# Автоматизация и Современные Технологии

#### ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ МЕЖОТРАСЛЕВОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ИЗДАЁТСЯ С 1947 ГОДА

Главный редактор

**В.Л. Белоусов** — д.э.н., проф., МГУПИ

#### РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Бучаченко А.Л. – д.х.н., проф., ИПХФ РАН

**Гусев А.А.** – д.т.н., проф., МГТУ "СТАНКИН"

**Дегтярев Ю.И.** – д.т.н., проф., МАИ

Елисеев В.А. – д.т.н., Ин-т Инновац.-технологич.

менеджмента

Иванов А.П. – д.э.н., проф., МГУПС (МИИТ)

Мальцева С.В. – д.т.н., проф., НИУ ВШЭ

Нефедов Е.И. – д.ф.-м.н., ИРЭ РАН

**Шебалин И.Ю.** — к.ф.-м.н.,

ООО "Изд-во Машиностроение"

(заместитель главного редактора)

#### РЕДАКЦИЯ:

Шебалин И.Ю. — зам. главного редактора

Осипова В.Г. – научный редактор

**Богус С.В.** - секретарь

Адрес редакции:

107076, Москва,

Стромынский пер., 4

Тел.: (499) 748 0290,

E-mail: ast@mashin.ru; http://www.mashin.ru

10

2013

#### УЧРЕДИТЕЛИ:

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ РЕСПУБЛИКАНСКИЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ НАУЧНО-КОНСУЛЬТАЦИОННЫЙ ЦЕНТР ЭКСПЕРТИЗЫ

Журнал зарегистрирован 9 апреля 1999 г. за № 018684 в Комитете Российской Федерации по печати

Журнал входит в перечень утверждённых ВАК РФ изданий для публикации трудов соискателей учёных степеней

ООО "Издательство Машиностроение"

Адрес издательства:

107076, Москва,

Стромынский пер., 4

Тел.: (499) 268 3858,

факс: (499) 269 4897

#### СОДЕРЖАНИЕ

АВТОМАТИЗАЦИЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ
Буренин В.В. Новые теплообменники для систем гидро-
автоматики и объёмного гидропривода машин и меха-
низмов

Чикунов Ю.М. Исследование причин и оценка частоты наступления аварийных ситуаций в системе обка-Моисеев Ю.В., Дьяков И.Ф., Попович А.В. О возможности повышения производительности металлорежущего оборудования при обработке поверхно-

ВЫСТАВКИ И ПРЕЗЕНТАЦИИ

ОБЗОР ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ПЕЧАТИ

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
Звонов А.О., Янишевская А.Г. Методы искусственного интеллекта в задачах автоматизации принятия проектных решений
Васин В.А., Фатьянова Н.Г., Трошин Б.А., Васичев Б.Н.,
Степанчиков С.В. Особенности развития отечествен-
ного оборудования для нанотехнологий21
Федоренко А.С., Ашрятов А.А., Вдовин М.В., Ми-
каева С.А. Световые приборы переменной цветности
с использованием светодиодов
Клячкин В.Н., Кравцов Ю.А. Повышение эффектив- ности статистического контроля многопараметриче- ского технологического процесса на основе карты
Хотеллинга с предупреждающей границей 35
Бендерский Б.Я., Копылов К.А. Моделирование про-
цесса взаимодействия теплоносителя с прутком в спрейерной камере

### 

Технология Cisco vPath поддерживает лучшие в своём 

#### **CONTENTS**

#### **AUTOMATION** OF SCIENTIFIC-RESEARCH AND PRODUCTION

Burenin V.V. New heat exchangers for hydroautomatic systems and a volumetric hydraulic drive of the machines and mechanisms
MODERN TECHNOLOGIES
Zvonov A.O., Yanishevskaya A.G. Artificial intellec method in the designed decision-making automation tasks
EXHIBITIONS AND PRESENTATIONS
Technology Cisco vPath supports the best-in-category cloud network services
SURVEY OF PERIODICALS
Periodicals review

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

Сдано в набор 29.08.13. Подписано в печать 26.09.13. Формат 60×88 1/8. Бумага офсетная. Усл. печ.л. 5,88. Цена свободная

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

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



#### АВТОМАТИЗАЦИЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

УДК.621.28

**В.В. Буренин,** канд. техн. наук, проф. (Московский автомобильно-дорожный государственный университет (МАДИ)) st@tu.madi.ru

## НОВЫЕ ТЕПЛООБМЕННИКИ ДЛЯ СИСТЕМ ГИДРОАВТОМАТИКИ И ОБЪЁМНОГО ГИДРОПРИВОДА МАШИН И МЕХАНИЗМОВ

Рассмотрены новые конструкции теплообменников для рабочей жидкости систем гидроавтоматики и объёмного гидропривода, предложенные в научно-технической и патентной литературе промышленно развитых стран. Приведены отечественные и зарубежные производители теплообменников, отличающихся улучшенными характеристиками.

**Ключевые слова:** теплообменник, теплообменный аппарат, гидроавтоматика, объёмный гидропривод, теплообмен, теплопроводимость, рабочая жидкость.

New heat exchangers designs for working fluid of the hydroautomatic systems and the volumetric hydraulic driver, offered in scientific, technical and patent literature of industrialized countries are considered. Domestic and foreign producers of the heat exchangers, features by the improved characteristics are adduced.

**Key words:** heat exchanger, heat-exchange device, hydroautomatic, volumetric hydraulic drive, heat exchange, heat conduction, working fluid.

Широкое применение систем гидроавтоматики и объёмного гидропривода в современных энергонасыщенных машинах и механизмах — одно из основных направлений их совершенствования и развития [1].

Для обеспечения требуемого диапазона изменения температуры рабочей жидкости (РЖ) при работе гидрофицированных (оборудованных системами гидроавтоматики и объёмным гидроприводом) машин и механизмов применяются теплообменные аппараты (теплообменники) — нагреватели и охладители рабочей жидкости. РЖ в системах гидроавтоматики и объёмном гидроприводе нагревается редко и только для ускорения периода разогрева в начале работы машины или механизма при низкой температуре окружающей среды.

В большинстве случаев в объёмном гидроприводе выделяется избыточное количество теплоты и решается обратная задача — отвести эту теплоту для того, чтобы температура РЖ не превышала допустимой нормы или нагрев РЖ не вызвал тепловых деформаций узлов машин и механизмов, ухудшающих их работу.

Основным источником выделения теплоты, особенно в объёмных гидроприводах с нерегулируемыми насосами, является РЖ, сливаемая под высоким давлением в бак через перепускные клапаны, в

дроссельных щелях которых гидравлическая энергия потока преобразуется в тепловую. Дополнительными источниками тепла, нагревающими корпус насоса, а следовательно, и РЖ, проходящую через насос, служат внутренние утечки в насосе, характеризуемые его объёмным КПД; потери на трение в насосе, характеризуемые его механическим КПД, и потери на сжатие РЖ в нагнетательной камере. Кроме того, потери мощности, преобразуемые в теплоту, зависят от типа и условного прохода гидроагрегатов, проходного сечения и длины трубопроводов, наличия дросселирующих устройств.

При работе гидрофицированных машин и механизмов выделяющаяся тепловая энергия нагревает РЖ, а также рассеивается в окружающее пространство теплопередачей через стенки гидроагрегатов и трубопроводов. Однако значительная часть тепла остается в РЖ и нагревает её, в результате чего снижается долговечность резиновых (пластмассовых) уплотнений и РЖ, возникают автоколебания гидроагрегатов из-за ухудшения условий демпфирования, повышается уровень шума.

Применяемые в современном машиностроении силовые гидроприводы высокого давления становятся всё более компактными, мощными и быстроходными, следствием чего является неизбежное повышение температуры РЖ. При температуре

РЖ выше 70 °С каждое повышение на 10 °С снижает срок её службы на 50 % [2]. При превышении допустимого значения температуры РЖ следует применять различные способы снижения потерь мощности в гидроприводе, обеспечивающие заданный тепловой режим, или охлаждающие устройства (теплообменники).

В современных системах гидроавтоматики и объёмного гидропривода машин и механизмов для охлаждения РЖ используются поверхностные рекуперативные теплообменники, в которых одна сторона поверхности омывается горячим теплоносителем (горячей РЖ), а другая — холодным (охлаждающей средой). Теплота от одного теплоносителя к другому передаётся через разделяющую их стенку из теплопроводного материала. По конфигурации поверхности теплообмена наиболее технологичны в изготовлении и удобны в эксплуатации поверхностные рекуперативные теплообменники пластинчатого, трубчато-ребристого, трубчатого, спирального, кожухотрубного типа.

По роду теплоносителей в объёмном гидроприводе машин применяются теплообменники "жидкость—газ (воздух)" и "жидкость—жидкость". Теплообменники "жидкость—воздух", называемые воздушными, созданы на базе автомобильных радиаторов, обдуваемых вентилятором с частотой вращения до 3000 мин<sup>-1</sup>. Рассеиваемая воздушным теплообменником мощность пропорциональна разности температур между РЖ и охлаждающим воздухом и существенно зависит от количества циркулирующих через теплообменник РЖ и воздуха [3].

ОАО "Гидравлик" (РФ, г. Грязи) выпускает воздушные теплообменники трёх типоразмеров (Г44-23, Г44-24,Г44-25 [3]), которые предназначены для работы с РЖ давлением до 0,2 МПа, расходом 35, 70 и 100 л/мин и имеют массу 31; 34 и 40 кг.

Воздушные теплообменники без вентиляторов КМ6-СК-1.01А и КМ6-СК-2.01А (ОАО "Костромской калориферный завод") массой, соответственно, 66 и 130 кг могут выдерживать давление РЖ до 1,2 МПа при расходе 320 и 450 л/мин.

Фирма "Mannesmann Rexroth GmbH" (Германия) выпускает воздушные теплообменники OK-R (шесть типоразмеров) с электровентилятором с частотой вращения 1500 и 3000 мин<sup>-1</sup>, обдувающим радиатор, который защищён перепускным клапаном на давление 100 л/мин и массой от 12,5 до 40,5 кг; OKA-R (четыре типоразмера) с электровентилятором и встроенным насосом, прокачивающим 12 или

35 л/мин РЖ при давлении до 0,6 МПа, массой от 15 до 48 кг; ОКАГ-R (четыре типоразмера) с электровентилятором, встроенным насосом и фильтром, имеющим перепускной клапан и индикатор засорения, расход перекачиваемой насосом РЖ при давлении до 0,6 МПа — 12 или 35 л/мин; FL DPFOK (четыре типоразмера) с электронасосом, встроенным в кронштейн, расход РЖ от 20 до 40 л/мин при давлении 0,25 или 0,45 МПа эффективное охлаждение РЖ обеспечивают воздушные теплообменники OCA-24-30, OCA-55-30, OCA -130-30, OCA-174-30, OCA-360-30 массой от 25 до 109 кг фирмы "Vickers Согр." (США), предназначенные для работы с РЖ давлением до 2,1 МПа, расход, соответственно, 50; 70; 95; 200 и 227 л/мин. Особенность этих теплообменников - наличие двух радиаторов, которые можно подключить в систему параллельно или последовательно. Кроме того, теплообменники комплектуются датчиками температуры, позволяющими автоматически включать и выключать электровентилятор в зависимости от температуры РЖ.

Воздушный трубчатый теплообменник [4] фирмы "Valeo Thermigue Moteur SA" (Франция), предназначенный для охлаждения РЖ в трубопроводах объёмного гидропривода, имеет несколько горизонтальных рядов гофрированных трубчатых элементов. С обеих сторон каждого ряда вертикально расположены две коллекторные камеры для подвода и отвода РЖ. С помощью вентилятора трубчатые элементы и коллекторные камеры обдуваются воздухом. Для герметичного соединения трубчатых элементов с коллекторными камерами и опорной рамой теплообменника предусмотрены компенсаторы тепловых деформаций.

Компактные воздушные теплообменники ТВ1 [5] (22 типоразмера) предназначены для охлаждения РЖ при расходе от 2 до 400 л/мин. Привод вентилятора осуществляется электродвигателем переменного или постоянного тока. Температура РЖ регулируется с помощью термовыключателя, который управляет электродвигателем вентилятора.

В ООО НПК "Кедр 89" (г. Пенза) созданы воздушные трубчато-ребристые теплообменники нового поколения типа АВГБ [6], выпускаемые серийно ОАО "Пензхиммаш" и поставляемые на место монтажа в модульном исполнении.

Модуль каждого теплообменника включает теплообменную секцию с оребрёнными биметаллическими трубами, развальцованными в металлических камерах, снабжённых штуцерами входа и выхода охлаждаемой РЖ. Для повышения ремонтопригодности теплообменная секция выполнена

съёмной и крепится к несущей металлоконструкции, к которой также крепятся коробчатый коллектор, патрубок вентилятора, осевой вентилятор с тихоходным приводным электродвигателем.

Лопасти осевого вентилятора изготавливаются из композитных материалов, что обеспечивает снижение шумовых и вибрационных характеристик.

Теплообменная секция рассчитана на давление охлаждаемой рабочей жидкости до 10,0 МПа.

Имеется возможность установки требуемого количества теплообменников типа АВГБ в блоки, которые комплектуются жалюзи с ручным или электрическим приводом.

Система автоматизированного управления теплообменниками типа ABГБ обеспечивает автоматическое регулирование и поддержание с определённой точностью заданной температуры охлаждаемой РЖ.

Фирма "Gac Corp." (Япония) запатентовала компактную конструкцию воздушного трубчато-пластинчатого теплообменника [7], теплообменная секция которого показана на рис. 1. Секция состоит из плоских теплообменных трубок 2, расположенных в направлении оси А параллельно друг другу с интервалом P1, и пластин 1. Торцы трубок 2, впаиваемые в пазы цилиндрических коллекторов 3 и 5, имеют зазор P2, который меньше интервала P1. Охлаждаемая РЖ по стрелке B поступает в коллектор 5через штуцер 6 и выходит через штуцер 4 коллектора 3. Охлаждающий РЖ воздух по стрелке E подаётся вентилятором перпендикулярно оси А. Такая конструкция теплообменника обеспечивает эффективную компоновку теплообменной поверхности и малые габаритные размеры самого аппарата.

Компактную конструкцию трубчато-пластинчатого теплообменника типа "жидкость—воздух" с увеличенной теплопередачей разработала фирма "York International Corp." (США) [8]. Часть пластины *1* теплообменника, изображённая на рис. 2, имеет синусоидальную форму по две волны на каждый ряд теплообменных труб (на рис. 2 не показаны), по которым течёт охлаждаемая РЖ, проходя через отверстия *А* в пластинах, которые размещены в том или ином порядке в зависимости от требуемых параметров теплообменника.

Японская фирма "Hisaka Works Ltd." разработала надёжную конструкцию воздушного теплообменника трубчато-пластинчатого типа [9], содержащего теплопроводные металлические пластины 2 (рис. 3), в углах которых выполнены отверстия A и B, через которые проходят трубы для охлаждае-

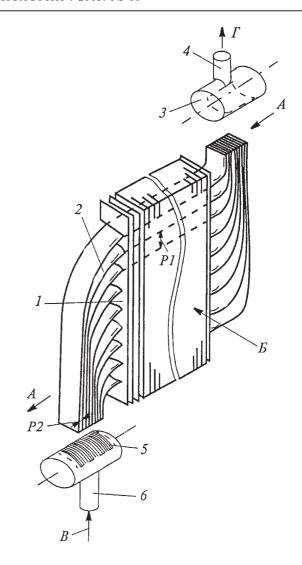


Рис. 1. Секция воздушного трубчато-пластинчатого теплообменника с плоскими теплообменными трубками

мой РЖ. Обдуваемые воздухом пластины 2 образуют центральный участок  $\Gamma$ , а также треугольные участки B, расположенные на верхней и нижней сторонах участка  $\Gamma$ . На поверхности пластин участка B выполнены шаровидные выступы I и выступы

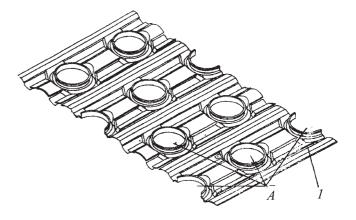


Рис. 2. Часть пластины воздушного трубчато-пластинчатого теплообменника

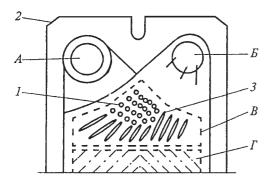


Рис. 3. Теплопроводная металлическая пластина воздушного трубчато-пластинчатого теплообменника

3 овальной формы. Теплообменник обладает высокой эффективностью теплопередачи при минимальной потере давления охлаждаемой РЖ.

ОАО "Газхолодтехника" (г. Москва) разработало и освоило серийный выпуск аппаратов воздушного охлаждения серии АВО, которые можно эксплуатировать в системах охлаждения РЖ гидрофицированных машин и механизмов [10]. Основные структурные единицы аппаратов серии АВО — трубчато-пластинчатые теплообменники типа "жидкость—воздух" и осевые вентиляторы. В зависимости от холодопроизводительности аппараты серии АВО компонуют из различного количества теплообменных секций и они предназначены для охлаждения РЖ с давлением до 4,0 МПа.

Надёжные в работе воздушные трубчато-пластинчатые теплообменники фирмы "Thermowave" (Великобритания) [11] имеют два принципиально различных исполнения: аппараты, герметизируемые только с помощью уплотнений, и аппараты со сварными модулями. Теплообменники предназначены для охлаждения РЖ с давлением до 3,2 МПа и подачей до 1300 л/мин.

Теплообменники "жидкость—жидкость" обычно называют жидкостными или водяными теплообменниками, имеющими большую рассеивающую тепловую способность. Однако они требуют использования специальной системы охлаждения, и более трудоёмки в техническом обслуживании по сравнению с воздушными теплообменниками.

Водяной поверхностный рекуперативный теплообменник типа "труба в трубе" [12] предназначен для охлаждения РЖ, находящейся под сравнительно высоким давлением ( $p > 0.6 \text{ M}\Pi a$ ), и обеспечивает интенсификацию теплопередачи благодаря уменьшению оседания взвеси, содержащейся в охлаждающей жидкость воде на поверхности теплообмена. На наружную поверхность (поверхность теплообмена) трубы 2 (рис. 4) навиты по спирали

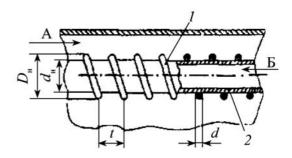


Рис. 4. Водяной теплообменник типа "труба в трубе"

гибкие металлические стержни, образующие турбулизатор I. Шаг t определяется из соотношения  $t/D_{\rm H}=0,44...0,75$ , где  $D_{\rm H}-$  наружный диаметр турбулизатора. Отношение диаметра d стержня к наружному диаметру  $d_{\rm H}$  трубы  $d/d_{\rm H}=0,06...0,08$ , что оптимально для всех теплообменных аппаратов типа "труба в трубе". При отклонении их значений в любую сторону оседание взвеси возрастает.

Поток охлаждающей жидкости поступает в межтрубное пространство (по стрелке A) и отнимает теплоту от потока РЖ, текущего по трубе (по стрелке B). Турбулизатор создаёт дополнительное завихрение потока охлаждающей жидкости, что уменьшает оседание находящейся в нём взвеси. Это способствует длительной работе теплообменника без специальной очистки наружной поверхности трубы 2.

Фирма "Behr GmbH und Co" (Германия) запатентовала компактную конструкцию жидкостного кожухотрубного теплообменника [13], имеющего увеличенную площадь теплообмена за счёт того, что на рабочих поверхностях труб, по которым течёт охлаждаемая РЖ, предусмотрены специальной формы тонкостенные рёбра, повышающие эффективность теплообмена между РЖ и охлаждающей жидкостью.

Технологичен в изготовлении "жидкостно-жидкостный" кожухотрубный теплообменник фирмы "Zexel Valeo Climate Control Corp." (Япония) [14]. Теплообменник имеет кожух 4 (рис. 5) полуцилиндрической формы, закрывающийся профильной пластиной 2 с отверстиями  $\mathcal{L}$ , в которых пластины крепятся теплообменными трубками (на рис. 5 не показаны), по которым циркулирует охлаждаемая РЖ.

Внутренний объём кожуха, в который подается охлаждающая жидкость, делится на секции перегородками I, расположенными как и отверстия E с определённым шагом, в соответствии с количеством теплообменных трубок. При сборке теплообменника выступ E на кожухе входит в верхнее от-

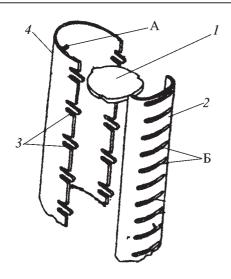


Рис. 5. Кожух с профильной пластиной жидкостного кожухотрубного теплообменника

верстие  $\mathcal{S}$  на профильной пластине, а язычки  $\mathcal{S}$  кожуха охватывают пластину.

Для интенсификации процесса теплообмена в кожухотрубном теплообменнике [15] и уменьшения его габаритных размеров разработана оригинальная конструкция теплообменных трубок, имеющих на внутренней поверхности участок, выполненный в виде полуцилиндра, причём шероховатость в нижней части участка каждой трубки больше, чем шероховатость верхней части. Кроме того, в каждую трубку вставлен и закреплён ленточный турбулизатор, имеющий зазоры с трубкой в верхней её части.

Компактный спиральный жидкостный теплообменник [16] с высокоэффективной теплопередающей способностью (рис. 6) содержит: герметичный корпус 3 с размещённой в нём трубой 4, свёрнутой в спираль для образования спирального канала для охлаждаемой РЖ с подводящим 6 и отводящим 2 патрубками, подключёнными к трубе; подводящий 1 и отводящий 7 патрубки охлаждающей жидкости межтрубного пространства; перегородку 5 в виде спиральной ленты, установленной в спиральном канале для охлаждающей жидкости межтрубного пространства, примыкающей боковыми кромками к торцевым стенкам корпуса и разделяющей этот канал на два спиральных канала, сообщающихся между собой посредством коллектора. Это позволяет организовать поток охлаждающей жидкости межтрубного пространства вдоль теплообменной трубы таким образом, что он равномерно омывает её стенки, что способствует достижению большей равномерности температур-

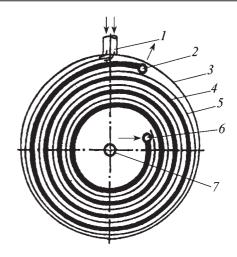


Рис. 6. Жидкостной спиральный теплообменник

ного поля в поперечном сечении трубы и улучшению условий теплопередачи от охлаждаемой РЖ. При этом существенно повышается коэффициент теплопередачи теплообменника.

В ООО "Фаст Инжиниринг" (Россия) создан "жидкостно-жидкостный" спиральный теплообменник [17] с высокими технико-экономическими показателями. Теплообменник (рис. 7) представ-

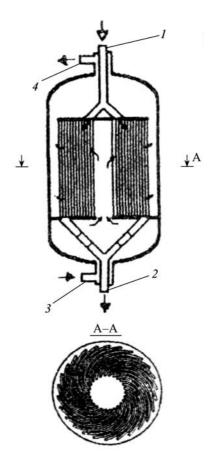


Рис. 7. Спиральный теплообменник жидкостно-жидкостного типа

ляет собой цилиндрический корпус с входным 3 и выходным 4 патрубками для жидкой охлаждающей среды, в котором размещены теплообменные элементы, попарно сваренные по контуру, образующие внутренний и наружный спиралеобразные щелевые каналы (полости).

В сечении, перпендикулярном оси аппарата, спиралеобразные стенки формируют теплообменную поверхность по спирали Архимеда. Внутренние полости теплообменных элементов сообщаются с коллекторами входа и выхода, а также патрубками входа 1 и выхода 2 охлаждаемой РЖ.

Конструкция спирального теплообменника практически не имеет ограничений по созданию требуемой теплообменной поверхности. Количество теплообменных элементов, их толщина, диаметр аппарата и его высота выбираются из оптимальных условий эксплуатации с учётом заданной мощности, минимально допустимой потери напора теплообменных сред, давления РЖ при эксплуатации, агрессивности теплообменных сред, применяемых материалов и др. Мощность теплообменника составляет от нескольких ватт (в микротеплообменниках) до десятков тысяч киловатт.

Данный теплообменник в два раза компактнее и легче трубчато-пластинчатых и в 4—8 раз кожухотрубных теплообменников при одинаковой тепловой нагрузке. Потеря напора потоков сред в теплообменнике этой конструкции ниже, чем в трубчато-пластинчатых и кожухотрубных.

Анализ научно-технической литературы и патентных материалов промышленно развитых стран мира позволяет наметить основные тенденции развития конструкций теплообменников для охлаждения РЖ объёмного гидропривода и систем гидроавтоматики машин и механизмов:

повышение ресурса работы и интенсификации процесса теплопередачи;

снижение габаритных размеров, массы, трудоёмкости изготовления;

увеличение эксплуатационной надёжности и т. д.

#### Библиографические ссылки

- 1. **Буренин В.В.** Объёмные гидравлические приводы агрегатов технологического оборудования: учеб. пособие. М.: МАДИ, 1998. 167 с.
- 2. **Bakker R.** Lebensblut // Maschinenmarkt. 2004.  $\mathbb{N}_{2}$  37. P. 108–109.
- 3. **Свешников В.К.** Теплообенники // Привод и управление. 2000. № 1. С. 30—34.
- 4. Заявка на патент Франции № 2800451. Воздушный трубчатый теплообменник. Опубл. 2001.
  - 5. **Laftkühler** // Ölhydraul. Pneum. 1999. № 10. 754 s.
- 6. **Марголин Г.А., Баклашов К.В., Германов Г.И.** Блочно-модульные аппараты воздушного охлаждения // Химическая техника. 2003. № 4. С. 36—37.
- 7. Заявка на патент ЕПВ № 1548387. Трубчато-ребристый теплообменник. Опубл. 2005.
- 8. **Ребро** теплообменника // Патент США № 6976529. Опубл. 2005.
- 9. Заявка на патент № 328524. Теплообменник пластинчатого типа. Опубл. 2002.
- 10. Аппараты воздушного охлаждения и пластинчато-ребристые теплообменники для различных отраслей промышленности / Ю.В. Белоусов, И.Н. Журавлева, И.П. Пахомов, Л.В. Виноградова // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2004. № 5. С. 28–29.
- 11. **Шенкер Ф.Д.** Пластинчатые теплообменники Thermowave // Холодильная техника. 2001. № 11. С. 30–31.
- 12. **Рыбин А.А., Закиров Д.Г.** Теплообменник // Патент России № 2121122. 1998. Бюл. № 30.
- 13. **Заявка** на патент Германии № 19723878. Компактный кожухотрубный теплообменник. Опубл. 1998.
- Теплообменник // Патент США № 6896044.
   Опубл. 2005.
- 15. **Букин В.Г., Кузьмин А.Ю., Минеев Ю.В.** Теплообменная труба // Патент № 2334188. 2008. Бюл. № 26.
- 16. **Емельянов А.П.** Теплообменник // Патент России № 2084785. 1997. Бюл. № 20.
- 17. **Астановский Д.Л., Астановский Л.З.** Новая конструкция теплообменного аппарата // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2003. № 4. С. 13-15.

#### Вниманию авторов!

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

УДК 621.314.53...621.43.001.6

Ю.М. Чикунов, канд. техн. наук (ОАО "Завод "Дагдизель", г. Каспийск, Республика Дагестан) Chikunov Yuriy@mail.ru

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН И ОЦЕНКА ЧАСТОТЫ НАСТУПЛЕНИЯ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ В СИСТЕМЕ ОБКАТОЧНО-ТОРМОЗНЫХ СТЕНДОВ

Приведена методика проверки расчётной мощности группового преобразователя и теоретически обосновано использование системы обкаточно-тормозных стендов на моторостроительных заводах и специализированных ремонтных предприятиях.

**Ключевые слова:** энергосберегающий метод, групповой преобразователь, система стендов, испытание двигателей внутреннего сгорания.

Inspection methodology of the group converter calculating power is adduced and the run-in braking stands system use at machine-building plants and specialized repair enterprises is theoretically substantiated.

**Key words:** energy-efficient method, the group converter, the system of stands, the test of internal combustion engines.

Введение. Энергосберегающая система обкаточно-тормозных стендов (ОТС) состоит из группы тормозных устройств (электрических машин) и группового преобразователя (ГПР), соединённого с промышленной сетью. Каждое тормозное устройство (ТУ) постоянно подключено к ГПР и функционирует независимо. От правильного выбора номинальной мощности преобразователя зависят надёжность его работы в системе ОТС и энергетические показатели в процессе эксплуатации [1-3]. В тех случаях, когда установленная мощность группы тормозных устройств (ГТУ) существенно меньше номинальных нагрузочных характеристик ГПР, последний недоиспользуется по мощности, что свидетельствует об излишних капитальных вложениях, его коэффициент полезного действия заметно снижается.

Если генерируемая мощность ГТУ превышает номинальную мощность, то это приводит к увеличению токов и потери мощности выше соответствующих номинальных значений, вследствие чего температура (повышение температуры) обмоток магнитопровода ГПР может превысить допустимое значение. Рост температуры резко ускоряет старение изоляции из-за изменения физико-химических свойств и уменьшает срок службы и надёжности ГПР в целом. Для обоснованного выбора электропреобразователя по мощности необходимо знать характер изменения преобразуемой энергии во времени, т. е. зависимость мощности, генерируемой ГТУ, от времени.

Зависимость изменения мощности от времени позволяет определить потери в преобразователе, в результате чего можно оценить температуру его отдельных частей.

Данный подход позволяет выбрать мощность ГПР таким образом, чтобы максимальная температура изоляции обмоток не превышала допустимого значения. Это условие является одним из основных для обеспечения надёжности работы электромашинного преобразователя в течение всего срока эксплуатации.

Второе условие выбора преобразователя заключается в том, что его перегрузочная мощность должна быть достаточной для устойчивой безаварийной работы в системе ОТС в течение длительного промежутка времени.

Мощность ГПР, получаемая в результате вычислений по разработанной методике, значительно (более чем в три раза) меньше суммарной установленной мощности ТУ системы обкаточнотормозных стендов (СОТС). Поэтому интерес представляют средние значения периода наступления и продолжительности аварийного состояния СОТС, которые возникают при превышении мощностью, генерируемой ГТУ, максимальной мощности ГПР.

**Основная часть.** Воспользуемся тем, что электрическая мощность ГТУ X представляет собой сумму n независимых, одинаково распределённых случайных величин  $X_j$ , и согласно предельной теореме при достаточно большом значении n её закон распределения близок к нормальному. Тогда

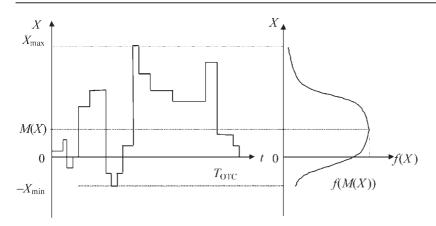


Рис. 1. Примерная реализация случайной величины X(t) за период времени  $T_{\rm orc}$  и её функция плотности распределения f(X)

функция плотности распределения случайной величины X имеет вид (рис. 1)

$$f(X) = \frac{e^{-\frac{(X - M(X))^2}{2\sigma_X^2}}}{P(-X_{\min}; X_{\max})\sigma_X \sqrt{2\pi}}, -X_{\min} \le X \le X_{\max};$$

$$\begin{split} X_{\min} &= n \, X_{j \min}; \qquad X_{\max} = n \, X_{j \max}; \\ P(-X_{\min}; \, X_{\max}) &= \Phi\bigg(\frac{X_{\max} - M(X)}{\sigma_X}\bigg) + \\ &+ \Phi\bigg(\frac{X_{\min} - M(X)}{\sigma_X}\bigg), \end{split}$$

$$\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{0}^{z} e^{-\frac{z^2}{2}} dz,$$

где  $X_{\min}$ ,  $X_{\max}$  — минимальное и максимальное значения случайной величины X;  $P(-X_{\min}, X_{\max})$  — вероятность появления случайной величины в диапазоне мощностей от  $-X_{\min}$  до  $X_{\max}$ ;  $\sigma_X$  — среднеквадратичное отклонение дискретной случайной величины X; M(X) — математическое ожидание дискретной случайной величины X;  $\Phi(z)$  — интегральная функция Лапласа.

Известные таблицы функции  $\Phi(z)$  приведены только до значения z=5. Поэтому, если воспользоваться асимптотическим разложением интегральной функции Лапласа, получим при z>>1

$$\Phi(z) = 0.5 - \frac{e^{-\frac{z^2}{2}}}{z\sqrt{2\pi}}.$$

Установленная мощность ГПР имеет положительные значения мощности, по-

этому в дальнейшем будем рассматривать модуль случайной величины X, т. е.

$$Y = |X|$$
.

Чтобы получить зависимость плотности случайной величины Y, необходимо к каждой ординате кривой распределения f(X) прибавить ординату, соответствующую значению плотности в точке -X (рис. 2). График плотности распределения случайной величины Y можно записать в виде

$$g(Y) = \begin{cases} f(X) + \frac{e^{-\frac{(Y - M(X))^2}{2\sigma_X^2}}}{P(-X_{\min}; X_{\max})\sigma_X \sqrt{2\pi}}, & -X_{\min} \le X \le 0 \\ 0 \le Y \le |X| \\ f(X), & |X| < X \le X_{\max}. \end{cases}$$

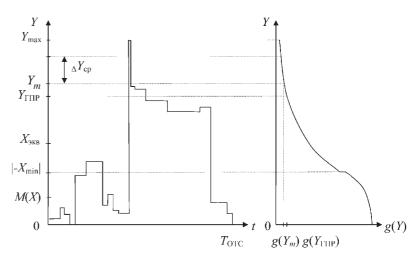


Рис. 2. Примерная реализация случайной величины Y(t) за период времени  $T_{\text{отс}}$  и её функция плотности распределения g(Y)

Относительное время  $\Delta T$ , в течение которого мгновенное значение стационарного случайного процесса Y(t) превышает заданный уровень  $Y_m$ , равно произведению вероятности превышения случайной величины Y порога  $Y_m$  на произвольный отрезок времени наблюдения T:

$$\Delta T = TP(Y_m; Y_{\text{max}});$$

 $T_{\rm OTC}$ , причём различной амплитуды и длительности, поэтому запишем время импульса как

$$t_i = 2\tau_{\rm K} ,$$

$$\tau_{K} = \frac{1}{\sigma_{X_{j}}^{2}} \int_{0}^{T_{\text{OTC}}} |K_{X_{j}}| d\tau,$$

$$P(Y_m; Y_{\text{max}}) = \begin{cases} 1 - \frac{\Phi\left(\frac{Y_m - M(X)}{\sigma_X}\right)}{P\left(-X_{\text{min}}; \ X_{\text{max}}\right)} - \frac{\Phi\left(\frac{Y_m + M(X)}{\sigma_X}\right)}{P\left(-X_{\text{min}}; \ X_{\text{max}}\right)} \ , & M(X) \leq Y_m \leq |\ X_{\text{min}}| \\ 0.5 - \frac{\Phi\left(\frac{Y_m - M(X)}{\sigma_X}\right)}{P\left(-X_{\text{min}}; \ X_{\text{max}}\right)} & \text{или} \quad \frac{e^{-\frac{z^2}{2}}}{z\sqrt{2\pi}\,P(-X_{\text{min}}; \ X_{\text{max}})} \ , & |\ X_{\text{min}}| \leq Y_m \leq X_{\text{max}} \end{cases}$$

$$z = (Y_m - M(X))/\sigma_x$$
;

$$Y_{\text{max}} = X_{\text{max}}$$
.

Вероятность  $P(Y_m; Y_{\max})$  представляет собой площадь под кривой g(Y) на участке  $[Y_m; Y_{\max}]$  (см. рис. 2).

Для определения частоты выбросов за расчётный порог мощности при суммировании n независимых потоков импульсов одинаковой амплитуды, длительности и формы используют выражение [4]

$$F = \frac{1}{T} \sqrt{\frac{n}{2 \pi p (1-p)}} e^{-\frac{(l-np)^2}{2np(l-p)}},$$

$$p = t_i / T$$
,

где  $t_i$  — длительность импульса; p — вероятность появления импульса за период сигнала  $T;\ l$  — количество совпавших одновременно импульсов.

Представим его в другом виде

$$F = \sqrt{\frac{n}{2\pi t_i \left(T - t_i\right)}} \, \mathrm{e}^{-\frac{\left(l - np\right)^2}{2t_i \left(T - t_i\right) \, l \, n}} \; , \label{eq:F}$$

где t — время совпадения импульсов [0; T].

Сигнал, изображённый на рис. 3, имеет несколько импульсов в течение времени

где  $\tau_{\rm K}$  — время корреляции;  $\sigma_{X_j}$  — среднеквадратичное отклонение мощности и  $K_{X_j}$  — автокорреляционная функция j-го сигнала.

С учётом того, что случайные величины Y(t) и F(t) взаимозависимы

$$\frac{Y - M(X)}{\sigma_X} = \frac{t - 2\tau_K}{\sqrt{2\tau_K (T_{\text{OTC}} - 2\tau_K)/n}},$$

выражение для определения частоты выброса за указанный уровень мощности  $Y_m$  будет иметь вид

$$F_* = \frac{e^{-\frac{(Y_m - M(X))^2}{2\sigma_X^2}}}{\sqrt{4\tau_{\kappa} (T_{\text{OTC}} - 2\tau_{\kappa})/n}}.$$

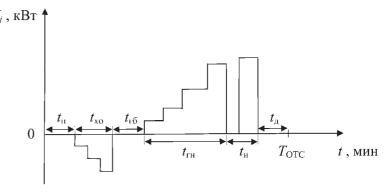


Рис. 3. Энергетическая диаграмма технологического процесса обкатки и испытания двигателя внутреннего сгорания, проводимых на j-м обкаточно-тормозном стенде:

 $X_j$  — генерируемая (потребляемая) мощность тормозного устройства;  $t_{\Pi}$  — время подготовки;  $t_{\chi_0}$  — время холодной обкатки;  $t_{\Gamma 0}$  — время горячей обкатки без нагрузки;  $t_{\Gamma 1}$  — время горячей обкатки под нагрузкой;  $t_{\Pi}$  — время испытания;  $t_{\Pi}$  — время демонтажа ДВС с ОТС

Выброс случайным процессом Y(t) за границу расчётной (номинальной) мощности  $Y_{\Gamma\Pi P}$  (см. рис. 2)  $\Gamma\Pi P$  может привести к аварийной ситуации системы ОТС по двум причинам. Первая — это превышение максимальной температуры изоляции обмоток преобразователя, а вторая — превышение его максимальной перегрузочной мощности.

Условие правильного выбора ГПР по нагреву соблюдается при выполнении неравенства

$$X_{\text{HOM}} \leq X_{\text{HOM}}$$
, (1)

где  $Y_{\text{HOM}}$  — номинальная мощность ГПР;  $X_{\text{ЭКВ}}$  — эквивалентная мощность ГТУ.

$$X_{\text{HKB}} = \sqrt{\sigma_X^2 + [M(X)]^2}$$
.

Когда амплитуды случайной составляющей процесса относительно средней мощности велики, то первостепенное значение при обеспечении безаварийной работы системы ОТС имеет перегрузочная способность преобразователя. В этом случае важным критерием правильности выбора преобразователя является максимальная (перегрузочная) мощность  $Y_m$ :

$$Y_m \ge Y_{\text{max}}$$
, (2) 
$$Y_m = k_{\pi} Y_{\text{HOM}}$$
,

где  $k_{\rm J}=2,0...2,5$  — допустимый перегрузочный коэффициент преобразователя;  $Y_{\rm max}$  — максимальная (по модулю) мощность, генерируемая (потребляемая) группой тормозных устройств;  $Y_m$  — максимальная мощность ГПР.

Если условие (2) не выполняется, то в СОТС наблюдаются аварийные ситуации с периодом

$$T_{\rm aB} = \frac{1}{F_* P(Y_m; Y_{\rm max})}.$$

Средняя продолжительность аварийной ситуации запишется в виде

$$T_0(Y_m; Y_{\text{max}}) = T_{\text{ab}} P(Y_m; Y_{\text{max}}),$$

где

$$P(Y_m; Y_{\text{max}}) = \int_{Y_m}^{Y_{\text{max}}} g(Y) dY .$$

Средняя мощность, которая больше  $Y_m$  (см. рис. 2), имеет вид

$$\Delta Y_{\rm cp} = P(Y_m; Y_{\rm max}) / g(Y_m).$$

Расчёты показывают, что при мощности ГПР 762 кВт аварийная ситуация в системе ОТС из двадцати ТУ, предназначенной для обкатки и испытания автотракторного двигателя ЯМЗ-238НБ по программе [5], будет наблюдаться в среднем через 2819 ч по причине перегрузки максимальной мощности преобразователя. Математическое ожидание величины мощности выброса составит 50 кВт средней длительностью 27,4 с. Условие по нагреву (1) выполняется.

**Вывод.** Методика расчёта удовлетворяет условию безаварийной работы системы обкаточно-тормозных стендов.

#### Библиографические ссылки

- 1. **Чикунов Ю.М.** Устройство и принцип действия системы обкаточно-тормозных стендов // Автотранспортное предприятие. 2011. № 6. С. 46—47.
- 2. **Чикунов Ю.М.** Стенд для испытания двигателя внутреннего сгорания // Патент России № 2044294. 1995. Бюл. № 26.
- 3. **Чикунов Ю.М.** Стенд для испытаний двигателей внутреннего сгорания // Патент России № 2039348. 1995. Бюл. № 19.
- 4. **Седякин Н.М.** Введение в теорию надёжности и обслуживания технических систем. Л.: ЛВИКА им. А.Ф. Можайского, 1964. 172 с.
- 5. РК 200-РСФСР-2/1-2018-80. Руководство по капитальному ремонту. Двигатели ЯМЗ модели 236-238-240. 236.10.00.000 РК. Приёмосдаточные испытания. 4.2. Сборка, регулировка и испытания. Министерство автомобильного транспорта РСФСР. Техническое управление. М.: Транспорт, 1981. 48 с.

УДК 621.7

Ю.В. Моисеев, канд. экон. наук, И.Ф. Дьяков, д-р техн. наук, проф., А.В. Попович, канд. техн. наук (Ульяновский государственный технический университет)

i.dyakov@ulstu.ru

#### О ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Изложен метод повышения производительности металлорежущего оборудования и измерения цилиндрических поверхностей в процессе механической обработки деталей без выключения металлорежущего станка за счёт автоматизированного управления станка и непрерывного контроля обрабатываемой поверхности, обеспечивающих работу привода на установившемся режиме.

**Ключевые слова:** автоматизация процесса управления, измерение поверхностей, пиковые нагрузки электродвигателя, шариковые опоры, точность измерения, скоба, цифровой индикатор.

The method of the metal-cutting equipment productivity increase and cylindrical surfaces measurement for details machining without machine tool deenergizing through the automatic control and machined surface continuous control, ensuring of the drive functioning with the established mode, is stated.

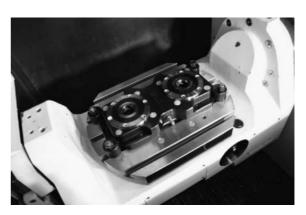
**Key words:** control process automation, surfaces measurement, electric motor peak loadings, ball supports, measurement accuracy, bracket, digital indicator.

Введение. В современном машиностроении одной из важнейших задач является повышение конкурентоспособности и качества выпускаемой продукции. Решение данной задачи имеет большое значение в технологически ёмких производствах, так как эти показатели влияют на производительность станочного оборудования.



Рис. 1. Внешний вид используемого станка VARIAXIS 730-II 5X

В номенклатуре деталей, представленных в различных отраслях отечественной промышленности, существует такое понятие, как типовые элементы. Для получения типового элемента в реальной детали необходима её механическая обработка на соответствующем современном металлорежущем оборудовании. Например, полный цикл механической обработки с четырьмя установками производится на станке VARIAXIS 730-II 5X (рис. 1) японской компанией «Yamazaki MAZAK». В качестве оснастки используют систему быстрого бази-**SCHUNK** UNILOCK **NSL** рования 400 (№ 0470048) (рис. 2) и пару тисков SCHUNK KONTEC KSD 125 (№ 0430307). Заготовку детали зажимают в удлинённые алюминиевые губки для



Puc. 2. Используемая система быстрого базирования SCHUNK VERO-S

исключения возможного повреждения чистовых поверхностей детали.

При описании процесса механической обработки использовали технологические знания и опыт оператора по САПР для формирования специальных команд по управлению перемещением режущего инструмента. Набор команд осуществляется управляющей программой станка, оснащённого системой ЧПУ. Процесс формирования такой программы, где подробно описываются все операции и технологические переходы в ходе механической обработки деталей, обладает ограниченными элементами автоматизации.

Постановка вопроса. Для сокращения объёмов работ по ручному вводу параметров обработки и траекторий перемещения режущего инструмента в систему ЧПУ создано значительное количество программных решений, которые открывают широкие возможности по автоматизации обработки поверхностей, а также обладают интерактивными средствами для удобного и гибкого взаимодействия с пользователем [1]. В данном аспекте моделирование — конструирование моделей на основе типовых элементов – подразумевает унификацию данных процессов, необходимую для сокращения времени, затрачиваемого на написание управляющей программы. Существующие системы моделирования и конструирования твёрдотельных моделей позволяют изначально задавать наборы параметров типовым элементам, которые могут быть использованы САПР для автоматических процедур (измерение цилиндрических поверхностей, шероховатости, конусности и т. д.).

Постоянное развитие и повсеместное распространение высокоскоростных и производительных обрабатывающих центров, оснащённых системами ЧПУ, приводит к тому, что необходимо обеспечивать снижение временных затрат в процессе обработки деталей. Причиной является высокая стоимость данного оборудования, что в условиях современного рынка вынуждает предприятия эксплуатировать станки с максимально высоким коэффициентом их использования. Сегодня решение этой задачи является приоритетным и однозначно актуальным, а перед исследователем формализуется цель в разработке перспективной и максимально эффективной системы моделирования. В качестве первоначального объекта исследований выбрана технология механической обработки типовых элементов деталей, используемых в различных отраслях отечественного машиностроения.

По результатам проведённого обзора видна определённая динамика роста использования и внедрения систем искусственного интеллекта и подобных им алгоритмов в САПР, системы ЧПУ металлорежущего оборудования и различные производственные процессы. Такие системы способны решать многие поставленные задачи, а в связи с низким процентом их использования в САПР можно с уверенностью заявить об уникальности их применения.

Разрабатываемая интеллектуальная система автоматизированной подготовки управляющих программ должна обладать возможностями автоматизации процессов написания программ с использованием интеграции опыта пользователя в САПР, а также способностью самообучения для последующего автоматизированного пополнения собственной базы данных новыми методиками. Спектр программных решений в области САПР технологического производственного процесса (ТПП), доступный для описания механической обработки деталей на основе типовых элементов, не обладает однозначным потенциалом для осуществления подобной автоматизации процесса подготовки управляющей программы с достижением максимально качественного и верного результата.

Метод решения вопроса. Современные программные продукты имеют относительно ограниченные решения в вопросах подобной автоматизации, что делает процесс программирования определённое время ёмким и низкоэффективным. В настоящее время большинство решений на этапе программирования принимается программистом, несмотря на существующие средства и функции автоматизации. В дополнение к существующей автоматизации процессов описания механической обработки распространено описание на основе шаблонов, с помощью которых можно снизить время на подготовку управляющей программы. Однако использование шаблонов также предполагает ручной ввод определённых последовательностей и действий со стороны человека.

В данном случае выявляются следующие негативные составляющие существующих процессов подготовки управляющих программ средствами САПР ТПП:

человеческий фактор, приводящий к ошибочным действиям, часто не связанным с уровнем знаний и опытом;

высокие временные затраты, зависящие от уровня владения компьютеризированной систе-

мой, с помощью которой создаётся управляющая программа;

определённое количество итераций, зависящее от наименования операций механической обработки, количества позиций в файле шаблона или свойств типовых элементов деталей.

Процент присутствия всех составляющих можно существенно снизить, интегрировав в современные САПР ТПП интеллектуальные алгоритмы. Следует отметить, что в смысл создания интеллектуальной системы вкладывается логичный переход от всевозможных существующих шаблонов механической обработки к новому единому объекту, который является вспомогательным средством, а механизм его работы основан на опыте одного или группы пользователей. Опыт пользователя играет ключевую роль и способен постоянно актуализироваться и аккумулироваться, автоматически подстраиваясь под условия конкретного производства.

Учитывая, что процесс обучения используемой интеллектуальной системы, включающий проверку результатов обучения, осуществляется при работе пользователя в САПР, можно уверенно говорить о снижении вероятности принятия самой системой каких-либо ошибочных решений. При анализе возникшей проблемы выявляется факт внедрения систем искусственного интеллекта в средства унификации процессов подготовки управляющих программ для систем ЧПУ современных обрабатывающих центров. В частности, существующие разработки в области создания шаблонов обработки и процессы генерации траектории перемещения режущего инструмента на основе систем распознавания типовых элементов позволяют сделать вывод о неизбежности дальнейшего расширения и интеграции подобных систем в будущие САПР ТПП. Комплексная интеграция систем искусственного интеллекта в различные разделы CAD/CAM/CAPP-систем и развитие универсальных форматов обмена данными между пакетами и системами ЧПУ позволят максимально сократить влияние человеческого фактора на принятие ряда решений, тем самым существенно снизив возникновение ошибочного действия при ручном вводе. В идеализированной модели такого рода систем конечному пользователю предоставляется диалоговый режим для принятия окончательного решения, минуя серию промежуточных итераций, выполняемых вручную.

При ручном подходе операция механической обработки описывается программистом полностью вручную. Указываются необходимые траек-

тории, плоскости безопасности и режимы обработки. Также создаётся виртуальный прототип реального режущего инструмента с необходимыми параметрами. В итоге полученный шаблон механической обработки сохраняется в библиотеке шаблонов и вызывается при автоматическом распознавании типовых элементов в модели детали.

Чтобы сложить воедино данные подходы автоматического выбора типа обработки и необходимого режущего инструмента в САПР, принято решение об использовании искусственной нейронной сети, основная цель которой – применение и аккумуляция опыта инженера-программиста, выступающего в роли учителя, а также постоянное самосовершенствование и адаптация к любому пользователю (рядовому инженеру-программисту). В данном случае лишь нейронная сеть, единожды обученная учителем, позволит использовать его знания и опыт, а также параллельно обучаться на новых примерах, созданных пользователем. Реализация такого алгоритма, осуществляющего механическую обработку типовых элементов интеллектуальной системой, получила название «i-feature». Ряд входных и выходных параметров «i-feature» отвечает за успешную генерацию траектории перемещения режущего инструмента. Часть этих параметров напрямую соединена друг с другом, а часть – прогнозируема. Принцип обработки типовых элементов представлен определённым алгоритмом (рис. 3).



Рис. 3. Принцип обработки типовых элементов деталей с помощью интеграции нейросетевых алгоритмов в САПР

Следует отметить необходимость передачи опыта инженера-программиста нейронной сети после её обучения. Затем система «i-feature» может принимать самостоятельные решения по обработке нового, неизвестного ей ранее типового элемента. Задачи такого рода относятся к задачам прогнозирования, для решения которых эффективно применяются нейронные сети с обратным распространением ошибки и обучением с учителем.

Искусственные нейронные сети (ИНС) строятся по принципам организации и функционирования их биологических аналогов. Очевидно, что процесс функционирования нейронной сети сущность действий, которые она способна выполнять, зависит от величин синаптических связей. Поэтому, задавшись структурой сети, соответствующей какой-либо задаче, необходимо определить оптимальные значения всех переменных весовых коэффициентов (некоторые синаптические связи могут быть постоянными). Этот этап называется обучением нейронной сети, и от того, насколько качественно он будет выполнен, зависит способность сети решать поставленные перед нею проблемы во время функционирования. Определённый результат будет выражен при использовании полученных разработок сотрудниками с низкой квалификацией и малым опытом работы на реальных металлорежущих станках.

Этап измерения. Следующим основным этапом повышения производительности труда на предприятиях машиностроительной отрасли является автоматизация процессов измерения деталей при их обработке. В процессе изготовления и ремонта различного рода валов возникает необходимость частого измерения их диаметров. Большинство ремонтных заводов и мастерских до сих пор применяют ручные измерительные инструменты (микрометры, различного рода скобы и т. д.), для использования которых необходимо останавливать оборудование, проводить измерение и снова включать оборудование. Таким образом, электропривод работает на неустановившемся режиме, отсюда возникают пиковые нагрузки, нарушаются переходные процессы и нагревается электродвигатель, что резко снижает производительность труда.

Для повышения производительности процессов обработки валов, например во время шлифования, предлагается использовать прибор активного контроля диаметров валов. Работа прибора основана на непосредственном измерении диаметра вала и отражении результата измерения на шкале цифрового индикатора.

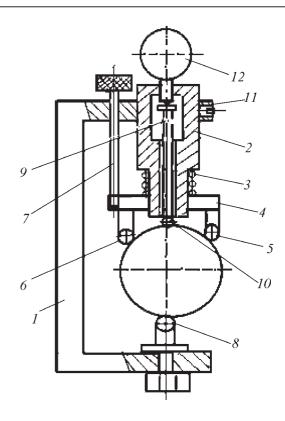


Рис. 4. Схема устройства прибора для активного измерения диаметров цилиндрических изделий

Прибор (рис. 4) для измерения цилиндрических поверхностей [2] содержит опорную конструкцию, выполненную в виде скобы 1, верхняя сторона которой имеет отверстия для установки плунжерной пары 2 с пружиной 3 и направляющей скобой 4. Концы скобы соединены с подвижными износостойкими шариковыми опорами 5 и 6, расположенными симметрично относительно оси плунжерной пары и направляющего штока 7, один конец которого свободно входит в отверстие опорной конструкции, а второй крепится за счёт резьбового соединения с подпружиненной направляющей скобой, перемещающейся вдоль корпуса плунжерной пары. На нижней стороне скобы закреплена износостойкая шариковая опора 8, ось которой совпадает с осью измерительного штока 9, оснащённого износостойкой шариковой опорой 10. Шток свободно перемещается по направляющей плунжерной пары с возможностью передачи этих перемещений от подвижной износостойкой шариковой опоры на измерительную головку 11 цифрового индикатора 12 в процессе механической обработки изделия.

Перед началом измерения проводят калибровку прибора и закрепляют его. Цифровой индикатор устанавливают на нужный диаметр или на нуль. Корпус прибора крепят к суппорту станка, а так

как прибор имеет четыре подвижные износостойкие шариковые опоры 5, 6, 8 и 10 на измеряемом изделии, то происходит самоцентровка прибора относительно измеряемого изделия. При этом под действием пружины направляющая скоба располагается по минимальной окружности измеряемого изделия, а подвижные износостойкие шариковые опоры 8 и 10 располагаются точно по концам диаметра обрабатываемого изделия. При изменении диаметра изделия шариковая опора 10 вместе с измерительным штоком плунжерной пары будет перемещаться в ту или иную сторону, а поскольку шток кинематически связан с измерительной головкой цифрового индикатора, который будет отражать изменения диаметра обрабатываемого изделия, при вращении которого направляющий шток не позволяет подпружиненной направляющей скобе поворачиваться на большой угол вокруг своей оси. Подвижные износостойкие шариковые опоры 5, 6, 8 и 10 обеспечивают снижение трения в зоне контакта с обрабатываемым изделием и точность измерения, что даёт возможность проведения непрерывных измерений (сканирование поверхности) цилиндричности и прямолинейности изделия. Заменив индикатор на индуктивный датчик с запитывающим генератором и ферритовым стержнем, можно получать аналоговый сигнал о результатах измерения.

Заключение. Таким образом, спектр программных решений и измерений поверхностей в области САПР ТПП доступен для описания механической обработки деталей типовых элементов и обладает потенциалом в осуществлении автоматизации процесса подготовки управляющей программы с достижением максимально качественного и верного результата. Комплексную систему САD/САМ можно дополнить прибором и преобразователем перемещения в цифровой форме. При этом возможно использование прибора на станках с ЧПУ для автоматического ввода результатов измерений в компьютер для коррекции режимов обработки, что обеспечивает повышение производительности металлорежущего оборудования в несколько раз.

#### Библиографические ссылки

- 1. Дьяков И.Ф., Попович А.В. Применение нейросетевых алгоритмов при обработке отверстий, карманов и пазов деталей в САD/САМ-системах // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы междунар. конф. Могилёв. 2011. С. 32-34.
- 2. Дьяков И.Ф., Моисеев Ю.В. Устройство для активного измерения диаметров цилиндрических изделий // Патент РФ № 2397439. 2010. Бюл. № 23.



### 🛍 ИЗДАТЕЛЬСТВО МАШИНОСТРОЕНИЕ

#### РЕЗАНИЕ МАТЕРИАЛОВ

Д.В. Кожевников, С.В. Кирсанов

2012 г. Объём 304 с. Формат 60х88 1/16 ISBN 978-5-94275-657-4 Цена 500 р.



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

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

#### Приобрести книгу в издательстве можно, прислав заявку:

по почте: 107076, г. Москва, Стромынский пер., 4; по факсу: (499) 269-48-97; по e-mail: realiz@mashin.ru Дополнительная информация по телефонам: (499) 269-52-98, 269-66-00 и на сайте WWW.MASHIN.RU

#### CORPEMENHUE TEXHOAOTHN

УДК 004.896

**А.О. Звонов, А.Г. Янишевская,** д-р техн. наук (Омский государственный технический университет) anna-yanish@mail.ru

## МЕТОДЫ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ЗАДАЧАХ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРИНЯТИЯ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ

Рассмотрены современные методы автоматизации принятия проектных решений. Приведено сравнение алгоритмов решения задачи принятия решений методами многокритериальной оптимизации и искусственного интеллекта. Предложено получить гибкую систему путём обучения системы с минимумом начальных знаний.

**Ключевые слова:** система принятия решений, искусственный интеллект, многокритериальный анализ.

Modern methods of the designed decision-making automation are considered. A comparison of decision-making algorithms using multicriterion optimization and artificial intellect is adduced. It is proposed to obtain a flexible system by training the system with a initial knowledge minimum.

Key words: decision-making system, artificial intellect, multicriterion analysis.

Одной из важнейших тенденций развития современного общества является тенденция к увеличению количества создаваемой, хранимой и обрабатываемой информации. Соответственно, всё более актуальными становятся вопросы обработки больших объёмов данных. Определяющая роль в решении этих проблем отводится информационным технологиям.

Так как процесс проектирования также предполагает сопоставление и оценку множества альтернатив, автоматизация является одним из основных резервов повышения эффективности проектирования.

Поддержка принятия решений на базе использования информационных систем предназначена для обеспечения работников различного рода информацией, облегчающей принятие эффективных решений [1]. В структуре поддержки можно выделить четыре составляющие: функциональную — включающую средства автоматизации документооборота для ускорения информационного обмена, сокращения числа рутинных операций, фильтрации ввода, облегчения доступа к информации; информационную — для обеспечения пользователя необходимыми данными; модельную — для обеспечения пользователя аналитическими данными о взаимосвязях в исследуемой экономической системе и возможном её поведении в будущем; экс-

*пертную* — для снабжения пользователя правилами и знаниями формирования дедуктивного вывода и экспертного анализа при выборе эффективных вариантов решения задачи.

Рассматривая функциональное назначение составляющих компонент поддержки, следует заметить, что составляющая информационной поддержки предусматривает непрерывное оперативное информационное обеспечение процессов управления и принятия решений. Основной функцией этой компоненты является формирование у пользователя информационного образа проблемной ситуации, адекватного реально протекающим с объектом событиям и процессам. При этом информация отбирается как из собственной информационной базы, так и из других информационных источников. Степень адекватности формируемого образа существенно зависит не только от качества используемых данных, но и от процедур формирования информационного фонда.

Иногда оказывается, что данных, предоставленных пользователю по линии информационной поддержки, недостаточно для построения и оценки альтернатив принимаемого решения. В этом случае используются возможности модельной поддержки (моделирования). На основе модельной поддержки, реализуемой через построение модели проблемной ситуации, пользователь может полу-

чить недостающую ему для принятия решения информацию путём исследования модели.

Если имеющихся в информационном фонде системы данных не хватает для построения адекватной модели или данная информация является нечёткой, либо степень адекватности информационного образа самой проблемной ситуации не соответствует требуемым характеристикам точности, то активируется система экспертной поддержки, непосредственно помогающая пользователю в генерации и оценке возможных альтернатив.

С точки зрения математики задача принятия решений представляется как задача векторной или многокритериальной оптимизации. Её отличительной особенностью является наличие не одного оптимального решения (как в задачах с одним критерием эффективности), а целого множества недоминирующих решений (множества Парето), каждое из которых может быть выбрано в качестве оптимального. Выбор одного из этих решений, оптимального по одному или нескольким критериям, является центральной проблемой задач векторной оптимизации, а само решение называется компромиссным. Выбор окончательного решения требует участия лица, принимающего решения (ЛПР). Все существующие методы решения задач векторной оптимизации можно разделить на одношаговые и многошаговые [2].

Одношаговые методы предусматривают получение в ходе их выполнения одной-единственной компромиссной точки (точки множества Парето), которая и считается оптимальной. Для получения этой точки в подавляющем большинстве одношаговых методов задача векторной оптимизации преобразуется в задачу с одним критерием эффективности. Наиболее распространёнными методами такого типа являются методы главного критерия, обобщённого критерия и целевого программирования. Одна из главных проблем этих методов — необходимость высокой квалификации у ЛПР.

Одна из возможных форм постановки задачи:

$$\max_{\bar{x} \in \bar{X}} = f_l(\bar{x}), \ f_i(\bar{x}) \ge f_i^y, \ i \in I, \ i \ne l,$$

где  $f_i\left(\overline{x}\right)-i$ -й критерий эффективности; I — множество критериев эффективности;  $\overline{x}$  — варьируемые параметры;  $\overline{X}$  — множество допустимых значений параметров.

Достоинством этих методов является то, что они дают единственное решение, но при этом обладают и существенными недостатками:

необходимо выделить наиболее важный из множества критериев в задаче векторной оптимиза-

ции. Это возможно не во всех практических задачах;

на все критерии, кроме главного, необходимо накладывать ограничения. Установка значений очень затруднительна для ЛПР, если ограничения объективно не вызваны постановкой задачи. Кроме того, задание больших граничных значений часто даёт идеальную, т. е. несуществующую точку. Задание малых значений приводит задачу векторной оптимизации к тривиальной задаче максимизации одного из критериев, что противоречит самой постановке задачи векторной оптимизации;

в методах обобщённого критерия ЛПР оперирует только нормализованными значениями функций, т. е. область поиска оптимального решения искусственно уменьшается;

часто невозможно доказать правильность выбора того или иного обобщённого критерия и обосновать, почему полученное решение является наиболее оптимальным.

Искусственный интеллект (ИИ) можно определить как область компьютерной науки, занимающуюся автоматизацией разумного поведения [3]. При этом заимствованные из компьютерных наук принципы построения интеллектуальных систем сводятся к структурам данных, используемым для представления знаний, алгоритмам применения этих знаний, а также языкам и методикам программирования, используемым при их реализации. Однако в настоящее время не существует общепринятого определения интеллекта, достаточно конкретного для оценки предположительно разумной компьютерной программы и одновременно отражающего изменчивость и сложность человеческого разума.

Следует подчеркнуть, что экспертные системы, обычно относимые к интеллектуальным подсистемам САПР, являются лишь практическим отражением описанных приёмов оптимизации и находятся в пределах математической парадигмы, а не парадигмы ИИ в смысле упомянутой разумности поведения. Это наглядно иллюстрируется процессом обучения: вносимые в базу знаний факты относятся только к узкой предметной области, их необходимо привести к чётко определённой форме, а процесс обучения выражается в установке весовых коэффициентов.

Многошаговые методы также часто называют человеко-машинными процедурами (ЧМП), которые основываются на том, что ЛПР осуществляет направленный перебор компромиссных точек для выбора точки, которая, по его мнению, является

наилучшей. Для получения компромиссных точек на каждом шаге ЧМП используются уже рассмотренные одношаговые методы. ЛПР получает компромиссную точку, оценивает её, а на основании этой оценки ищется другая компромиссная точка. Процедура заканчивается, когда одна из точек удовлетворит ЛПР. Эта точка считается оптимальной. ЧМП требуют от ЛПР ещё большей квалификации и большего участия, чем одношаговые, так как одновременно вводится несколько критериев сравнения и предоставляется выбор из большого числа альтернатив.

Методы ИИ основываются на том, что формализуется не процесс решения, а система принятия решений в целом. В биологических ИС имеются структуры, выполняющие роль базовых элементов системы [4]. Соответственно, ИИ предполагает описание алгоритма работы отдельных компонентов, а решение задачи обеспечивается их взаимодействием. Можно выделить следующие основные процессы [5]:

мотивация — учёт цели интеллектуальной системы, постановка и анализ доминирующей (очередной) задачи из допустимого класса;

активация — планирование будущего процесса решения и прогнозирование ожидаемого результата, активирование запланированных средств решения задачи;

самоорганизация — попытка решения задачи; адаптация — коррекция текущего состояния и поиск очередной попытки успешного решения задачи;

*самообучение* — закрепление опыта решения задачи;

*саморасширение* — изменение допустимого класса задач.

Обучение системы должно быть основано на извлечении закономерностей из одной предметной области и свободном применении их в других областях.

Оно подразумевает обобщение на основе опыта. Эффективность системы должна повышаться не только при повторном решении одной и той же задачи, но и при решении аналогичных задач из той же предметной области. Так как область определения обучающих данных обычно широка, обучаемая система часто может обработать не все возможные примеры, и этот ограниченный опыт она должна корректно распространить на недостающие примеры. Такая задача индукции является центральной для обучения. Для большинства задач недостаточно имеющихся в наличии данных, чтобы гарантиро-

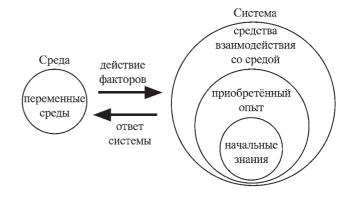
вать оптимальное обобщение независимо от типа используемого алгоритма. Обучаемые системы должны обобщать информацию эвристически, т. е. отбирать те аспекты, которые, вероятнее всего, окажутся полезными в будущем. Такой критерий отбора называется индуктивным порогом.

Поскольку задача непосредственного написания всех элементов такой системы является сложной [6], предлагается смоделировать процесс её развития из изначального упрощённого состояния. Для этого необходимы следующие компоненты: набор начальных знаний (в том числе алгоритмов) системы; средства взаимодействия со средой; механизмы действия факторов среды; механизмы ответа системы на действие факторов; настраиваемая среда.

Процесс обучения и структура системы представлены на рисунке. Факторы являются функциями переменных среды. Опыт система приобретает благодаря самостоятельному развитию изначально заложенных алгоритмов.

В отличие от кибернетических систем, в ИС цель слабо формализована, т. е. не соответствует определённому типу задач. Каждый раз ИС должна выбирать очередную доминирующую задачу, исходя из постоянно меняющихся условий среды.

Нейронные сети (neural network), или сети связей (connections network), функционируют не на основе символьного языка. Нейронные сети — это системы взаимосвязанных искусственных нейронов, являющихся упрощёнными аналогами нервных клеток живых организмов. Знания программы неявно представлены в общей организации и взаимодействии этих нейронов. Такие системы не строят явную модель мира, а сами принимают его форму. Нейронные сети обучаются не за счёт добавления новой информации в свою базу знаний, а за счёт модификации своей общей структуры в ответ на получаемую извне информацию. Предпола-



Структура системы и алгоритм её взаимодействия со средой

гается, что последовательное изменение и усложнение среды будет приводить к усложнению самой системы. Применение генетических алгоритмов позволит получить систему с требуемыми характеристиками. Далее её обучение может быть подобным обучению классических экспертных систем.

Применение интеллектуальных систем, использующих современные нейронные сети, имеет преимущества: автоматическое самообучение сети, независимость от предметной области, возможность более полного использования знаний по сравнению с экспертными системами.

К недостаткам можно отнести увеличение времени обучения, более высокую сложность алгоритмов и контроля процесса принятия решения.

Таким образом, в настоящее время именно сложные интеллектуальные подсистемы, несмотря на свои недостатки, являются перспективным средством обработки больших объёмов информации и ведения диалога с пользователем, что в ближайшие годы должно послужить причиной их ин-

тенсивного внедрения в системы проектирования и управления.

#### Библиографические ссылки

- 1. **Матвеев Л.А.** Компьютерная поддержка решений. СПб: Специальная литература, 1998. 472 с.
- 2. Дубов Ю.А., Травкин С.И., Якимец В.Н. Много-критериальные модели формирования и выбора вариантов систем. М.: Наука, 1986. 296 с.
- 3. **Люгер** Д.Ф. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем. 4-е изд. / пер. с англ. Н.И. Галагана, К.Д. Протасовой. М.: Вильямс, 2003. 864 с.
- 4. **Савельев С.В.** Стадии эмбрионального развития мозга человека. М.: Веди, 2002. 112 с.
- 5. **Чечкин А.В.** Математическая информатика. М.: Наука, 1991. 416 с.
- 6. Звонов А.О., Янишевская А.Г. Разработка экспертной системы поддержки проектирования многослойных оболочек // Информационно-телекоммуникационные системы и технологии (ИТСиТ-2012): материалы всерос. молодёжной конф. Кемерово, 2012. С. 99—100.

УДК 621.235.015

**В.А. Васин,** канд. техн. наук, **Н.Г. Фатьянова, Б.А. Трошин, Б.Н. Васичев,** д-р физ.-мат. наук, **С.В. Степанчиков,** канд. техн. наук (Московский институт электроники и математики)

vasichev@ya.ru, vacuumwa@ya.ru

#### ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ НАНОТЕХНОЛОГИЙ

Рассмотрены особенности развития оборудования, необходимого для исследования и производства объектов нанотехнологий. Показано, что для обеспечения технологических операций по изготовлению объектов с наноразмерными элементами требуется разработка специального прецизионного электронного и ионного оборудования. На примере отечественных устройств проиллюстрирована техническая сложность и наукоёмкость такого рода работ. Отражены основные направления ведущихся и перспективных исследований.

**Ключевые слова:** надёжность, нанообъект, нанопродукт, нанотехнологии, микросистемная техника, специализированное электронно- и ионно-зондовое оборудование.

Development features of the equipment necessary for nanotechnologies objects research and production are considered. It is shown that technological operations ensuring for production of the objects with nanodimensional elements requires of the special precision electronic and ionic equipment. As an example of domestic facilities is illustrated technical complexity and science intensity of such works. The main directions of conducted and perspective researches are reflected.

**Key words:** reliability, nanoobject, nanoproduct, nanotechnologies, microsystem technics, specialized electronic and ion-probe equipment.

Для исследования и моделирования нанообъектов, а также реализации проектов по разработке и внедрению в производство нанотехнологий необхо-

димо соответствующее технологическое оборудование — принципиально новые наукоёмкие и высокотехнологичные приборы и устройства [1—4].

Наноструктуры представляют собой особый вид объектов, наблюдать которые можно только с помощью современных электронных микроскопов. Однако самые совершенные электронные микроскопы не приспособлены к участию в технологических процессах. Это лабораторные приборы. Разработчики нанопродуктов и нанотехнологий столкнулись с двумя очень сложными проблемами: наблюдать объекты с разрешающей способностью 0,1...0,01 нм и манипулировать ими. Если первая проблема в настоящее время частично решается – имеется возможность рассмотреть объект, то к решению второй проблемы ещё не приступали. В качестве примера допустим, что мы уже можем получать наношестерни и нановалы, но как их объединить в конструктивную пару? Этот вопрос пока остаётся без ответа. Чтобы понять сложность проблемы, рассмотрим несколько примеров по созданию техники для решения некоторых нанотехнологических задач.

Для обеспечения контрольно-измерительных операций нанообъектов необходима разработка специализированного электронно-зондового и фотоэлектронного оборудования, способного работать в течение длительного времени (двух смен непрерывно) благодаря высокой надёжности комплектующих изделий.

Для определения химического элементного состава группы атомов необходимо выполнять экспресс-анализ с высокой прицельностью и минимальной погрешностью. Это возможно только с помощью специализированного прибора, который смог бы одновременно визуализировать участок анализа с разрешающей способностью около 0,01 нм, обладать высокой локальностью возбуждения (5 нм и менее) и высокой эффективностью регистрации характеристического рентгеновского спектра и его расшифровки (раздельной регистрации  $K_{\alpha}$  и  $K_{\beta}$ -линий). Необходимо также изучать нанообъект с помощью высокоприцельной микроэлектронографии для определения типа атомной решётки, осуществлять манипуляции этим объектом, не упуская его из поля зрения микроскопа, а также с минимальными погрешностями измерять геометрические размеры нанообъекта и его частей. Решение этой задачи требует разработки специализированного оборудования и развития методик и средств метрологии нанообъектов.

Современные электронные микроскопы, созданные многими фирмами, не могут ответить на самый важный вопрос, что за элементы видит учё-

ный. Оснащение их приставками для рентгеновского анализа не отвечает сформулированным требованиям ни по прицельности, ни по локальности анализа, ни по разрешающей способности рентгеновского спектрометра. Существующие рентгеновские микроанализаторы не отвечают новым требованиям по локальности и прицельности анализа, кроме того, они не позволяют наблюдать процесс анализа с разрешением 0,1 нм.

Одним из примеров разработанного в нашей стране прецизионного электронно-лучевого оборудования является специализированный электронный микроскоп-микроанализатор (ЭММА), предназначенный для обеспечения элементного анализа нановключений и нанообъектов с прицельностью 0,1 нм и чувствительностью анализа на все элементы таблицы Менделеева, с визуальным наблюдением процесса анализа при разрешающей способности 0,1 нм, относительной погрешности анализа  $10^{-9}$  % и локальности анализа до 100,0 нм (рис. 1).

Такие характеристики были достигнуты благодаря разработке и использованию:

специальной электронно-зондовой системы формирования электронного пучка;

малогабаритного высокоэффективного рентгеновского спектрометра волновой дисперсии;

малогабаритных высокоэффективных рентгеновских детекторов энергетической дисперсии;

специализированного прецизионного манипулятора нанообъектами;



Рис. 1. Электронный микроскоп-микроанализатор "ЭММА"

многофункциональной системы получения электронного изображения и электронограмм во время анализа нанообъекта;

высокостабилизированной (до 106) системы питания с широким диапазоном изменения ускоряющего напряжения;

системы регистрации рентгеновских спектров.

С помощью этого прибора стало возможным анализировать мельчайшие включения и исследовать нанообъекты. Использование этого прибора позволило в кратчайшие сроки модернизировать ряд технологических процессов.

Специализированная электронно-зондовая система прибора "ЭММА", осуществляющая формирование электронного пучка, состоит из трёх электронных линз, обеспечивающих формирование тонкого электронного зонда для рентгеновского микроанализа и формирующих почти параллельный пучок для получения электронно-микроскопического изображения объекта без потери объекта, что позволяет сохранять высокую прицельность анализа.

Малогабаритный высокоэффективный рентгеновский спектрометр высокой разрешающей способности осуществляет анализ, используя набор кристаллов-анализаторов и пропорциональный газовый счётчик.

Специализированный прецизионный манипулятор нанообъектами обеспечивает их перемещение по осям x и y и разворот на  $180^{\circ}$  при сохранении изображения объекта в поле зрения микроскопа.

Многофункциональная система позволяет осуществлять формирование электронного изображения нанообъекта или формирование микроэлектронограммы с того участка объекта, на который направлен электронный зонд.

Для расширения диапазона исследований нанообъектов разработан многоканальный микроанализатор "Спрут", обеспечивающий анализ нановключений в гетерогенных нанообъектах (рис. 2).

Электронный зонд может по желанию оператора изменять размер и форму при равномерной плотности потока электронов. Такой электронный зонд применяется впервые. Нанотрубки, волокна и другие протяженные объекты удобнее исследовать, имея возможность превращать электронный зонд в вытянутый прямоугольник. В этом случае важно, чтобы соблюдалась равномерность плотности потока электронов по всему сечению электронного зонда. Возможность изменять не только сечение пучка, но его конфигурацию позволило



Рис. 2. Рентгеновский многоканальный микроанализатор нанообъектов "Спрут"

равномерно облучать именно тот участок, который интересует исследователя. Эта уникальная возможность позволила исключить облучение соседних участков, что приводило к погрешностям количественного анализа.

Была разработана электронно-оптическая система, обеспечивающая формирование электронного пучка с равномерной плотностью потока электронов и изменяемой геометрией сечения пучка. Этим электронно-оптическая система отличается от подобных систем всех известных электронных микроскопов и микроанализаторов.

Регистрация рентгеновского излучения ведётся с помощью нескольких спектрометров одновременно под разными углами и при изменяемых азимутальных положениях при неподвижном образце. Это, во-первых, позволяет получать спектры, с одних и тех же участков нанообъекта, но отличающихся за счёт влияния на них соседних, что упрощает процедуру расчёта такого влияния соседних атомов. Во-вторых, во время такого анализа объект остаётся неподвижным по отношению к электронно-оптической системе, что позволяет избежать искажения результатов анализа за счёт невозможности установить электронный зонд на то же самое место в существующих электронных микроскопах. В третьих, нет необходимости создавать сложное прецизионное устройство позиционирования нанообъекта. Высокая чувствительность и разрешающая сила спектрометров обеспечивает относительную чувствительность на все химические элементы не менее  $10^{-9}$  %.

Современная растровая электронная микроскопия позволяет исследовать нанообъекты с разрешающей способностью до 5 нм и получать их изображение в отражённых (быстрых) и вторичных (медленных) электронах, а также в рентгеновских лучах и других вторичных излучениях.

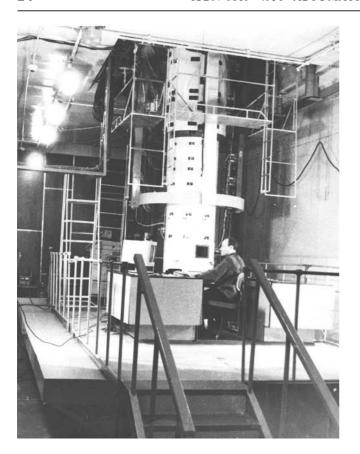


Рис. 3. Сверхвысоковольтный электронный микроскоп "СВЭМ" с энергией электронного пучка  $5\cdot10^5...5\cdot10^6$  В

В нашей стране подобное оборудование разрабатывалось в Федеральном научном центре РФ «НПО "Орион"». Примером служит растровый электронный микроскоп "РЭМ-100-75" с рентгеновской приставкой для исследования образцов на содержание химических примесей. Он оснащён столиком объектов (манипулятором) с возможностью многоканального электрического подключения исследуемого полупроводникового объекта к системе анализа в режиме наведённого пучком тока его электрофизических характеристик.

Были разработаны измерительные растровые электронные микроскопы типа "РЭМ-И", обеспечивающие идентификацию изображения объекта с эталонным изображением, хранящимся в памяти ЭВМ, и осуществляющие автоматизированное измерение линейных размеров элементов исследуемого объекта.

Для выявления локальной неоднородности свойств фотоэмиссии в технологическом процессе разработан специализированный электронный фотоэмиссионный микроскоп "ФЭМ" с разрешающей способностью до 10 нм на тонких объектах.

Для того чтобы получить возможность изучения полупроводниковых и других конструкционных

материалов, работающих в условиях больших радиационных нагрузок, к 1990-м гг. был создан уникальный сверхвысоковольтный электронный микроскоп "СВЭМ". Это сложное сооружение, в создании которого принимало участие большое количество предприятий России и большой коллектив учёных, инженеров и рабочих. Для него было построено специальное здание в Москве, вмещающее в себя все вспомогательные устройства и научные лаборатории. Этот микроскоп обладает самым высоким в мире ускоряющим напряжением до 5·106 В (рис. 3, 4).

Электронная пушка сверхвысоковольтного электронного микроскопа "СВЭМ" обеспечивает непрерывную работу прибора за счёт автоматической смены катодов при выходе их из строя. В малогабаритном ускорителе прямого действия на 5 МВ в качестве изолирующей от электрических пробоев среды используется специальный изолирующий газ под давлением. Электронно-оптическая система состоит из электронных линз, способных фокусировать электронный пучок с энергией до 5 МэВ. Возбуждающие обмотки секционированы и охлаждаются проточной водой. Дистанционный манипулятор обеспечивает установку и перемещение ис-



Рис. 4. Высоковольтный ускоритель электронов на 5·10<sup>6</sup> В сверхвысоковольтного микроскопа "СВЭМ"

следуемого объекта по осям *х* и *у*. Предусмотрена также пассивная защита электронно-оптической системы от вибраций здания и окружающей среды. Высокостабилизированное электропитание размещено в отдельных помещениях.

При создании сверхвысоковольтного электронного микроскопа преследовались такие задачи, как:

поднятие разрешающей способности, зависящей от ускоряющего напряжения (с увеличением последнего уменьшается длина волны электронов);

обеспечение большей проникающей способности электронов, что позволяет исследовать на просвет более толстые объекты по сравнению с электронными микроскопами на 100 кВ;

исследование процессов, происходящих в объекте при различной радиационной нагрузке, что важно при разработке технологии создания радиационно-стойких материалов и устройств.

Сегодня этот уникальный микроскоп законсервирован из-за недостаточного финансирования.

Обеспечение технологических операций по изготовлению объектов с наноразмерными элементами требует разработки специализированного прецизионного электронного и ионного оборудования.

Для того чтобы реализовать проект по изготовлению нанодиода и более сложного электронного наноприбора, а также приборов микросистемной техники, необходимо специальное оборудование, которое могло бы формировать наносхемы с минимальными линейными размерами менее 10 нм. Сегодня в технологии микроэлектронной промышленности минимальным размером является размер 100 нм. Для преодоления этого барьера в мире ведутся работы по созданию электронно-лучевого оборудования для электронной литографии — электронных литографов и др.

На рис. 5 представлен литограф отечественной разработки, который обеспечивает формирование минимального размера топологического слоя интегральной схемы 100 нм на поле  $10\times10$  мм, на подложках диаметром до 300 мм. Это очень сложное устройство, в котором задействованы самые современные методы и материалы.

Электронно-зондовая система "ПЭЛ-1", осуществляющая формирование электронного пучка, содержит следующие основные элементы:

катод из гексаборида лантана с электроподогревом и стабилизацией температуры заостренного кончика катода;

систему охлаждения элементов электронной пушки, обеспечивающую её стабильную непрерывную работу в течение 8 ч;

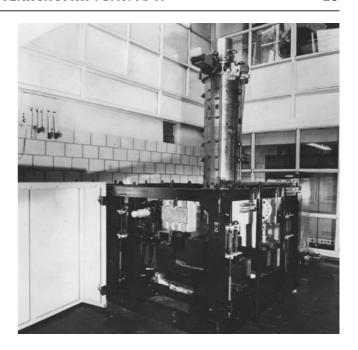


Рис. 5. Прецизионный электронный литограф "ПЭЛ-1"

двухъярусную электростатическую бланкирующую систему с круговой развёрткой пучка, позволяющую прерывать процесс экспонирования без размазывания;

быстродействующий блок прямоугольных диафрагм, формирующий пучок прямоугольного изменяемого сечения с быстродействующими системами магнитного отклонения пучка типа «беличье колесо» (частота отклонения до 20 МГц);

объектив с системой динамической коррекции пучка, формирующего изображения на подложке;

полупроводниковые детекторы и сцинтилляционные парной симметрии детекторы для системы совмещения и определения координат и положения меток совмещения;

систему автоматического совмещения топологических слоёв интегральных схем, объединённую с полупроводниковыми детекторами, сцинтилляционными детекторами и лазерным интерферометром, контролирующим положение координатного стола;

электронно-оптическую проекционную систему для контроля и юстировки электронно-оптической системы экспонирования;

специализированный прецизионный быстродействующий манипулятор (координатный стол) с техническим зрением, осуществляемым методом сканирования электронного пучка, и совместно с ЭВМ осуществляющий требуемую ориентацию и положение объекта в технологической камере;

систему автоматизированного управления с помощью  $\Theta BM$ .

Ведутся работы по снижению его габаритных размеров и повышению производительности пу-

тём перехода на многолучевой метод обработки пластин. К сожалению, работы по разработке конструкции ведутся медленно из-за недостаточного финансирования.

Для микросварки элементов микроэлектроники (включая электрическую разводку) созданы установки мощностью от 5 до 50 кВт с диаметрами пучков от 1 до 10 мкм. При соответствующей доработке диаметр пучка может быть уменьшен до размеров, необходимых при сборке нанообъектов.

Многие технологические операции не могут быть осуществлены без ионно-плазменного оборудования, осуществляющего распыление вещества с осаждением тонких пленок через маску и очистку подложек от посторонних примесей или загрязнений. Маску для формирования нанообъектов можно изготавливать только с помощью электронного пучка.

В настоящее время в России ведётся разработка миниатюрных устройств электронно-лучевой техники. Примером может служить миниатюрный растровый микроскоп с низким ускоряющим напряжением. Первые испытания позволили оценить разрешающую способность такого микроскопа, которая составляет на массивных объектах 10 нм, а на нанообъектах 5 нм. Низкое ускоряющее напряжение (500...100 В) позволяет значительно уменьшить радиационную нагрузку на исследуе-

мый объект. Малые габариты позволяют использовать этот прибор в полевых условиях.

Рассмотренные устройства, обеспечивающие высокую надёжность всего комплекса без потерь производительности за счёт высокой надёжности используемых элементов, представляют собой сложное, дорогостоящее и уникальное оборудование, создание которого невозможно без профессиональной подготовки разработчиков.

#### Библиографические ссылки

- 1. Васичев Б.Н., Фатьянова Г.И. Конструирование электронно-оптических систем микросистемной электронно-лучевой техники // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования РАН. 2006. № 9. С. 26—31.
- 2. Васичев Б.Н. Электронно-зондовый микроанализ тонких плёнок. М.: Металлургия, 1977. 240 с.
- 3. Васичев Б.Н. Электронно-лучевая обработка. Назначение и область применения. Основные явления в зоне действия электронного пучка. Методы. Выбор и расчёт параметров основных элементов оборудования // Энциклопедия "Технология, оборудование и системы управления в электронном машиностроении". Т. III. М.: Машиностроение, 2000. С. 57–79.
- 4. Васичев Б.Н., Фатьянова Г.И. Формирование потоков ионов при реактивном ионно-плазменном травлении в технологии микроэлектромеханических систем // Тр. инженерно-экономического факультета РЭА им. Г.В. Плеханова. Вып. 5. М.: изд-во Россельхозакадемии, 2006. С. 603—613.

УДК:621.744.37

А.С. Федоренко, д-р. техн. наук, проф., А.А. Ашрятов, канд. техн. наук, доц., М.В. Вдовин, канд. техн. наук, доц. (Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, г. Саранск), С.А. Микаева, д-р техн. наук, проф. (Московский государственный университет приборостроения и информатики) mikaeva@pechkin.npo.lit.ru

#### СВЕТОВЫЕ ПРИБОРЫ ПЕРЕМЕННОЙ ЦВЕТНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВЕТОДИОДОВ

Описаны новые световые приборы переменной цветности с использованием светодиодов. Приведены электрические характеристики и зависимости светового потока макетного образца светильника с рассеивателем и без него.

Ключевые слова: световой прибор, источник излучения, цвет, макетный образец.

The new variable coloration lights devices through the use of LED are described. The electrical behaviors and light flux dependences of the lamp prototype specimen with and without a diffuser are adduced.

**Key words:** light device, radiation source, color, prototype specimen.

В многочисленных публикациях по световым приборам (СП) описано большое количество светильников разнообразных форм, размеров, рас-

цветок и с различными спектрами излучения. Приобретение того или иного  $C\Pi$  — дело вкуса пользователя. Кому-то нравятся лёгкие теплые то-

Таблица 1

Влияние света различных цвето	ов на нервную	систему человека

Цвет свечения	Влияние на человека	Цвет свечения	Влияние на человека
Красный	Активизирует нервную систему, возбуждает. Спо- собствует образованию эритроцитов. Повышает кровяное давление, иммунитет. Учащает пульс	Сине-зелёный	Способен прервать приступ эпилепсии. Вызывает чувство комфорта. Делает редким пульс, понижает кровяное давление
Оранжевый	Активизирует деятельность желез внутренней секреции. Уплотняет лёгочную ткань. Вызывает чувство эйфории. Благотворно воздействует на пищеварение	Голубой	Вызывает чувство комфорта и умиротворения. Нормализует кровяное давление. Снижает мышечное напряжение. Дыхание становится глубоким и ритмичным
Жёлтый	Укрепляет нервную систему. Увеличивает выделение желудочного сока. Внушает оптимизм. Способствует лечению кожных заболеваний	Синий	Повышает жизненную силу организма. Способствует восстановлению нервной системы. Усиливает способность к концентрации, сосредото-
Зелёный	Ускоряет формирование клеток. Способствует образованию мышечных волокон. Повышает защитные свойства организма. Успокаивающе действует на психику. Замедляет биение сердца	Розовый	чению. Под его влиянием затухают головные боли, снижается рассеянность  В ярких оттенках действует как транквилизатор

на излучения, кому-то спокойные — зелёные или возбуждающие — красные.

В работах [1-4] приводится медицинская информация о лечении светом различных цветов. Учёные, открывшие этот метод лечения, считают, что цвета, которые нас окружают, способны влиять на самочувствие и настроение человека, лечить многие заболевания. В табл. 1 приведено влияние света различных цветов на нервную систему человека. В этом смысле весьма интересно создание многофункционального СП (МСП) с переменной цветностью [5, 6]. Более того, необходимо, чтобы в излучении МСП были не только чистые цвета, но и полутона и оттенки, а также белый цвет с различными цветовыми температурами. Под многофункциональным будем понимать СП, совмещающий функции нескольких однофункциональных светильников и облучательных приборов, выполняющий данные функции одновременно или раздель-

но во времени, и обеспечивающий оптимальные условия освещения.

Внешний вид декоративного МСП с изменяемой цветностью [5] представлен на рис. 1. МСП состоит из основания-подставки *1*, источников излучения (цветных компактных люминесцентных ламп (КЛЛ) типов КЛ11/С, КЛ11/3, КЛ11/К) *2*, плафона-рассеивателя *3*, электронного пуско-

регулирующего аппарата (ЭПРА) — темнителей для каждой лампы (встроены в основание) и пульта управления.

Используемые в МСП КЛЛ излучают синий  $(\lambda_{max} = 450 \text{ нм}),$  зелёный  $(\lambda_{max} = 543 \text{ нм})$  и красный  $(\lambda_{max} = 611 \text{ нм})$  цвета в областях спектра. Пульт управления регулирует ток ламп за счёт использования дополнительных резисторов, соединённых последовательно с дросселями, тем самым изменяя интенсивность их свечения практически от нуля до максимума ( $I_{\pi \max} = 1,3 I_{\pi + \max}$ ). В серийных изделиях это целесообразно делать с применением ЭПРА-темнителей. Плафон-рассеиватель в виде полой сферы позволяет диффузно рассеивать световые потоки ламп. Кроме того, на его внутренней поверхности за счёт многократных отражений полностью смешиваются световые потоки различной цветности, излучаемые источниками света (ИС). Плафон изготавливается из матированного

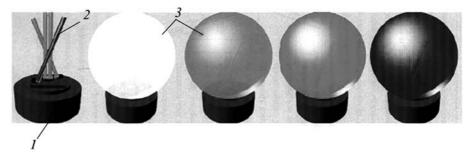


Рис. 1. Внешний вид многофункционального светового прибора с цветными компактными люминесцентными лампами

силикатного стекла с интегральным коэффициентом пропускания в видимой области спектра  $\tau=0,75$ . Для уменьшения экранирования световых потоков крайние лампы расположены под углом  $20...30^\circ$  к вертикальной оси. Для максимального смешения излучений различного спектрального состава точка пересечения вертикальных осей ламп должна разделять их пополам и совпадать с точкой геометрического центра сферы.

Смешение световых потоков ламп различного спектрального состава (основных цветов — красного, зелёного и синего) на внутренней поверхности сферического рассеивателя приводит к изменению цветности выходящего излучения. При этом можно получить излучение практически любого цвета. Возможности ограничены лишь свойствами ртутного разряда в КЛЛ, в которых (в трубках малого диаметра) увеличивается доля видимых линий с  $\lambda = 404.7$ ; 435,8; 546,1 нм в общем излучении. Это приводит к уменьшению чистоты цвета исходного излучения, изменению его цветового тона и, как следствие, к погрешности при воспроизведении некоторых желаемых смешанных цветов.

Работа данного декоративного МСП основана на принципе аддитивного воспроизведения цвета, т. е. на суммировании нескольких разноцветных излучений. В работе [7] показано, что суммирование трёх реальных цветов может воспроизвести излучение любого цветового тона. Исходными цветами системы аддитивного воспроизведения являются красный, зелёный и синий. При попарном смешении этих трёх цветов получаются жёлтый, голубой и пурпурный. А при смешении трёх исходных цветов в определённой пропорции получается белый цвет. Пользователь, самостоятельно регулируя токи ламп, может изменять интенсивность их свечения.

Для МСП проведено комплексное расчётное исследование с визуализацией полученных результатов на дисплее персонального компьютера по методике и алгоритму, представленному в работе [6]. По экспериментальным и расчётным исследованиям получены следующие результаты: разработан декоративный МСП с изменяемой цветностью; изменение токов трёх ИС исходных цветов (красного, зелёного и синего) приводит к изменению цвета свечения прибора и функциональных свойств светильника; светильник может использоваться для местного освещения, подсветки локальных объектов, ориентации ночью, как декоративный светильник. Данный МСП предназначен для изменения цветосветовой среды в помещении, ле-

чебного воздействия изучения, изменения психофизиологического состояния человека с учётом его индивидуальных качеств; компьютерное моделирование изменения цвета свечения светильника в рамках комплексного расчёта его характеристик показало, что возможно изменять его цветность в зависимости от цветности используемых ламп и разрядного тока; КПД светильника составляет 78...82 % (поглощение излучения в основном происходит в стекле рассеивателя), в то время как у светильников с применением светофильтров (при субтрактивном воспроизведении цвета) КПД 12...26 % в зависимости от марки применяемого фильтра.

Недостатками рассмотренного МСП являются: сложность регулирования электрического режима КЛЛ (включение последовательно с индуктивными дросселями резисторов с различным сопротивлением для уменьшения тока ламп с помощью пульта управления с большим количеством выключателей); большое энергопотребление элементами схемы питания ламп и наличие пульсаций светового потока ламп; наличие ртутьсодержащих ламп в МСП; большая масса дросселей и остеклованных резисторов; отсутствие дистанционного управления работой МСП. Эти недостатки не позволили организовать серийное производство МСП.

Применение трёхцветных светодиодных модулей позволяет регулировать светоцветовую среду в жилых помещениях и зонах отдыха, а также расширить возможности цветовой светотерапии. В процессе работы разработана компоновка светового прибора, выбраны светотехнические материалы и проработана конструкция светильника. Изготовлен макетный образец светового прибора на основе трёхцветных светодиодов поверхностного монтажа на гибкой электроизоляционной подложке. Исследовано влияние изменения напряжения питающей сети на электрические, световые и цветовые характеристики СП.

Светодиодный световой прибор (рис. 2) имеет основание I, крышку 2, на которой расположены цилиндрический держатель 3, матовый рассеиватель 4 шарообразной формы. По оси светового прибора 5 на крышке установлен полый цилиндр 6 с лентой 7 и светодиодами 8. Светодиодная лента располагается на полом цилиндре в виде спирали. На основании 1 монтируется драйвер 9, контроллер 10 и вентилятор 11, а крышка по оси светового прибора имеет цилиндрический воздуховод 12, соединённый с цилиндром и светодиодами. Холод-

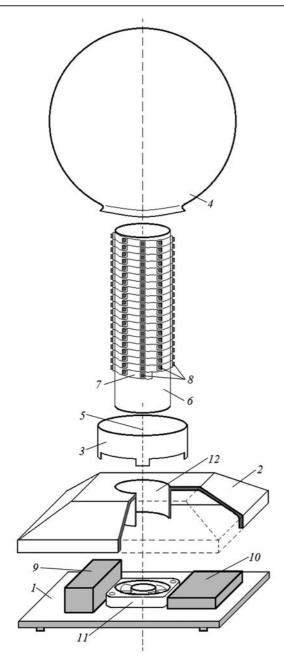


Рис. 2. Конструкция светодиодного светового прибора

ный воздух, забираемый вентилятором через отверстие 13, поступает в рассеиватель (рис. 3). Стрелками 14 показано движение охлаждающего воздуха через СП, основание которого опирается на рабочую поверхность ножками 15.

В качестве источников света, излучающих красный, зелёный и синий цвет, использованы так называемые RGB-светодиоды, предназначенные для поверхностного монтажа (SMD-светодиоды). Для снижения трудоёмкости изготовления ИС светильника были использованы не дискретные светодиоды, а светодиодная гибкая лента, на которой смонтированы SMD-RGB-светодиоды и ограничивающие ток резисторы. Обратная сторона ленты

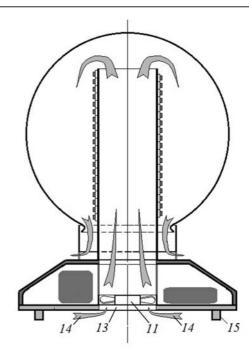


Рис. 3. Светодиодный световой прибор в разрезе с указанием движения потока воздуха, охлаждающего светодиоды

(относительно светодиодов) имеет клейкое покрытие, которое позволяет гибкую ленту приклеивать практически к любой поверхности.

Для плотного расположения светодиодов на излучающей поверхности светодиодную ленту на цилиндрическое основание приклеивали в виде спирали (рис. 4). Длина ленты определялась по количеству требуемых светодиодов, которые при белом свечении создавали световой поток, равный лампе накаливания общего назначения мощностью





Рис. 4. Расположение светодиодной гибкой ленты на цилиндрическом основании

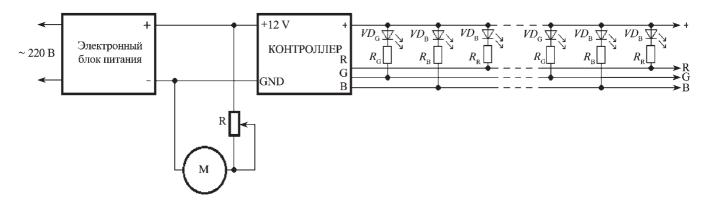


Рис. 5. Электрическая схема светильника



Рис. 6. Общий вид светильника с рассеивателем и без

60 Вт. По полученной длине определялся диаметр цилиндрического основания, на который навивалась светодиодная лента.

Электрическая схема светильника приведена на рис. 5, а общий вид светильника без рассеивателя и с рассеивателем — на рис. 6.

Были исследованы электрические характеристики макетного образца светильника: потребляемая мощность и ток лампы при изменении напряжения питания. Контроллер светильника позволяет изменять интенсивность свечения в пределах восьми ступеней, поэтому измерения электрических характеристик также прозводились на восьми ступенях. Результаты измерений приведены в табл. 2.

Таблица 2

Электрические характеристики светильника оез рассеивателя											
<i>U</i> , B	№ ступ	1	2	3	4	5	6	7	8		
Цвет			Белый								
	Р, Вт	30	24	19	15	11	7	5	3		
198	I, A	0,275	0,235	0,190	0,145	0,107	0,070	0,055	0,004		
	Р, Вт	30	24	19	15	11	7	5	4		
220	I, A	0,250	0,210	0,170	0,092	0,086	0,065	0,055	0,045		
	Р, Вт	29	24	19	15	11	7	5	4		
242	I, A	0,230	0,190	0,150	0,115	0,085	0,065	0,055	0,045		
Цвет					Kpac	сный	•				
	Р, Вт	12	9	8	6	5	4	3	3		
198	I, A	0,110	0,077	0,070	0,057	0,051	0,049	0,035	0,025		
	Р, Вт	12	9	8	6	5	4	3,5	3		
220	I, A	0,099	0,077	0,065	0,055	0,051	0,046	0,044	0,030		

Окончание табл. 2

<i>U</i> , B	№ ступ	1	2	3	4	5	6	7	8
242	Р, Вт	12	9	8	6	5	4	3,5	3
242	I, A	0,090	0,075	0,065	0,056	0,053	0,046	0,045	0,033
Ці	вет				Зелё	ный			
	Р, Вт	12,5	10	8	6	5	4,5	3,5	3
198	I, A	0,119	0,095	0,075	0,060	0,054	0,050	0,040	0,028
	Р, Вт	13	10	8	6	5	4	3,5	3
220	I, A	0,107	0,085	0,070	0,060	0,052	0,048	0,040	0,030
	Р, Вт	13	10	8,5	6	5	4,5	3,5	3
242	I, A	0,100	0,080	0,069	0,060	0,052	0,047	0,042	0,039
Ці	вет			•	Сиі	ний	•	•	•
	Р, Вт	11,5	9	8	6	5	4	3,5	3
198	I, A	0,107	0,085	0,070	0,057	0,050	0,049	0,040	0,030
	Р, Вт	11,5	9	8	6	5	4	3,5	3
220	I, A	0,073	0,075	0,065	0,056	0,051	0,046	0,042	0,030
	Р, Вт	12	9	8	6	5	4	3,5	3
242	I, A	0,090	0,073	0,065	0,055	0,051	0,048	0,043	0,035
Приме	чание: <i>U</i> , Е	3 — напряжені	ие сети; <i>I</i> , А –	- сила тока; <i>Р</i>	, Вт — мощно	сть.			

Полученные данные показывают, что изменение напряжения питающей сети практически не влияет на электрические параметры красных светодиодов, а у зелёных и синих при максимальной яркости незначительно возрастает мощность. Для оценки влияния рассеивателя на тепловой режим светодиодов измерены электрические параметры

светильника с рассеивателем при белом свечении. Результаты приведены в табл. 3.

Из табл. 3 видно, что с рассеивателем светильник потребляет примерно на 1 Вт больше.

Световой поток измеряли с помощью светомерного шара стандартным методом. Результаты измерений приведены в табл. 4, 5 и на рис. 7.

Таблица 3

			ovieni pii i		•р• •2	•				
<i>U</i> , B	№ ступ	1	2	3	4	5	6	7	8	
Ці	вет		Белый (с рассеивателем)							
220	Р, Вт	30,5	25	20	16	12	8	6	4	
220	I, A	0,257	0,215	0,172	0,130	0,099	0,070	0,055	0,046	
Ці	вет		Белый (без рассеивателя)							
	Р, Вт	30	24	19	15	11	7	5	4	
220	I, A	0,250	0,210	0,170	0,092	0,086	0,065	0,055	0,045	

Электрические характеристики светильника

Таблица 4

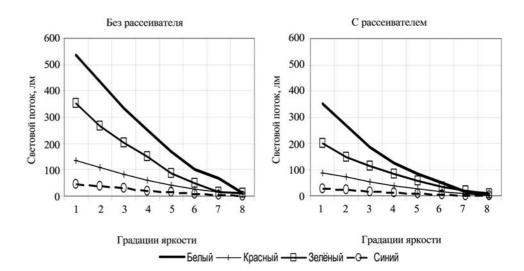
Зависимость светового потока макетного образца светильника с рассеивателем от различных факторов

<i>U</i> , B	№ ступ	1	2	3	4	5	6	7	8
Цвет			Белый						
198	Ф, лм	350,7	267,2	183,7	125,2	83,5	50,1	16,7	6,0
220	Ф, лм	350,7	267,2	183,7	125,2	83,5	50,1	16,7	6,0
242	Ф, лм	350,7	267,2	183,7	125,2	83,5	50,1	16,7	6,0
Ц	вет			•	Kpac	сный	•		•
198	Ф, лм	88,86	70,14	53,77	38,90	26,89	16,70	8,35	1,67
220	Ф, лм	88,51	70,14	53,61	38,58	26,72	16,70	8,35	1,67
242	Ф, лм	87,17	68,47	53,44	38,41	26,72	16,53	8,02	1,67
Цвет					Зелё	ный		•	
198	Ф, лм	201,20	146,96	113,56	82,16	56,78	35,90	19,2	6,68
220	Ф, лм	201,24	146,96	113,56	82,67	56,78	35,57	19,2	6,68
242	Ф, лм	200,70	146,90	113,56	81,83	50,77	36,40	19,2	6,68
Ц	вет				Сиі	ний		,	
198	Ф, лм	27,56	21,70	16,37	11,70	7,50	3,67	1,67	0,41
220	Ф, лм	26,72	21,71	16,37	11,36	7,14	3,67	1,34	0,41
242	Ф, лм	27,56	21,38	16,37	10,86	6,85	3,51	1,34	0,41
Приме	ечание. Ф, л	тм — световой	поток.						

Таблица 5 Зависимость светового потока макетного образца светильника без рассеивателя от различных факторов

<i>U</i> , B	№ ступ	1	2	3	4	5	6	7	8
Цвет		Белый							
198	Ф, лм	534,4	434,2	334,0	250,5	167,0	100,2	66,8	13,0
220	Ф, лм	534,4	434,2	334,0	250,5	167,0	100,1	66,8	13,0
242	Ф, лм	534,4	434,2	334,0	250,5	167,0	100,2	66,8	13,0
П	вет				Kpac	сный			
198	Ф, лм	126,92	103,54	81,83	60,12	43,42	26,72	15,03	5,85
220	Ф, лм	133,60	107,71	83,50	60,12	41,75	25,05	13,36	5,84
242	Ф, лм	131,92	106,88	81,83	60,12	41,75	25,88	13,36	5,85
Цвет				•	Зелё	ный			
198	Ф, лм	350,70	275,55	201,24	150,30	100,20	50,10	20,04	12,52
220	Ф, лм	350,70	268,00	201,20	150,30	84,80	50,10	16,70	13,00
242	Ф, лм	250,70	268,00	210,20	150,30	100,20	50,10	16,70	12,50
П	Цвет			•	Сил	ний	•		
198	Ф, лм	46,43	36,74	28,39	20,04	13,36	8,20	3,34	0,920
220	Ф, лм	46,76	36,74	28,39	20,04	13,36	8,35	3,67	1,002
242	Ф, лм	46,76	36,74	28,39	20,37	13,36	8,35	3,67	1,015

Рис. 7. Зависимости светового потока макетного образца светильника от различных факторов



Из рис. 7 видно, что световой поток светильника с рассеивателем значительно ниже, чем без рассеивателя. Полученные данные позволяют рассчитать КПД светильника (для белого цвета он равен 0,656).

С помощью спектроколориметра "ТКА-ВД" проведены измерения спектров излучения (рис. 8) и координат цветности (рис. 9) макетного образца светового прибора при различных соотношениях интенсивности основных цветов. На рис. 8 и 9 приведены только данные по белому и основным (красный, зелёный и синий) цветам.

Из рис. 8 видно, что интенсивность синей полосы в спектре белого излучения макетного образца светового прибора превышает интенсивности зелёной и красной полос. Это указывает на холодно-белое излучение RGB-светодиодов в режиме излучения белого цвета и подтверждается результатами измерения координат цветности (рис. 9) и

цветовой температуры, которая примерно равна 20 000 К.

Из рис. 9 видно, что излучение красного кристалла светодиода лежит практически на линии чистых цветов локуса. Излучение синего кристалла светодиода немного не "дотягивает" до линии чистых цветов, а зелёного кристалла светодиода значительно удалено от линии чистых цветов. Это объясняется значительно большей шириной полосы зелёного излучения (см. рис. 8), чем у синего и красного. Соответственно, происходит "разбавление" зелёного излучения синим и красным.

Таким образом, такие МСП могут применяться в общественных зданиях, жилых помещениях и оздоровительных учреждениях, занимающихся световой терапией и цветотерапией. Прибор должен обеспечивать цветосветовые характеристики при использовании его для местного освещения, а так-

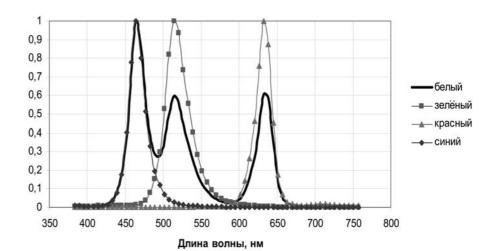


Рис. 8. Спектры излучения макетного образца светового прибора

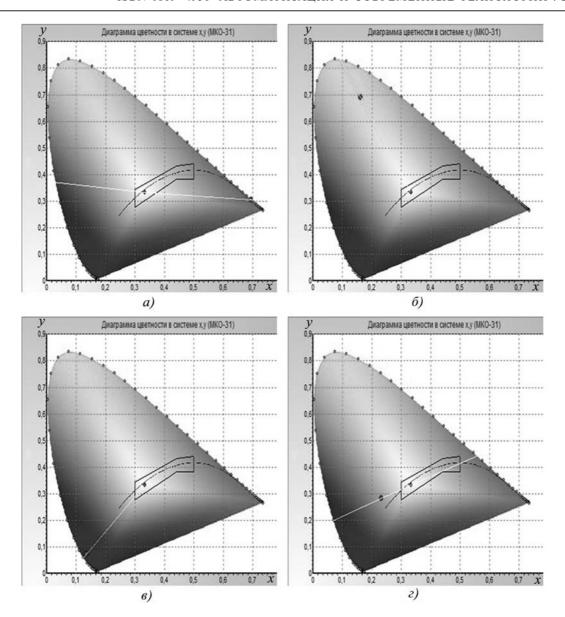


Рис. 9. Диаграммы цветности макетного образца светового прибора: a — красный;  $\delta$  — зелёный;  $\delta$  — синий;  $\epsilon$  — белый

же отдельных локальных зон (зелёный уголок, аквариумы, выращивание рассады и др.).

#### Библиографические ссылки

- 1. **Кларк Н.Г.** Свет и здоровье // Светотехника. 1999. № 5. С. 37—38.
- 2. **Гируцкая Е.** Мир полон радуги // Здоровье. 1999. № 5. С. 43—44.
- 3. **Кореневский С.** Магия украшений // Альянс. 1998. № 8. С. 54—57.
- 4. **Величко С.** Цвет хорошего настроения // Здоровье. 1999. № 10. С. 32.
- 5. **О возможности** создания декоративного светильника с переменной цветностью / А.А. Ашрятов, А.Н. Салаев, М.В. Вдовин, А.С. Федоренко// Материалы 4-й науч. конф. молодых учёных Мордовского ун-та. Ч. 3. Саранск. 1999. С. 225—227.
- 6. Вдовин М.В. Исследование, расчёт и создание декоративных многофункциональных световых приборов с композиционными светотехническими материалами: дис. ... канд. техн. наук. Саранск, 2000. 167 с.
- 7. **Мешков В.В., Матвеев А.Б.** Основы светотехники: учеб. пособие для вузов. В 2-х ч. Ч. 2. Физиологическая оптика и колориметрия. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1989. 432 с.

УДК 519.248:681.51

## **В.Н. Клячкин,** д-р техн. наук, проф., **Ю.А. Кравцов** (Ульяновский государственный технический университет) v kl@mail.ru

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТАТИСТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА НА ОСНОВЕ КАРТЫ ХОТЕЛЛИНГА С ПРЕДУПРЕЖДАЮЩЕЙ ГРАНИЦЕЙ

Основным инструментом статистического контроля многопараметрического технологического процесса является карта Хотеллинга. Эффективность контроля характеризуется чувствительностью карты к возможным нарушениям процесса. Для повышения эффективности контроля процесса предложено применение предупреждающей границы в карте Хотеллинга с различными критериями диагностики нарушений.

**Ключевые слова:** статистический контроль, многопараметрический технологический процесс, контрольная карта Хотеллинга, предупреждающая граница.

The Hotelling's card represents the basic instrument for statistical control of the polivalent technological process. Control efficiency is characterized by the card sensitivity to possible process violations. For process control efficiency increase application of warning border in the Hotelling's card with various criteria of the violations diagnostics is proposed.

**Key words:** statistical control, multiple parameter technological process, control Hotelling's card, warning border.

Для проведения статистического контроля многопараметрического технологического процесса используются карты Шухарта (для контроля независимых параметров) и карты Хотеллинга (при оценке стабильности процесса по множеству коррелированных параметров) [1]. В качестве критерия эффективности контроля чаще используется средняя длина серий: количество выборок от момента нарушения процесса до момента обнаружения этого нарушения должно быть минимальным.

Эффективность контрольных карт может быть повышена при использовании на карте предупреждающей границы. Для одномерных карт средних значений используется стандарт [2], предусматривающий возможность применения предупреждающей границы в трёх вариантах принятия решения: процесс считается нестабильным, если в зоне между предупреждающей и контрольной границами находятся две, три или четыре точки подряд.

Аналогичный подход возможен и при многомерном контроле для карт Хотеллинга [3].

Основные соотношения для построения карты Хотеллинга. Предположим, что по результатам предварительного анализа исследуемого процесса получена обучающая выборка размерности n m строк (n — объём мгновенной выборки, m — количество выборок, используемых для анализа процесса) и p столбцов (p — количество контролируе-

мых параметров). Применение контрольной карты Хотеллинга предполагает расчёт для каждой t-й мгновенной выборки (t=1,...,m) статистики:

$$T_t^2 = n (\overline{X}_t - \mu_0)^T S^{-1} (\overline{X}_t - \mu_0),$$
 (1)

где  $\overline{X}_t$  — вектор средних в мгновенных выборках;  $\overline{X}_t = (\overline{x}_{t1}, \dots, \overline{x}_{tp})^T$ ;  $\overline{x}_{tj}$  — среднее значение в t-й мгновенной выборке по j-му показателю ( $j=1,\dots,p$ );  $\mu_0$  — вектор общих средних;  $\mu_0 = (\mu_1,\dots,\mu_p)^T$ .

В свою очередь

$$\mu_{j} = \frac{1}{mn} \sum_{t=1}^{m} \sum_{i=1}^{n} x_{ijt}, \qquad (2)$$

где S — оценка ковариационной матрицы.

Компоненты ковариационной матрицы, определяющие рассеяние показателей качества и степень тесноты их связи, определяются по формуле

$$s_{jk} = \frac{1}{m(n-1)} \sum_{t=1}^{m} \sum_{i=1}^{n} (x_{ijt} - \mu_j) (x_{ijt} - \mu_k),$$
  

$$j, k = 1, ..., p.$$
(3)

При нормальном ходе технологического процесса должно выполняться условие  $T_t^2 < UCL = T_{\rm kp}^2$ , (UCL — upper control limit, верхняя контрольная граница), где  $UCL = T_{\rm kp}^2$  определяет положение границы критической области. Если ковариационная

матрица известна, то статистика Хотеллинга (1) имеет хи-квадрат-распределение. В этом случае положение контрольной границы на заданном уровне значимости определяется по таблицам квантилей этого распределения:  $T_{\rm kp}^2 = \chi_{1-\alpha}^2(p)$ .

Эффективность карты Хотеллинга, как уже отмечалось, характеризуется её чувствительностью к возможным нарушениям процесса. Основной вид нарушения процесса состоит в смещении его среднего уровня и характеризуется параметром нецентральности  $\lambda$ . Вероятность остановки процесса — это вероятность того, что статистика  $T^2$  превысит критическое значение  $T_{\text{kd}}^2$ :

$$P(\lambda) = P(T^2 \ge T_{KD}^2) = 1 - F(T_{KD}^2),$$
 (4)

где F(x) — функция нецентрального хи-квадрат-распределения.

Среднюю длину серий карты Хотеллинга можно определить по формуле

$$L(\lambda) = \frac{1}{P(\lambda)} = \frac{1}{T_{\text{kp}}^2},$$

$$1 - \int_{0}^{T_{\text{kp}}} f(t) dt$$
(5)

$$f(t) = t^{(p-2)/2} \exp(-(t+\lambda^2)/2) \times \sum_{r=0}^{\infty} [\lambda^{2r} t^r \Gamma(r+1/2) / \Gamma(r+p/2) (2r)!] / \Gamma(1/2) 2^{p/2},$$
(6)

где f(t) — плотность нецентрального хи-квадрат-распределения.

**Применение предупреждающей границы.** В карте Хотеллинга с предупреждающей границей, кроме контрольной границы UCL (рис. 1), вводится дополнительно предупреждающая граница UWL. При этом область возможных значений контролируемой статистики разбивается на три непересекающихся подмножества: при  $T_t^2 < UWL$  — область A, в кото-

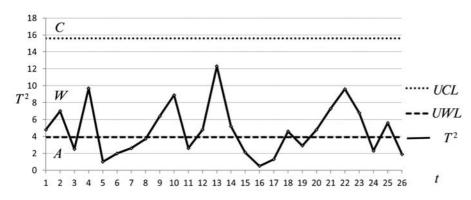


Рис. 1. Карта Хотеллинга с предупреждающей границей: попадание четырёх точек подряд (с 20-й по 23-ю) в зону W свидетельствует о нарушении процесса

рой процесс статистически управляем, при  $UWL \leq T_t^2 < UCL$  — область W, в которой процесс находится в "переходном" состоянии (в зависимости от того, как определяется положение предупреждающей границы, нахождение k точек подряд в этой области может свидетельствовать о нарушении процесса), а при  $T_t^2 \geq UCL$  — область C, в которой нарушается процесс.

Определим положение контрольной UCL и предупреждающей границ UWL таким образом, чтобы попадание k точек подряд (k=2,3,4) в область W свидетельствовало о наличии заранее заданного опасного смещения среднего уровня технологического процесса. Вариант при k=2 рассмотрен ранее [4].

Если смещения нет, то  $\lambda=0$ , а средняя длина серий L(0) должна соответствовать заданному уровню значимости и быть достаточно большой величиной. При наличии смещения заданного уровня средняя длина серий  $L(\lambda)$  определяет скорость реагирования карты на нарушение процесса и должна быть по возможности достаточно малой. При этом сигнал о необходимости регулировки процесса должен подаваться в одном из двух случа-

ев: попадание контролируемой статистики в область C или последовательное попадание k точек подряд в область W.

Рассматривая процесс контроля как поглощающую цепь Маркова [5], получим зависимость для расчёта средней длины серий карты Хотеллинга с предупреждающей границей:

$$U(\lambda) = \frac{1 - p_W^k}{1 - p_A - p_W + p_A p_W^k},$$
 (7)

где  $p_A$  — вероятность попадания статистики Хотеллинга в область A нормального хода процесса; F(x), как и в выражении (4) — функция нецентрального хи-квадрат-распределения, плотность которого f(x) определяется по формуле (6).

В свою очередь

$$p_A = P(T_t^2 < UWL) = F(UWL)$$
. (8)

Вероятность  $p_W$  попадания статистики Хотеллинга в переходную область W определяется по формуле

$$p_{W} = P(UWL < T_{t}^{2} < UCL) =$$

$$= F(UCL) - F(UWL) =$$

$$= \int_{UCL}^{UCL} f(x) dx.$$
(9)

Расчёт положения контрольной и предупреждающей границ карты.

Число контролируемых параметров <i>р</i>	Число точек между предупреждающей и контрольной границами $k$	Положение контрольной границы <i>UCL</i>	Положение предупреж- дающей границы <i>UWL</i>
2	2	12,39	5,70
	3	13,29	3,60
	4	14,10	2,55
3	2	14,89	7,44
	3	15,35	5,12
	4	15,60	3,87
5	2	19,48	10,52
	3	20,79	7,70
	4	21,19	7,64
10	2	28,40	17,61
	3	28,97	13,94
	4	30,08	12,08

#### Положение границ карты Хотеллинга с предупреждающей границей

Значения UCL и UWL выберем такими, чтобы обеспечить заданный уровень значимости при отсутствии смещения ( $\lambda=0$ ), а также минимизировать среднюю длину серий L в соответствии с формулами (7)—(9). Эта оптимизационная задача имеет вид:

$$L(UCL, UWL, p, \lambda, k) \rightarrow \min(UCL, UWL);$$
  
 $L(UCL, UWL, p, 0, k) = \frac{1}{\alpha}.$ 

Результаты численного решения задачи приведены в таблице для наиболее распространённого при многомерном контроле уровня значимости  $\alpha=0,005$  при двух, трёх, пяти и десяти контролируемых параметрах. Для сравнения здесь же представлены и данные из статьи [4] для k=2, когда нарушение стабильности процесса диагностируется по наличию двух точек подряд, расположенных между предупреждающей и контрольной границами.

Оценка эффективности применения предупреждающей границы. На рис. 2 приведены кривые средней длины серий в зависимости от параметра нецентральности  $\lambda$  для случая контроля пяти параметров технологического процесса, построенные для обычной карты Хотеллинга по формулам (5) и (6), а для карт с предупреждающей границей по формулам (7)—(9) на уровне значимости  $\alpha = 0,005$  (при этом  $L(0) = 1/\alpha = 200$ ).

Из этих кривых видно, что количество выборок, необходимых для обнаружения нарушения процесса в диапазоне  $\lambda=1...3$ , наиболее важном для практики, при использовании карты с предупреждающей границей существенно ниже, чем при

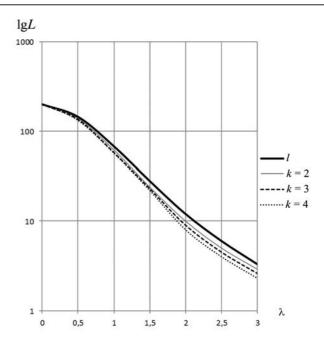


Рис. 2. Графики средней длины серий для пяти контролируемых параметров (p=5) для обычной карты Хотеллинга 1 и карты с предупреждающей границей при k=2,3,4

применении обычной карты Хотеллинга: при этом карта с k=4 на 10...20 % чувствительнее карты при k=3, а последняя примерно на столько же чувствительнее карты при k=2.

Заметим, что полученные результаты могут быть использованы не только при построении карты Хотеллинга для средних значений, но и для карт на главных компонентах, а также карт на регрессионных остатках [6].

Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, соглашение 14.В37.21.0672 (федеральная целевая программа "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России").

#### Библиографические ссылки

- 1. **Клячкин В.Н.** Модели и методы статистического контроля многопараметрического технологического процесса. М.: Физматлит, 2011. 196 с.
- 2. **ГОСТ Р 50779.41–96 (ИСО 7873–93).** Статистические методы. Контрольные карты для арифметического среднего с предупреждающими границами.
- 3. Клячкин В.Н., Кравцов Ю.А. Методы повышения эффективности многомерного статистического контроля процесса // Системные проблемы надёжности, качества, математического моделирования и инфотелекоммуникационных технологий в инновационных проектах: труды Междунар. конф. и российской науч. шк. Ч. 2. М.: НИИ предельных технологий, 2012. С. 76–77.
- 4. **Клячкин В.Н.** Многомерный статистический контроль с использованием карты Хотеллинга // Автоматизация и современные технологии. 2003. № 6. С. 19—23.
- 5. **Кемени Д., Снелл Д.** Конечные цепи Маркова. М.: Наука, 1970. 271 с.
- 6. **Клячкин В.Н., Михеев А.Ю.** Идентификация режима статистического контроля многопараметрического технологического процесса // Автоматизация и современные технологии. 2011. № 12. С. 27–31.

УДК 532.529.6

**Б.Я. Бендерский,** д-р техн. наук, проф., **К.А. Копылов** (Ижевский государственный университет им. М.Т. Калашникова) kopset@gmail.com

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ С ПРУТКОМ В СПРЕЙЕРНОЙ КАМЕРЕ

Проведено моделирование гидродинамических процессов взаимодействия теплоносителя с прутком в спрейерной камере. Исследовано влияние расположения, количества форсунок и скорости впрыска теплоносителя на характер обтекания поверхности. Для количественной оценки результатов введён коэффициент обтекания. Выявлено, что максимальный коэффициент обтекания, равный единице ( $K_{\rm on}=1$ ), обеспечивается режимом впрыска теплоносителя со скоростью v=3,25 м/с через три форсунки, расположенные под углом  $\psi=70^\circ$ .

**Ключевые слова:** гидродинамика, обтекание поверхности, пруток, пружина, спрейерная камера, коэффициент обтекания.

Hydrodynamic processes modeling of the heat-transfer agent and the rod interaction in the sprayer chamber is fulfilled. The effect of the location, nozzles number and heat-transfer agent injection velocity on the surface flow character is researched. For results quantitative valuation flow rate is introduced. It is revealed that the maximum flow coefficient equal to unit  $(K_{fl} = 1)$  is provided with the heat-transfer agent injection mode with speed v = 3,25 m/s through three nozzles located at an angle  $\psi = 70^{\circ}$ .

Key words: hydrodynamics, flow over the surface, rod, spring, chamber of spray, the flow coefficient.

Введение. Высокий уровень физико-механических свойств сталей, применяемых в машиностроении, характеризуется формирующейся в них структурой. Одним из наиболее эффективных направлений улучшения характеристик является разработка и постоянное совершенствование режимов их термической обработки. Это позволяет получать изделия с требуемыми характеристиками и прогнозировать изменение свойств деталей при изготовлении и эксплуатации.

Из работ [1—5] известно, что тепловые явления, возникающие в процессе обработки, влияют на изменение механических характеристик материала изделия. В работе [6] показано, что высокотемпературная механическая обработка (ВТМО) повышает усталостную прочность пружин и их сопротивление малым пластическим деформациям в условиях кратковременных и длительных нагружений.

Особенность BTMO состоит в том, чтобы после горячей деформации и закалки пружины получить в материале пересыщенный твёрдый раствор с нерекристаллизованной структурой, т. е. с повышенной плотностью несовершенств (границ субзёрен, свободных дислокаций). В результате старения сплава с такой структурой возникают повышенные

механические свойства. В большинстве случаев оптимальной является полигонизованная матрица закалённого сплава [3].

Физическая постановка задачи. Рассматривается процесс изготовления пружины, где совмещение операций горячей деформации и нагрева под закалку возможно, если нагретый пруток подвергается навивке, немедленной закалке и последующему отпуску.

Пруток, нагретый в индукторе токами высокой частоты до температуры порядка 1000 °С, навивается на оправку (рис. 1). Далее конструкция поступает в спрейерную камеру, где охлаждается теплоносителем (СОЖ). В качестве средства охлаждения можно использовать щелочной раствор, воздух, воду и т. д.

Равномерная структура материала готового изделия обеспечивается отводом тепла от прутка при полном контакте теплоносителя с охлаждаемой поверхностью.

В проведённом параметрическом исследовании гидродинамических задач рассмотрено влияние геометрии спрейерной камеры и параметров впрыска СОЖ (скорость впрыска, расположение и количество форсунок), позволяющих равномерно подводить теплоноситель ко всей охлаждаемой по-

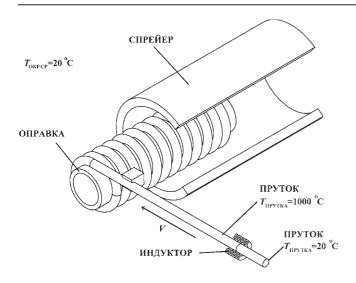


Рис. 1. Схема технологического процесса

верхности. Схема спрейерной камеры представлена на рис. 2.

Ввиду нестационарности и пространственности в постановке рассматриваемых гидродинамических задач используется ряд допущений:

в качестве теплоносителя используется вода;

в момент времени  $\tau = 0$  пространство спрейерной камеры заполнено воздухом;

во время процесса охлаждения пространство спрейерной камеры рассматривается как двухфазная двухкомпонентная изотермическая среда (воздух — неразрывная среда и вода — дисперсная среда с диаметром частицы 10<sup>-6</sup> м);

принято условие, что контакт теплоносителя с поверхностью является полным, если доля воды  $S_{WATER} \geq 0,9$  (вероятность появление пузырька воздуха в области не превышает 10~%).

Двумерная задача взаимодействия теплоносителя с прутком. Математическая постановка. При моделировании гидродинамического процесса взаимодействия струи из форсунки с поверхностью прутка решается система уравнений (1)—(4), записанных в общем виде [7]. Уравнение неразрывности для *i*-й составляющей в дифференциальной форме запишется в виде

$$\frac{\partial \rho_i}{\partial t} + \nabla (\rho_i \ v_i) = \sum_{i=1}^N J_{ji}, \qquad (1)$$

где  $\rho_i$  — плотность i-го компонента смеси;  $v_i$  — скорость i-го компонента смеси;  $J_{ji}$  — интенсивность перехода массы из j-й в i-ю составляющую (или из i-й в j-ю, тогда  $J_{ji} < 0$ ) в единице объёма смеси в единицу времени; t — время.



Рис. 2. Схема спрейерной камеры

Уравнение неразрывности для смеси в целом имеет вид

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla (\rho v) = 0. \tag{2}$$

Уравнение, выражающее изменение импульса для i-й составляющей в дифференциальной форме, запишется в виде

$$\frac{\partial \rho_i \, v_i}{\partial t} + \nabla^k \, \rho_i \, v_i u_i^k = \nabla^k \, \pi_i^k + \rho_i \, g_i + \sum_{i=1}^N P_{ji}, \qquad (3)$$

где  $\pi_i^k$  — тензор поверхностных сил i-го компонента смеси;  $\rho_i g_i$  — массовые силы i-го компонента смеси;  $P_{ji}$ — интенсивность обмена импульсом между j-й в i-й составляющими.

Уравнение изменения импульса для смеси имеет вид

$$\rho \frac{dv}{dt} = \nabla^k \pi^k + \rho g + \sum_{j=1}^N \nabla^k \left( \rho_i \omega_i^k w_i \right), \qquad (4)$$

где  $\pi^k$  — тензор поверхностных сил смеси; g — ускорение свободного падения;  $w_i$  — диффузионная скорость составляющей относительно центра масс смеси.

*Начальные и граничные условия*. Схема расчётной области спрейерной камеры представлена на рис. 3.

В начальный момент времени ( $\tau=0$ ) внутреннее пространство спрейерной камеры заполнено воздухом. При этом принимается, что объёмная доля воздуха  $S_{AIR~0}(\tau=0)=1$ , доля воды  $S_{WATER~0}(\tau=0)=0$ , давление в спрейерной камере  $P_{spec~0}^{AIR}=10^5$  Па.

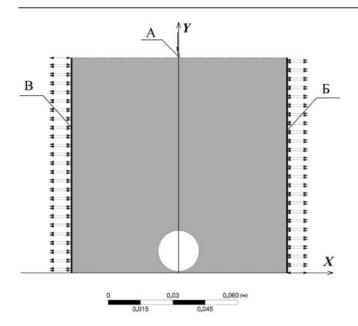


Рис. 3. Схема расчётной области

Нормальная  $v_n$  и касательная  $v_{\tau}$  составляющие скорости на поверхности прутка и оправки равны нулю, т. е.  $v_n = 0$  м/с,  $v_{\tau} = 0$  м/с.

На границе "А" задаётся нормальная составляющая скорости впрыска теплоносителя:

$$v_A^{INPUT} = [0,5; 9,74] \text{ m/c}.$$

Скорость подачи СОЖ менее 0.5 м/с не обеспечивает охлаждение прутка за время нахождения в спрейере ( $\tau_{max} = 5$  с) [8].

На левой и правой границах сред "Б" и "В" задаются "мягкие" граничные условия.

На границе раздела сред выполняется условие динамического равновесия:

$$(\tau_1 - \tau_2) e = (p_1 - p_2 + \sigma K)e;$$

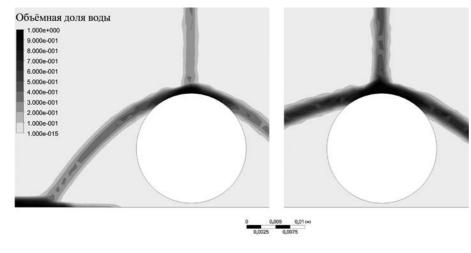


Рис. 4. Объёмная доля воды  $S_{WATER}$  в пространстве спрейерной камеры при скорости впрыска жидкости v=1 м/с (слева); v=9,7642 м/с (справа)

$$v_{n1} = v_{n2} = 0$$
;

$$v_{\tau 1} = v_{\tau 2} ,$$

где  $\tau_i$  — тензор вязких напряжений; e — единичный нормальный вектор;  $p_i$  — давление i-го компонента смеси; K — кривизна поверхности взаимодействия фаз;  $\sigma$  — коэффициент поверхностного натяжения [9].

Оценка числа Рейнольдса. В качестве характерного размера принят диаметр отверстия форсунки (1 мм). В принятом интервале скоростей впрыска теплоносителя от v = 0.5 до 9.74 м/с число Рейнольдса изменяется от Re = 0.494E + 3 до Re = 0.962E + 4 (что характерно для ламинарного и переходного режимов течения).

Обсуждение результатов. Результаты решения задачи взаимодействия теплоносителя с прутком при впрыске через одну форсунку представлены на рис. 4. Показана объёмная доля воды в расчётной области в момент времени  $\tau = 5$  с. Для количественной оценки вводится безразмерный коэффициент контакта теплоносителя с поверхностью охлаждаемого прутка:

$$K_{\rm off} = \alpha_{\rm KOHT} / 360$$
,

где  $\alpha_{\text{конт}}$  — угол контакта (угол, соответствующий контакту теплоносителя с поверхностью прутка;  $S_{WATER}\!\ge\!0.9$  ).

Графическая зависимость коэффициента  $K_{\text{оп}}$  от скорости впрыска теплоносителя v через одну форсунку представлена на рис. 5.

Показано, что при изменении скорости впрыска v = 0.5...15,0 м/с угол обтекания поверхности

теплоносителем снижается:  $\alpha_{\text{конт}} = 129,5...92,26^{\circ}$ . Соответственно, значения  $K_{\text{оп}} = 0,36...0,27$ . При  $K_{\text{оп}} < 1$  рассмотрены случаи подвода теплоносителя через две форсунки. Расстояние варьируется между форсунками, и достигнуто максимальное значение  $K_{\text{оп}} = 0,76$ .

Результаты расчётов показывают, что обеспечить полный контакт теплоносителя с охлаждаемой поверхностью при впрыске через одну и две форсунки с выбранной геометрией спрейерной камеры невозможно, поэтому из-

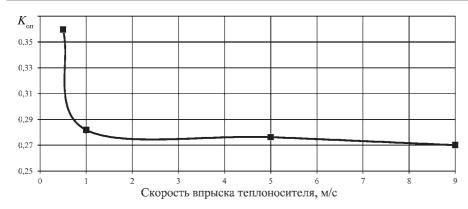


Рис. 5. Зависимость коэффициента  $K_{on}$  от скорости впрыска  $\nu$  через одну форсунку

менена конструктивная схема. На внутренней поверхности спрейерной камеры выполняются выемки в виде дуг окружностей. Ввиду симметрии расчётной области рассматривается верхняя часть спрейерной камеры.

Проведено моделирование процесса впрыска через две и три форсунки. При расчётах варьировались угол между форсунками  $\psi$  и радиус выемки внутренней поверхности спрейерной камеры R. Результат оценивался по значению  $K_{\rm on}$ . Проведены численные расчёты для трёх значений радиусов внутренней поверхности спрейерной камеры (R=55; 70; 100 мм). Отметим, что при R=55 мм возможно расположить форсунки под углом между осями  $\psi \leq 70^{\circ}$  (рис. 6), в то время как для R=70 и 100 мм значение  $\psi \leq 60^{\circ}$ .

На рис. 7 представлено изменение давления в сечениях A—A (нижний график рис. 7) и Б—Б (правый график рис. 7).

Из результатов расчёта следует, что при эжектировании воздуха из области между форсунками "С",

в ней понижается давление, что приводит к сближению струй теплоносителя к оси симметрии расчётной области и снижению  $K_{\rm on}$ .

Результаты моделирования процесса впрыска через две и три форсунки приведены на рис. 8 и 9.

Из рис. 8 видно, что максимальная величина коэффициента обтекания поверхности  $K_{\text{оп}} = 0,97$  получена при расположении двух форсунок под углом  $\psi = 60^{\circ}$  на внутренней поверхности спрейера с радиусом выемки R = 100 мм (кривая  $(\theta)$ ).

Проведённая оценка числа Фруда показывает, что влияние сил тяжести на движение теплоносителя (размер диаметра частицы дисперсной фазы воды принят  $d_{WAT}=10^{-6}\,\mathrm{M})$  незначительно ( $Fr\sim10^{-6}$ ). В интервале углов  $\psi=20...30^\circ$  отмечено снижение  $K_{\mathrm{on}}$ , так как увеличивается перепад давления ( $\Delta P=105\,\Pi\mathrm{a}$ ). Дальнейшее увеличение угла  $\psi=30...60^\circ$  вызвано уменьшением перепада давления ( $\Delta P=105...74\,\Pi\mathrm{a}$ ). Неэквидистантный характер кривой (a) выражен локальным минимумом при

 $\psi = 60^{\circ}$  и R = 55 мм, который вызван повышением  $\Delta P = 163$  Па.

Установлено, что при впрыске через три форсунки ( $\psi = 70^{\circ}$ , R = 55 мм)  $K_{\rm on} = 1$  (см. рис. 9). В интервале углов  $\psi = 20...30^{\circ}$  отмечено снижение  $K_{\rm on}$ , как следствие уменьшения перепада давления  $\Delta P = 96$  (a), 92 (б), 81 Па (в).

Отмечено отличие характеров кривых (a) на рис. 8 и 9. Подача теплоносителя через три форсунки при  $\psi = 60...70^{\circ}$  исключает повышенное значение перепада давления области "С" спрейерной камеры (см. рис. 7) в отличие от впрыска теплоносителя через две форсунки  $\Delta P = 163$  Па. Полученное  $\Delta P = 95$  Па обеспечивает дальнейшее повышение показателя  $K_{\rm on}$  относительно  $\psi > 60^{\circ}$ .

На рис. 10 представлены результаты влияния скорости впрыска на коэффициент обтекания через соответствующее количество форсунок.

Из рис. 10 следует, что  $K_{\rm on}=1$  обеспечивается при скорости впрыска  $v\geq 3,25$  м/с через три форсунки,  $\psi=70^\circ,\ R=55$  мм.

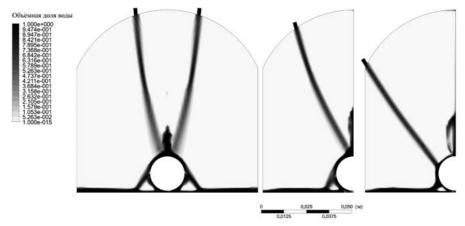


Рис. 6. Объёмная доля воды в расчётной области спрейерной камеры при впрыске теплоносителя через форсунки, расположенные под углом  $\psi=20^\circ$  (слева),  $40^\circ$  (по центру),  $70^\circ$  (справа), R=55 мм

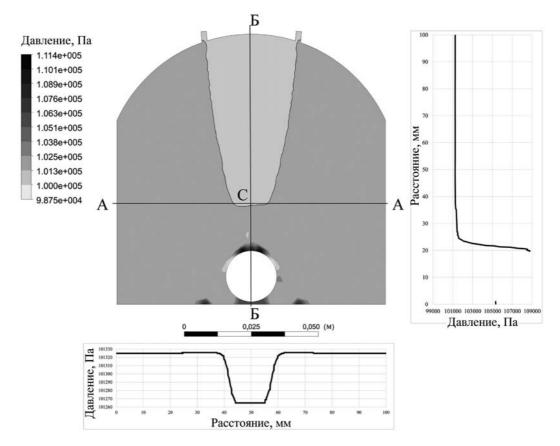


Рис. 7. Распределение давления в расчётной области спрейерной камеры при впрыске теплоносителя через две форсунки, расположенные под углом  $\psi = 20^{\circ}, R = 55$  мм

**Выводы.** Разработана методика расчёта гидродинамических процессов взаимодействия теплоносителя с прутком в спрейерной камере. Параметрическое исследование влияния конструктивных элементов спрейера на гидродинамику процесса осуществлялось с использованием про-

граммного комплекса ANSYS CFX. На основании анализа результатов сделаны следующие выводы:

установлено, что при подводе теплоносителя к поверхности прутка через одну форсунку и скорости впрыска v=[0,5...9,74] м/с величина  $K_{\rm on}\approx 0,36$ . При v>1 м/с коэффициент  $K_{\rm on}\approx 0,28={\rm const};$ 

обосновано влияние конструктивных параметров оборудования на процесс взаимодействия теплоносителя с поверхностью прутка. Максимальная величина коэффициента обтекания поверхности прутка для двух форсунок  $K_{\text{оп}} = 0.97 \; (\psi = 60^{\circ}, \; R = 100 \; \text{мм}),$  для трёх —  $K_{\text{оп}} = 1 \; (\psi = 70^{\circ}, \; R = 55 \; \text{мм});$ 

выявлено влияние скорости впрыска на коэффициент обтекания поверхности прутка. При подводе теплоносителя через одну форсунку максимальное значение  $K_{\rm on}=0.36~(v=0.5~{\rm m/c}),$  две форсунки  $-K_{\rm on}=0.98~(v=9~{\rm m/c}),$  три форсунки  $K_{\rm on}=1~(v=3.25~{\rm m/c});$ 

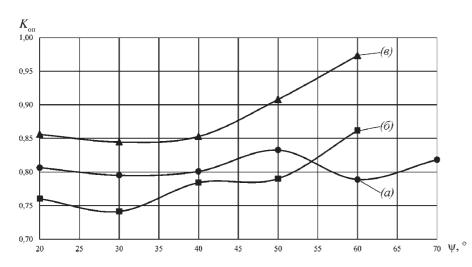
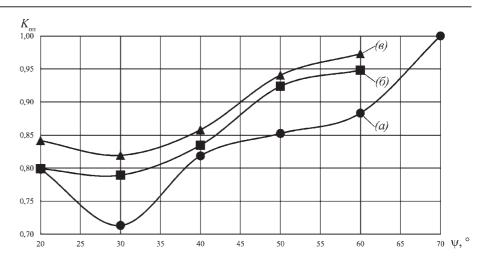


Рис. 8. Коэффициент обтекания поверхности  $K_{\text{оп}}$  при впрыске теплоносителя через две форсунки под соответствующим  $\psi$ , расположенных на поверхности спрейера с радиусом выемки R=55 мм (a),~R=70 мм  $(\emph{б}),~R=100$  мм  $(\emph{6})$ 

Рис. 9. Коэффициент обтекания поверхности  $K_{\text{оп}}$  при впрыске теплоносителя через три форсунки под соответствующим углом  $\psi$ , расположенных на поверхности спрейера с радиусом выемки R=55 мм (a), R=70 мм (6), R=100 мм (6)



показано, что использование *CAE* систем приводит к более детальному описанию процессов гидродинами-ки и теплообмена.

#### Библиографические ссылки

- 1. **Бернштейн М.Л.** Термомеханическая обработка металлов и сплавов. Т. 1–2. М.: Металлургия, 1968. 570 с.
- 2. **Кристиан Дж.** Теория превращений в металлах и сплавах. Ч. 1. Термодинамика и общая кинетика. М.: Мир, 1978. 808 с.
- 3. **Новиков И.И.** Теория термической обработки металлов. М.: Металлургия, 1986. 480 с.
- 4. Влияние высокотемпературной термомеханической обработки на свойства жаропрочности сплава ХН77ТЮР / В.Д. Садовский, Е.Н. Соколков, С.И. Петрова и др. // Физика металлов и металловедение. 1964. Т. 17. Вып. 6. С. 845–852.
- 5. Смирнов М.А., Петрова С.Н., Смирнов Л.В. Высокотемпературная термомеханическая обработка и хрупкость сталей и сплавов. М.: Наука, 1991. 167с.
- 6. Редькин Л.М., Шаврин О.И., Потапов А.С. Повышение долговечности жёстких пружин высокотемпературной термомеханической обработкой: сб. науч. тр. "Конструирование и технология изготовления пружин". Устинов: ИМИ, 1986. С. 83—90.
- 7. **Волков К.Н., Емельянов В.Н.** Течение газа с частицами. М.: Физматлит, 2008. 598 с.

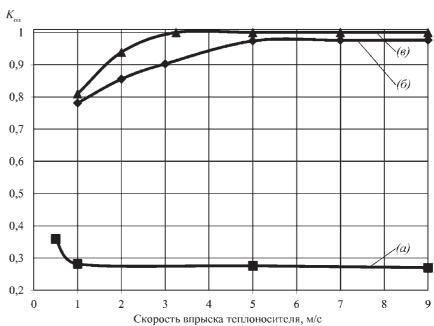


Рис. 10. Зависимость коэффициента обтекания поверхности прутка  $K_{on}$ , омываемой теплоносителем от скорости впрыска  $\nu$  через одну форсунку (a), две форсунки (b), три форсунки (b)

- 8. **Бендерский Б.Я., Копылов К.А.** Моделирование процессов теплообмена при изготовлении пружин методом высокотемпературной термомеханической обработки (ВТМО) // Физическая химия и мезоскопия. 2011. № 1. С. 28–36.
- 9. **Тонков Л.Е.** Численное моделирование динамики капли вязкой жидкости методом функции уровня // Вестник Удмуртского государственного университета. 2010. № 3. С. 134—140.

### ВЫСТАВКИ И ПРЕЗЕНТАЦИИ



# ТЕХНОЛОГИЯ CISCO vPATH ПОДДЕРЖИВАЕТ ЛУЧШИЕ В СВОЁМ КЛАССЕ ОБЛАЧНЫЕ СЕТЕВЫЕ УСЛУГИ

Инновационная технология Cisco vPath, разработанная для виртуальных коммутаторов Cisco Nexus 1000V, поставляется на рынок уже два года. Она позволяет заказчикам беспрепятственно создавать многопользовательские многоконтейнерные ЦОДы, работающие на основе политик в среде со множеством гипервизоров. Заказчики всё чаще встраивают сетевые услуги в виртуализированные и облачные сети, чтобы удовлетворить требования регулирующих органов, укрепить информационную безопасность и повысить качество услуг. Поэтому мы видим в сетях всё больше виртуальных сетевых экранов, систем балансировки нагрузки, маршрутизаторов, средств оптимизации глобальных сетей и мониторинга. Технология Cisco vPath помогает заказчикам беспрепятственно устанавливать лучшие в своём классе сетевые услуги в центрах обработки данных и облаках. Что же делает технологию vPath уникальной для ИТ-отрасли?

Если сегодня заказчику придёт в голову мысль построить мультиарендную архитектуру, ему придётся настраивать множество разных сетевых сервисов и вручную согласовывать их для всевозможных сочетаний. Это позволит ему удовлетворить требования регулирующих органов, а также требования к информационной безопасности и качеству услуг, но при этом увеличатся сроки выделения прикладных ресурсов и усложнится поддержка мобильности приложений. Кроме того, большинству приложений придётся пользоваться одними и теми же "сшитыми вручную" сетевыми сервисами.

Технология Cisco Nexus 1000V vPath делает ЦОД заказчика очень гибким, позволяя менять цепочки услуг с помощью политик на уровне приложения или арендатора. Заказчики могут определять политики и выбирать на уровнях L3-L7 виртуальные услуги, необходимые приложению в момент создания виртуальной машины или нового арендатора. Созданные политики тиражируются в динамическом режиме и исполняются на распре-

делённом виртуальном коммутаторе Nexus 1000V. Если виртуальная машина переносится в другое место, сетевая политика Nexus 1000V переносится вместе с ней, и цепочка услуг остаётся неизменной.

vPath управляет потоками пакетов для всех услуг, составляющих цепочку, привязанную к той или иной политике. После инспекции первых пакетов потока на каждом сервисном узле vPath предлагает местному хосту снизить нагрузку, связанную с данной услугой, разрешив прямую передачу всех последующих пакетов без инспекции на сервисных узлах. В результате vPath повышает производительность данной услуги и позволяет ей функционировать в распределённом режиме.

vPath позволяет заказчикам использовать лучшие в своём классе облачные сетевые услуги от компании Cisco, такие как виртуальный шлюз информационной безопасности, ASA 1000V и virtual WAAS, а также лучшие решения партнёров Cisco по экосистеме — Citrix NetScaler 1000V и Imperva Secure Sphere Web Application Firewall. Архитектура с технологией vPath совместима со всеми популярными гипервайзерами, включая VMware vSphere, Microsoft Hyper-V, KVM и Xen.

Обычно Сіѕсо разрабатывает новаторские решения, чтобы помочь своим заказчикам преодолеть те или иные конкретные информационно-технологические проблемы. Если решение оказывается удачным, компания предлагает свою технологию (такую как VXLAN) стандартообразующим организациям для расширения совместимости и свободы выбора. Недавно формат заголовка vPath был передан организации IETF в качестве проекта стандарта заголовка для сетевых услуг Network Services Header. В будущем заказчики смогут пользоваться динамическим связыванием услуг на основе политик с помощью виртуальных и аппаратных решений, поддерживающих такой стандарт.

## ОБЗОР ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ПЕЧАТИ



#### ПО СТРАНИЦАМ ЖУРНАЛОВ

Расчёт скоростных потерь в шинах автомобиля в условиях эксплуатации. *Автомобильная промышленность*. 2012. № 9.

Рассмотрена методика расчёта скоростных потерь в шинах автомобиля, учитывающая характеристики проскальзывания.

Особенности конструкции бронированных автомобилей. Автомобильная промышленность. 2012. N = 9.

Рассмотрены способы изготовления бронированных автомобилей, классификация бронирования и его влияние на массу автомобиля.

Приближённый метод анализа осесимметричного выдавливания и волочения через матрицу произвольной формы. Вестник машиностроения. 2012.  $\mathbb{N}_2$  8.

Выполнен анализ методом Орована осесимметричного выдавливания и волочения через матрицу произвольной формы. Для определения напряжённого состояния в представительном элементе решена краевая задача теории пластичности.

Совершенствование обработки отверстий небольшого диаметра. Вестник машиностроения. 2012. N = 9.

Рассмотрен наиболее распространённый способ обработки отверстий спиральными свёрлами. Показаны пути улучшения конструкций свёрл. Даны рекомендации по интенсификации сверления отверстий небольшого диаметра.

Модификация транспортного средства для перевозки длинномерных грузов большой массы. *Грузовик*. 2012. № 8.

Рассмотрена задача прочностного анализа рамы транспортного средства для перевозки длинномерных грузов. На основе построенной математической модели определены значения напряжений и прогибов в раме агрегата. Предложены меры по модификации конструкции рамы.

Методы совершенствования электропитания системы пуска автомобильных двигателей при низких температурах. Грузовик. 2012. № 9.

Рассмотрены методы улучшения характеристик систем пуска двигателей автомобильной техники с использованием специализированных схем электропитания с ёмкостными накопителями энергии, обеспечивающих степень заряженности и продле-

ние срока службы аккумуляторных батарей с учётом температурных режимов.

Повышение износостойкости деталей гидроприводов прессового оборудования. *Заготовительные* производства в машиностроении. 2012. № 8.

Изложен подход к проблеме увеличения износостойкости гидроагрегатов прессового оборудования. Приведены данные исследования износостойкости стандартного хромового покрытия и покрытия, полученного по технологии гальваноконтактного осаждения.

**Новый способ резки непрерывно-литых заготовок.** Заготовительные производства в машиностроении. 2012. № 8.

Приведены основные результаты лабораторных, компьютерных и промышленных исследований процесса резки трубных заготовок, на основе которых разработан новый способ резки, обеспечивающий одновременное профилирование концов и разделение заготовок. Применение нового способа резки в линии трубопрокатного агрегата перед трёхвалковым обжимным станом позволяет улучшить условия нестационарных стадий обжатия и прошивки заготовок и повысить качество готовых труб.

Разработка эффективной технической схемы снижения газовой пористости в литье под давлением алюминиевых сплавов. Заготовительные производства в машиностроении. 2012. № 9.

Приведён обзор основных способов уменьшения газовой пористости в отливках литья под давлением: улучшение работы вентиляционной системы (использование игольчатых фильтров), вакуумирование, продувка полости формы инертными газами, "кислородный" процесс. Выявлены преимущества и недостатки этих методов. Выполнен анализ видов "кислородного" литья под давлением, целью которого являлось определение так называемых тормозящих факторов. По его результатам предложена эффективная техническая схема снижения газовой пористости в отливках литья под давлением, включающая продувку кислородом и смазывание полости формы одновременно.

Применение нанотехнологических методов для создания изделий микрооптики с функциональным

микрорельефом рабочей поверхности. Наноинжене-  $pus. 2012. \ No \ 8.$ 

Рассмотрены возможности изготовления дифракционных и голограммных оптических элементов с применением установки плазмохимического травления Caroline 15 PE. Показано, что максимальная глубина рельефа ДОЭ—ГОЭ соответствует максимальной селективности травления стекла относительно материала маски. Установлено, что при толщине хромовой маски 100 нм методом ПХТ достигается глубина микрорельефа до 1,4 мкм, что, в свою очередь, позволяет повысить дифракционную эффективность ДОЭ—ГОЭ. Показано, что относительная интенсивность света во втором порядке дифракции может составлять 30 %, что позволяет создавать новые изделия микрооптики.

Современные модель и способ автоматического управления автономным многократным мягким синтезом, ресинтезом функциональной топологии с жёсткими требованиями. Hаноинженерия. 2012. № 9.

Представлен новый научный взгляд на перспективу современного развития промышленной микроэлектроники с применением нанотехнологий будущего. Введена терминология многократного мягкого автономного синтеза и ресинтеза функциональной топологии (ММАСФТ). Даны представление перспективной модели многократного применения для систем с резервированием и перспективного способа автоматического управления для автономного многократного синтеза функциональной топологии с жёсткими требованиями для систем с резервированием.

**Наукоемкие технологии в области наноиндустрии в авиадвигателестроении.** *Наукоёмкие технологии в машиностроении.* 2012. № 8.

Рассмотрен вопрос реализации наукоёмких инженерных и образовательных технологий в области авиадвигателестроения. Описаны исследования, направленные на повышение эксплуатационных характеристик твёрдосплавного металлорежущего инструмента с износостойким покрытием, применяемого для обработки деталей ГТД.

Наукоёмкие электроэрозионные и электрохимические технологии в производстве современных авиационных ГТД. Наукоёмкие технологии в машиностроении. 2012. № 8.

Изложены особенности использования электроэрозионных и электрохимических методов обработки деталей авиационных двигателей.

Автоматизированный выбор металлорежущего инструмента для механической обработки заготовок

**деталей машин.** *Наукоёмкие технологии в машиностроении.* 2012. № 9.

Рассмотрены вопросы автоматизированного подбора режущего инструмента, инструментальных и кинематических стратегий обработки заготовок деталей машин.

Повышение износостойкости подшипниковых узлов трения. *Наукоёмкие технологии в машиностроении*. 2012. № 9.

Рассмотрены основные причины снижения долговечности подшипниковых узлов трения и способы повышения их износостойкости. Разработаны конструкции подшипников качения и подшипниковых узлов на основе создания магнитного контура и применения магнитной жидкости, исключающие утечку смазочного материала. Выполнены исследования влияния пластичного смазочного материала на трибологические свойства подшипников качения.

Предпосылки и перспективы роботизации внекорабельной деятельности.  $\Pi$ олёт. 2012. № 8.

Рассмотрены организационно-технологические предпосылки и перспективы интеграции робототехники в операциях внекорабельной деятельности (ВКД), взаимодействие космонавта и робота, техногенный и антропоморфный подходы к роботизации ВКД.

Совместное проектирование конструкции и системы стабилизации беспилотного летательного аппарата с учётом требований аэроупругой устойчивости. Полёт. 2012. № 8.

Рассмотрен подход к решению задачи совместного проектирования конструкции и системы стабилизации маневренного беспилотного летательного аппарата (БЛА) с учётом требований аэроупругой устойчивости с системой автоматического управления (САУ), описаны модели и методы, реализующие данный подход, приведён пример решения задачи совместного проектирования, а также даны рекомендации по обеспечению аэроупругой устойчивости маневренного БЛА с САУ.

Применение метода конечных элементов к расчёту несущей способности стрингерных панелей. Полёт. 2012. № 9.

Рассмотрены два возможных подхода к решению задачи расчёта несущей способности стрингерных панелей с использованием метода конечных элементов (МКЭ): расчёт критических усилий при бифуркационной постановке задачи и на основе решения полных нелинейных уравнений равновесия упругой системы. Показаны как преимущества, так

и недостатки этих подходов. Предложен упрощённый метод оценки общей устойчивости панели по МКЭ с учётом закритического деформирования общивки.

Разработка метода активного контроля вакуумных свойств диффузионных соединений. *Сборка в машиностроении*, приборостроении. 2012. № 8.

Разработан метод активного контроля формирования термовакуумных характеристик диффузионных соединений и электровакуумных материалов за счёт продувания через зону сварки потока газов из смеси гелия и водорода.

Автоматизация расчёта производственной технологичности крупногабаритных изделий машиностроения. Сборка в машиностроении, приборостроении. 2012. № 9.

Рассмотрены подходы к обеспечению производственной технологичности крупногабаритных изделий на примере технических средств заправки военной техники. Приведено описание компьютерной программы расчёта показателей производственной технологичности. Дан пример оценки трудоёмкости изготовления изделий на этапе подготовки производства.

Метод селективной сборки соединений деталей машин в условиях мелкосерийного производства. Сборка в машиностроении, приборостроении. 2012. N 9.

Рассмотрены вопросы обеспечения точности соединений деталей машин методом межгрупповой взаимозаменяемости. Метод позволяет проводить сборку соединений в условиях мелкосерийного производства при вероятности образования незавершённого производства, равной или близкой к нулю.

Эффективные упругие свойства дисперснонаполненных композитов на основе связующих с повышенным содержанием эпоксидных групп. Трение и смазка в машинах и механизмах. 2012. № 8.

Проведено численное моделирование эффективных упругих характеристик дисперсно-наполненных композитов на эпоксидной основе с повышенным содержанием эпоксидных групп (марка ЭПАФ и её модификация), опирающееся на обобщённое сингулярное приближение теории случайных полей. Рассмотрены трёхкомпонентные нетекстурированные композиты с двумя типами включений, выполняющими антифрикционную и упрочняющую роли. Исследовано влияние состава и концентрации изотропных компонентов на эффективные модули уп-

ругости (модули Юнга и коэффициенты Пуассона) композитных материалов.

Особенности износа твёрдосплавного режущего инструмента, прошедшего объёмное импульсное лазерное упрочнение. *Трение и смазка в машинах и механизмах.* 2012. № 8.

Приведены результаты исследований закономерностей изнашивания инструмента после объёмного импульсного лазерного упрочнения. Полученные результаты говорят о наличии многократной приработки инструмента в процессе изнашивания. Это способствует повышению износостойкости инструмента против абразивного изнашивания и хрупкого разрушения.

Метод редукции размерности для быстрого численного моделирования контактных свойств и силы трения между шероховатыми поверхностями. Трение и смазка в машинах и механизмах. 2012. № 9.

Рассмотрена задача о контактном взаимодействии между двумя трёхмерными телами со случайно шероховатыми поверхностями. Показано, что она может быть сведена к одномерной задаче без потери существенной информации.

Экспериментальное моделирование коррозионных процессов на смазанной маслом поверхности трения. Трение и смазка в машинах и механизмах. 2012. № 9.

Предложен новый метод изучения химической коррозии применительно к смазанным трибоузлам, который позволяет за достаточно короткий промежуток времени получать экспериментальные данные, более точно отражающие процессы, реально протекающие в зоне трения.

Энергетическая модель процесса поверхностного пластического деформирования свободнодвижущимися инденторами. Упрочняющие технологии и покрытия. 2012. № 8.

На основе фундаментального уравнения Гиббса предложена энергетическая модель упрочнения поверхностного слоя деталей в процессе поверхностного пластического деформирования (ППД) свободнодвижущимися инденторами.

Новые технологии обработки поверхностным пластическим деформированием. *Упрочняющие технологии и покрытия*. 2012. № 8.

Выявлены новые перспективные и конкурентоспособные, в том числе комбинированные, упрочняющие технологии, позволяющие расширить область применения поверхностного пластического деформирования. Показаны их технологические возможности и эксплуатационные характеристики.



## **М** ИЗДАТЕЛЬСТВО МАШИНОСТРОЕНИЕ



## 2012 г. Формат 60х88 1/16 ISBN 978-5-94275-602-4 Цена за комплект

из 4 книг 1000 р.

#### ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

учебное пособие в 4 кн.

Под ред. Д.В. Чернилевского

#### Кн. 1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА. Н.В. Ладогубец, Э.В. Лузик

Содержит основные положения, формулы и законы, используемые при изучении курса "Теоретическая механика", включая динамику материальной точки и динамику материальной системы и твёрдого тела. Даны алгоритмы решения задач, вопросы для самоконтроля и тестовые задания.

#### Кн. 2. СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ. В.В. Астанин

Изложены основные вопросы расчётов на прочность элементов машин и сооружений Приведены примеры решения типовых задач на растяжение и сжатие, сдвиг, кручение, изгиб, сложное сопротивление, повторно-переменные и динамические нагрузки.

#### Кн. 3. ОСНОВЫ ТЕОРИИ МЕХАНИЗМОВ И МАШИН. Я.Т. Киницкий

Изложены основные понятия и определения курса, структура и классификация механизмов и машин, общие методы кинематического и динамического исследования механизмов, приведены некоторые сведения из теории регулирования движения машин и уравновешивания механизмов.

#### Кн. 4. ДЕТАЛИ МАШИН И ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ. Д.В. Чернилевский

Изложены основные сведения о технологических функциях механизмов, их кинематических и силовых возможностях, достоинствах и недостатках, позволяющих технологу производственных процессов провести анализ и синтез при принятии решения в процессе разработки технического задания на совершенствование существующих конструкций машин или вновь проектируемых машинных комплексов.

Для студентов высших технических учебных заведений, изучающих курсы "Сопротивление материалов" и "Техническая и прикладная механика".

#### Приобрести книгу в издательстве можно, прислав заявку:

по почте: 107076, г. Москва, Стромынский пер., 4; по факсу: (499) 269-48-97; по e-mail: realiz@mashin.ru Дополнительная информация по телефонам: (499) 269-52-98, 269-66-00 и на сайте WWW.MASHIN.RU



## ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ

#### В.И. Васильев

2013 г.

Объём 172 с. Формат 60х88 1/16 ISBN 978-5-94275-667-3

Цена 250 р.



Рассмотрены основы построения интеллектуальных систем защиты информации в корпоративных информационных системах. Особое внимание уделено построению биометрических систем идентификации личности, систем обнаружения и предотвращения вторжений, анализа и управления информационными рисками. Изложены современные подходы к созданию данного класса систем с использованием методов теории нейронных сетей, искусственных иммунных систем, нечетких когнитивных моделей.

Допущено Учебно-методическим объединением по образованию в области информационной безопасности в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специализациям специальности "Комплексное обеспечение информационной безопасности автоматизированных систем".

#### Приобрести книгу в издательстве можно, прислав заявку:

по почте: 107076, г. Москва. Стромынский пер., 4: по факсу: (499) 269-48-97; по e-mail: realiz@mashin.ru Дополнительная информация по телефонам: (499) 269-52-98, 269-66-00 и на сайте WWW.MASHIN.RU