предприятия. В этом случае систему хранения данных необходимо разделить на две подсистемы: для хранения оперативных данных, требующихся в данный момент, и для хранения всех данных, накопленных в течение продолжительного времени. Основное назначение подсистемы хранения оперативных данных заключается в интенсивном преобразовании информации в базе данных (БД) в реальное время. В отличие от подсистемы хранения оперативных данных при втором варианте хранения накопленные данные изменяются редко. Подобная идея разделения подсистемы хранения основана на концепции хранилища данных (ХД).

Для автоматизированного рабочего места оператора испытаний (АРМОИ) необходимо реализовать *OLTP (OnLine Transaction Processing)* — подсистему, обеспечивающую высокую скорость при оперативном вводе и обработке данных, а также оперативное хранение данных [5]. Для этого используют средства обычной реляционной системы управления базами данных (СУБД).

Производственным (приёмосдаточным, контрольным) испытаниям подвергают разные модификации изделий, поэтому на предприятии необходимо хранить данные о параметрах и характеристиках различных моделей. При испытании конкретного изделия необходимо соотнести его с определённой моделью. Изделия одной и той же модели однозначно определяются заводским номером. Для специальных изделий (ДВС, ГВС, воздушные нагнетатели и т. д.) перед началом испытаний в оперативную БД необходимо занести информацию о типе используемого топлива и масла.

Время испытаний одного изделия составляет примерно 20...25 мин, в течение которых оператор, используя специализированное контрольно-измерительное оборудование, определяет значения контролируемых параметров и сохраняет их в БД. Если же стенд имеет функцию автоматического сбора данных с контрольно-измерительного оборудования, то по окончании испытаний данные загружаются в БД автоматически.

Указанное полностью относится к испытаниям ДВС. Поэтому преимущества предлагаемой методики далее проиллюстрированы на примере данных приёмосдаточных испытаний автомобильных бензиновых ДВС.

Приёмосдаточным испытаниям после непродолжительной приработки подвергают

каждый изготовленный двигатель. Сроки, количество измеряемых параметров ДВС и возможные расходы на испытания ограничены. Отсутствуют описания всех возможных диагностических состояний испытуемых объектов; испытания проводят операторы с разным уровнем квалификации. В практике испытаний параметры ДВС делят на структурные и диагностические. Под диагностическими параметрами понимают параметры, которые косвенно отражают техническое состояние двигателей и функционально зависят от структурных параметров, непосредственно характеризующих их состояние.

Выделяют три основных модели БД: иерархическую, сетевую и реляционную. *Иерархическая* модель представляет собой структуру элементов, образующих дерево, направленное ветвями вниз. На практике использовать такую модель неудобно, так как она не позволяет быстро проанализировать всю имеющуюся информацию. Под *сетевой моделью* понимается структура, в которой все объекты могут быть связаны. Данная модель обладает гибкостью и универсальностью, однако при практической реализации выявляются недостатки в виде сложной структуры памяти и сложной организации данных. В *реляционной модели* БД указанные выше недостатки устранены, благодаря чему она получила наибольшее распространение.

Исходя из особенностей испытаний по реальным протоколам испытаний рядного четырёхтактного, бензинового, с жидкостным охлаждением и принудительным искровым зажиганием двигателя для ХД была спроектирована структура реляционной БД (рис. 1),

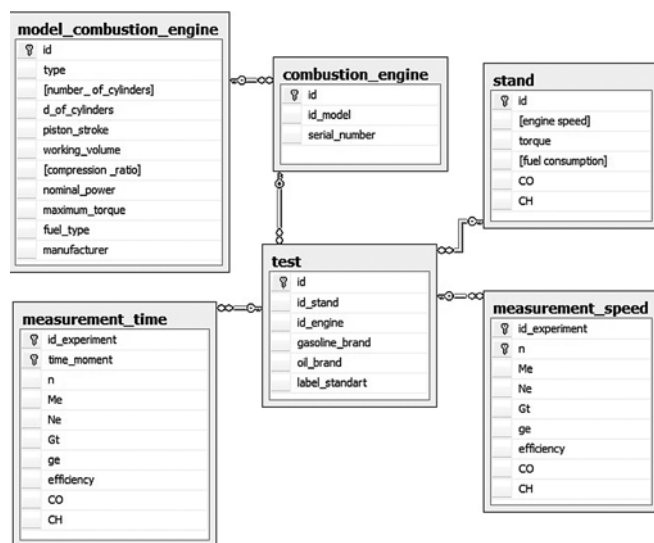


Рис. 1. Логическая схема ХД

так как избыточность информации в такой модели БД минимальна.

В ХД сведения переносятся непосредственно из БД оперативной информации в момент низкой активности работы системы, например, один раз в день ночью или один раз в неделю на выходных. ХД должно содержать детальные данные, накопленные в течение продолжительного интервала времени. После загрузки информации в ХД она из оперативных БД удаляется. Перенос данных осуществляется с помощью службы *Integration Services*, входящей в пакет программ *Microsoft SQL Server 2008*. Эта служба позволяет контролировать потоки данных, а также проверять и корректировать содержимое данных в пакетах управления [6].

Подсистема анализа основана на *OLAP (OnLine Analytical Processing)* — системе, которая включает в себя два основных компонента: *OLAP-сервер* и *OLAP-клиент*. *OLAP-сервер* формирует многомерную модель данных, называемую гиперкубом, и обеспечивает выполнение операций с этими данными, используя сформированную модель. *OLAP-клиент* предоставляет пользователю удобный интерфейс для работы с многомерной моделью данных.

Для решения задачи анализа данных и принятия решения о качестве ДВС постоянно необходима информация о скоростных и временных характеристиках эталонных ДВС, поэтому целесообразно представить все данные в виде гиперкуба (рис. 2).

Ребрами гиперкуба являются измерения — последовательности значений одного из анализируемых векторов параметров [7]. Например, для вектора, связанного с изучением термогазодинамических характеристик двигателя, формируется вектор {*Me, Ne, Gt, ge, CO, CH*}, где *Me* — крутящий момент, развиваемый двигателем, *Ne* — мощность двигателя, *Gt* и *ge* — часовой и средний эффективный удельный расход топлива, соответственно, *CO* и *CH* — концентрация оксидов углерода и углеводородов в отработавших газах. Для параметра «время» — это последовательность отметок времени, в которые происходили измерения параметров двигателей. Изменение вектора параметров с течением времени образует многомерный временной ряд, свойства которого постоянно анализируются в реальном времени испытаний.

На пересечении осей измерений расположены данные, количественно характеризующие анализируемые факты, так называемые меры. Для разрабатываемой системы это могут быть: максимальное потребление топлива,

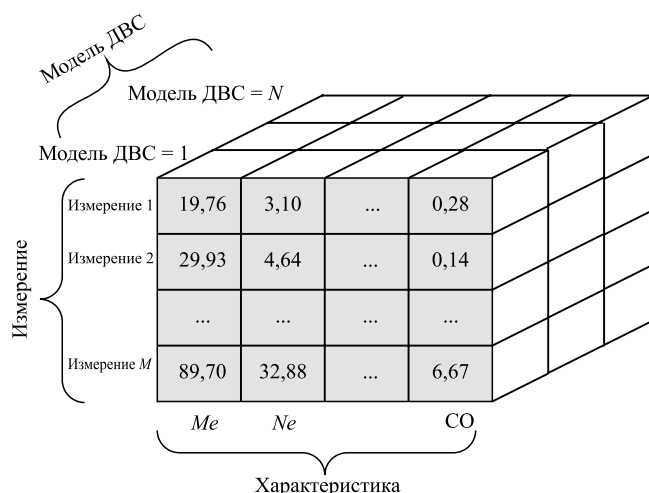


Рис. 2. Пример гиперкуба с характеристиками испытуемых двигателей

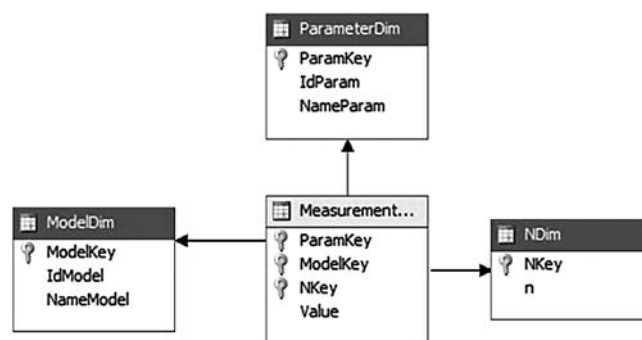


Рис. 3. Структура OLAP-куба, содержащего характеристики эталонных ДВС

среднее содержание *CO* или других токсических компонентов в отработавших газах.

Для реализации гиперкуба (рис. 3) выбрана служба *Analysis Services* из пакета программ *Microsoft SQL Server 2008*. *Analysis Services* представляет собой подсистему обработки данных, используемую в задачах бизнес-аналитики, и информационного обеспечения, включает в себя набор средств для работы с *OLAP* и интеллектуального анализа данных.

Для получения данных из гиперкуба выполняется операция «среза», формирующая подмножество многомерного массива данных [6], который соответствует единственному значению элемента измерения «модель ДВС». На языке *MDX (Multidimensional Expressions)* — языке запросов для простого и эффективного доступа к многомерным структурам данных, операция «среза» над гиперкубом запишется в виде:

```
select [ParameterDim].[Name Param].[Name Param]
ON COLUMNS,
      [NDim].[N].[N] ON ROWS
from [CubeEngineFirst]
where [ModelDim].[Model Key].&[1].
```

n	ge	Gt	Mk	Ne
1500	220,2	4,57	9,91	20,76
2000	207,5	6,25	10,79	30,12
2500	203,1	8,13	11,46	40,01
3000	195,4	9,88	12,07	50,57
3250	196,3	10,76	12,08	54,8
3500	198,5	11,56	11,92	58,24
4000	203,4	13,42	11,82	65,99
4500	216,1	15,72	11,58	72,73
5000	211,8	16,39	11,09	77,42
5300	226,8	17,79	10,6	78,45
5500	235	18,14	10,05	77,2
5750	242	18,51	9,49	76,21

Рис. 4. Результат «среза» при единственном значении параметра «модель ДВС»

Результатом «среза» для пользователя будет двумерная проекция куба, содержащая характеристики ДВС только модели, равной 1 (рис. 4). Горизонтальная «шапка» таблицы состоит из характеристик ДВС. Вертикальная «шапка» — из перечисления n -частот вращения коленчатого вала двигателя. В ячейках таблицы представлены значения характеристик ДВС в зависимости от конкретного значения n .

На рис. 5 показана разрабатываемая система сбора, хранения и анализа данных для контроля качества ДВС с учётом поставленных задач.

Для реализации клиентского приложения АРМТ создано программное приложение в среде разработки *Delphi 7*, которая предоставляет возможности работы с БД и *OLAP*-кубами, реализованными в *MS SQL Server 2008*.

Разработанное приложение предоставляет собой удобный ввод данных о ДВС и его характеристиках, сохранение их в оперативной БД, а также оперативный анализ и представления итогов в виде графиков характеристик ДВС. Например, иллюстрация процесса изменения значений крутящего момента, развиваемого ДВС, с течением времени представлена графиком на рис. 6.

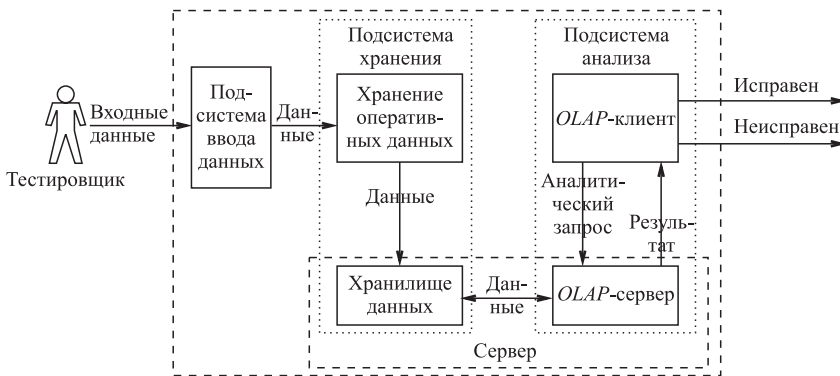


Рис. 5. Структурная схема системы оценки состояния ДВС в ходе испытаний

Контроль технического состояния испытуемого двигателя начинается с сопоставления измеренных значений диагностических параметров с их номинальными значениями. Так, например, на рис. 7 номинальные значения развиваемого двигателем крутящего момента, измеренные в Н·м, и среднего эффективного удельного расхода топлива, измеренные в г/кВт·ч, представлены двумя кривыми: Mk_{min} и ge_{max} . Это связано с тем, что при возникновении неисправностей, например кривошипно-шатунного или газораспределительного механизмов, происходит или снижение среднего эффективного давления газов на поршень, или увеличение сил трения в кинематических парах, что, как следствие, вызывает увеличение среднего эффективного удельного расхода топлива и снижение крутящего момента. Другими словами, максимальное допустимое (возможное) значение

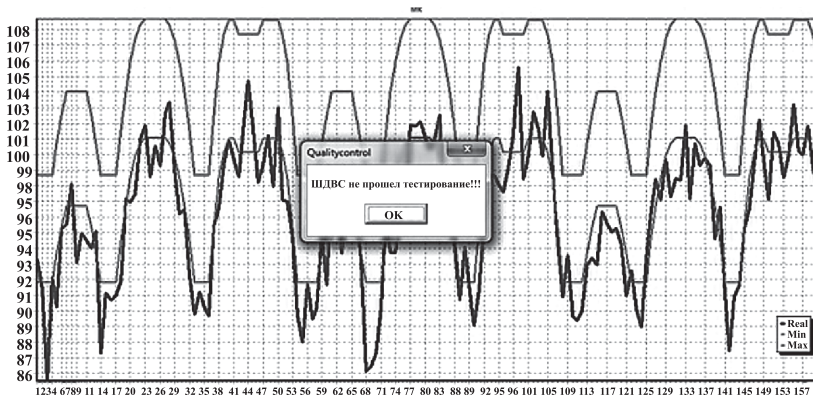


Рис. 6. Окно вывода графиков зависимости $Mk(t)$ при проверке качества сборки ДВС

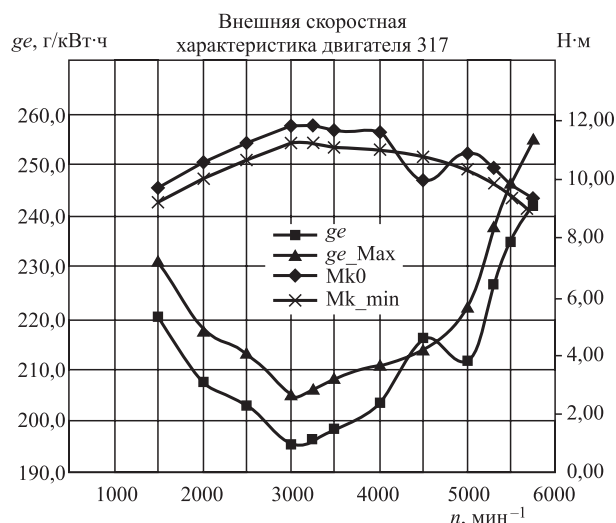


Рис. 7. Внешняя скоростная характеристика ДВС

крутящего момента и минимальное значение среднего эффективного удельного расхода топлива в зависимости от частоты вращения коленчатого вала на графиках не указываются, так как эти величины определяются конструкцией ДВС. Отличие их значений от номинальных в «лучшую» сторону не будет свидетельством технической неисправности.

Далее по методике, предложенной в работах [8, 9], определяют статистические зависимости между основными диагностическими параметрами испытуемых изделий. По результатам анализа случайных последовательностей изменения значений диагностических параметров, отражающих рабочие процессы изделий, принимают окончательное решение относительно искажения рабочих процессов и (учитывая существующие связи между диагностическими и структурными параметрами) вызывающих его производственных дефектов до внешнего проявления и/или выхода значений одного или нескольких параметров за пределы допустимых значений.

Заключение. Разработанную информационную технологию можно использовать для контроля качества различных технических изделий, а также для анализа их характеристик. Внедрение технологий, подобных OLAP, в процесс производства позволяет снизить вероятность принятия неверных решений относительно годности собранных изделий к эксплуатации. Сокращение времени, требуемого для принятия решений, уменьшает продолжительность испытаний, что, в свою очередь, обеспечивает снижение энергетических затрат. Технология может быть использована

при ретроспективном анализе причин отказов сложных изделий машиностроения.

Направление будущих исследований связано с совершенствованием системы на базе интеллектуального анализа *Data Mining* для повышения точности идентификации сборочных дефектов машиностроительных изделий различных типов и классов.

Работа выполнена при частичной поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках базовой части государственного задания.

Библиографические ссылки

1. **Об утверждении** приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и перечня критических технологий Российской Федерации: Указ от 07 июля 2011 г. № 899 [Электронный ресурс] // <http://www.kremlin.ru/>: Президент России. URL: <http://www.kremlin.ru/news/11861> (дата обращения: 14.04.2014).
2. **Стенды** для обкатки и испытания двигателей внутреннего сгорания [Электронный ресурс] // <http://kopis.ru/>: ООО «КОПИС» — ведущий разработчик и изготовитель универсальных обкаточных и испытательных стендов. URL: <http://www.kopis.ru/products/138> (дата обращения: 16.07.2014).
3. **Солодовник В.В., Тумаркин В.И.** Теория сложности и проектирование систем управления. М.: Наука, 1990. 168 с.
4. **Martyr A.J., Plint M.A.** Engine testing. Theory and Practice. Elsevier Ltd. 2007. 459 p.
5. **Барсегян А.А., Куприянов М.С., Степаненко В.В., Холод И.И.** Методы и модели анализа данных: OLAP и Data Mining. СПб.: БХВ-Петербург, 2004. 336 с.
6. **Конструктор** служб SSIS [Электронные ресурсы] // <http://msdn.microsoft.com/ru-RU/>: MSDN сеть разработчиков Microsoft. URL: <http://msdn.microsoft.com/ru-ru/library/ms137973.aspx> (дата обращения: 10.07.2014).
7. **Валентюк М.Р.** Интеллектуальные информационные технологии в задачах совершенствования гидрометеорологических систем // Восточно-европейский журнал передовых технологий. 2013. № 3/9 (63). С. 50—54.
8. **Первухина Е.Л., Голикова В.В., Осипов К.Н.** Контроль качества сборки машиностроительных изделий по диагностическим параметрам // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2011. № 6. С. 14—21.
9. **Первухина Е.Л., Голикова В.В., Сопин П.К.** Статистическое моделирование машиностроительных изделий по диагностическим параметрам // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2008. № 6. С. 89—95.
10. **Березин С.Я., Чумаков Р.Е.** Структурный анализ технологических систем сборочных машин-автоматов // Автоматизация и современные технологии. 2003. № 5. С. 25—29.
11. **Шуваев В.Г.** Неразрушающий контроль пресовых соединений в процессе ультразвуковой сборки // Контроль. Диагностика. № 12. 2008. С. 36—42.

УДК 681.2:682.9

С.А. Микаева, д-р техн. наук, проф., **А.С. Микаева**, канд. экон. наук, доц.,
Ю.П. Петренко, канд. техн. наук, доц.
(Московский государственный университет приборостроения и информатики)
mikaeva@npo.lit.ru

ОТРАЖАЮЩЕЕ ПОКРЫТИЕ ДЛЯ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА

Представлены составы отражающих покрытий для газоразрядных источников света различных типов исполнения и технологий производства. Приведены экспериментальные результаты исследований и даны составы экспериментально подобранных покрытий.

Ключевые слова: состав; прототип; вес; тип; лампа; горелка; эксперимент.

The reflecting coatings compositions for gas-discharge light sources of different types of performance and production technologies are presented. The experimental research results are adduced and the compositions of experimentally selected coatings are given.

Key words: composition; prototype; weight; type; lamp; burner; experiment.

Многообразие покрытий, которые используются в различных отраслях, не всегда приводит к предполагаемым результатам. Разработанное авторами отражающее покрытие относится к области электровакуумной, электронной и электроламповой промышленности и может применяться, например, в металлогалогенных (МГЛ) или серных сверхвысокочастотных (СВЧ) лампах.

Известны источники излучения, например, МГЛ общего назначения, на концы кварцевых горелок которых наносят специальные отражающие экраны, выравнивающие температуру по поверхности разрядной оболочки, но эти покрытия должны быть специальным образом подобраны под конкретный тип ламп — по спектру излучения, рабочей температуре, типу кварцевого стекла и т. д. [1]. Горелки, а соответственно и покрытия, работают во внешней колбе, наполненной инертным газом, азотом или вакууммированной, т. е. создаётся своего рода дополнительная защитная система.

Наиболее близким к предлагаемому отражающему покрытию (ОП) является ОП для заэлектродных зон МГЛ, состоящее из диоксида кремния и термостойкого красителя (ТСК), представляющего собой оксид хрома [2, 3]. Этот состав применялся в 80-х гг. прошлого века в лампах типа ДРТСф (производства Полтавского завода газоразрядных ламп), предназначенных для подводного освещения. Термостойким красителем был оксид хрома (зелёного цвета), который, отражая сине-зелёное излучение разряда, поглощал остальные длины волн и тем самым не только повышал

температуру «холодной зоны» лампы, выравнивал температуру по поверхности кварцевой горелки, но и минимизировал потери сине-зелёного излучения.

Современное поколение источников, например типа МГЛ и других высокоинтенсивных источников света, работают при больших электрических, а следовательно, и температурных нагрузках. В этих случаях подобные ОП (а в настоящее время много типов ламп, например, СВЧ-лампы, лампы типа ДРТГ, ДРТГ, ДРТ и многие другие, работают без защитных оболочек, в окислительной среде, т. е. на воздухе) на воздухе темнеют (т. е. вместо отражения падающего излучения разряда они начинают его поглощать), покрываются микротрещинами и начинают осыпаться. Работоспособность таких составов низкая и зачастую именно они являются причиной выхода всей облучательной системы из строя. Авторами разработан новый состав ОП.

Анализ и опыт работы с ОП показал, что основой покрытия должен быть диоксид кремния [1—3]. Термостойкий краситель, представляющий собой оксид хрома, выполняет прежнюю роль, селективно отражая излучение разряда. Остальные составляющие должны быть устойчивыми при высоких температурах, инертными в окислительной среде (на воздухе), обладать высокой адгезией, иметь близкие коэффициенты линейного термического расширения, а также возможность образования эвтектики.

Целью настоящего исследования является повышение адгезионной способности ОП при высокой температуре в окислительной среде. Предлагается для достижения указанной цели

дополнительно ввести следующие компоненты, удовлетворяющие перечисленным выше требованиям: оксид циркония, оксид бериллия, оксид иттрия, оксид магния.

Оксид магния ответственен при подготовке состава ОП за создание, совместно с другими оксидами, эвтектики, т. е. ОП должен обладать соответствующей технологичностью, остальные же оксиды, при определённой технологической обработке, обеспечивают требуемую работоспособность ОП. Теоретически рассчитать состав ОП невозможно, поэтому процентное содержание компонентов вычисляли экспериментально. Для определения состава ОП были проведены испытания стандартных кварцевых горелок ламп ДРИ — 250.

После нанесения на заэлектродные зоны покрытия, горелки включали в электрическую схему с дроселями 250, 400 и 700 Вт (для создания температур 600, 800 и 1000 °С на поверхности ОП) и зажигающим устройством. Площадь ОП составляла около 2,5 см², термостойким красителем являлся оксид хрома. Усреднённая температура по поверхности покрытия измерялась термопарой в одном и том же месте заэлектродной области. Состояние испытываемых ОП в различных условиях среды представлено в табл. 1. Испытывали три состава по двадцать два образца каждого типа. Состав 1 (в %): оксид кремния — 40, циркония — 15, бериллия — 10, иттрия — 10, магния — 10, ТСК — 15. Состав 2 (в %): оксид кремния — 55, циркония — 13, бериллия — 7, иттрия — 8, магния — 5, ТСК — 12. Состав 3 (в %): оксид кремния — 65, циркония — 10, бериллия — 7, иттрия — 3, магния — 5, ТСК — 10, а также покрытие — прототип (в %): оксиды алюминия — 10, кремния — 10, ТСК — остальное (80).

Горелки испытывали на воздухе (в окислительной среде) в течение 50 ч. Результаты приведены в табл. 1.

Как показали испытания, ОП № 1 может работать при температуре до 800 °С включительно, что, например, соответствует рабочим температурам и срокам службы ламп типа ДРШ. Состав 3 ограничен температурой до 600 °С — лампы ДРТ, ДРП и т. д., источники света с умеренной электрической нагрузкой. Состав 2 может устойчиво работать при температуре более 1000 °С и свыше 50 ч, а также использован, например, в серных СВЧ-лампах или лампах сверхвысокого давления.

Целью настоящего исследования является повышение работоспособности ОП, т. е. адге-

Таблица 1

Состояние испытываемых отражающих покрытий в различных условиях

Рабочая температура, °С	Состав 1	Состав 2	Состав 3	Прототип
600	Устойчив	Устойчив	Устойчив	Почернение и последующее осыпание
800	Устойчив	Устойчив	1. Незначительное потемнение 2. Устойчив	Осыпание
1000	1. Микротрещины 2. Устойчив	Устойчив	Потемнение всех образцов	—

Таблица 2

Состав отражающего покрытия

Состав	%
Оксид кремния	40...65
Циркония	10...15
Бериллия	5...10
Иттрия	5...10
Магния	5...10
ТСК	10...15

зионной способности при высоких температурах в окислительной среде. Указанная цель достигается, когда ОП имеет состав, представленный в табл. 2.

Данный состав ОП позволяет повысить его рабочую температуру при высокой адгезии в окружающей среде до 600...10 000 °С (в зависимости от состава).

Библиографические ссылки

1. Рохлин Г.Н. Разрядные источники света, М.: 1991. С. 750.
2. Микаева С.А., Микаева А.С. Технология производства для нанесения покрытия на компактные люминесцентные лампы // Упрочняющие технологии и покрытия. 2012. № 11. С. 24—29.
3. Железникова О.Е., Сеницина Л.В., Микаева С.А., Микаева А.С. Покрытия на компактные люминесцентные лампы // Справочник. Инженерный журнал. 2013. № 2. С. 20—26.



УДК 681.518, 681.5.013, 681.3.01

О.В. Фахурдинов
(НИИ «РИНКЦЭ», г. Москва)

olegator2k@gmail.com

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ УНИВЕРСАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ЭКСПЕРТИЗЫ В НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ СФЕРЕ С ПРИВЛЕЧЕНИЕМ ЭКСПЕРТНОГО СООБЩЕСТВА

Изложены общие принципы работы и описана структура информационной системы, обеспечивающей проведение экспертно-аналитических работ. Рассмотрены основные элементы системы и связи между ними.

Ключевые слова: экспертно-аналитические работы; информационная система; способы проведения экспертизы; база данных.

General work principles are stated and the information system structure, providing of expert-analytical work realization, are described. The system fundamental elements and the relationships between them are considered.

Key words: expert-analytical work; information system; examination realization methods; the database.

Одним из приоритетных видов деятельности Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Научно-исследовательский институт — Республиканский исследовательский научно-консультационный центр экспертизы» (далее — Институт) является проведение экспертно-аналитических работ с привлечением экспертного сообщества, сформированного на базе федерального реестра экспертов научно-технической сферы Минобрнауки России.

До недавнего времени для проведения экспертных и аналитических работ разрабатывались специализированные информационные подсистемы, нацеленные на решение конкретной задачи. К таким задачам относились, например, проведение экспертизы заявок, поданных на конкурс на право получения грантов Президента Российской Федерации, разработка аналитических документов по выявлению ведущих тенденций и основных факторов, определяющих развитие сферы исследований и разработок в тематической области и т. п. Разработка специализированных подсистем занимала значительное время, что, зачастую, плохо согласовывалось с крайне сжатыми сроками, выделенными на проведение работ. Кроме того, подсистемы между собой являлись независимыми, единственным связующим звеном между которыми было указание эксперта, осуществляющего работу.

Для обеспечения современного и удобного инструмента как проведения экспертно-анали-

тических работ, так и последующего просмотра и обработки их результатов разработана специализированная информационная система, позволяющая в едином интерфейсе и с использованием единых организационно-методических принципов проводить все виды экспертно-аналитических работ Института. Данная система использует наработки (как программные, так и нормативные) ранее использовавшихся специализированных подсистем, закреплённые в проекте Положения о Федеральном реестре экспертов научно-технической сферы Минобрнауки России [URL: <https://reestr.extech.ru/docs/polojhenie.php>, дата обращения: 24.12.2014].

Эта информационная система тесно интегрирована с программным комплексом федерального реестра экспертов, её главной отличительной особенностью является возможность гибкой настройки всех параметров проведения экспертно-аналитической работы: от порядка отбора экспертов и задания критериев экспертизы до формы договора подряда, заключаемого с экспертом для оплаты его работы. Кроме того, с использованием информационной системы можно не только проводить новые работы, но и зафиксировать ранее проведённые вне системы работы (т. е. провести процедуру архивации), а также свести в единый список аналитические работы, ранее проведённые в рамках других специализированных подсистем.

Рассмотрим подробнее общую структуру и основные принципы работы каждого элемен-



Рис. 1. Связь основных элементов в информационной системе экспертизы

та разработанной информационной системы. Программная часть информационной системы представляет собой набор скриптов, написанных на языке PHP, для хранения данных используется реляционная база данных под управлением MySQL.

В системе можно выделить следующие основные структурные элементы: этапы экспертизы (экспертно-аналитической деятельности); способы проведения экспертизы; проекты для экспертизы; договоры подряда; группы администраторов экспертизы.

Данные элементы взаимосвязаны между собой, привязаны к различным классификаторам и справочникам. Связь элементов информационной системы представлена на рис. 1.

Этапы экспертно-аналитической деятельности. При описании структуры информационной системы для удобства будем оперировать понятием «этап экспертно-аналитической деятельности», вкладывая, тем не менее, в это понятие всю иерархическую упорядоченность этапов в типы экспертизы, а тех, в свою очередь, в группы типов.

Указанная иерархия предусмотрена для обеспечения логической группировки сходных по тому или иному набору признаков этапов вместе. Использование лишь только одних этапов экспертно-аналитической деятельности представляется возможным, но было бы не столь удобно на практике.

Самый верхний уровень иерархии — группа типов соответствует крупной задаче, которую ведёт один из научных центров Института, либо совокупности всех задач центра. К этому уровню привязываются права доступа в информационную систему, а также способ формирования договора подряда.

Тип экспертизы — промежуточное звено, позволяющее в рамках одной задачи или одного центра объединить повторяющиеся или сходные этапы проведения экспертно-аналитических работ. На этом уровне, по сути, не задаются никакие особые параметры.

И, наконец, этап экспертизы — это самое нижнее (и, тем не менее, самое важное) звено иерархии. На уровне этапа экспертизы описываются основные параметры проведения экспертизы: задаётся временная привязка, количество экспертов и способ их отбора, состав комплекта документов для проведения экспертизы и т.п. Список основных параметров этапа экспертизы представлен на рис. 2. Как видно, ряд параметров этапа экспертизы являются



Рис. 2. Основные параметры этапа экспертизы

опциональными и требуют задания только при определённых условиях.

Способы проведения экспертизы. Классическим способом проведения экспертизы является использование определённого набора показателей, по которым проводится оценка — набора критериев экспертизы. В рассматриваемой информационной системе вводится понятие более широкого уровня, чем просто набор критериев экспертизы — *способ проведения экспертизы*. Способом проведения экспертизы может быть как оценка с использованием классической экспертной анкеты, так и применение специализированного программного модуля или, например, просто фиксация факта проведения работы экспертом. Способы проведения экспертизы делятся на два вида: фиксированные и добавляемые. Фиксированные не подразумевают возможность задания новых способов проведения указанного вида и применяются всегда «как есть». Для добавляемых способов проведения экспертизы ситуация противоположная: невозможно привязаться непосредственно к способу, но можно привязаться к его «экземпляру» с настроенными дополнительными параметрами.

В настоящее время в информационной системе присутствуют следующие виды фиксированных способов проведения экспертизы:

- только фиксация факта проведения экспертизы;

- прикрепление файла экспертного заключения.

Только фиксация факта проведения экспертизы применяется в том случае, когда сама экспертиза проводилась силами экспертов, привлекаемых из состава федерального реестра, вне информационной системы. При этом в Институт не передаются файлы экспертных заключений. Тем не менее, в этом случае целесообразно сохранить сведения о том, что эксперт проводил экспертизу того или иного проекта.

Прикрепление файла экспертного заключения подразумевает схожую с описанной выше ситуацию, однако предполагает, что в Институт передаётся экспертное заключение в виде текстового документа (файла).

К добавляемым способам проведения экспертизы относятся:

- набор критериев экспертизы;
- собственный скрипт.

Использование набора критериев экспертизы подразумевает ввод вопросов экспертной анкеты, вариантов ответов, весовых коэффи-

циентов, соответствующих разным вариантам ответа. На основании заданных таким образом критериев экспертизы автоматически формируется интерактивная анкета, которая заполняется экспертом, а впоследствии — и файл экспертного заключения в необходимом формате. При этом допускаются различные способы формирования итоговой оценки:

- итоговая оценка не формируется;

- выбор варианта ответа итогового критерия;
- расчёт на основе выбранных вариантов ответа;

- одновременно выбор варианта ответа итогового критерия и расчёт на основе выбранных вариантов ответа.

Экспертиза через собственный скрипт используется при выполнении объёмной аналитической работы, когда требуется заполнение таблиц со сложной структурой, прикрепление файлов с дополнительной информацией и другие операции, не предусмотренные обычными типами критериев экспертизы. Кроме того, обычно и результаты выполнения этих работ так же разумно представлять с использованием специализированного скрипта. При экспертизе такого типа задаются ссылки на соответствующие скрипты, в которых, в свою очередь, должна быть реализована обратная связь с системой экспертизы посредством простановки в базе данных соответствующих признаков по окончании экспертно-аналитической работы.

Следует отметить, что приведённый список способов проведения экспертизы не является конечным и при необходимости может быть расширен как фиксированными, так и добавляемыми способами. Внесение же новых наборов критериев и собственных скриптов для добавляемых способов подразумевается по определению.

Наборы критериев экспертизы. Рассмотрим более подробно задание критериев экспертизы и формирование итоговой оценки, которые необходимы в случае применения способа проведения экспертизы с использованием набора критериев экспертизы.

Подобно этапам экспертизы критерии экспертизы представляют собой иерархически упорядоченную структуру, во главе которой находятся показатели экспертизы, группирующие ряд критериев экспертизы. Показатели экспертизы могут объединяться в группы показателей тогда, когда требуется многоуровневая иерархия критериев, например, когда рассматриваются одновременно несколько документов одной работы (финансовый и научный

отчёты и т. п.). Для каждого критерия экспертизы задаются варианты ответа. При этом порядок работы эксперта с вариантами ответа определяется указанным видом критерия.

В информационной системе предусмотрены следующие виды критериев:

одиночный выбор. Это очевидный и наиболее употребительный вид критерия. В этом случае для критерия задаются несколько вариантов ответа, из которых эксперту предлагается выбрать один;

множественный выбор. Эксперт может выбрать из предложенных вариантов ответа несколько (а может и вовсе не выбирать ни одного варианта);

ввод числового значения. При этом могут быть указаны ограничения на верхнюю и нижнюю границу вводимого значения, а также на его целочисленность;

ввод текстовой информации. В качестве оценки по выбранному критерию эксперту предлагается ввести текстовый комментарий в свободной форме.

Вариант ответа — наиболее сложная для задания часть набора критериев экспертизы. Описание варианта ответа включает в себя следующие элементы:

наименование варианта ответа;
текст для вывода варианта ответа в экспертное заключение;

символьный эквивалент или вес;
признак использования «вложенного» выбора из списка;

наименование списка или запрос для его выбора (в случае использования «вложенного» выбора);
признак ввода произвольного текста.

Форма ввода описания варианта ответа представлена на рис. 3.

Обязательным из всех параметров варианта ответа является только его наименование.

В общем случае для выбранного варианта ответа в формируемое заключение выводится то же наименование, что используется при заполнении интерактивной анкеты. При необходимости для заключения можно задать другой текст, используя специальные метки, которые впоследствии будут заменены соответствующим текстом (на название выбранного ответа из вложенного списка, на введённый

пользователем текст в поле ввода произвольного текста и т. п.). Использование меток-заполнителей особенно оправданно в случае выбора «сложного» варианта ответа, т. е. когда после выбора варианта ответа требуется ввести произвольный текст или провести дополнительный выбор из списка.

При необходимости «вложенного» выбора из списка соответствующий список можно задать двумя вариантами: указав имя массива, который формируется непосредственно в скрипте или вписав запрос для выбора этого списка из файла.

По результатам заполнения экспертной анкеты определённым образом может быть сформирована или непосредственно указана экспертом итоговая оценка. Допускается применение этих двух оценок независимо друг от друга.

Для расчёта числовой оценки по результатам заполнения экспертной анкеты для каждого варианта ответа следует задать соответствующее ему число (вес). По умолчанию итоговая оценка считается простым суммированием выбранных значений. При необходимости можно задать более сложный алгоритм расчёта итоговой оценки, указав для каждого критерия и показателя, какой вид вклада (аддитивный или мультипликативный) он вносит в итоговую оценку и, как и для варианта ответа, выставив весовой коэффициент.

Вариант ответа

Параметры варианта ответа	
Наименование варианта ответа	<input type="text" value="не соответствует заявленной, относится к критической технологии."/>
Текст для вывода варианта ответа в pdf <small>Если поле оставить пустым – для вывода в pdf будет использоваться обычное наименование варианта ответа. Можно использовать следующие placeholders: ext_div_text – заменяется на значение переменной \$ext_div_text, формируемой в div/___ php файле list_name – заменяется на название выбранного ответа из вложенного списка free_text – заменяется на введённый пользователем текст в поле ввода произвольного текста</small>	<input type="text" value="относится к критической технологии «list_name»"/>
Символьный эквивалент или вес	<input type="text"/>
"Вложенный" выбор из списка	<input checked="" type="radio"/> нет <input type="radio"/> да - список задаётся массивом <input type="radio"/> да - список задаётся запросом
Наименование списка или запрос для его выбора	<input type="text" value="SELECT id_krit AS id, text_krit AS name FROM krit_teh_new WHERE new_num>0 AND id_krit!=(SELECT id_krit_tematika FROM tematika WHERE id_tematika=\$id_zajavka) ORDER BY new_num"/>
Ввод произвольного текста	<input checked="" type="radio"/> нет <input type="radio"/> да

Сохранить

Рис. 3. Внешний вид формы задания варианта ответа

Связь «этап экспертизы — способ проведения экспертизы». Одной из наиболее важных связей структурных элементов системы между собой является связь «этап экспертизы — способ проведения экспертизы». Для большей гибкости привязки к способам проведения экспертизы была реализована схема привязки на любом уровне иерархии этапов экспертизы. В описании группы типов, типов и этапов экспертизы можно указать набор критериев экспертизы либо выбрать вариант «привязка способа проведения осуществляется на другом уровне». При этом применяется принцип наследования способа проведения экспертизы на нижестоящие уровни. Таким образом, можно, например, выбрать конкретный способ проведения экспертизы на уровне группы типов и не указывать их на остальных уровнях. Тогда этот набор будет применяться автоматически для всех нижестоящих типов и этапов экспертизы.

Проекты для экспертизы. В информационной системе предусмотрено два принципиально разных способа задания списка проектов, для которых необходимо провести экспертизу в рамках конкретного этапа: запросом к базе данных, в которой содержатся данные проектов, или прикреплением файлов. Способ выбора списка проектов указывается при задании параметров этапа экспертизы. В любом случае для каждого проекта требуется задание его наименования и, желательно, регистрационного номера.

Назначение на экспертизу. При описании этапа экспертизы можно указать запрос, который будет отбирать экспертов. Если запрос не указан, то для выбора доступны все эксперты федерального реестра. При использовании запроса дополнительно можно включить в него вычисляемый параметр, показывающий условную степень соответствия эксперта предложенному проекту, например, по соответствию кодов тематических областей проекта и компетенции эксперта. Список экспертов для выбора при использовании параметра степени соответствия будет отсортирован по уменьшению этого параметра (и его значение будет выведено в списке).

До окончания выполнения экспертно-аналитической работы назначение на неё можно удалить, при необходимости одновременно проставив отказ эксперта от выполнения экспертизы.

Договора подряда. Если для группы типов экспертизы указано, что для неё предусмотрено формирование договора подряда, то после

назначения на экспертизу можно внести сведения о договоре подряда с экспертом. Договора подряда в системе могут формироваться с группировкой проектов (по группе типов или по конкретному этапу) либо для конкретного проекта.

Список работ выбирается в соответствии с уровнем формирования договора подряда: для договоров подряда на всю группу этапов достаточно указать эту группу этапов, для договоров для этапов или проектов необходимо также выбрать соответственно этапы или проекты.

Номер договора подряда можно указать вручную, однако более предпочтительным представляется автоматическое формирование номера. Формат номера договора подряда в информационной системе выглядит следующим образом:

```
<code_budget>.226.<num_exp>.<code_fin>/
<year>[-<suffix>][A|Э|П|Т|...]-
<sequence_num>.
```

Код вида деятельности (code_budget), код источника финансирования (code_fin) и способ задания суффикса берутся из справочника «Источники финансирования».

Год (year) выводится в формате двух цифр и определяется автоматически на основании указанной даты начала работ.

Регистрационный номер эксперта (num_exp) выводится в формате четырёх цифр, при необходимости дополняется ведущими нулями.

Опциональный однобуквенный код (может быть включён непосредственно в суффикс) используется для дифференциации по виду работ (аналитические документы, экспертиза, приоритетные направления развития и т. д.).

Порядковый номер договора подряда определяется на основании количества уже введённых договоров подряда с совпадающими начальными (до номера эксперта) и конечными (после номера эксперта до порядкового номера) частями.

Пример заполнения сведений о договоре подряда в системе приведён на рис. 4.

Группы администраторов экспертизы. В информационной системе предусмотрено двухуровневое распределение прав доступа. Изначально для каждого администратора указывается его тип (администратор по направлению, суперадминистратор и т. п.), согласно которому предоставляются глобальные привилегии, такие как доступ к конкретным разделам информационной системы или возможность вне-

сения новых групп типов экспертизы. Внутри разделов в действие вступают индивидуальные настройки прав доступа для каждого элемента раздела. Так, для каждой группы типов экспертизы можно настроить, сможет ли конкретный администратор, имеющий доступ к этому разделу, редактировать исходные данные, назначать экспертов, проставлять итоговые оценки.

Возможность ввода и редактирования этапов экспертно-аналитических работ, изменения наборов критериев экспертизы имеют лишь особые группы администраторов. Так, суперадминистраторы имеют полный доступ к изменению всех параметров экспертизы, а ответственные за проведение экспертизы от центров Института полный контроль лишь над экспертно-аналитическими работами, выполняемыми их центрами. При этом различные администраторы могут иметь свои виды представления совокупной информации об экспертно-аналитических работах в соответствии с удобной им моделью работы.

Шаблоны экспертных заключений и договоров подряда. По итогам выполнения экспертно-аналитических работ в информационной системе формируется, как минимум, два вида выходных документов — экспертное заключение и договор подряда. При их формировании используется принцип создания шаблонов в текстовом редакторе и дальнейшей замены отдельных полей данными из базы данных. Для осуществления этой процедуры используется специализированная веб-служба LiveDocx.

Используемый шаблон экспертного заключения может быть задан на уровне способа проведения экспертизы или на уровне конкретного этапа экспертно-аналитической деятельности. Если шаблон экспертного заключения задан на обоих уровнях, то приоритетным является уровень этапа экспертно-аналитической деятельности.

Для шаблонов договоров подряда действует схожий принцип возможности указания на разных уровнях — уровне группы типов экспертизы и уровне конкретного этапа экспертно-аналитической деятельности. Уровень этапа экспертно-аналитической деятельности здесь также является приоритетным.

Шаблоны создаются в обычном текстовом редакторе (например, Microsoft Word), поэто-

Данные договора подряда

Эксперт	Буравчук Нина Ивановна
За какую работу	<input checked="" type="radio"/> Полярный квадрат договор за экспертизу в рамках всей группы этапов
Дополнительный суффикс	фиксированный: 03
Номер договора подряда	<input type="radio"/> Ранее сформированный номер <input checked="" type="radio"/> Использовать формируемый системой 1.226.0317.12/133-1 <input type="radio"/> Ввести свой
Сумма	5000 руб.
Начало работ	08.10.2013
Окончание работ	15.10.2013
Показывать экспертизу?	да

Рис. 4. Пример заполнения сведений о договоре подряда

му для их создания не требуется специальных навыков, кроме базовых навыков владения офисными программами.

Рабочее место эксперта. До настоящего момента рассматривалась информационная система исключительно с точки зрения администратора. Однако важнейшей частью этого комплекса является рабочее место эксперта — непосредственного исполнителя всех экспертно-аналитических работ. С функциональной точки зрения рабочее место эксперта устроено достаточно просто и состоит из трёх элементов: списка назначенных для экспертизы (и прошедших экспертизу) проектов; непосредственно интерактивной экспертной анкеты; списка договоров подряда.


Основная страница рабочего места эксперта включает в себя две таблицы: «Работы, которые требуется выполнить» и «Выполненные работы». В левой колонке таблицы работ, которые требуется выполнить, указывается название проекта и имеется возможность скачать материалы проекта. Эксперт может отказаться от проведения экспертизы, указав причину своего отказа. В зависимости от применяемого для проекта способа выполнения работ эксперту будет предложено либо заполнить интерактивную экспертную анкету, либо сформировать экспертное заключение самостоятельно и прикрепить уже готовый текстовый документ.

Фрагмент интерактивной экспертной анкеты представлен на рис. 5.

На странице договоров подряда представлен список назначенных эксперту договоров

Экспертно-аналитическая работа

Биотехнологический потенциал экстремофильных прокариот

 Скачать предложение

Оценка соответствия темы предлагаемой НИР целям и задачам Государственной программы Российской Федерации «Развитие науки и технологий» на 2013-2020 годы

Какому приоритетному направлению развития науки, технологий и техники в Российской Федерации (согласно Перечню критических технологий Российской Федерации, утвержденному Указом Президента РФ от 07.07.2011 № 899) соответствует тема НИР? Документ доступен в разделе Приоритеты НТК

Заявленное приоритетное направление: Науки о жизни

соответствует заявленному

не соответствует заявленному, относится к приоритетному направлению:

- Безопасность и противодействие терроризму
- Индустрия наносистем
- Информационно-телекоммуникационные системы
- Перспективные виды вооружения, военной и специальной техники
- Рациональное природопользование
- Транспортные и космические системы
- Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика

не соответствует ни одному из приоритетных направлений

+

Считаете ли Вы целесообразным включение темы НИР в Подпрограмму 2 государственной программы Российской Федерации «Развитие науки технологий» на 2013-2020 годы:

да

нет

скорей да, чем нет

скорей нет, чем да

Дополнительный комментарий эксперта:

Работы по поиску и исследованиям микроорганизмов, существующих в экстремальных условиях, какие особенности позволяют им жить в таких условиях, имеет фундаментальное значение. При постановке таких исследований нельзя опускать прикладной аспект - возможность использования найденных объектов в практической биотехнологии. Сколько таких объектов будет предложено в результате исследований? Восемнадцатилетний опыт работы, наверное, позволяет авторам проекта сделать такой прогноз.

Рис. 5. Фрагмент интерактивной экспертной анкеты

подряда. Эксперт может скачать их, чтобы затем представить в бумажном виде (подписанные, с комплектом подтверждающих документов) в Институт для проведения оплаты. В договор автоматически заносятся как дан-

ные эксперта, так и данные выполненной им работы.

Разработанная информационная система позволяет выполнять экспертно-аналитические работы различного рода. При этом имеется возможность гибкой настройки параметров выполнения работы, внесения новых способов проведения экспертизы и формирования итоговых оценок. Информационная система позволяет формировать весь необходимый набор документов в ходе проведения и по окончанию работ.

В настоящее время информационная система уже используется в практической деятельности Института. В частности, проведена архивация результатов экспертно-аналитической деятельности за 2014 г. и выполнен ряд работ непосредственно с использованием инструментария программного комплекса. В дальнейшем планируется полный переход к выполнению всех экспертно-аналитических работ Института с использованием разработанной информационной системы. Кроме того, предполагается доработка функционала

системы для обеспечения доступа к ней не только сотрудников Института, но и непосредственных заказчиков проведения работ (с заранее установленными правами просмотра и редактирования данных).

Уважаемые читатели!

Подписку можно оформить в любом почтовом отделении по каталогам:

- «Роспечать» — индекс **70537**;
 «Пресса России» — индекс **27838**;
 «Почта России» — индекс **60267**.



ПО СТРАНИЦАМ ЖУРНАЛОВ

Методы оптимизации технических решений пьезоприводов. *Вестник машиностроения.* 2015. № 3.

Предложена оптимизация технического решения пьезоэлектрического актюатора по множеству критериев с использованием градиентного метода наискорейшего спуска. Рассмотрена итерационная процедура с поиском минимума перемещения по направлению к минимуму в области ограничений. Показано, что при разработке биморфных элементов пьезосканера необходимо учитывать их поперечные и продольные колебания.

Системы шагового перемещения и плавного разгона—торможения конвейерных приводов. *Вестник машиностроения.* 2015. № 3.

Рассмотрено управление ленточными конвейерами, которые используются в производственных системах с межоперационным транспортированием грузов на последовательно расположенных технологических позициях. Предложены технические решения, защищённые патентами РФ, для автоматического управления разгоном и торможением, а также рабочей скоростью привода этих конвейеров.

Работы и достижения в области трибологии ведущих специалистов ИМАШ им. А.А. Благонравова РАН. *Вестник машиностроения.* 2015. № 3.

У истоков развития трибологии в ИМАШ РАН стоял Юрий Николаевич Дроздов — известный учёный в области трения, изнашивания, смазки (трибология и надёжности, безопасности машин и механизмов), доктор технических наук, профессор, действительный член Российской академии космонавтики и Российской инженерной академии, лауреат Государственной премии СССР, заслуженный деятель науки РФ, автор 750 научных трудов: монографий, справочников, учебников и изобретений, защищённых авторскими свидетельствами и патентами.

Лезвийный инструмент для разделительных операций хрупких листовых заготовок. *Вестник машиностроения.* 2015. № 3.

Разработана геометрия алмазного лезвийного инструмента на основе четырёхгранной пирамиды для разделительных операций листовых заготовок. Построен алгоритм для решения задач лезвийной обработки.

Влияние нормальных мод колебаний технологической системы на качество обработки резанием. *Вестник машиностроения.* 2015. № 3.

Показано, что при металлообработке относительные колебания режущего инструмента и заготовки удобно представлять в виде совокупности нормальных мод. Однако данный подход осложняется нелинейными процессами и требует экспериментальных исследований.

Исследование толщин и однородности выращивания плёнок диоксида кремния методом ИК-спектральной эллипсометрии. *Наноинженерия.* 2015. № 3.

Проведено исследование толщин, химического состава и однородности плёнок SiO₂, выращенных при температурах от 800 до 1200 °С. Исследование проводилось методом ИК-спектральной эллипсометрии с целью отработки технологического процесса выращивания плёнок диоксида кремния. Определено, что в данном температурном диапазоне в плёнках присутствуют только комплексы Si—O.

При этом плёнки диоксида кремния, выращенные при более низких температурах, являются достаточно неоднородными по толщине по поверхности подложки в отличие от образцов, выращенных при более высоких температурах. Также выявлена зависимость толщины выращенной плёнки диоксида кремния от времени и температуры отжига, которая может применяться при выборе технологических режимов изготовления полупроводниковых устройств.

Классификация и области применения наноматериалов. *Наноинженерия.* 2015. № 3.

Обсужден ряд определений нанотехнологий, принятых и используемых в разных странах. Предложена новая версия базового определения нанотехнологий.

Повышение качества измерений магнитных свойств нанокристаллических сплавов. *Наноинженерия.* 2015. № 3.

Изучены показатели точности измерений магнитных свойств в условиях повторяемости. Получены оценки погрешностей измерений на установке МК-4Э. На основе дисперсионного анализа определено минимальное число пластин в образцах.

Расчёт параметров режима поддержания требуемого состояния образца в вакуумной криокамере. *Наноинженерия.* 2015. № 3.

Построена модель теплообмена излучением для расчёта параметров криовакуумной камеры алгебраическим методом (методом сальдо). Проведен анализ применимости полученных результатов для решения широкого круга задач расчёта лучистого теплообмена в вакуумно-термических и нанотехнологических установках.

Урановое топливо, модифицированное нанодобавками. *Наноинженерия.* 2015. № 3.

Рассмотрены методы модификации уранового топлива различными нанодобавками, которые позволяют оптимизировать физико-химические характеристики ядерного топлива, повышают уровень его выгорания и тем самым обеспечивают более эффективную работу АЭС. Изучено технологическое развитие каждого метода, определены задачи, с которыми справляются представленные технологии, а также выявлены преимущества и недостатки относительно штатного уранового топлива.

Повышение эффективности обработки прямозубых конических зубчатых колёс. *Научноёмкие технологии в машиностроении.* 2015. № 3.

Рассмотрена возможность повышения эффективности обработки прямозубых конических зубчатых колёс за счёт совершенствования конструкции инструмента и управления технологическими параметрами процесса обработки, приведены результаты производственных испытаний специальных зубострогальных резцов.

Разработка технологических схем обработки деталей-представителей элементов высокоточной формообразующей оснастки и компрессорных лопаток газотурбинных двигателей. *Научноёмкие технологии в машиностроении.* 2015. № 3.

Представлены технологические схемы базирования деталей-представителей элементов высокоточной формообразующей оснастки и компрессорных лопаток газотурбинных двигателей. Предложены конструкции «техноло-

гических кубиков» и «технологических прибылей» для установки и закрепления деталей

Выбор режимов финишной абразивной обработки поверхностей трения с учётом требуемой износостойкости. *Научно-технические технологии в машиностроении.* 2015. № 3.

Представлен научно обоснованный подход к выбору и корректировке режимов финишной абразивной обработки (окончательное шлифование, суперфиниширование, хонингование) поверхностей трения деталей машин с учётом их требуемой износостойкости. Приведены результаты экспериментов, характеризующие влияние режимов обработки на износостойкость поверхности.

Мокрая сварка под водой покрытыми электродами и самозащитными порошковыми проволоками. *Научно-технические технологии в машиностроении.* 2015. № 3.

Рассмотрены вопросы, связанные со сваркой «мокрым способом» под водой. Рассматриваются некоторые характерные примеры внедрения такого вида сварки. Показана эффективность применения механизированных способов подводной сварки.

Алгоритм функционирования модуля контроля режущего инструмента для устройства сопряжения. *Научно-технические технологии в машиностроении.* 2015. № 3.

Рассмотрена сфера применения автоматизированной системы сбора и анализа производственных данных со станков с ЧПУ. Особое внимание уделено модулю контроля режущего инструмента, представлены его структурная схема и алгоритм функционирования

Выбор материала для высокотемпературного рабочего колеса турбины перспективных энергетических установок космического назначения мегаваттного класса. *Полёт.* 2015. № 3.

Исследована проблема выбора материала для высокотемпературного рабочего колеса турбины длительного ресурса из жаропрочных сплавов на основе никеля и титана-плавких металлов. Теоретически обоснована работоспособность колеса из молибденовых сплавов и показана необходимость получения дополнительных данных по длительной прочности для более корректных утверждений.

Влияние вибраций на целевую прецизионную аппаратуру космических аппаратов. *Полёт.* 2015. № 3.

Рассматривается задача по борьбе с микровозмущениями, возникающими при работе двигателей-маховиков на космических аппаратах с целевой прецизионной аппаратурой.

Методика численного моделирования ламинарно-турбулентного перехода на скользящем крыле на основе решений уравнений Навье—Стокса. *Полёт.* 2015. № 3.

Исследуется применение современной модели турбулентности, основанной на уравнении переноса для перемежаемости, для определения ламинарно-турбулентного перехода на поверхности скользящего крыла. Показана методика моделирования характеристик обтекания скользящего крыла. В результате выполненного сравнительного анализа установлено достаточно хорошее согласование расчётного положения ламинарно-турбулентного перехода с данными экспериментальных измерений.

Динамика пневматического амортизатора с двумя упругими элементами встречного действия с активным управлением процессами переноса газа между объемами. *Полёт.* 2015. № 3.

Описан пневматический амортизатор с двумя упругими элементами вторичного действия для систем амортизации объектов в ракетно-космической отрасли. По-

строена и исследована модель динамики устройства и термодинамики газов в объёмах пневматического амортизатора в целях выявления закономерностей работы и получения упругодемпфирующей характеристики.

Прогнозирование ресурса бортовых систем КА наблюдения и связи. *Полёт.* 2015. № 3.

Рассматриваются вопросы обеспечения надёжности космических аппаратов (КА) наблюдения и связи. Приведены алгоритмы нормирования надёжности бортовых систем КА и обоснования его ресурса с учётом массовых ограничений. Представлены методы учёта влияния достижений научно-технического прогресса при прогнозировании динамики изменения показателей надёжности бортовых систем КА и его ресурса.

Предельная скорость ударного взаимодействия плоских губок схвата с плоскостью обработанной детали. *Сборка в машиностроении, приборостроении.* 2015. № 3.

Получена математическая зависимость предельной скорости ударного взаимодействия плоских губок схвата робота-манипулятора с плоскостью окончательно обработанной детали.

Исследование коэффициентов трения при ультразвуковой сборке резьбовых пар с крепёжно-резьбообразующими деталями. *Сборка в машиностроении, приборостроении.* 2015. № 3.

Представлены результаты экспериментальных исследований коэффициентов трения в резьбовых парах, собираемых путём ввинчивания резьбовыдавливающих винтов в гладкие отверстия с наложением ультразвуковых колебаний. Описаны конструкции исследовательской оснастки, приведены экспериментальные зависимости коэффициентов трения от основных влияющих факторов.

Инструментальная оснастка сборочного модуля для соединения деталей в узел. *Сборка в машиностроении, приборостроении.* 2015. № 3.

Показано, что конструкция сборочной головки определяется видом соединения деталей в узел: путём геометрического или силового замыкания. Приведены схемы сборочных головок с вращательным и поступательным движением инструмента и их сравнительные характеристики с электро- и пневмоприводом. Даны принципиальные и конструктивные схемы сборочных головок для разъёмных и неразъёмных соединений с использованием различных технологий, позволяющие выработать оптимальные проектные рекомендации.

Обеспечение требуемого качества торцовых поверхностей колец подшипников шлифованием. *Сборка в машиностроении, приборостроении.* 2015. № 3.

Представлены алгоритм и методика определения оптимальных условий шлифования торцовой поверхности колец подшипников, обеспечивающих получение заданных требований к качеству обработанной поверхности при максимальной производительности процесса.

Анализ точности срабатывания вариантов адаптивной фрикционной муфты с раздельным силовым замыканием. *Сборка в машиностроении, приборостроении.* 2015. № 3.

На основе исследования двух вариантов адаптивной фрикционной муфты второго поколения с раздельным силовым замыканием показано, что при одинаковых конструктивных параметрах вариант с независимым силовым замыканием фрикционных групп обладает более высокой точностью срабатывания.