Автоматизация. Современные Технологии

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ МЕЖОТРАСЛЕВОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ИЗДАЁТСЯ С 1947 ГОДА

3

2015

Главный редактор

Белоусов В.Л. — д.э.н., проф., МГУПИ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЛЕГИЯ:

Бучаченко А.Л. — д.х.н., проф., ИПХФ РАН
Ван Сяофэн — д.т.н., проф., Нанкинский ун-т науки и технологии (КНР)
Дегтярёв Ю. И. — д.т.н., проф., МАИ
Иванов А. П. — д.э.н., проф., МГУПС (МИИТ)
Мальцева С.В. — д.т.н., проф., НИУ ВШЭ
Микаева С.А. — д.т.н., проф., МГУПИ
Неусыпин К.А. — д.т.н., проф., МГТУ им. Н.Э. Баумана
Нефёдов Е.И. — д.ф.-м.н., ИРЭ РАН
Никифоров В.М. — д.т.н., проф., ФГУП «НПЦАП им. Н.А. Пилюгина»
Осипова В.Г. — ООО «Изд-во Инновационное машиностроение» (заместитель главного редактора)
Пролетарский А.В. — д.т.н., проф., МГТУ им. Н.Э. Баумана
Румянцева О.Н. — генеральный директор ООО «Изд-во Инновационное машиностроение»
Хэ Юн — д.т.н., проф., Нанкинский ун-т науки и технологии (КНР)
Шибанов Г.П. — д.т.н., проф., Гос. лётно-испытат. центр им. В.П. Чкалова
Янович Е.А. — д.э.н., проф., Кошалинский политехнич. ин-т (Польша)

Редактор — **Селихова Е.А.**
Компьютерная вёрстка — **Конова Е.В.**

УЧРЕДИТЕЛИ:

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

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

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

ООО "Издательство "Машиностроение"

Адрес редакции:

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

Адрес издательства:

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

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

СОДЕРЖАНИЕ

АВТОМАТИЗАЦИЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Петровский В.С., Грибанов А.А. Оптимизация автоматизированного управления процессом фрезерования декоративных элементов мебели 3

Богомолов А.В., Кукушкин Ю.А. Автоматизация персонифицированного мониторинга условий труда 6

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Неусыпин К.А., Пролетарский А.В., Кузнецов И.А. Синтез численного критерия меры идентифицируемости параметров моделей динамических систем 9

Бугров Ю.Н., Курнасов Е.В. Преобразование аналоговых сигналов на основе цифровых процессоров и микроконтроллеров в интерфейсе многоканальных датчиков 13

Железникова О.Е., Амелькин Э.А., Микаева С.А. Исследование влияния светодиодного освещения на организм человека 20

Чернов Ф.Н., Малинин В.И. Технология промышленного получения нанодисперсных оксидов методом сжигания газовзвесей порошков металлов 25

Мокрозуб В.Г. Структура реляционной базы данных для хранения групповых спецификаций изделий с взаимозаменяемыми элементами 30

ЭКОНОМИКА

Долотовский И.В., Ларин Е.А., Долотовская Н.В. Методология оптимизации и управления потреблением энергоресурсов на предприятиях переработки углеводородного сырья 36

Иванов А.П., Михалёв А.С. Влияние динамики кредитов юридическим лицам на показатели эффективности деятельности банка 42

ОБЗОР ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ПЕЧАТИ

По страницам журналов 47

CONTENTS

AUTOMATION OF SCIENTIFIC-RESEARCH AND PRODUCTION

Petrovskiy V.S., Gribanov A.A. Automation control optimization of the furniture decorative details milling process 3

Bogomolov A.V., Kukushkin Yu.A. Personalized monitoring automation of the labor conditions 6

MODERN TECHNOLOGIES

Neusypin K.A., Proletarskiy A.V., Kuznetsov I.A. Numerical criteria syntheses of the parameters identifiability measure for dynamic system models 9

Bugrov Yu.N., Kurnasov E.V. Analog signal transformation into multi-channel sensors interface on the basis of the numerical processors and microcontrollers 13

Zheleznikova O.E., Amelkin E.A., Mikaeva S.A. Research of the light-emitting diode lighting influence on the human organism 20

Chernov F.N., Malinin V.I. Technology of the nanodisperced oxides industrial production by powder metals gas suspension burning. 25

Mokrozub V.G. The relational database structure for storage of the articles group specifications with interchangeable elements 30

ECONOMIC

Dolotovskiy I.V., Larin E.A., Dolotovskaya N.V. Optimization and control methodology of the energy consumption in the enterprises, processing hydrocarbon feedstock 36

Ivanov A.P., Mikhalev A.S. Dynamic influence of the legal persons credits on the effectiveness indicators of the bank activity 42

SURVEY OF PERIODICALS

Periodicals review 47

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

Сдано в набор 25.12.2014.
Подписано в печать 24.02.2015.
Формат 60 × 88 1/8. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 5,88. Цена свободная.

Отпечатано в ООО «Канцлер»
150008, г. Ярославль, ул. Клубная, д. 4, кв. 49.
Оригинал-макет: ООО «Адвансед солюшнз».
119071, г. Москва, Ленинградский пр-т, д. 19, стр. 1. Сайт: www.aov.ru

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

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

УДК 684.4.05

В.С. Петровский, д-р техн. наук, проф., **А.А. Грибанов**, канд. техн. наук, доц.
(Воронежская государственная лесотехническая академия)

appvglta@bk.ru

ОПТИМИЗАЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ФРЕЗЕРОВАНИЯ ДЕКОРАТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ МЕБЕЛИ

Использование системного анализа для процесса фрезерования деталей мебели позволило определить математические модели целевых функций зависимости показателя шероховатости от скорости подачи, скорости резания инструмента и влажности обрабатываемого материала, что дало возможность оптимизировать процесс фрезерования с учётом влажности обрабатываемых элементов.

Ключевые слова: процесс фрезерования; целевые функции автоматизированного управления; оптимизация; активный эксперимент; математическая модель.

The use of systems analysis for the furniture details milling process allowed to determine the mathematical models of dependence objective functions according roughness activities on the feed rate, cutting speed of the tool and the processed material humidity, which made it possible to optimize the milling process, taking into account the humidity of processed components.

Key words: milling process; the objective functions of automatic control; optimization; active experiment; the mathematical model.

Известно, что качество деталей в производстве мебели определяется допусками на размер, форму, взаимное расположение элементов детали и шероховатостью поверхности. Состояние поверхности оказывает существенное влияние на качество будущего изделия. Во время обработки на поверхности заготовки под действием процесса резания неизбежно появляются следы обработки — неровности поверхности, определяемые её шероховатостью. Шероховатость поверхности — это совокупность неровностей поверхности с относительно малыми шагами, выделенная с помощью базовой длины [1]. Шероховатость относится к микрогеометрии твёрдого тела и определяет его важнейшие эксплуатационные свойства, например, такие как внешний вид. В зависимости от условий работы поверхности назначается параметр шероховатости при проектировании деталей мебели. Исходная шероховатость является следствием технологической обработки поверхности материала, например, фрезами. Для широкого класса поверхностей горизонтальный шаг неровностей находится в пределах от 1 до 1000 мкм, а высота — от 0,01 до 10 мкм. Параметры шероховатости поверхности показаны на рис. 1.

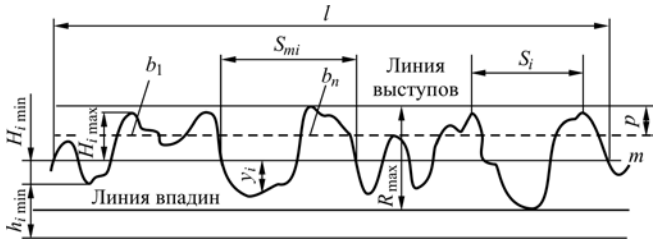

Рис. 1. Параметры шероховатости поверхности:
l — базовая длина; m — средняя линия профиля; S_{mi} — средний шаг неровностей профиля; S_i — средний шаг местных выступов профиля; $H_{i\,max}$ — отклонение пяти наибольших максимумов профиля; $H_{i\,min}$ — отклонение пяти наибольших минимумов профиля; $h_{i\,max}$ — расстояние от высших точек пяти наибольших максимумов до линии параллельной средней и не пересекающей профиль; $h_{i\,min}$ — расстояние от низших точек пяти наибольших минимумов до линии параллельной средней и не пересекающей профиль; R_{max} — наибольшая высота профиля; y_i — отклонения профиля от линии m; p — уровень сечения профиля; b_n — длина отрезков, отсекаемых на уровне p

К высотным параметрам поверхности относятся:

R_a — среднее арифметическое отклонение профиля, определяемое по формуле

$$R_a = \frac{1}{l}\int_l^0 [y_i]dx\,;$$

R_z — высота неровностей профиля по десяти точкам

$$R_z = \frac{\sum_{i=1}^{5} H_{i\,max} - \sum_{i=1}^{5} H_{i\,min}}{5}\,;$$

R_{max} — наибольшая высота профиля.

Рис. 2. Структурная схема процесса фрезерования:
v — скорость подачи инструмента и ω — скорость резания (задающие воздействия); f — влажность древесного материала (возмущающее воздействие); A — чистота обработки, определяющая шероховатость поверхности в виде показателей R_a, R_z, R_{max}; P — производительность фрезерной обработки (целевые функции управления процессом фрезерования)

Таблица 1

Результаты проведения активных экспериментов

Номер заготовки	Скорость подачи v, м/мин	Скорость резания ω, об/мин	Влажность f, %	Диаметр фрезы, мм	Показатели шероховатости			Производительность P, с
					R_{max}, мкм	R_z, мкм	R_a, мкм	
1	+1	+1	7	6 4 8	74,6 106,0 56,0	42,0 60,9 47,8	6,33 10,00 8,51	27
2	+1	−1	5	6 4 8	57,39 49,90 51,09	39,54 46,97 40,19	8,133 9,134 7,850	27
3	−1	+1	7	6 4 8	49,21 52,05 63,54	42,71 56,75 51,35	7,161 8,05 10,534	53
4	−1	−1	5,5	6 4 8	94,28 56,78 54,29	58,22 40,25 41,03	11,507 7,813 8,010	53
5	0	0	5	6 4 8	39,78 58,64 52,55	29,08 40,67 47,68	5,074 7,435 9,489	29
6	+1	0	6	6 4 8	82,25 49,66 60,53	53,08 41,22 50,48	10,269 7,992 9,776	27
7	0	−1	6	6 4 8	43,66 63,45 88,50	34,14 45,12 60,16	6,164 7,740 8,743	29
8	0	+1	6	6 4 8	46,13 44,71 51,60	35,79 32,55 42,36	6,257 5,858 7,687	29
9	0	0	8	6 4 8	81,6 124,8 102,3	64,1 73,0 60,0	12,53 11,78 10,84	29
10	0	0	6,5	6 4 8	77,52 96,4 63,39	50,76 60,5 41,03	8,137 9,73 7,246	29
11	0	0	6	6 4 8	88,4 83,5 50,4	55,9 61,7 43,9	9,58 13,75 8,38	29
12	0	0	5,5	6 4 8	39,01 65,57 57,37	29,55 60,83 46,44	6,047 10,700 8,555	29

Для определения чистоты обработки поверхности параметр R_a является предпочтительным.

Из параметров режимов резания наиболее существенное влияние на величину шероховатости поверхности оказывают скорость резания и подачи инструмента [2, 3].

Используемая при системном анализе структурная схема процесса фрезерования деталей мебели [4] представлена на рис. 2

Наиболее адекватный вид выходных функций управления выглядит как:

$$A = a_0 + a_1 v + a_2\omega + a_3 f + a_{11}v^2 + a_{22}\omega^2 + a_{33}f^2 + a_{12}v\omega + a_{13}vf + a_{23}\omega f;$$

$$P = b_0 + b_1 v + b_2\omega + b_3 f + b_{11}v^2 + b_{22}\omega^2 + b_{33}f^2 + b_{12}v\omega + b_{13}vf + b_{23}\omega f.$$

В результате активных экспериментов необходимо было определить значения коэффициентов a_0, a_1, ..., a_{23}; b_0, b_1, ..., b_{23}.

Был составлен план активных экспериментов. Исходя из возможностей станка с числовым программным управлением (ЧПУ) и свойств материала для фрезерования определены минимальное, максимальное и среднее значения скоростей подачи v и резания ω:

$$v_{min} = 500 = (-1);$$
$$v_{max} = 2500 = (+1);$$
$$v_{ср} = \frac{V_{max} + V_{min}}{2} = \frac{500 + 2500}{2} = 1500 = (0);$$

$$\omega_{min} = 10\,000 = (-1);$$
$$\omega_{max} = 25\,000 = (+1);$$
$$\omega_{ср} = \frac{\omega_{max} + \omega_{min}}{2} = \frac{10\,000 + 25\,000}{2} = 17\,500 = (0).$$

Результаты лабораторных активных экспериментов по фрезерной обработке заготовок из древесноволокнистой плиты средней плотности (МДФ) представлены в табл. 1. Эксперименты с 1 по 8

считаются опытами центрального композиционного плана, с 9 по 12 — опытами в центре эксперимента. Влажность экспериментальных образцов МДФ была различной.

По результатам, представленным в табл. 1, определены математические модели зависимости показателей шероховатости от скорости подачи, скорости резания и влажности материала. Коэффициенты математических моделей R_a даны в табл. 2. Например, показатель шероховатости для диаметра фрезы 6 мм определяется математической моделью вида:

$$R_a = -150{,}4367106 + 0{,}088958v - 0{,}0025595\omega + 35{,}451658f - 0{,}000000041\omega^2 + 0{,}000002634v\omega - 0{,}022162427vf.$$

Для определения оптимальных значений скорости подачи и резания составим системы дифференциальных уравнений:

$$\frac{\partial R_a}{\partial v} = a_1 + 2a_{11}v + a_{12}\omega + a_{13}f = 0;$$

$$\frac{\partial R_a}{\partial \omega} = a_2 + 2a_{22}v + a_{12}\omega + a_{23}f = 0.$$

Оптимальная скорость подачи и резания определяется для каждого значения влажности материала.

Значения оптимальной скорости подачи, резания для определённой влажности обрабатываемого материала представлены в табл. 3.

Оценим графически зависимость скорости подачи и резания от влажности материалов для фрез трёх диаметров (рис. 3, 4).

Из рис. 3, 4 следует, что при увеличении влажности МДФ необходимо увеличивать скорость подачи фрезы и скорость резания.

Полученные целевые функции позволят быстро и безошибочно осуществлять фрезерную обработку исследуемых материалов и могут быть использованы при создании управляющей программы для станка с ЧПУ по методике, пред-

Таблица 2

Коэффициенты математических моделей R_a

Коэффициенты математической модели R_a	Фреза 4 мм	Фреза 6 мм	Фреза 8 мм
a_0	6,1324946280	−150,436710668	120,41492471
a_1v	0,0020543833	0,088958117	−0,07810575
$a_2\omega$	0	−0,002559524	0,00494493
a_3f	0	35,451658444	−30,89349121
$a_{11}v^2$	−0,0000007148	0	0,00000428
$a_{22}\omega^2$	−0,0000000672	−0,000000041	0
$a_{33}f^2$	−0,4274425571	0	1,00699017
$a_{12}v\omega$	0	0,000002634	−0,00000196
$a_{13}vf$	0	−0,022162427	0,01616237
$a_{23}\omega f$	0,0003727058	0	−0,00034707

Таблица 3

Оптимальные значения скорости подачи и резания инструмента в зависимости от влажности заготовки из МДФ

Влажность f, %	Фреза 4 мм		Фреза 6 мм		Фреза 8 мм	
	Скорость подачи v, м/мин	Скорость резания ω, об/мин	Скорость подачи v, м/мин	Скорость резания ω, об/мин	Скорость подачи v, м/мин	Скорость резания ω, об/мин
5	1,150	13866	1,230	8297	1,423	8532
5,1	1,174	14142	1,256	9138	1,442	9280
5,2	1,198	14420	1,282	9979	1,459	10027
5,3	1,222	14697	1,308	10821	1,477	10774
5,4	1,247	14975	1,335	11662	1,494	11521
5,5	1,271	15252	1,361	12504	1,512	12269
5,6	1,295	15529	1,387	13345	1,53	13016
5,7	1,319	15807	1,413	14187	1,547	13763
5,8	1,343	16084	1,439	15028	1,565	14510
5,9	1,368	16361	1,466	15859	1,582	15258
6,0	1,392	16638	1,492	16710	1,600	16005
6,1	1,416	16916	1,518	17552	1,618	16752
6,2	1,440	17193	1,544	18394	1,636	17500
6,3	1,465	17471	1,571	19235	1,653	18246
6,4	1,489	17747	1,597	20076	1,671	18994
6,5	1,513	18025	1,623	20918	1,689	19742
6,6	1,537	18303	1,649	21759	1,707	20489
6,7	1,561	18580	1,675	22601	1,724	21236
6,8	1,586	18857	1,702	23442	1,742	21983
6,9	1,609	19134	1,727	24283	1,760	22731
7,0	1,634	19412	1,754	25124	1,778	23478

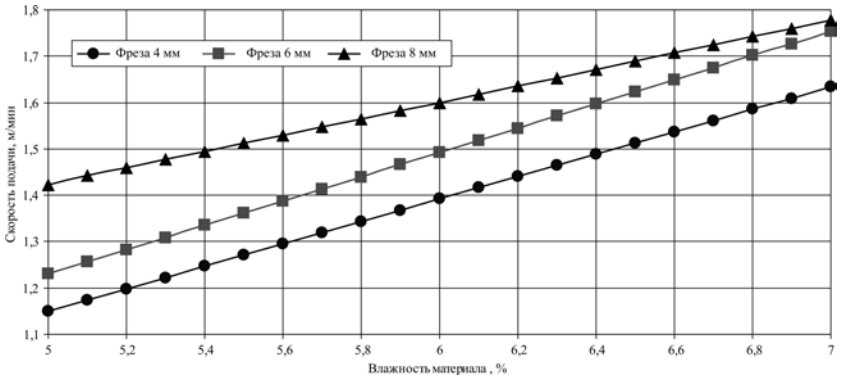

Рис. 3. Выбор скорости подачи в зависимости от влажности материала

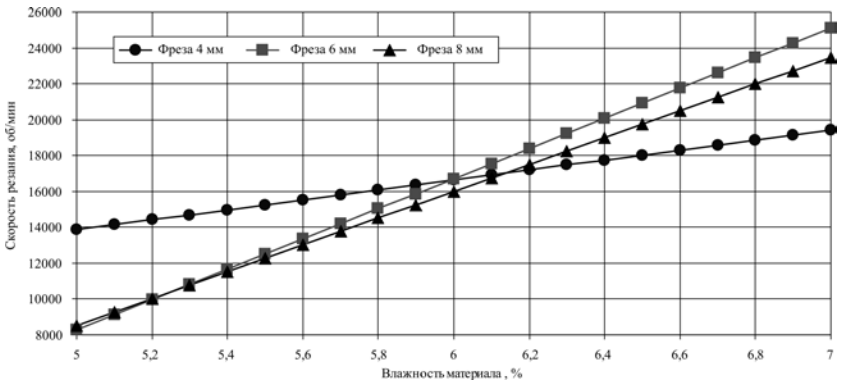

Рис. 4. Выбор скорости резания в зависимости от влажности материала

ставленной в соответствующей статье авторов [5]. Наиболее важные параметры при фрезеровании, такие как скорость резания и подачи инструмента, теперь могут быть заданы технологом точно на основе расчётов, полученных в данной статье.

Библиографические ссылки

1. **Анурьев В.И.** Справочник конструктора-машиностроителя: В 3 т. / Под ред. И.Н. Жестковой. 8-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 2001. 2640 с.

2. **Мохаммед Хайдер А. Аббас, Петровский В.С., Грибанов А.А.** Автоматизация процесса обработки двумерных изображений при создании новых проектов // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2013. Т. 9, № 1. С. 36—39.

3. **Мохаммед Хайдер А. Аббас, Петровский В.С., Грибанов А.А.** Исследование и разработка процесса фрезерования декоративных элементов мебели на станках с ЧПУ // ФЭС: Финансы. Экономика. Стратегия. Сер. Инновационная экономика: человеческое измерение. 2012. № 2 (53). С. 53—55.

4. **Грибанов А.А., Мохаммед Хайдер А. Аббас.** Системный анализ процесса фрезерования декоративных элементов мебели и его оптимизация // Лесной комплекс: состояние и перспективы развития: материалы 12-й Международной научно-технической конференции, 1—30 ноября 2013 г. Брянск: БГИТА, 2013.

5. **Мохаммед Хайдер А. Аббас, Петровский В.С., Грибанов А.А.** Методика автоматической векторизации узора декоративного элемента мебели и разработки программы для станка с ЧПУ по гравировке его контура // Вестник Воронежского государственного университета. Сер. Системный анализ и информационные технологии. 2013. № 1. С. 142—146.

УДК 004.31; 613.6.027; 57.042

А.В. Богомолов, д-р техн. наук, проф., **Ю.А. Кукушкин**, д-р техн. наук, проф.
(Центральный научно-исследовательский институт
Военно-воздушных сил Минобороны России, г. Москва)
a.v.bogomolov@gmail.com

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПЕРСОНИФИЦИРОВАННОГО МОНИТОРИНГА УСЛОВИЙ ТРУДА

Изложена технология персонифицированного мониторинга условий труда персонала промышленных предприятий и производств, реализуемого в интересах обеспечения надёжной деятельности и сохранения здоровья, представлена общая схема персонифицированного индикатора условий труда.

Ключевые слова: мониторинг условий труда; надёжность деятельности; персональные гигиенические дозиметры; риск здоровью; персонифицированная медицина.

Personalized monitoring technology of the personnel labor conditions at industrial enterprises, implemented for the purpose of secure activities ensuring and health preservation is stated. The general scheme of the labor conditions personalized indicator is represented.

Key words: labor conditions monitoring; reliability activities; personal hygiene dosimeters; health risk; personalized medicine.

Введение. Отмечаемые тенденции увеличения случаев профессиональной и профессионально обусловленной заболеваемости работников многих профессий, количества ошибочных действий, обусловленных снижением функциональной надёжности профессиональной деятельности персонала, требуют разработки и реализации мероприятий по оптимизации условий труда специалистов многих профессий [1—4]. Для этого необходимо автоматизировать мониторинг условий труда [5, 6].

Современное развитие электроники и схемотехники позволяет использовать для определения уровней вредных и опасных факторов условий профессиональной деятельности миниатюрные измерительные устройства, а достижения информационно-телекоммуникационных технологий открывают новые возможности для персонифицированного автоматизированного мониторинга условий труда.

Основная часть. Автоматизация персонифицированного мониторинга условий труда предполагает сбор и обработку информации с персонифицированных индикаторов условий труда.

Персонифицированный индикатор условий труда — персональный информационно-измерительный прибор, обеспечивающий мониторинг вредных и опасных факторов условий профессиональной деятельности, отличающийся тем, что он в реальном времени отображает пользователю оценку риска здоровью или риска снижения функциональной надёжности выполняемой профессиональной деятельности. В рассчитываемой оценке риска можно учесть индивидуальные особенности здоровья, характеристики применяемых средств защиты и особенности профессиональной деятельности (продолжительность выполнения работы, двигательную активность и т. п.).

Для информирования пользователя о риске здоровью и/или ошибочных действий, обусловленных воздействием факторов условий профессиональной деятельности, целесообразно использовать цвет и режим индикации информации (например, зелёный непрерывный — низкий риск; жёлтый непрерывный — выраженный риск; красный непрерывный — высокий риск; красный пульсирующий — очень высокий риск). Кроме того, для специалистов опасных профессий можно отображать оценку времени сохранения работоспособности в конкретных условиях профессиональной деятельности [3, 7].

Информация, получаемая с помощью персонифицированных индикаторов условий труда, может накапливаться и периодически (в зависимости от особенностей профессиональной деятельности) обрабатываться в интересах формирования персонифицированных рекомендаций по сохранению профессионального здоровья.

Такая информация может в реальном времени передаваться для централизованного мониторинга условий труда персонала коллектива, позволяя принимать превентивные меры, направленные на повышение надёжности деятельности, например, осуществить дополнительный контроль качества выполнения сложных ответственных профессиональных задач работником со сниженной функциональной надёжностью.

Типовой персонифицированный индикатор условий труда может быть реализован по схеме, представленной на рисунке.

Персонифицированный индикатор условий труда размещают в зоне рабочих мест персонала или на одежде рабочего, не создавая помех профессиональной деятельности. При этом измеритель ориентируют так, чтобы беспрепятственно регистрировать уровни вред-

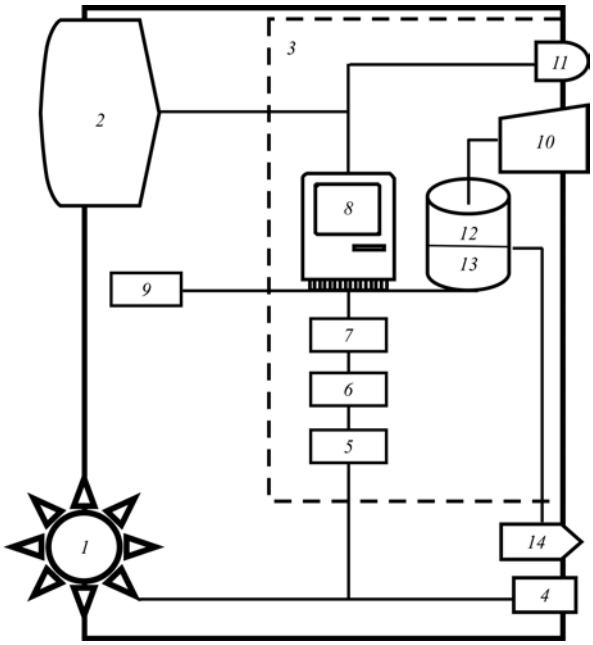

Схема персонифицированного индикатора условий труда: *1* — измеритель; *2* — сигнально-информационное табло; *3* — вычислитель; *4* — блок питания; *5* — блок усилителей; *6* — блок фильтров; *7* — блок детектирования; *8* — микроЭВМ; *9* — блок управления; *10* — блок ввода информации; *11* — лампа состояния; *12* — оперативное запоминающее устройство; *13* — постоянное запоминающее устройство; *14* — коммутатор

ных и опасных факторов условий профессиональной деятельности, а сигнально-информационное табло должно находиться в зоне видимости специалиста.

Сигнал с измерительного микрофона поступает в вычислитель, объединяющий:

блоки усилителей, фильтров, детектирования, обеспечивающие корректные измерения вредных и опасных факторов;

блок ввода информации для ввода величин снижения уровней вредных и опасных факторов, обеспечиваемого используемыми средствами индивидуальной защиты и индивидуальных особенностей здоровья пользователя;

оперативное запоминающее устройство (энергозависимая память) для хранения текущей информации;

постоянное запоминающее устройство (энергонезависимая память) для хранения долговременной информации (настройки, характеристики средств индивидуальной защиты и т. п.).

Блок питания обеспечивает энергопитание всех компонентов персонифицированного индикатора; лампа состояния сигнализирует о работоспособности индикатора; микро-ЭВМ автоматизирует обработку информации; коммутатор обеспечивает информационный обмен с внешними устройствами по проводному или беспроводному интерфейсу; блок управления служит для ввода управляющих команд.

В процессе профессиональной деятельности получают информацию с измерительного микрофона с дискретностью, определяемой особенностями вредных и опасных факторов условий осуществления профессиональной деятельности.

При определении уровней вредных и опасных факторов, воздействующих на пользователя, в вычислителе из уровня воздействующих факторов вычитают величину снижения их уровней, обеспечиваемую используемым средством индивидуальной защиты.

На основании накопленной информации в вычислителе рассчитывают оценку риска ошибочных действий, обусловленных кумулятивным воздействием вредных и опасных факторов условий профессиональной деятельности, например, в виде оценки потенциальной ненадёжности действий [7].

По рассчитанной величине оценки риска формируют сигнал, который подают на сигнально-информационное табло персонифицированного индикатора условий труда.

По цвету и режиму индикации сигнально-информационного табло пользователь определяет риск ошибочных действий, обусловленных воздействием вредных и опасных факторов условий профессиональной деятельности.

Предложенная схема информирования о потенциальном риске ошибочных действий в реальном времени отвечает современным требованиям безопасности труда.

Кумулятивные эффекты вредных и опасных факторов условий профессиональной деятельности учитываются с использованием процедуры "скользящего окна", длительность которой определяют исходя из особенностей профессиональной деятельности и особенностей сопровождающих её выполнение вредных и опасных факторов.

Заключение. Прогресс электроники, схемотехники и информационно-телекоммуникационных технологий обеспечили возможность реализации автоматизированного персонифицированного мониторинга условий труда, являющегося эффективным инструментарием обеспечения функциональной надёжности профессиональной деятельности и сохранения здоровья трудоспособного населения России.

Библиографические ссылки

1. **Кузнецова М.Н.** Мониторинг условий труда и опасных и вредных факторов на предприятиях регионов Российской Федерации // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Экономика и управление. 2012. № 1. С. 91—96.

2. **Новиков Н.Н.** Концепция мониторинга состояния условий труда предприятий // Инновационные информационные технологии. 2013. Т. 4. № 2. С. 396—400.

3. **Малащук Л.С., Маряшин Ю.Е., Филатов В.Н.** К вопросу о функциональной надёжности человека в экстремальных видах деятельности // Проблемы безопасности полётов. 2012. № 5. С. 21—27.

4. **Петухов И.В.** К вопросу обеспечения надёжности эргатических систем управления // Мехатроника, автоматизация, управление. 2011. № 1. С. 25—30.

5. **Фадин И.М., Фадин С.И., Сидоров В.Н.** Автоматизированный мониторинг физических опасных и вредных производственных факторов // Безопасность жизнедеятельности. 2009. № 8. С. 51—53.

6. **Алёхин М.Д.** Технология бесконтактного мониторинга состояния операторов эргатических систем // Оборонный комплекс — научно-техническому прогрессу России. 2014. № 1 (121). С. 3—7.

7. **Ушаков И.Б., Кукушкин Ю.А., Богомолов А.В., Карпов В.Н.** Потенциальная ненадёжность действий оператора как характеристика степени влияния физико-химических факторов условий деятельности // Безопасность жизнедеятельности. 2001. № 1. С. 24.

УДК 681.513

К.А. Неусыпин, д-р техн. наук, проф., **А.В. Пролетарский,** д-р техн. наук, проф., **И.А. Кузнецов**
(Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана)

neysipin@mail.ru

СИНТЕЗ ЧИСЛЕННОГО КРИТЕРИЯ МЕРЫ ИДЕНТИФИЦИРУЕМОСТИ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛЕЙ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Рассмотрены критерии определения степени идентифицируемости параметров линейных моделей динамических объектов. Предложен численный критерий меры идентифицируемости параметров моделей, базирующийся на скалярном подходе.

Ключевые слова: мера идентификации параметров; алгоритм идентификации; критерий идентифицируемости.

Definition criteria of the parameters identifiability degree for linear models of dynamic objects are considered. The numerical criterion of the parameters identifiability measure for models based on scalar approach is proposed.

Key words: parameters identification measure; identification algorithm; identifiability criterion.

Введение. Решение задач управления различными объектами обычно предусматривает использование математических моделей процессов, описываемых линейными дифференциальными уравнениями. Параметры математических моделей не всегда достоверно известны. Параметрическая неопределённость приводит к неадекватности моделей. Для уточнения параметров математической модели применяются различные алгоритмы идентификации [1—4], позволяющие определить отдельные параметры матрицы модели, структура которой задана априори.

Точность определения параметров модели зависит от свойств матрицы модели и точности алгоритма идентификации. Выбор используемого алгоритма идентификации определяется из соображений возможностей реализации в вычислителе (спецвычислитель, БЦВМ, наземная вычислительная станция и др.), экономических возможностей и особенностей проектируемого объекта. Свойства матриц моделей различных динамических объектов, влияющие на точность определения отдельных параметров, изучены в основном только для хорошо отработанных моделей, например в ядерной технике, инерциальной навигации и некоторых других приложениях. Исследования конкретных моделей на предмет качества идентификации параметров проводились опытным путём и, в общем случае, требуют проведения серии сложных экспериментов, длительного времени и существенных финансовых затрат.

Другим способом решения задачи определения качества идентификации является аналитический подход — разработка критерия меры или степени идентифицируемости. Разработка простого универсального критерия степени идентифицируемости, позволяющего вычислять качество определения параметров матрицы модели различных динамических объектов, является важной задачей. Особенную актуальность эта задача приобретает при исследовании проектируемых динамических объектов и их алгоритмического обеспечения. Известные методы определения качества идентификации параметров матрицы модели исследуемых объектов сложны в применении и не позволяют получить численную оценку степени идентифицируемости параметров.

Таким образом, синтез простого критерия меры идентифицируемости является актуальной задачей.

Критерии меры идентифицируемости. Известны различные способы и критерии вычисления меры (степени) идентифицируемости или условия определимости [5—7].

Способ, указанный в работе [5], позволяет определить принципиальную возможность осуществления процедуры идентификации.

Исследуется модель линейной однородной системы, которая называется полностью идентифицируемой по вектору состояния x,

если при заданном векторе начальных условий x_0 матрица исследуемой модели A может быть однозначно восстановлена за конечный отрезок времени идентификации по одной временной последовательности $x = x(t)$.

Система полностью идентифицируема или идентифицируема вполне, когда множество пар (A_, x_0), объединённых общностью интегральной кривой $x = x(t)$, $x_0 = x(0)$, вырождается в точку. В противном случае пара неидентифицируема.

Необходимое и достаточное условие полной идентифицируемости пары (A, x_0) имеет вид

$$Rank[W_0] = \\ = Rank[x_0, Ax_0, A^2x_0, ..., A^{n-1}x_0], \quad (1)$$

где W_0 — матрица идентифицируемости.

Система с единичной матрицей A является неидентифицируемой.

Представленный способ предполагает определение принципиальной возможности вычисления идентифицируемости, но не определяет качество идентификации.

Метод в работе [6] основан на вычислении условия определимости.

Исследуется линейная модель сигнала, искажённого случайным процессом типа белый шум. Известна и наблюдаема дисперсия белого шума.

Вводятся следующие предположения: пусть дисперсия единичная, матрица модели устойчива, вход с конечной энергией.

Вычисляется оценка безусловного максимума правдоподобия, которая является асимптотически эффективной оценкой. Качество таких оценок асимптотически не зависит от начальных дисперсий.

Для оценки используются все имеющиеся данные, и, кроме того, дополнительная трудность состоит в необходимости оценивания начального состояния. Построим оценку, которая является "текущей", и не использует какую-либо оценку состояния. Для этой цели необходимо предположить, что выполнено "условие определимости" [6], представляющее предел, включающий сложную комбинацию известных матриц и входную последовательность:

условие определимости (критерий идентифицируемости) заключается в том, что предел существует и невырожден;

условие определимости также накладывает ограничение на входную последовательность, т. е. при выполнении условия определимости (и устойчивости матрицы модели) ковариационная матрица погрешности стремится к нулю при $n \to \infty$;

вычисление критерия идентифицируемости по данной методике предполагает сложные математические вычисления, поэтому использование критерия в практических приложениях не представляется возможным;

способ определения идентифицируемости [7] предполагает введение других ограничений.

Рассмотрим некоторые наиболее важные типы ограничений и приведём критерии идентифицируемости.

Введены априорные линейные однородные функции, каждая из которых зависит только от коэффициентов матрицы модели, которые могут быть однозначно восстановлены по матрице приведённой формы [7].

Представлено необходимое условие идентифицируемости определённого уравнения, которое можно сформулировать следующим образом: число исключённых из уравнения системы экзогенных переменных должно быть не меньше числа участвующих в нём эндогенных переменных, уменьшенного на единицу.

Сформулированные необходимые условия (так называемые правила порядка) в силу своей простоты являются весьма полезными при решении проблемы идентифицируемости, поскольку при построении модели они позволяют сразу выявить неидентифицируемые уравнения. Однако эти условия могут оказаться недостаточными. Необходимое и достаточное условие не подходит для проверки идентифицируемости модели, так как требует построения сложной матрицы приведённой формы. Тем не менее из него можно извлечь критерий идентифицируемости и в терминах структурной формы (правило ранга).

Этот метод определения идентифицируемости параметров модели подходит для теоретических абстрактных исследований.

Таким образом, исследованы некоторые способы определения такого свойства матриц моделей, как степень идентифицируемости. Представленные критерии степени идентифицируемости не позволяют проводить сравнение качества идентификации отдельных параметров матриц моделей, неудобны в применении на практике, поэтому необходимо разработать универсальный критерий, не требующий сложных вычислений.

Способ вычисления меры идентифицируемости параметров. Общим недостатком представленных способов определения меры иденти-

фицируемости является сложность вычислений и отсутствие численной оценки меры идентифицируемости каждого конкретного параметра матрицы модели исследуемого объекта.

Синтез критерия меры идентифицируемости проведём с использованием скалярного подхода [8].

Рассмотрим линейную математическую модель исследуемого динамического объекта, которая имеет следующий вид:

$$x_k = \Phi x_{k-1} + w_{k-1}, \qquad (2)$$

где x_{k-1} — вектор состояния; w_{k-1} — вектор входного шума, который является дискретным аналогом белого гауссового шума с нулевым математическим ожиданием; Φ — $(n \times m)$-матрица модели.

Часть вектора состояния измеряется

$$z_k = Hx_k + v_k, \qquad (3)$$

где z_k — m-вектор измерений; H — $(m \times n)$-матрица измерений; v_k — m-вектор измерительного шума, который является дискретным аналогом белого гауссового шума с нулевым математическим ожиданием, причем v и w некоррелированы между собой, т. е. $M\left[v_j w_k^T\right] = 0$.

В соответствии со скалярным подходом сформируем вектор приведённых измерений [8]:

$$z_{n+1} = H\Phi^n \begin{bmatrix} H \\ H\Phi \\ \dots \\ \dots \\ H\Phi^{n-1} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ \dots \\ \dots \\ z_n \end{bmatrix} -$$

$$-H\Phi^n \begin{bmatrix} H \\ H\Phi \\ \dots \\ \dots \\ H\Phi^{n-1} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} v_1 \\ Hw_1 \\ H\Phi w_1 + Hw_2 + v_3 \\ \dots \\ H\Phi^{n-2}w_1 + \dots + v_n \end{bmatrix} + \qquad (4)$$

$$+H\Phi^{n-1}w_1 + H\Phi^{n-2}w_2 + \dots + Hw_n + v_{n+1}.$$

Введём обозначения:

$$\begin{bmatrix} a_1 & a_2 & \dots & a_n \end{bmatrix} = H\Phi^n \begin{bmatrix} H \\ H\Phi \\ \dots \\ \dots \\ H\Phi^{n-1} \end{bmatrix}; \qquad (5)$$

$$v_1^0 = b_1 w_1 + b_2 w_2 + \dots + b_n w_n -$$
$$- a_1 v_1 - a_2 v_2 - \dots - a_n v_n + v_{n+1} =$$

$$= H\Phi^n \begin{bmatrix} H \\ H\Phi \\ \dots \\ \dots \\ H\Phi^{n-1} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} v_1 \\ Hw_1 \\ H\Phi w_1 + Hw_2 + v_3 \\ \dots \\ H\Phi^{n-2}w_1 + \dots + v_n \end{bmatrix}.$$

Определяем неизвестные элементы вектора $[a_1 a_2, \dots, a_n]$ по измерениям следующего вида:

$$z_{n+1} = \begin{bmatrix} z_1 & z_2 & \dots & z_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \dots \\ a_n \end{bmatrix} + v_1^0. \qquad (6)$$

Уравнение для вектора неизвестных параметров в скалярной форме будет иметь вид:

$$\begin{aligned} a_1 &= f_1(z_1, \dots, z_{2n}) + v_1^{00} \\ a_2 &= f_2(z_1, \dots, z_{2n}) + v_2^{00} \\ &\dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ a_n &= f_n(z_1, \dots, z_{2n}) + v_n^{00} \end{aligned}. \qquad (7)$$

Здесь

$$\begin{bmatrix} f_1(z_1, \dots, z_{2n}) \\ f_2(z_1, \dots, z_{2n}) \\ \dots \\ \dots \\ f_n(z_1, \dots, z_{2n}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_1 & \dots & z_n \\ z_2 & \dots & z_{n+1} \\ \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots \\ z_n & \dots & z_{2n-1} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} z_{n+1} \\ z_{n+2} \\ \dots \\ \dots \\ z_{2n} \end{bmatrix};$$

$$\begin{bmatrix} v_1^{00} \\ v_2^{00} \\ \dots \\ \dots \\ v_n^{00} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_1 & \dots & z_n \\ z_2 & \dots & z_{n+1} \\ \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots \\ z_n & \dots & z_{2n-1} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} v_1^0 \\ v_2^0 \\ \dots \\ \dots \\ v_n^0 \end{bmatrix}.$$

С помощью уравнений (7) измеряются параметры матрицы объекта, точность определения параметров которых зависит от интенсивности приведённого измерительного шума. Значение приведённого измерительного шума может достигать значительных величин, что приводит к недостоверному определению параметров. Поэтому для определения неизвестных параметров целесообразно использовать алгоритмы сглаживания измерительных шумов и алгоритмы оценивания [3, 6, 8]. В качестве алгоритмов оценивания можно использовать известный фильтр Калмана [6, 9].

Параметры a_1, a_2, ...,a_n по постановке задачи постоянны, для каждого параметра a_i можно использовать линейный скалярный фильтр Калмана в скалярном виде [8], в котором коэффициент усиления k_1^i имеет вид:

$$k_k^i = \frac{p_0^i}{kp_0^i + r_k^i}, \qquad (8)$$

где p — дисперсия ошибки оценивания; $r_k^i = M[(v^{00})^2]$ — дисперсия приведённого измерительного шума v^{00}, которая является неизвестной даже в том случае, когда известны ковариационные матрицы исходных входных и измерительных шумов $M\left[w_k w_k^T\right]$, $M[(\boldsymbol{v}_k)^2]$.

Величина приведённого шума v^{00} зависит от неизвестных параметров матрицы Ф. По этой причине необходимо использовать адаптивные алгоритмы оценивания при отсутствии априорной информации о дисперсии измерительного шума [8—10]. В скалярном адаптивном алгоритме, являющемся прямой модификацией фильтра Калмана, оценка дисперсии измерительного шума имеет вид:

$$\hat{r}_k^i = \frac{1}{2}\sqrt{\{p_0^1 k - M[(v_k^i)^2]\}^2 + 4M[(v_k^i)^2]p_0(k-1)} - \frac{1}{2}\{p_0^i k - M[(v_k^i)^2]\}. \qquad (9)$$

Измерительный шум v^{00} является дискретным цветным шумом. В этом случае можно использовать такой же алгоритм оценивания [3], что и для белого измерительного шума, но оценки будут субоптимальными.

Предложенный в работе [8] алгоритм идентификации фактически осуществляет оценивание вектора $[a_1...a_n]^T$, который связан с искомыми параметрами матрицы Ф уравнением (6).

При решении задачи идентификации на первом этапе необходимо выяснить принципиальную возможность определения параметров матрицы объекта, иначе — идентифицируемость параметров. В постановке задачи идентификации, предложенной в работе [8], идентифицируемость параметров можно определить с помощью критерия наблюдаемости.

Для проверки полной наблюдаемости можно использовать критерий наблюдаемости Калмана [3, 6, 9].

Численный критерий меры идентифицируемости. Судить о мере идентифицируемости можно по двум характеристикам: точности идентификации и времени сходимости. Критерий, по которому определяется мера идентифицируемости, имеет вид:

$$\gamma^i = \frac{P_0^i r}{P_0 r^{*i}}, \qquad (10)$$

где P_0 — дисперсия начального значения непосредственно измеряемой компоненты вектора идентифицируемых параметров a.

Когда не удаётся точно определить начальное значение дисперсии ошибки оценивания, можно воспользоваться критерием степени идентифицируемости вида:

$$\gamma^i = \frac{M\left[(a^i)^2\right]r}{M\left[(z^i)^2\right]r^{*i}}, \qquad (11)$$

где $M[(a^i)^2]$ — дисперсия произвольной i-й компоненты вектора параметров a; $M[(z^i)^2]$ — дисперсия непосредственно измеряемой компоненты вектора параметров; $r = M[v^2]$ — дисперсия исходного измерительного шума; $r_k^{*i} = \frac{1}{2}\sqrt{\{p_0^1 k - M[(v_k^i)^2]\}^2 + 4M[(v_k^i)^2]p_0(k-1)} - \frac{1}{2}\{p_0^i k - M[(v_k^i)^2]\}$ — дисперсия приведённого измерительного шума [8].

В критериях степени идентифицируемости (10) и (11) мерой качества идентификации является скаляр. Эта особенность выгодно отличает предложенные критерии от известных, так как позволяет проводить сравнение степеней идентифицируемости компонент векторов параметров матриц различных объектов. Мерой идентифицируемости является скаляр.

Таким образом, разработанные формализованные зависимости могут быть использованы для определения качества идентифицируемости параметров матрицы Ф.

Заключение. Предложенный численный критерий меры идентифицируемости конкретных параметров матрицы модели динамического объекта отличается простотой и позволяет вычислять качество идентификации параметров в виде скаляра.

Компактный критерий позволяет сравнивать качество идентификации параметров разных моделей и удобен в применении на практике.

Библиографические ссылки

1. **Эйкхофф П.** Основы идентификации систем управления. М.: Мир, 1975. 680 с.
2. **Брайсон Хо Ю Ши.** Прикладная теория оптимального управления. М.: Мир, 1972. 544 с.
3. **Кузовков Н.Т., Карабанов С.В., Салычев О.С.** Непрерывные и дискретные системы управления и методы идентификации. М.: Машиностроение, 1978. 221 с.
4. **Неусыпин К.А., Пролетарский А.В., Цибизова Т.Ю.** Системы управления летательными аппаратами и алгоритмы обработки информации. М.: Изд-во МГОУ, 2006. 235 с.
5. **Балонин Н.А.** Теоремы идентифицируемости. СПб.: Изд-во "Политехника", 2010. 48 с.
6. **Балакришнан А.В.** Теория фильтрации Калмана: пер. с англ. М.: Мир, 1988. 168 с.
7. **Айвазян С.А., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д.** Прикладная статистика: Исследование зависимостей: Справ. изд.; Под ред. С.А. Айвазяна. М.: Финансы и статистика, 1985. 487 с.
8. **Салычев О.С.** Скалярное оценивание многомерных динамических систем. М.: Машиностроение, 1987. 216 с.
9. **Неусыпин К.А.** Современные системы и методы наведения, навигации и управления летательными аппаратами. М.: Изд-во МГОУ, 2009. 500 с.
10. **Proletarsky A.V., Neusipin K.A.** Adaptive filtering for navigation systems of robot-aerocraft // Science & military. V. 5. 2010. P. 75—80.

УДК 681.513:62-52

Ю.Н. Бугров, канд. техн. наук, доц., **Е.В. Курнасов,** канд. техн. наук, доц.
(Московский государственный университет приборостроения и информатики)

mra2013@yandex.ru

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ АНАЛОГОВЫХ СИГНАЛОВ НА ОСНОВЕ ЦИФРОВЫХ ПРОЦЕССОРОВ И МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ В ИНТЕРФЕЙСЕ МНОГОКАНАЛЬНЫХ ДАТЧИКОВ

Рассмотрены вопросы функционального построения автоматизированных систем управления с измерительными датчиками и программно-аппаратные особенности преобразования и обработки аналоговых сигналов на основе цифровых процессоров и микроконтроллеров в интерфейсе многоканальных датчиков с управляющими устройствами типа УЧПУ, ПЛК и др.

Ключевые слова: АЦП; цифровые процессоры; микроконтроллеры; УЧПУ; ПЛК; АСУ; преобразование сигналов; адреса; порты; прерывания.

The functional consrtuction questions of the automatic control systems with measuring sensors and programatically-hard features of conversion and analog signal processing into multi-channel sensor interface with control fasilities type CNC, PLC, automated control systems (ACS) and et al. on the basis of digital processors and microcontrollers are considered.

Key words: DAC; digital processors; microcontrollers; CNC; PL; ACS; signal transformation; addresses; ports; interruptions.

Разработка и функциональное построение автоматизированных систем управления с измерительными датчиками многоканального типа, например систем адаптивного управления контурной скоростью (САУ КС) при обработке деталей, определяется принятыми методами преобразования аналоговых сигналов в цифровую форму, а также использованием программно-аппаратного интерфейса с автоматизированными системами управления (АСУ) [1, 2].

К таковым можно отнести как устройства числового программного управления (УЧПУ) различных станков и обрабатывающих центров, так и управляющие технологические комплексы в составе системного, компьютерного и терминального оборудования, с устройствами на основе программируемых логических контроллеров (ПЛК) [3].

Развитие и применение цифровой микроэлектроники, прикладного программирования в решении задач электроавтоматики, измерительных систем и средств обмена данными, наиболее оптимально в использовании современных микропроцессорных и микроконтроллерных технологий.

Наиболее успешным в решении таких задач, возможно, является применение в системах как цифровых процессоров обработки сигналов (ЦПОС), так и специализированных микроконтроллеров, например типа PIC18 [4].

Одна из модификаций ЦПОС типа КМ1813ВЕ1 (TMS32010) может быть рассмотрена, как аналог микроконтроллера PIC18F458 с восемью каналами аналого-цифрового преобразования (АЦП) (рис. 1), где функциональная структура его работы может быть сведена к взаимодействию оперативных команд и обработке аналоговых и цифровых данных, например, в обрабатывающем многоцелевом оборудовании с ЧПУ токарного или фрезерного типа.

Рассмотрим предлагаемые решения на одном из примеров обрабатывающего многоцелевого оборудования класса ТФЦ600-7 (интегрированный токарно-фрезерный обрабатывающий центр с ЧПУ). В данном оборудовании применяется УЧПУ типа NC110 с ПЛК, в которое встроено аппаратно-программное обеспечение с операционной системой PLC SIPROM.

При соответствующем подключении датчиков шпиндельного узла (ДШУ), такая схема (см. рис. 1) реализуется как система измерения сил резания и аналого-цифрового преобразования (АЦП) в принятых координатах *X*, *Y*, *Z* металлообработки.

В качестве ДШУ установлены пьезодатчики силы резания по четырём секторам в каждой из двух плоскостей и дополнительно устанавливаются четыре датчика Холла, возбуждаемые полем магнита, установленного в пазу вала шпинделя.

При вращении вала шпинделя, на выходных триггерах усилителей датчиков Холла

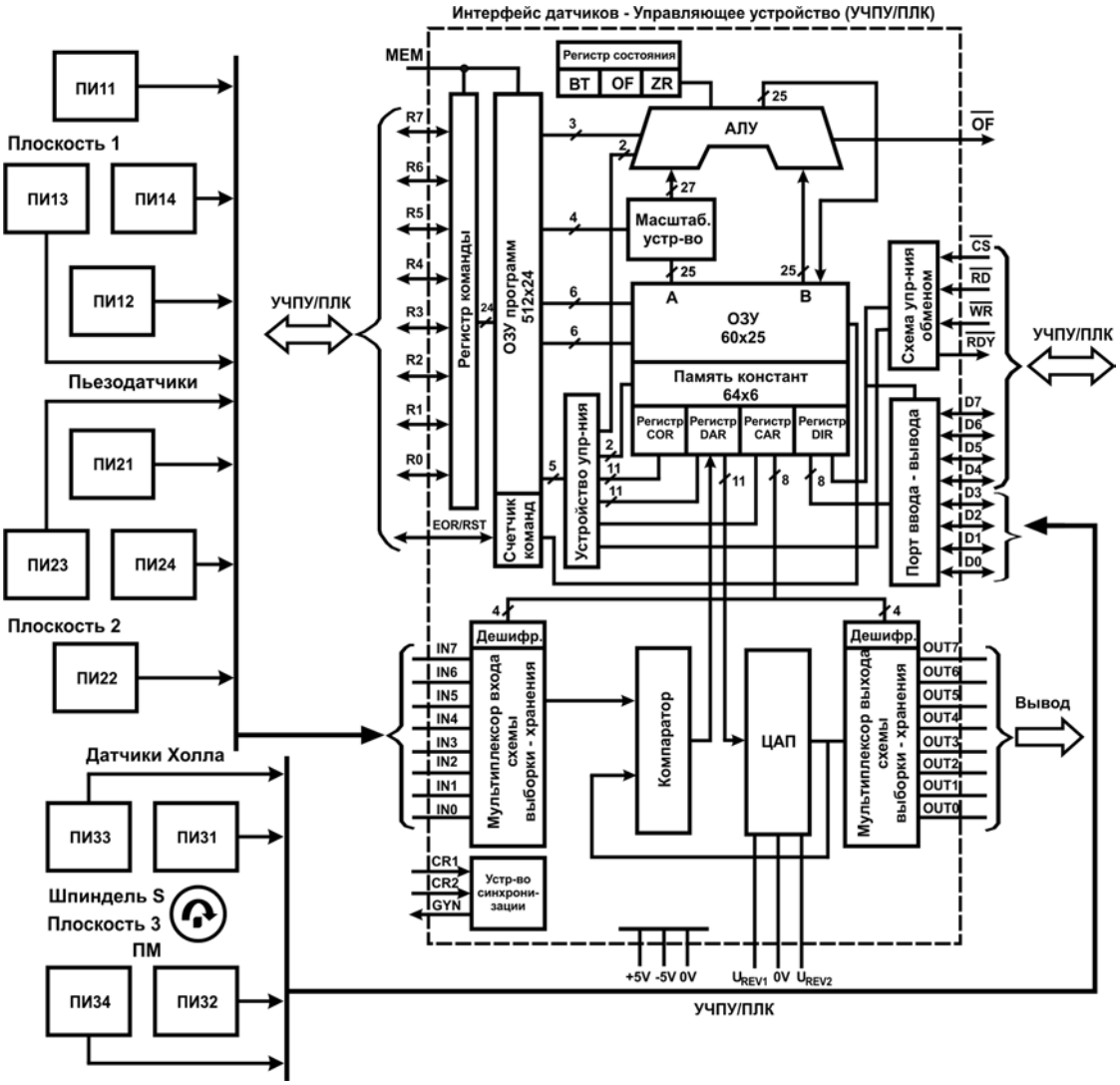

Рис. 1. Структурная схема САУ КС: подключение УЧПУ (NC110 + PLC), пьезодатчиков ПИ11...ПИ24 и датчиков Холла ПИ31...ПИ34 к интерфейсу АЦП на основе ЦПОС типа КМ1813ВЕ1 (TMS32010)

периодически формируются сигналы опроса (прерываний) каждого из каналов АЦП для двух пьезодатчиков в секторах по координатам *X*, *Y*, *Z*.

Подключение восьми аналоговых пьезодатчиков ПИ11...ПИ24 производится к входам IN0...IN7, а их преобразование осуществляется в каждом из восьми каналов АЦП с выводом на управляющее устройство (УЧПУ, ПЛК, и т. п., далее, в тексте УЧПУ/ПЛК) через порты ввода—вывода D0...D7 и OUT0...OUT7 по сигналам четырёх команд прерывания от датчиков Холла ПИ31...ПИ34.

Преобразование и вывод данных АЦП по каждому из восьми каналов определяется в соответствующих подпрограммах, записанных в памяти ЦПОС и соответствующих этим режимам в УЧПУ/ПЛК, драйверах по каналам TMS32010 с последовательной или параллельной шинами связи (RS232C, RS485, CAN).

Команда CVT (*s*, *n*) осуществляет преобразование входной выборки в цифровой эквивалент. Разряды DAR записываются в убывающем порядке: *s*, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1, 0. Цифровой эквивалент получается в DAR, откуда его можно переслать в любую ячейку ОЗУ.

Преобразование в каналах АЦП осуществляется программно, путём последовательного приближения через операцию поразрядного уравновешивания. По команде CVT (*s*, *n*) сравниваются значения входного напряжения, хранящегося на запоминающей ёмкости, и напряжения на выходе цифроаналогового преобразователя (ЦАП).

Результат сравнения с выхода компаратора записывается в (*s*, *n*)-й разряд *DAR. При этом для установления выходного напряжения цифроаналогового преобразования между каждой парой последующих команд CVT даются одна или две команды NOP.

Команда OUT (*к*) обеспечивает передачу значений из DAR на один из аналоговых выводов. Операция OUT не должна появляться в командах, которые осуществляют запись в DAR. Первая команда OUT должна выполняться только после периода времени, необходимого для установления ЦАП, т. е. должна быть отделена несколькими командами NOP от команды записи выводимого результата в DAR.

В случае вывода только положительных сигналов после загрузки в DAR команды NOP не требуются. Время установления ЦАП по выводу равно 1,8 мкс.

Основным отличием данной структуры является введение цифрового параллельного порта и связанного с ним блока регистров специального назначения COR, DAR, CAR, DIR.

Цифровой ввод—вывод расширил область применения ЦПОС, использование БИС в качестве периферийного устройства цифровых систем, совместной работы с сигнальными процессорами семейства TMS320. Цифровой порт D7...D0 имеет сигналы управления WR, RDY аналогичные по функциям соответствующим сигналам в МПК КР580.

Регистр CAR позволяет программно задавать номера каналов аналогового входа и выхода (путём засылки в CAR соответствующего кода), что обеспечивает принципиально новые возможности по коммутации аналоговых сигналов и уменьшает объём аналогового поля команд.

Однако реализация интерфейса на основе ЦПОС КМ1813ВЕ1 (TMS320) предполагает не только программное обеспечение на Ассемблере 8-канального АЦП, цифровую фильтрацию по каждому из каналов, но и дополнительного применения элементов памяти, с необходимыми схемами контроля и формирования команд управления P0, P1, ..., P7. Последнее усложняет его аппаратную основу, а также и систему связи с УЧПУ/ПЛК.

Поскольку АЦП широко используется при сборе данных, в последние годы всё увеличивающееся число микроконтроллеров имеет встроенное периферийное устройство АЦП — точно так же, как таймеры и модуль USART.

Встроенное периферийное устройство АЦП устраняет потребность во внешнем подключении АЦП, что позволяет оставить большее число выводов для других процессов ввода — вывода.

На рис. 2 приведена схема предлагаемого интерфейса на основе микроконтроллера PIC18 применительно к нашему примеру — САУ КС обработки деталей на приведённом выше многоцелевом оборудовании ТФЦ600-7 с УЧПУ. В качестве примера указано новое УЧПУ S10 (A-B, PLC, США), в котором встроен модуль USART, позволяющий производить последовательный обмен данными по предлагаемому интерфейсу с микроконтроллерами PIC18.

Микроконтроллеры семейства PIC18 имеют 8-канальные, а несколько из них имеют 5-, а также 16-канальные АЦП (табл. 1).

Функции аналого-цифрового преобразования микросхемы, например PIC18F452/458, программируются на Ассемблере и С (СИ).

Преобразованные выходные двоичные данные содержатся в двух специальных функцио-

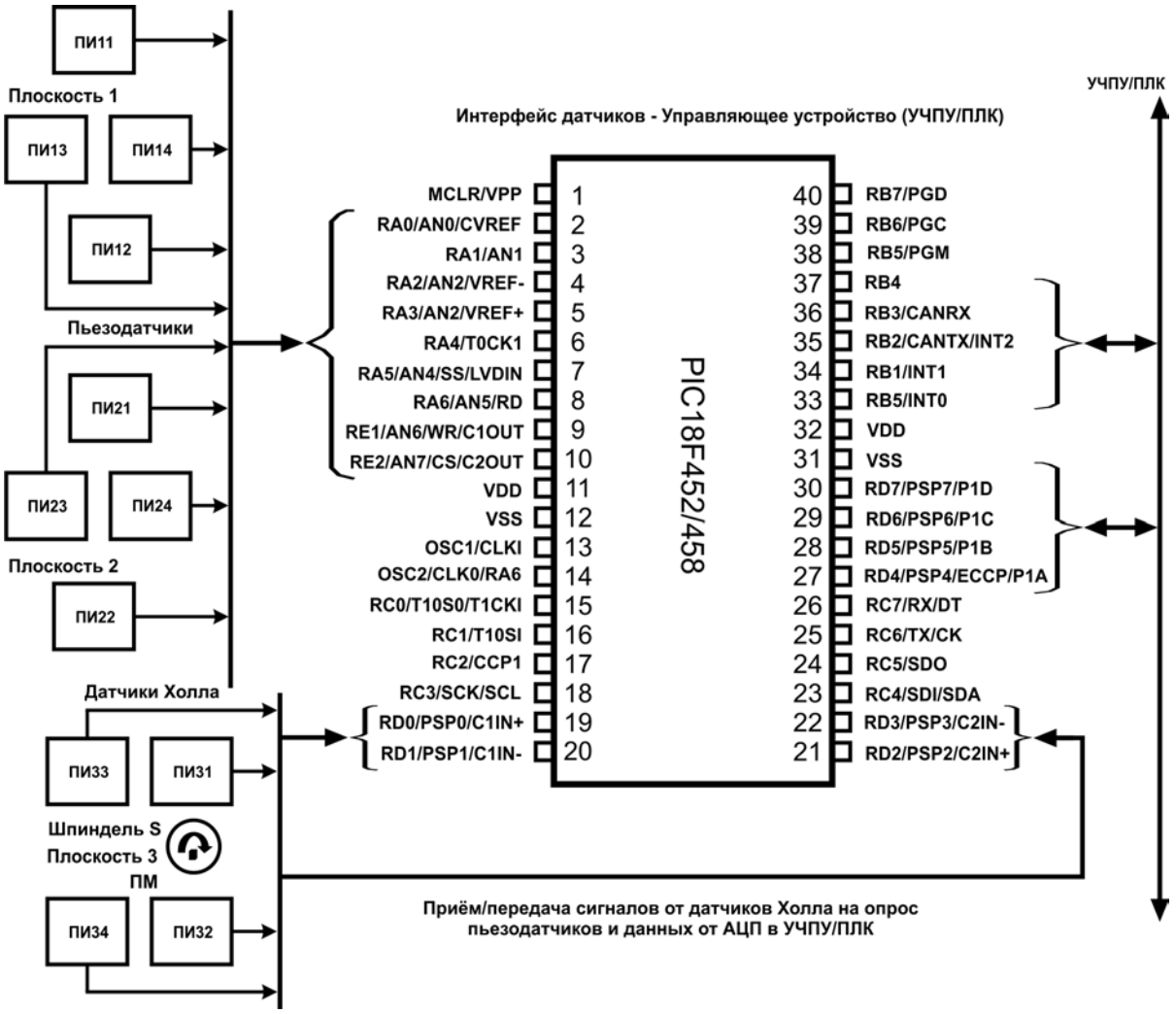

Рис. 2. Структурная схема САУ КС автоматизированного оборудования с УЧПУ (S10, PLC) в комплексе ДШУ с пьезодатчиками ПИ11...ПИ24, датчиками Холла ПИ31...ПИ34, и интерфейсом АЦП на основе микроконтроллеров PIC18452/458

Таблица 1

Основные характеристики микроконтроллеров PIC18

Индекс изделия	ПЗУ программ, байт	ПЗУ данных, байт	ЭСППЗУ данных, байт	Штырьки ввода-вывода	АЦП, число каналов/разрядов
PIC18F1220	4K (флэш)	256	256	16	5/10-разр.
PIC18F2420	16K (флэш)	768	0	25	5/10-разр.
PIC18F2220	4K (флэш)	512	256	25	5/10-разр.
P1C18F452	32K (флэш)	1536	256	34	8/10-разр.
P1C18F4520	32K (флэш)	1536	256	36	8/10-разр.
PIC18F458	32K (флэш)	1536	256	34	8/10-разр.
PIC18F4580	32K (флэш)	1536	256	36	8/10-разр.
P1C18F8722	128K (флэш)	3936	1024	70	16/10-разр.

нальных регистрах (СФР) с именами ADRESL (младший байт результата АЦП) и ADRESH (старший байт результата АЦП).

Рассмотрим распределение функций выбора источника синхронизации и каналов в регистре ADCON0.

ADCS1	ADCSO	CHS2	CHS1	CHSO	GO/DONE	—	ADON
Бит 7	Бит 6	Бит 5	Бит 4	Бит 3	Бит 2	Бит 1	Бит 0

Бит 7—6: ADCS1 и ADCS0 — выбор источника импульсов преобразования модуля АЦП.

ADCS2	ADCS1	ADCSO	Источник синхронизации
0	0	0	Fosc/2
0	0	1	Fosc/8
0	1	0	Fosc/32
0	1	1	Внутренний RC-генератор
1	0	0	Fosc/4
1	0	1	Fosc/16
1	1	0	Fosc/64
1	1	1	Внутренний RC-генератор

Примечание: бит ADCS2 расположен в регистре ADCON1.

Бит 5—3: CHS2, CHS1, CHS0 — выбор рабочего аналогового канала.

CHS2	CHS1	CHS0	Выбор канала
0	0	0	CHAN0 (AN0)
0	0	1	CHAN1 (AN1)
0	1	0	CHAN2 (AN2)
0	1	1	CHAN3 (AN3)
1	0	0	CHAN4 (AN4)
1	0	1	CHAN5 (AN5)*
1	1	0	CHAN6 (AN6)*
1	1	1	CHAN7 (AN7)*

Символ "*" означает, что выбор канала не реализован в 28-выводном корпусе в PIC18F2420, PIC18F2220.

Бит 2: GO/DONE — бит состояния (процесса или его завершения) аналого-цифрового преобразования:

1 — идёт аналого-цифровое преобразование. Этот бит используется для запуска преобразования, и затем переходит в состояние логического нуля с индикацией завершения преобразования;

0 — аналого-цифровое преобразование завершено и цифровые данные доступны в регистрах ADRESH и ADRESL.

ADON — бит включения модуля аналого-цифрового преобразования:

0 — секция АЦП PIC18 выключена и не потребляет электроэнергии. Этот режим устанавливается по умолчанию. Необходимо оставлять АЦП выключенным, где его не используют;

1 — секция АЦП PIC18 включена.

Так как регистры ADRESH и ADRESL на 16 разрядов, а выходные данные АЦП имеют разрядность, равную всего только 10 разрядов, то 6 разрядов из 16 не используются.

Подключение питающих напряжений, соответственно, Vdd(Vcc) — 32 и Vss(GND) — 31 от собственного источника напряжения PIC18 в качестве Vref или, от внешнего источника Vdd(Vcc) — 11 и Vss(GND) — 12. Настройка осуществляется битами PCFGs.

Время преобразования не может быть меньшим, чем 1,6 мкс и определяется частотой кварцевого генератора Fosc, подаваемой на выводы OSC.

Используя биты ADCS регистров ADCON0 и ADCON1, устанавливается время преобразования $T_{пр}$ в АЦП, и определяется в терминах Tad (Tad — это время преобразования на бит). При вычислении Tad, можно выбрать в качестве источника синхроимпульсов для преобразования Fosc/2, Fosc/4, Fosc/8, Fosc/16 Fosc/32 или Fosc/64, где Fosc — частота кварцевого генератора, подключённого к PIC18. На одно преобразование аналогового сигнала модулю АЦП требуется 12 Tad:

$$T_{пр} = 12 \text{ Tad}.$$

При выборе источника синхронизации процесса преобразования, как для регистра ADCON0, так и для регистра ADCON1, следует выборочный расчёт времени АЦП.

1) Источник синхроимпульсов Fosc/2.

При частоте внешнего генератора f_0 тактовая частота синхронизации равна:

$$fc_0 = f_0/2 = 10 \text{ МГц}/2 = 5 \text{ МГц}.$$

Период преобразования:

$$\text{Tad} = 1/fc_0 = 1/5 \text{ МГц} = 200 \text{ нс} = 0{,}2 \text{ мкс}.$$

Результат неприемлем ввиду того, что это время меньше, чем 1,6 мкс.

2) Источник синхроимпульсов Fosc/8.

$$fc_0 = 10 \text{ МГц}/8 = 1{,}25 \text{ МГц},$$

$$\text{Tad} = 1/2{,}5 \text{ МГц} = 800 \text{ нс}.$$

Результат неприемлем ввиду того, что это время меньше, чем 1,6 мкс.

3) Источник синхроимпульсов Fosc/16.

fc_0 = 10 МГц/16 = 625 кГц,

Tad = 1/625 кГц = 1,6 мкс.

Результат приемлем. Время преобразования $T_{пр}$ = 12·1,6 мкс = 19,2 мкс.

Для выбора Fosc/4, Fosc/16 и Fosc/64 должны использоваться ADSC2 регистра ADCON1, в дополнение к битам ADCS регистра ADCON0.

Рассмотрим пример программирования АЦП PIC18F458 для одного канала RA0 на языке Ассемблера.

Так как в 8-канальном АЦП преобразование, например для канала RA0 и RA1 каждого из двух датчиков ПИ11, ПИ21 плоскости 1 и, соответственно, плоскости 2, осуществляется одним датчиком Холла ПИ31, используется режим прерывания, вместо того, чтобы выполнять опрос, и с тем, чтобы избежать связывания микроконтроллера.

Для этого необходимо установить в единичное состояние флаг ADIE (разрешение прерывания АЦП). Если ADIE = 1, то после завершения преобразования ADIF (флаг прерывания АЦП) переходит в единичное состояние, что заставит ЦП перейти к считыванию двоичного выхода АЦП (табл. 2).

Таблица 2

Биты флагов прерываний АЦП и соответствующие регистры

Прерывание	Бит флага	Регистр	Бит разрешения	Регистр
ADIF (ADC)	ADIF	PIR	ADIE	PIE1

Программа АЦП (фрагмент для канала RA0) в режиме прерывания:

```
ORG 0000H
GOTO MAIN          ; обход таблицы векторов прерываний
                   ; по умолчанию все прерывания направляются на адрес 00008
ORG 0008H          ; таблица векторов прерываний по датчикам ПИ31...ПИ34
BTFSS PIR1, ADIF   ; прерывания от АЦП
RETFIE             ; нет. Возврат в главную программу
GOTO AD_ISR        ; да. Переход на прерывание INT0
                   ; Главная программа для инициализации
ORG 00100H
MAIN CLRF TRISC    ; установка порта PORTC выходом
CLRF TRISD         ; установка порта PORTD выходом
BCF TRISA, 0       ; установка RA0 входным выводом аналогового сигнала
MOVLW 0x81         ; Fosc/64, канал 0, включение АЦП
MOVWF ADCON0
MOVLW 0xCE         ; выравнивание вправо, Fosc/64, приём и преобразование аналогового сигнала AN0 (AN0 = 0...10B)
MOVWF ADCON1
BCF PIR1, ADIF     ; очистка ADIF для первого цикла
BSF PIE1, ADIE     ; разрешает прерывание АЦП
BSF INTCON, PEIE   ; разрешает прерывания от периферийных устройств
BSF INTCON, GIE    ; разрешение прерываний по таблице векторов прерываний
OVER CALL DELAY    ; ожидание tACQ (время выборки)
BSF ADCON0, GO     ; запуск преобразования
BRA OVER           ; бесконечный цикл
                   ; Переход на прерывание INT0
AD_ISR
ORG 200H
MOVFF ADRESL, PORTC ; выдача младшего байта в PORTC
MOVFF ADRESH, PORTD ; выдача старшего байта в PORTD
CALL QSEC_DELAY
BCF PIR1, ADIF     ; сброс бита флага прерывания
ADIF
RETFIE
END
```

В микроконтроллерах PIC18 реализовано ультрафиолетовое стирание информации в УФ-ППЗУ, однако время стирания микросхемы перед программированием составляет

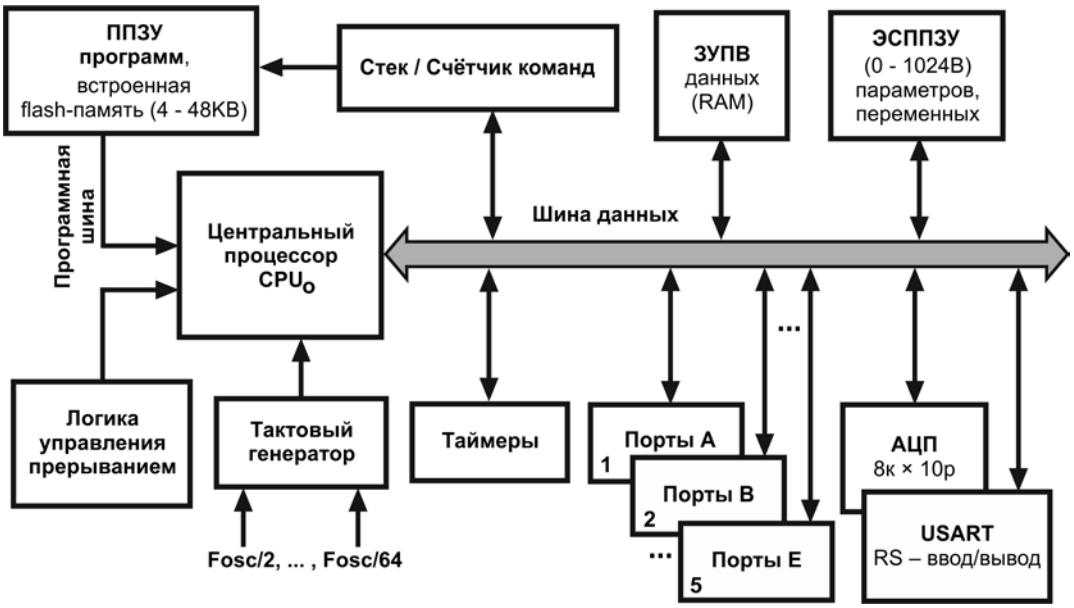

Рис. 3. Структурная схема микроконтроллеров PIC18452/458

около 20 мин. Это привело к тому, что в ряде микроконтроллеров семейства PIC используются flash-память в качестве полного ППЗУ (рис. 3, табл. 1).

Входящее в состав PIC18, периферийное устройство USART (Universal Synchronous and Asynchronous serial Receiver and Transmitter) — это модуль последовательного ввода-вывода, предназначенный для работы с периферийными устройствами, такими как терминалы или персональные компьютеры, модемы, микросхемы ЦАП, АЦП и т. д.

USART является очень гибким устройством последовательной передачи информации, позволяющее подключать систему к последовательным портам типа COM-порта персонального компьютера, а также проводить параллельный обмен данными шин I^2C и CAN, где могут использоваться пять портов (A, B, C, D, E).

В новых микроконтроллерах PIC18Fxx8x встроен усовершенствованный модуль USART, способный аппаратно поддерживать RS232, RS485 и протокол LIN. Этот модуль — EUSART позволяет не только самостоятельно принимать—передавать данные, разгружая ядро, но и автоматически определять скорость принимаемых данных, а в состоянии SLEEP принимать информацию с шины и давать сигнал "пробуждения" контроллеру при возникновении активности на шине в соответствии со спецификацией стандарта LIN.

Таким образом, наиболее приемлемым и технически реализуемым интерфейсом, в условиях применения многоканальных датчиков (таких как ДШУ) с управляющими устройствами типа УЧПУ/ПЛК в различных системах управления (например, САУ КС), являются микроконтроллеры с достаточно развитым и производительным центральным процессором, языком программирования задач пользователя и объёмной памятью для подпрограмм.

Библиографические ссылки

1. **Лизогуб В.А., Бугров Ю.Н.** Система адаптивного управления подачей с цифровой обработкой сигналов от датчиков Холла с многосекторным размещением их в динамометрическом шпиндельном узле // Фундаментальные исследования и инновационные технологии в машиностроении: Науч. тр. III Междунар. науч. конф. М.: Издательский дом "Спектр", 2014. С. 158—161.

2. **Бугров Ю.Н.** Цифровая фильтрация сигналов управления и контроля в системах управления технологическим оборудованием и специализированными станками // Фундаментальные проблемы и современные технологии в машиностроении: Науч. тр. Междунар. науч.-практич. конф. М.: Машиностроение, 2010. С. 347—353.

3. **Курнасов Е.В.** Практическая реализация объектной привязки технических устройств в SCADA-системах. СТИН. 2012. № 8. С. 2—6.

4. **Мухаммед Али Мазиди, Ролин Д. МакКинли, Кусэй Дэнни.** Микроконтроллеры PIC и встроенные системы. Применение ассемблера и C для PIC18. Киев: "МК-Пресс", СПб: "КОРОНА-ПРИНТ", 2009. 784 с.

УДК 628.9:621

О.Е. Железникова, канд. техн. наук, доц., **Э.А. Амелькин**
(Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва, г. Саранск),
С.А. Микаева, д-р техн. наук, проф.
(Московский государственный университет приборостроения и информатики)

mikaeva@pechkin.npo.lit.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СВЕТОДИОДНОГО ОСВЕЩЕНИЯ НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА

Приведено описание экспериментальной исследовательской установки, создающей варианты люминесцентного (базового) и светодиодного освещения. Представлены основные результаты экспериментальных исследований и рекомендации по реализации освещения со светодиодными источниками света.

Ключевые слова: светодиодное освещение; комплексная методика; экспериментальная исследовательская установка; исследования; гигиеническая и психофизическая оценка; эффективность; рекомендации.

The description of the experimental research facility creating versions of the luminescent (basic) and LED-based lighting is adduced. The basic results of experimental research and recommendations relative to lighting implementation with LED light sources are presented.

Key words: LED lighting; integrated method; experimental research facility; research; hygienic and psychophysical assessment; efficiency; recommendations.

Последнее десятилетие отмечено значительным прогрессом в совершенствовании технологий изготовления светодиодов (СД) и улучшением их технических характеристик. Расширились масштабы производства и внедрения СД и светильников на их основе. Однако возможность использования светодиодных источников света (ИС) для создания благоприятных условий освещения требует весомых доказательств, которые могут быть получены всесторонними исследованиями влияния освещения ИС на орган зрения и организм человека.

Помещение для обследования и экспериментальные помещения

Цель данной работы — всестороннее изучение влияния светодиодного освещения на орган зрения и организм человека.

Для достижения поставленной цели разработана и создана экспериментальная исследовательская установка (ЭИУ) общего освещения, смонтированная в лаборатории размером 6 × 9 × 3 м, состоящей из четырёх помещений (см. рисунок): помещения для обследования наблюдателей с коэффициентами отражения ограждающих поверхностей потолка, стен и пола соответственно $\rho_п = 0{,}7$; $\rho_с = 0{,}5$ и $\rho_р = 0{,}3$ и трёх экспериментальных помещений, в двух из которых размещены осветительные установки (ОУ) со светодиодными светильниками: в одном ОУ со светильниками с традиционными ИС. В помещении для обследования три световых проёма перекрыты жалюзи с коэффициентом отражения 0,1, в экспериментальных помещениях естественное освещение отсутствовало. Высота помещений 3 м. Коэффициенты отражения потолка, стен, пола и рабочей поверхности соответственно составили: $\rho_п = 0{,}7$; $\rho_с = 0{,}7$; $\rho_р = 0{,}3$ и $\rho_{р.п.} = 0{,}3$. Ограждающие и рабочая поверхности экспериментальных помещений — диффузно-отражающие.

Для ЭИУ выбраны светильники следующих производителей: совместного российско-

корейского предприятия ООО "НЕПЕС РУС" (светильники со светодиодами Cap Flat 66-16) и ОАО "Ардатовский светотехнический завод" (светильники со светодиодами ДВО12-38-001 Prizma и светильники с люминесцентными лампами ЛВО04-4 × 14-041 PRS, ЛВО04-4 × 18-041 PRS).

В экспериментальных помещениях светильники установлены таким образом, чтобы создать необходимые уровни вертикальной освещённости на экране с тест-объектом для измерения времени ахроматической адиспаропии и на кампиметре.

В качестве базовых ИС для сравнения со СД выбраны люминесцентные лампы (ЛЛ), являющиеся наиболее обследованными ИС массового применения с точки зрения психофизиологического и гигиенического воздействия излучения на организм.

Предварительно смоделированы варианты освещения в программе DIALux для выполнения требований, предъявляемых СП 52.13330.2011 "Естественное и искусственное освещение" [1], СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278—03 "Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий" [2] и СанПиН 2.2.1/2.1.1.2585—10 "Изменения и дополнения № 1 к санитарным правилам и нормам СанПиН 2.2.1/2.1.11278—03 "Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий" [3], к общему освещению общественных и административных зданий.

Требования к количественным и качественным показателям общего освещения в помещениях общественных и административных зданий, где осуществляются зрительные работы разряда А-2, выбранного за базовый, представлены в таблице [1—3].

Для определения обоснованного применения СД светильников в ОУ различного функционального назначения экспериментальные исследования проведены при трёх уровнях освещённости: 200, 400 и 1000 лк, которые наиболее характерны при выполнении зрительных работ в помещениях различного назначения. Значения коррелированной цветовой температуры $T_{цв}$ в каждом варианте взяты равными 3000, 4000 и 5000 К. Подробное описание ЭИУ приведено в работе [4].

Для проведения экспериментальных исследований отобрана группа студентов в возрасте 20—25 лет, добровольно согласившихся на участие в экспериментальных исследованиях. Предварительные и контрольные обследования проводились в республиканских офтальмологической и психиатрической больницах г. Саранска.

Отобранные наблюдаемые в количестве 60 чел. были случайным образом разбиты на две группы по 30 чел. в каждой: контрольная (эксперимент при люминесцентном освещении) и основная (эксперимент при светодиодном освещении). Число наблюдаемых и количество экспериментов определялось, исходя из требований получения статистически достоверных данных при заданной продолжительности проведения исследований. Были составлены графики работы каждой группы наблюдаемых. Каждый наблюдаемый участвовал в эксперименте только в одно и то же время с учётом суточных биоритмов человека. Функциональной нагрузкой служила полуторачасовая зрительно-напряжённая работа корректорского типа с умственной компонентой, относящаяся к разряду А-2. В соответствии с планом эксперимента количество человеко-дней в условиях светодиодного освещения составило 488, в условиях люминесцентного — 522.

Перед началом экспериментальных исследований все наблюдаемые в течение 10 дней тренировались по методикам исследований до получения стабильных результатов, а затем начинался лабораторный эксперимент, который продолжался в течение 60 дней.

В ходе эксперимента при заданных условиях освещения измерялись объём абсолютной аккомодации (ОАА), время ахроматической адиспаропии, артериальное давление, критическая частота слияния световых мельканий (КЧСМ). В конце эксперимента наблюдаемые

Нормируемые количественные и качественные показатели освещения

Помещения	Плоскость нормирования освещённости (Г — горизонтальная, В — вертикальная), м	Разряд и подразряд зрительной работы	Освещённость рабочей поверхности при общем освещении, лк	Объединённый показатель дискомфорта UGR, не более	Коэффициент пульсации освещённости, не более
Основные помещения общественных и административных зданий	Г-0,8	А-2	400	21	10

заполняли анкеты субъективной оценки условий освещения. Перед началом и после окончания эксперимента у наблюдаемых измерялись монокулярно пороги цветоразличения с помощью аномалоскопа АН-59 и проекции слепого пятна органа зрения (по методу кампиметрии).

Экспериментальные исследования проведены по разработанной комплексной методике психофизиологической и гигиенической оценки эффективности светодиодного освещения [5, 6], анализ результатов которых позволил сделать следующие выводы:

светодиодное освещение создает лучшие условия для работы аккомодационно-мышечного аппарата органа зрения. Это объясняется большей активностью цилиарной мышцы и связано, видимо, с биологической целесообразностью спектрального распределения светодиодного освещения (исследования при $T_{цв}$ = 4000 К и $T_{цв}$ = 5000 К). При этом снижение ОАА в процессе работы, обусловленное, в первую очередь, характером зрительных задач, имеет локальный характер и связано с обратимыми процессами в органе зрения: к началу следующего дня у наблюдаемых ОАА восстанавливался до исходных значений;

как в контрольной, так и в основной группах на 60-й день эксперимента установлено, что у всех наблюдаемых острота зрения на оба глаза сохранилась и составила 1,0; рефракция также была преимущественно эмметропической в пределах физиологической нормы. Результаты обследования методом компьютерной томографии сетчатки показали, что как в условиях люминесцентного освещения, так и светодиодного (при выполнении зрительно-напряжённых работ) состояние сетчатки наблюдаемых остается без достоверных изменений и не подвергается вредному воздействию;

после зрительной нагрузки имеет место достоверное увеличение физиологической площади слепого пятна при всех исследованных вариантах освещения ($p < 0,05$); рассчитанный коэффициент корреляции подтвердил однотипность изменений физиологической площади слепого пятна у наблюдаемых после зрительной нагрузки. Сопоставление динамики площади проекции диска зрительного нерва при выполнении зрительной нагрузки показало, что при $T_{цв}$ = 3000 К светодиодное освещение способствует меньшему зрительному утомлению по сравнению с люминесцентным ($p < 0,05$). К началу следующего дня физиологическая площадь слепого пятна у наблюдаемых восстанавливалась до первоначального уровня, что указывает на слабую выраженность морфоструктурных изменений в тканях глаза под действием функциональной нагрузки при благоприятных внешних условиях. Такие колебания зрительных функций объясняются общим утомлением и обратимыми изменениями в тканях глаза;

при зрительной работе в условиях люминесцентного и светодиодного освещения функциональное состояние рецепторного звена сетчатка—цветоразличение не было одинаковым, что связано с фотохимическими реакциями в сетчатке, которые могут тормозиться и усиливаться под действием излучений в различных частях видимого спектра. Влияние спектрального состава излучения выявлено при исследовании только для *c*-рецептора сетчатки для излучения с $T_{цв}$ = 4000 К (Е = 1000 лк) и $T_{цв}$ = 5000 К (Е = 400 лк, Е = 1000 лк). Для других условий при сопоставлении различий влияние спектрального состава оказалось незначительным, что можно объяснить характером зрительных задач — работой с ахроматическими объектами, а также качественными параметрами освещения — благоприятным спектральным составом излучения, отсутствием пульсации светового потока;

во всех исследованных вариантах освещения снижается КЧСМ в процессе эксперимента. Это связано, в первую очередь, с выполняемой зрительно-напряжённой работой, но этот процесс обратим, так как к началу следующего дня показатели восстанавливались до исходных значений. Установлено, что показатель КЧСМ при светодиодном освещении не хуже, чем при люминесцентном, и светодиодное освещение не оказывает угнетающего действия на состояние центральной нервной системы;

субъективная оценка светодиодного и люминесцентного освещения не выявляет преимуществ исследованных вариантов (сопоставляемые условия освещения практически равнозначны);

психические функции наблюдаемых интактны к воздействию сравниваемых вариантов освещения, т. е. исследуемые условия освещения как люминесцентного, так и светодиодного существенно не влияют на показатели психического здоровья наблюдаемых;

меньшее снижение индекса "двойное произведение" (ИДП) в процессе зрительной работы наблюдалось в условиях люминесцентного освещения. Влияние спектрального состава освещения на изменение ИДП подтверждено с $p < 0,05$ во всех исследованных вариантах

освещения. Наименьшие значения ИДП отмечены при светодиодном освещении ($T_{цв}$ = = 3000 К), что объясняется более благоприятным влиянием на этот показатель теплобелого света, чем холодно-белого или дневного. По показателю ИДП светодиодное освещение обеспечивает более высокие резервные возможности организма, чем люминесцентное;

динамика основных показателей электрокардиограммы (ЭКГ) в контрольной и основной группах (частота сердечного ритма и временные интервалы ЭКГ) не показывает отклонений от физиологических норм. Статистически значимых изменений указанных показателей в сравниваемых вариантах освещения не выявлено;

показатели электроэнцефалограммы (ЭЭГ) и эхо-электроэнцефалограммы (ЭХО-ЭЭГ) в основной и контрольной группах находятся в пределах физиологической нормы. Для контрольной группы на 30-й и 60-й дни выявлено некоторое подавление активности альфа-ритма, что свидетельствует о развитии несколько большего утомления нервной системы при люминесцентном освещении. ЭХО-ЭЭГ показатели работы головного мозга для основной и контрольной групп также находятся в пределах физиологической нормы; значимых изменений не выявлено. Установлено, что исследованные условия освещения (люминесцентное и светодиодное) по ЭХО-ЭЭГ показателям равноценны;

показатели иммунного статуса под воздействием как люминесцентных, так и светодиодных ИС в процессе экспериментальных исследований соответствовали параметрам физиологической нормы;

изменения гормонального профиля соответствуют нерезко выраженным стрессовым расстройствам. В контрольной группе эти изменения более выражены. В основной группе происходит частичная коррекция показателей гормонального профиля;

световая среда со СД по сравнению с ЛЛ способна обеспечить более высокую зрительную работоспособность и меньшее зрительное утомление, т. е. освещение светодиодными ИС можно рассматривать как более благоприятное с гигиенических позиций при выполнении зрительно-напряжённых работ по сравнению с контрольным вариантом освещения. Парный коэффициент корреляции r подтвердил ($p < 0{,}05$) наличие положительной корреляции межу ОАА и коэффициентом зрительной работоспособности после зрительной работы. Следовательно, повышение коэффициента зрительной работоспособности при светодиодном освещении объясняется лучшей работой аккомодационно-мышечного аппарата органа зрения;

результаты субъективной оценки (по методу корреляционного анализа) подтверждают достоверность объективных методов оценки функционального состояния органа зрения и организма человека в целом.

Всесторонний (комплексный) анализ функционального состояния органа зрения и организма человека в целом, а также интегральных показателей оценки эффективности исследуемых условий освещения позволил составить психофизиологический "портрет" развития утомления организма человека.

Психофизиологический "портрет" после зрительной нагрузки составлен для светодиодного освещения в сопоставлении с люминесцентным для трёх значений коррелированной $T_{цв}$ = 3000, 4000 и 5000 К при уровне освещённости E = 400 лк. При коррелированной $T_{цв}$ = 3000 К из 21 исследованного показателя достоверное преимущество светодиодного освещения выявлено для 7, остальные 14 имеют динамику, соответствующую вариантам ЛЛ.

Для $T_{цв}$ = 4000 К установлено достоверное преимущество для 9, а при $T_{цв}$ = 5000 К для 8 показателей.

Проведённые исследования при различных условиях освещения (светодиодного, люминесцентного) выявили тесную связь функций зрения с компенсаторно-приспособительной реакцией организма и устойчивость адаптивных систем, ответственных за регуляцию чувствительности органа зрения и организма в целом.

На основании анализа результатов экспериментальных исследований по разработанной комплексной методике психофизиологической и гигиенической оценки эффективности светодиодного освещения установлено, что освещение СД не оказывает отрицательного (вредного) воздействия на орган зрения и организм человека в целом.

Приведённые выше материалы исследований позволили разработать перечень областей применения светодиодных светильников для помещений различного функционального назначения (общественных, административных, образовательных, жилых и производственных).

Рекомендации направлены на оптимизацию условий труда при выполнении напряжённых умственных и зрительных работ.

Светодиодные ИС эффективны при выполнении работ высокой и средней точности.

Сравнительные исследования показали, что зрительная работоспособность при светодиодном освещении выше, а нагрузка на аккомодационно-мышечный аппарат ниже.

Необходимость применения светодиодного освещения оправдана при выполнении зрительных работ, требующих ограничения коэффициента пульсации светового потока (освещённости), при выполнении напряжённых зрительных и умственных работ, и работах, связанных с цветоразличением при невысоких требованиях.

Применение в ОУ светодиодных светильников может быть рекомендовано при необходимости создания достаточно высоких уровней освещённости на рабочих поверхностях (работы разряда А-2), в том числе и при заданной направленности светового потока, например сборочные операции в различных отраслях промышленности.

Использование существующей номенклатуры светодиодных светильников для создания комфортных и безопасных условий световой среды эффективно и в системах смешанного освещения, например, совместно с люминесцентными светильниками. Смешанное освещение СД и ЛЛ может быть рекомендовано для ОУ, где выполняются умственные и зрительные работы с ахроматическими объектами, либо работы без высоких требований к цветоразличению.

Для исключения прямой и отражённой блёскости необходимо, чтобы объединённый показатель дискомфорта UGR не превышал 21, максимальная яркость рабочей поверхности должна быть ограничена 500 кд/м^2. Для ограничения слепящего действия светодиодных светильников необходимо использовать в ОУ рассеиватели, исключающие возможность попадания прямых лучей в поле зрения работающих (ГОСТ Р 54350—2011, максимальная габаритная яркость не более 5000 кд/м^2 в зоне ограничения яркости 60—90°). Для исключения прямой блёскости светодиодные светильники общего освещения должны быть расположены под углом более 60° к линии зрения. Для снижения отражённой блёскости эффективно использовать матовую отделку рабочей поверхности и поверхностей активного наблюдения.

При невозможности использования яркостного контраста допускается создание цветового контраста. Учитывая хорошее качество цветовоспроизведения при светодиодном освещении, не исключается применение объектов нескольких цветов.

При выборе светодиодных светильников, изготовленных по технологии "удалённого люминофора", необходимо осуществлять их входной контроль на наличие ультрафиолетового излучения. Интенсивность ультрафиолетового излучения в диапазоне длин волн 320—400 нм не должна превышать 0,03 Вт/м^2 [4].

Минимально допустимые значения коэффициента мощности модулей светодиодных источников в составе осветительного прибора мощностью до 25 Вт должны быть не менее 0,7; более 25 Вт — не менее 0,85.

При проектировании светодиодного освещения необходимо контролировать неравномерность распределения яркости по световому отверстию светильника, которая должна соответствовать $L_{max}/L_{min} \leqslant 5 : 1$.

Следует подчеркнуть, что работы по психофизиологической и гигиенической эффективности светодиодного освещения необходимо продолжить, в том числе в направлении определения его эффективности в различных отраслях промышленности.

Авторы выражают благодарность докторам медицинских наук С.В. Аксеновой, С.В. Кирюхиной, В.Г. Подсеваткину и кандидату медицинских наук М.П. Куликовой за помощь в организации и проведении исследований.

Библиографические ссылки

1. **СП** 52. 13330.2011 "Естественное и искусственное освещение" URL: http://docs.cntd.ru/document/1200084092 (дата обращения 14.10.2013).

2. **СанПиН** 2.2.1/2.1.1.1278—03 "Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий". URL: http://www.norm-load.ru/SNiP/Data1/11/11776/index.htm (дата обращения 21.10.2013).

3. **СанПиН** 2.2.1/2.1.1.2585—10 "Изменения и дополнения № 1 к санитарным правилам и нормам СанПиН 2.2.1/2.1.11278—03 "Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий". URL: http://24.rospotrebnadzor.ru/documents/regional/27736/ (дата обращения 21.10.2013).

4. **Амелькина С.А., Железникова О.Е., Кирюхина С.В., Синицына Л.В.** Разработка комплексной методики оценки влияния условий светодиодного освещения на состояние органа зрения и организма человека в целом // Естественные и технические науки. 2013. № 5 (67). С. 249—257.

5. **Абрамова Л.В., Железникова О.Е.** Психофизиологическая о гигиеническая оценка освещения натриевыми лампами высокого давления. Саранск: СВМО, 2005. 116 с.

6. **Микаева С.А., Железникова О.Е., Прытков С.В.** Устройство для измерения пространственных характеристик источников света // Автоматизация и современные технологии. 2014. № 4. С. 29—33.

УДК 536.46:621.762:662.612

Ф.Н. Чернов, В.И. Малинин, д-р техн. наук, проф.
(Пермский национальный исследовательский политехнический университет)

Fedor.Chernov@list.ru

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПОЛУЧЕНИЯ НАНОДИСПЕРСНЫХ ОКСИДОВ МЕТОДОМ СЖИГАНИЯ ГАЗОВЗВЕСЕЙ ПОРОШКОВ МЕТАЛЛОВ

Рассмотрена технология производства нанодисперсных оксидов. Предложен эффективный метод выделения из суспензии частиц требуемой дисперсности, основанный на эффекте электрофореза. На основе данного метода разработана функциональная схема промышленного производства нанодисперсных оксидов. Описана конструкция устройства для разделения фракций, которое является одним из ответственных узлов предложенной функциональной схемы. Рассмотрен вариант автоматизации процесса разделения фракций.

Ключевые слова: суспензия; наноультрадисперсный порошок; электрофорез; броуновское движение.

The technology of the nanodispersed oxides industrial production is considered. The separation effective method of wanted dispersion particles from the suspension, based on electrophoresis effect, is offered. On the grounds of his method functional scheme of nanodispersed oxides industrial production is developed. The facility construction for fraction separation, which is the most important part of functional scheme, is described. The automation variant of the fraction separation process is considered.

Key words: suspension; nanoultradispersed powder; electrophoresis; Brownian movement.

Развитие современных технологий основывается на производстве высококачественных порошковых материалов, обладающих заданными свойствами, и находящих своё применение в производстве машиностроительной керамики, композиционных материалов, в электронике, химической промышленности и др. областях. Наиболее востребованным для современных технологий является наноультрадисперсный порошок (НУДП). Общий недостаток используемых методов получения НУДП состоит в низкой производительности и невозможности их применения для промышленного производства. В работе [1] предложен новый высокопроизводительный метод получения высокодисперсных порошков оксидов металлов — метод сжигания металлогазовой смеси, который позволяет получать продукты высокого качества при большой производительности. Недостатком данного метода является необходимость выделения дисперсной фракции из суспензии продуктов сгорания. В работе [1] описана технологическая схема выделения НУДП из суспензии продуктов сгорания металлического порошка (рис. 1). Приведённые технологические операции реализованы в лабораторных условиях, в результате получен целевой продукт: химически чистый НУДП с диаметром частиц менее 300 нм.

В реализованной технологии для выделения частиц заданной дисперсности предложен метод седиментации, который позволяет выделить НУДП из суспензии. Однако данный метод неприменим для выделения нанодисперсных частиц, так как не учитывается влияние броуновского движения, в котором

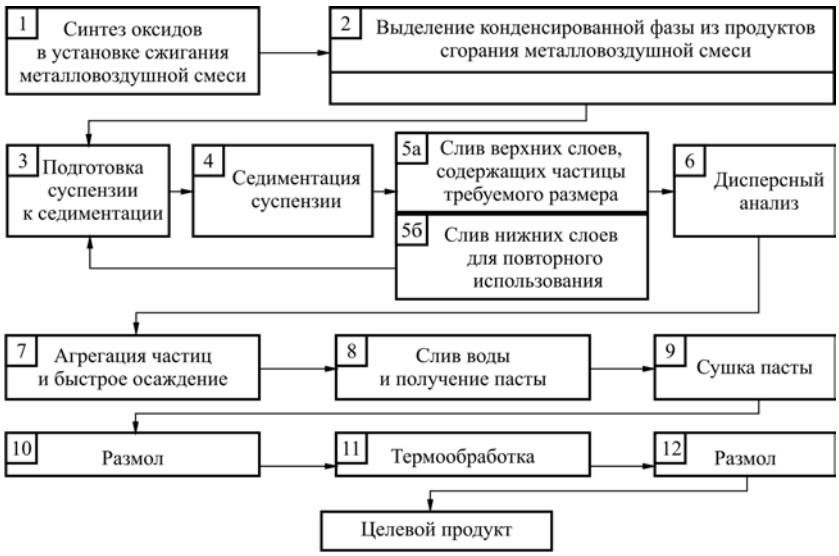

Рис. 1. Технологическая схема выделения НУДП

участвуют частицы диаметром менее 100 нм. Кроме этого, процесс седиментации является достаточно продолжительным, что затрудняет его применение в промышленном производстве нанопорошков.

Для того чтобы избавиться от влияния броуновского движения и ускорить процесс осаждения крупной фракции, предлагается использовать электрофорез — движение частиц дисперсной фазы относительно дисперсионной среды под действием внешнего электрического поля. Скорость электрофореза рассчитывается по формуле Гельмгольца—Смолуховского:

$$v_e = \frac{2\zeta\varepsilon\varepsilon_0 E}{3\eta}, \qquad (1)$$

где ε — диэлектрическая проницаемость жидкости; ε_0 — диэлектрическая постоянная; ζ — электрокинетический потенциал частицы; E — напряжённость электрического поля; η — коэффициент вязкости воды.

Электрическое поле позволяет быстро осадить частицы, но не разделить их — они осядут все одновременно, вне зависимости от их размера. Варьируя концентрацию электролита (изменение параметра Дебая), можно создать такие условия, при которых скорости осаждения частиц разных диаметров будут существенно отличаться. Уточнённая формула скорости электрофореза, учитывающая размер сферических частиц, получена Штерном и Генри:

$$v_e = \frac{2\zeta\varepsilon\varepsilon_0 E}{3\eta} f(\chi d / 2), \qquad (2)$$

где χ — параметр Дебая; d — диаметр частицы.

Расчёт времени осаждения частиц
E = 1000 В/м; ζ = 20 мВ; $\varepsilon_0 = 8{,}85\cdot10^{-12}$ Ф/м; $\eta = 1002\cdot10^{-6}$ Па·с; $\chi = 15\cdot10^{-7}$ м$^{-1}$

d, нм	τ_{Fg}, ч	τ_{Fe}, ч
200	$2{,}5\cdot10^2$	1,1
100	$9{,}9\cdot10^2$	1,2
50	$3{,}9\cdot10^3$	1,3

На основе данных, представленных в работе [2], выполнен расчёт зависимости функции f от диаметра частиц оксида при параметре Дебая $\chi = 6{,}7\cdot10^7$ м$^{-1}$, $15\cdot10^7$ м$^{-1}$, $30\cdot10^7$ м$^{-1}$. График этой зависимости представлен на рис. 2.

В таблице представлен расчёт времени осаждения частиц γ-оксида алюминия в гравитационном и электрическом полях при высоте слоя суспензии 5 см (d — диаметр частиц, τ_{Fg}, τ_{Fe} — время осаждения частиц в гравитационном и электрическом полях соответственно) [3].

Сравнительный анализ данных таблицы позволяет сделать вывод, что с помощью силы электрического поля, действующего на частицы оксида в суспензии, можно значительно сократить время их осаждения. Сокращение времени оседания делает целесообразным применение эффекта электрофореза для промышленного получения нанодисперсных порошков.

В лабораторных условиях были проведены испытания экспериментальной установки для выделения нанодисперсных оксидов (рис. 3), которые подтвердили возможность использования предложенного метода для промышленного производства НУДП.

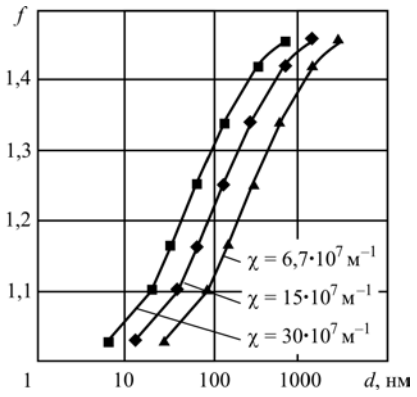

Рис. 2. Зависимость функции *f* от диаметра частицы

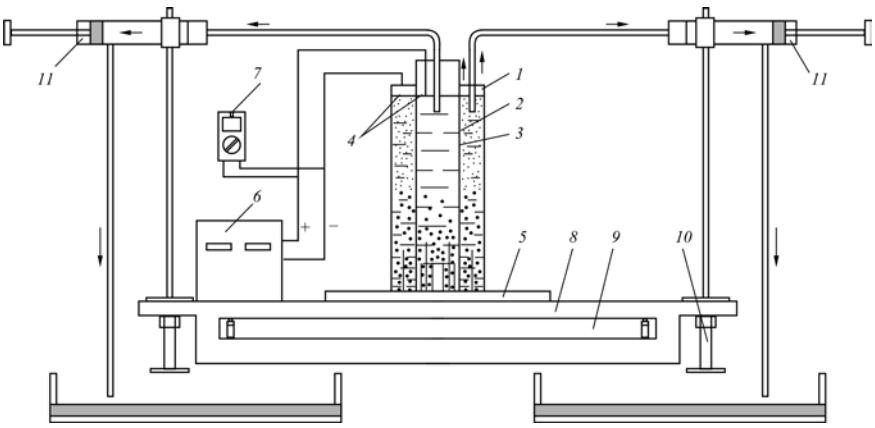

Рис. 3. Схема установки для выделения НУДП:
1 — ёмкость для суспензии; *2* — ёмкость для электролита; *3* — затвор; *4* — токопроводящие контакты; *5* — днище; *6* — источник постоянного тока; *7* — мультиметр; *8* — станина; *9* — уровень; *10* — регулируемые по высоте опоры; *11* — ручная помпа

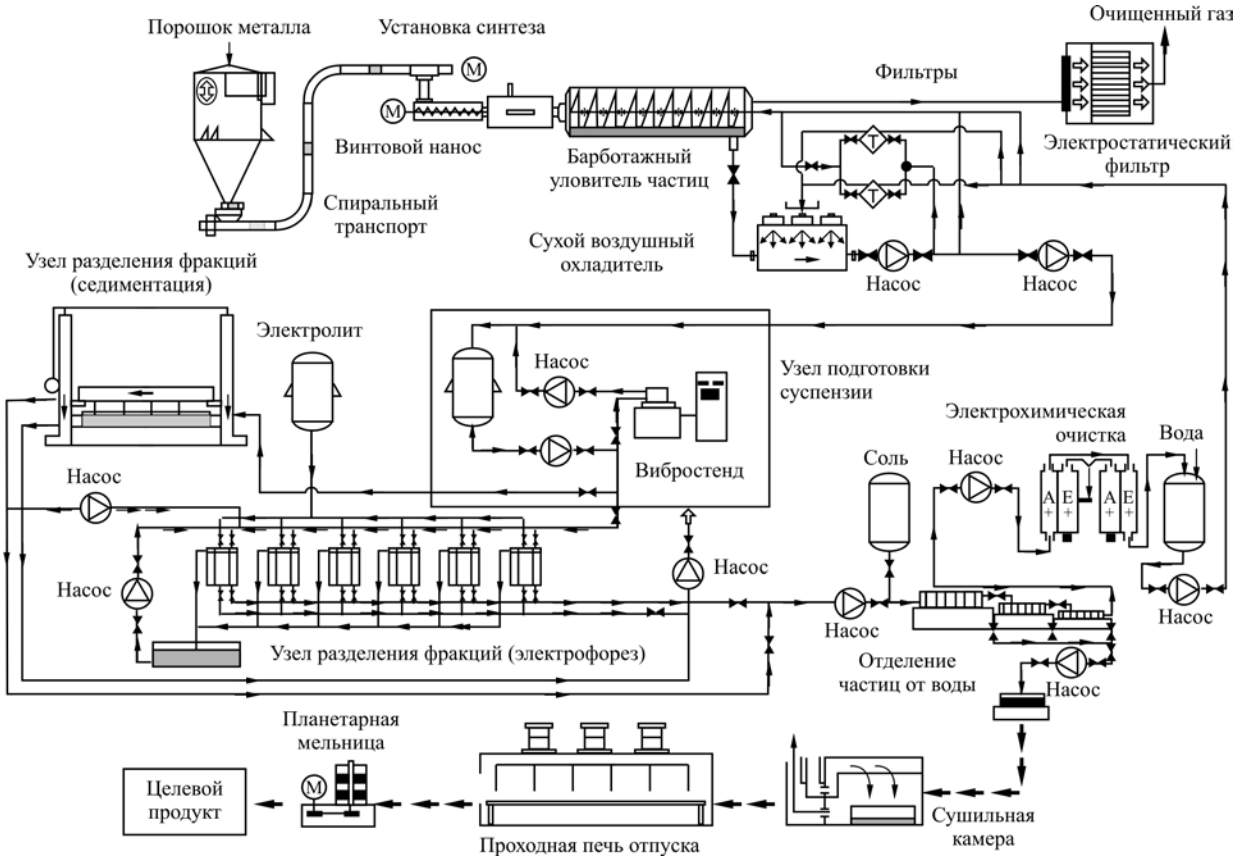

Рис. 4. Схема технологического цикла получения нанопорошка оксида алюминия

На основе результатов испытаний экспериментальной установки и конструкторско-технологической проработки предложена функциональная схема для реализации технологии промышленного производства нанодисперсных оксидов (рис. 4).

Технологический комплекс включает установку синтеза с системой улавливания конденсированных продуктов сгорания и технологическую линию для выделения нанодисперсных оксидов [4].

Операции технологического цикла осуществляются следующим образом. Сырьё — металлический порошок — выгружается в *приёмный бункер. Спиральным конвейером* порошок подаётся на вход *винтового насоса*, с помощью которого сырьё попадает в *камеру сгорания* установки синтеза и распыляется небольшим количеством подведённого к системе сжатого газа (менее 1 % от массового расхода порошка). В *установке синтеза* происходит сжигание металлического порошка с образованием оксида металла. Продукты сгорания представляют собой высокотемпературный и высокоскоростной поток газа с дисперсными частицами оксида. Чтобы снизить температуру и скорость потока, а также выделить из него конденсированные продукты, предлагается использовать *барботажный уловитель частиц* [5]. Полученная суспензия воды откачивается из барботажного уловителя частиц *центробежными циркуляционными насосами*. В V-образных радиаторах *сухого воздушного охладителя* суспензия охлаждается под действием напора воздуха от вентилятора. Большая часть охлаждённой суспензии очищается фильтрами от крупных частиц, которые могут вызвать повышенный износ оборудования, и подаётся в барботажный уловитель частиц. Оставшаяся суспензия применяется как исходный материал для выделения НУДП. Газообразные продукты сгорания полностью очищаются от конденсированной фазы в *электростатическом фильтре* и выбрасываются в атмосферу. При этом обеспечивается экологическая безопасность технологического цикла. Часть суспензии, охлаждённой в сухом воздушном охладителе, дозировано перекачивается *мембранным насосом* в *узел подготовки суспензии*, состоящий из *ёмкости*, двух *центробежных циркуляционных насосов* и *вибрационной установки*, в которой происходит измельчение агрегировавших в процессе горения частиц до их первоначальных размеров.

Затем подготовленная суспензия перекачивается в *узел разделения фракций методом седиментации*, где происходит гравитационное осаждение крупных частиц и отделение наноультрадисперсных частиц. Далее суспензия подается в *узел разделения фракций методом электрофореза*, где под действием электрического поля осуществляется отделение нанодисперсных частиц [6—9]. *Узел разделения фракций методом электрофореза* состоит из ёмкостей, представляющих собой два концентрически расположенных цилиндра, внутри которых находятся подготовленная суспензия (внешний цилиндр) и раствор электролита (внутренний цилиндр). В результате электрофореза крупнодисперсные частицы оксида перемещаются из внешнего цилиндра во внутренний, после чего разделяющая их заслонка опускается, и суспензия, содержащая частицы требуемой дисперсности, перекачивается в *каскад емкостей*, где происходит отделение частиц от воды. Раствор, содержащий небольшое количество мелкодисперсных частиц, из внутреннего цилиндра подаётся в узел подготовки суспензии для повторного использования. Для отделения частиц от воды на входе в каскад вводится соляной раствор, оксид выпадает в осадок, а вода, содержащая соль, подается в установку электрохимической очистки. Очищенная вода используется для пополнения линии циркуляции суспензии и очистки фильтров.

Образовавшаяся после слива воды паста собирается из каскада ёмкостей в промежуточный сборник, а затем подаётся в *сушильную камеру*, где из неё выпариваются остатки воды. Для процесса осушки используется горячий воздух с сухого воздушного охладителя. Таким образом, снижаются затраты на энергопотребление сушильной камеры. После выпаривания воды полученный порошок подвергается термической обработке в *проходной печи отпуска.* В процессе термической обработки может произойти спекание полученного порошка. Для измельчения спёка до исходного размера частиц достаточно применить механический метод размола в *планетарной мельнице.*

Преимущества описанного выше комплекса:

1. Синтез оксида осуществляется в режиме самоподдерживающейся экзотермической реакции в камере сгорания с контролируемыми параметрами, что позволяет обеспечить высокую производительность, малую энергоёмкость процесса и заданные характеристики дисперсного материала.

2. Выполнение операций реализуется в режиме замкнутого непрерывного цикла с высокой степенью улавливания конденсированной фазы и выделения целевого продукта, что позволяет обеспечить экологическую чистоту производства, возможность его автоматизации и высокую экономичность.

3. Основная часть оборудования, входящего в состав технологического комплекса, находится в свободной продаже и представлено на российском рынке в широком ассортименте.

Однако технологический комплекс для промышленного производства наноультрадисперсного оксида кроме стандартного оборудования включает узлы и агрегаты, требующие индивидуальной конструкторско-технологической проработки.

Один из них — элемент узла разделения фракций [6], состоящий из нескольких основных частей: ёмкости для суспензии, ёмкости для электролита и крышки с затвором (рис. 5).

Ёмкость для суспензии *1* представляет собой полый цилиндр с днищем. Ёмкость для электролита *2* имеет в нижней части отверстия, через которые из ёмкости *1* в неё под действием электрического поля перемещаются крупные частицы оксида, растворённые в суспензии.

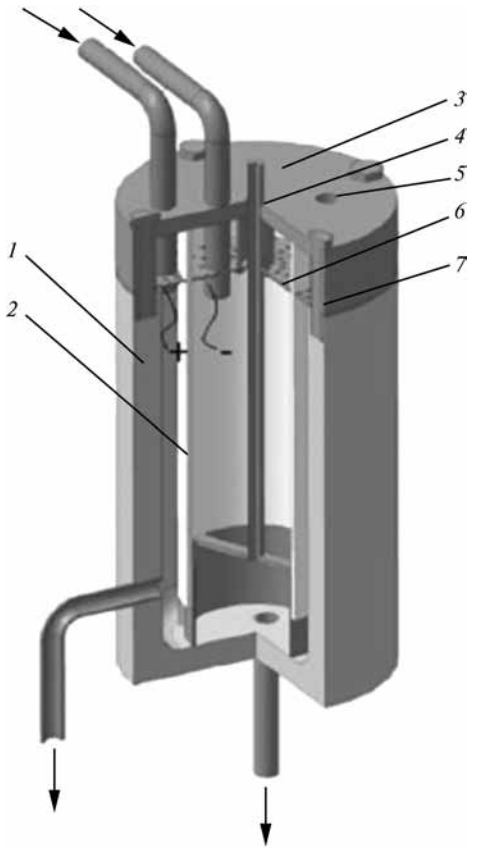

Рис. 5. Элемент узла разделения фракций

Крышка *3* оснащена затвором *4*, который перекрывает отверстие ёмкости *2*, отсекает разделённые фракции и позволяет сливать суспензию, содержащую частицы требуемой суспензии без перемешивания. Также в крышке имеется отверстие *5* для выхода газа, который образуется в процессе электрофореза. На крышке закреплена металлическая сетка *6*, служащая первым токопроводящим контактом. Второй токопроводящий контакт зафиксирован в пространстве между ёмкостями *1* и *2*. Крышка крепится к ёмкости *1* винтовым соединением *7*. Заполнение и опорожнение ёмкостей *1* и *2* осуществляется через патрубки, вмонтированные в крышку и ёмкость *1*. Ёмкости, крышка и затвор изготовлены из неэлектропроводного материала. Сетка выполнена из некорродирующего материала.

Преимуществом предложенной конструкции является возможность автоматизации процесса разделения фракций, что позволяет включить узел разделения в комплекс технологического оборудования для промышленного производства нанодисперсного порошка оксида. Заполнение и опорожнение ёмкостей предлагается осуществлять насосным оборудованием, уровень жидкости контролировать датчиками уровня, расположенными в ёмкостях на разной высоте, опускание-подъём затвора и открытие-закрытие запорной арматуры трубопроводов выполнять пневматическим приводом.

Технологический комплекс для промышленного получения наноультрадисперсных частиц представляет собой множество единиц оборудования, которые должны чётко взаимодействовать друг с другом, обеспечивая бесперебойное производство целевого продукта. При этом участие оператора в производственном процессе должно быть сведено к наблюдению за ходом выполнения технологических операций. Автоматизацию технологического процесса предлагается осуществлять за счёт использования специализированного оборудования, программных средств визуализации и контроля выполнения операций [10].

Рассмотрим автоматизацию процесса на примере работы узла разделения фракций. В ёмкость для суспензии центробежным насосом по трубопроводу закачивается подготовленная суспензия. Заполнение ёмкостей предлагается контролировать датчиками уровня жидкости, установленными в ёмкостях на требуемой высоте. При достижении заданной высоты сигнал с датчика поступает к электродвигателю центробежного насоса и пневматическому приводу шарового крана, установленного на трубопроводе. Работа насоса приостанавливается, кран закрывается. Из сборника для электролита по трубопроводу электролит под действием силы тяжести поступает во внутренние цилиндры элементов узла разделения фракций до соприкосновения с токопроводящими контактами (см. рис. 4). При этом заслонки, разделяющие ёмкости, закрыты. Заполнение ёмкостей для электролита контролируется аналогично заполнению ёмкостей для суспензии. После заполнения емкостей с датчика уровня сигнал поступает на блок питания и пневматические приводы заслонок. Блок питания заряжает токопроводящие контакты. Пневматические приводы поднимают заслонки. В течение заданного времени происходит разделение фракций под действием электрофореза: крупные частицы перемещаются из внешнего цилиндра во внутренний. После прекращения подачи электрического заряда пневматические приводы опускают заслонки, включается двигатель центробежного насоса, который откачивает суспензию, содержащую частицы требуемой дисперсности, для реализации последующих операций технологического цикла. Другой центробежный насос откачивает раствор из внутреннего цилиндра в узел подготовки суспензии для повторного использования.

Весь технологический процесс отображается на экране монитора компьютера в режиме реального времени с помощью системы визуализации (например, SCADA). Визуализация позволяет оператору отслеживать работу каждой единицы оборудования, входящей в состав комплекса, а также изменять параметры работы оборудования. При необходимости система позволяет управлять технологическим циклом в ручном режиме. При выходе из строя какого-либо узла или агрегата система уведомляет об этом оператора, который принимает решение об остановке или продолжении выполнения операций в зависимости от функционального назначения неисправного оборудования.

Таким образом, предложена функциональная схема промышленного получения НУДП оксидов металлов с замкнутым производственным циклом; разработана конструкция элемента узла разделения фракций, являющегося одним из самых сложных и ответственных узлов в технологической цепочке производства нанодисперсных оксидов; даны рекомендации по автоматизации выполнения технологических операций производственного цикла на примере автоматизации узла разделения фракций.

Библиографические ссылки

1. **Малинин В.И.** Внутрикамерные процессы в установках на порошкообразных металлических горючих. Екатеринбург—Пермь: УрО РАН, 2006. 262 с.
2. **Духин С.С., Дерягин Б.В.** Электрофорез. М.: Наука. 1976. 332 с.
3. **Животков А.В., Чернов Ф.Н.** Влияние броуновского движения наночастиц Al_2O_3 на их седиментацию в слабоконцентрированной суспензии // Современная техника и технологии: XV Межд. науч.-практ. конф. молодых учёных. Томск. 2009. С. 488—490.
4. **Малинин В.И., Чернов Ф.Н., Шатров А.В.** Технологический комплекс производства наноультрадисперсных оксидов сжиганием аэровзвесей порошков металлов // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева. 2010. № 3. С. 233—239.
5. **Федоровцев П.И., Земерев Е.С., Малинин В.И., Шатров А.В.** Разработка устройства отбора дисперсных продуктов сгорания установки синтеза нанооксида алюминия // Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника. 2013. № 35. С. 125—140.
6. **Чернов Ф.Н., Малинин В.И.** Устройство выделения нанодисперсного оксида из суспензии продуктов сгорания металлогазовой смеси // Наука и образование XXI века: сб. статей Межд. науч.-практ. конф., в 5 ч., Уфа, 31 мая 2013 г. Уфа: РИЦ БашГУ, 2013. Ч. 2. С. 267—271.
7. **Чернов Ф.Н., Малинин В.И.** Оборудование для выделения нанодисперсного оксида из суспензии продуктов сгорания металлогазовой смеси // Вестник Ижевского государственного технического университета имени М.Т. Калашникова. 2013. № 3. С. 44—46.
8. **Чернов Ф.Н., Малинин В.И.** Применение эффекта электрофореза для выделения нанодисперсного оксида из суспензии продуктов сгорания металлогазовой смеси // Научные аспекты инновационных исследований: материалы II Межд. науч.-практ. конф., Самара, 5—7 июня 2013 г. Самара: Изд-во ООО "Инсома-Пресс". 2013. С. 7—10.
9. **Чернов Ф.Н., Малинин В.И.** Выделение нанодисперсного оксида из суспензии продуктов сгорания металлогазовой смеси // Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника. 2013. № 35. С. 101—114.
10. **Чернов Ф.Н., Малинин В.И.** Автоматизация процесса промышленного выделения наноультрадисперсных порошков из слабоконцентрированной стабильной суспензии / Новые материалы, наносистемы и нанотехнологии / Всерос. молодежн. интернет-конф. Ульяновск: Ульяновс. гос. техн. ун-т. 2010.

УДК 004.4.068

В.Г. Мокрозуб, канд. техн. наук, проф.
(Тамбовский государственный технический университет)

mokrozubv@yandex.ru

СТРУКТУРА РЕЛЯЦИОННОЙ БАЗЫ ДАННЫХ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ ГРУППОВЫХ СПЕЦИФИКАЦИЙ ИЗДЕЛИЙ С ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

Предложен способ хранения групповой спецификации изделий в реляционной базе данных, отличающийся тем, что принадлежность детали изделию задаётся логической строкой, использующей обозначение родительского изделия. Для технических объектов с взаимозаменяемыми элементами описаны способы представления их структуры и правил взаимозаменяемости в реляционной базе данных.

Ключевые слова: автоматизированное проектирование; спецификация; реляционная база данных.

Provides a method for storing group product specifications in a relational database, wherein the accessory parts of the product, a logical line, use the designation of the parent product. Presentation ways of the structure and interchangeability rules in a relational database for technical objects with interchangeable elements are described.

Key words: automatic designing; specification; a relational database.

Введение. В настоящее время существующие на машиностроительных предприятиях системы автоматизированного проектирования и управления опираются на единое информационное пространство предприятия (ЕИПП), базовым элементом которого являются сведения о выпускаемой продукции [1].

Основными документами, описывающими структуру выпускаемых машиностроительным предприятием изделий, являются спецификации и ведомости спецификаций, которые составляются в соответствии с ГОСТ 2.106—96. Эти документы создаются на этапе конструкторской подготовки производ-

ства и используются различными службами предприятий на всех последующих этапах жизненного цикла изделий [2].

В соответствии с ГОСТ 2.106—96 различают два вида спецификаций:

единичную, когда для каждого изделия или сборочной единицы составляется своя отдельная спецификация (документ);

групповую, когда одна спецификация составляется сразу на несколько однотипных изделий, которые содержат много одинаковых элементов.

Кроме того, в конструкции изделия достаточно часто на одну позицию спецификации закладывается несколько взаимозаменяемых (альтернативных) элементов, которые могут влиять и на другие позиции спецификации изделий. Конкретный элемент для таких позиций выбирается диспетчерскими службами предприятия на основании имеющегося задела, остатков на складе (например, покупных комплектующих) и др. Условия взаимодействия таких переменных позиций задаются конструктором в виде выражений "Если ..., то".

Представление информации об изделии на разных этапах его жизненного цикла регламентируется стандартами ISO 10303. Несмотря на привлекательность стандартов ISO 10303, они не отвечают на вопросы, как представлять и обрабатывать спецификации в конкретной среде хранения информации (базе данных). Поэтому реализация конкретных проектов автоматизации проектирования и управления, требует решения дополнительных задач по представлению и обработке структуры изделий в ЕИПП.

Описанию структур технических объектов посвящено большое количество публикаций. В работе [3] предлагается использовать гиперграфы для описания состава и свойств изделий, в [4] описано представление структуры изделий в информационных системах управления машиностроительными предприятиями. Однако в указанных публикациях не рассматриваются вопросы хранения и обработки групповых спецификаций с взаимозаменяемыми элементами.

Следует отметить, что для хранения структурированной информации в автоматизированных системах проектирования и управления в настоящее время наиболее распространёнными являются реляционные базы данных, которые также применяются для хранения и обработки правил вида "Если ..., то ..." [5, 6].

Далее рассмотрены способы представления и обработки групповых спецификаций с взаимозаменяемыми элементами в автоматизированных информационных системах, в которых в качестве среды хранения информации используется реляционная база данных. Полученные результаты могут использоваться в автоматизированных информационных системах, предназначенных для проектирования технических объектов и управления предприятиями машиностроительного профиля.

Представление и обработка групповых спецификаций в реляционной базе данных. Групповая спецификация составляется на группу однотипных изделий. В ней отдельно указываются элементы (детали и сборочные единицы), входящие во все изделия группы, и элементы, входящие в отдельные исполнения, которые также могут быть разбиты на подгруппы. Количество изделий в группе может быть несколько десятков.

В табл. 1 представлен фрагмент спецификации для группы изделий, имеющих конструкторское обозначение 700.100.01, 700.100.02, ..., 700.100.50, 700.200.01, 700.200.02, ..., 700.200.50 (всего сто изделий).

Структура базы данных для хранения групповой спецификации представлена на

Таблица 1

Групповая спецификация изделий

Позиция	Обозначение	Наименование	Количество
Постоянные детали			
10	700.400.01	Шестерня	3
11	700.500.00	Хвостовик	1
	...	...	...
Переменные детали			
Детали, входящие в изделия 700.100.01, 700.100.02, ..., 700.100.10			
20	700.300.01	Крышка	1
21	700.310.01	Прокладка	2
	...	...	...
Детали, входящие в изделия 700.100.11, 700.100.12, ..., 700.100.20			
34	700.300.02	Крышка	1
35	700.310.02	Прокладка	3
	...	...	...

рис. 1. Здесь таблица Изделия содержит все изделия, сборочные единицы и детали, используемые или выпускаемые предприятием. Таблица Ведомость_спецификаций содержит наименования спецификаций изделий и сборочных единиц, например для спецификации, представленной в табл. 1, наименование может быть таким: "Спецификация изделий 700.100, 700.200 исполнения 01—50". В таблице Изделия_спецификаций находится список изделий, для которых составлена спецификация. Для рассматриваемого примера таблица будет содержать изделия 700.100.01, 700.100.02, ..., 700.100.50, 700.200.01, 700.200.02, ..., 700.200.50 (всего сто записей).

В таблице Содержание_спецификаций находятся собственно спецификации, причём, если поле ID_Группы равно 0, то деталь постоянная, т. е. входит во все изделия, для которых составлена спецификация (эти изделия находятся в таблице Изделия_спецификаций). Если поле ID_Группы не равно 0, то деталь входит в изделия, определённые таблицами Группы изделий и Изделия группы.

Трудоёмкость ввода информации для рассмотренной структуры базы данных определяется числом групп и изделий в группе и может быть довольно значительной. Снизить трудоёмкость ввода можно за счёт использования системы составления обозначений изделий. Для этого в стандартную спецификацию предлагается добавить новую графу, которая и будет определять принадлежность детали к тому или иному изделию. Запись в эту графу проводится по следующим правилам.

Сначала каждому полю обозначения изделия даются имена. Например, $Z1$, $Z2$ и т. д. Тогда обозначения изделий 700.100.01, 700.100.02, ..., 700.100.50 записываются как $Z1.Z2.Z3$. Запись $0 < Z3 < 11$ и $Z2 = 100$ соответствует изделиям, у которых второе поле обозначения равно 100, а третье больше нуля и меньше 11, т. е. это изделия 700.100.01, 700.100.02, ..., 700.100.10. Запись $Z3 = 11$ или $Z3 = 15$ обозначает изделия 700.100.11, 700.100.15, 700.200.11, 700.200.15. Таким образом, представленную выше спецификацию можно представить в виде табл. 2.

На первый взгляд, составление такой спецификации может показаться трудоёмким. Однако эта спецификация не предназначена для ручного ввода. Ввод поля принадлежности в автоматизированной системе при наличии операции копирования или ввода по шаблону осуществляется нажатием всего одной клавиши. Структура базы данных для хранения групповой спецификации с полем принадлежности представлена рис. 2.

Рис. 1. Структура базы данных для хранения групповых спецификаций

Таблица 2

Групповая спецификация изделий с графой принадлежности

Позиция	Обозначение	Наименование	Количество	Принадлежность
10	700.400.01	Шестерня	3	Постоянная
11	700.500.00	Хвостовик	1	Постоянная
	...	...	...	...
20	700.300.01	Крышка	1	$0 < Z3 < 11$ и $Z2 = 100$
21	700.310.01	Прокладка	2	$0 < Z3 < 11$ и $Z2 = 100$
	...	...	...	...
34	700.300.02	Крышка	1	$10 < Z3 < 21$ и $Z2 = 100$
35	700.310.02	Прокладка	1	$10 < Z3 < 21$ и $Z2 = 100$
	...	...	...	...

Таблицы Изделия, Ведомость_спецификаций и Изделия_спецификаций описаны выше. В таблице Содержание_спецификаций поле Принадлежность равно Постоянная для постоянных деталей или содержит строку принадлежности в формате SQL для переменных деталей. Например строка $0 < Z3 < 11$ и $Z2 = 100$ запишется как $Z3 > 0$ и $Z3 < 11$ и $Z2 = 100$.

Алгоритм составления спецификации для конкретного изделия, задаваемого обозначением, при этом следующий (алгоритм 1):

1. Используя таблицы Изделия и Изделия_спецификаций для заданного обозначения изделия, найти его спецификацию (ID_Ведомости_спецификаций).

2. Для найденного значения ID_Ведомости_спецификаций из таблицы Содержание_спецификаций выбрать и запомнить постоянные изделия.

3. Для найденного значения ID_Ведомости_спецификаций из таблицы Содержание_спецификаций выбрать все переменные детали групповой спецификации.

4. Для каждой записи, полученной в п. 3 с использованием поля принадлежности составить и выполнить запрос, проверяющий, входит ли деталь в заданное изделия и, если входит, запомнить её.

Представление групповых спецификаций изделий с взаимозаменяемыми элементами в реляционной базе данных. Под изделиями с взаимозаменяемыми элементами (деталями, сборочными единицами) понимается изделие, в котором некоторые элементы могут быть заменены на другие аналогичные (и это предусмотрено конструкцией). При этом может быть как полное, так и частичное совпадение конструкторских свойств этих элементов. Последнее может повлиять на другие элементы изделия. Например, если у взаимозаменяемых элементов разное число отверстий для крепёжных болтов, то необходимо предусмотреть разное число отверстий у сопрягаемых с ними элементов, т. е. эти элементы тоже будут заменяемы и т. д. Таким образом, могут получаться взаимозаменяемые цепочки элементов, причём первый элемент цепочки при построении дерева изделия должен задаваться.

Рассмотрим изделие *a*1, которое состоит из деталей *a*2, *a*5 и трёх сборочных единиц *a*3 или *a*4, *a*5 или *a*6, *a*7. В табл. 3—8 представлены спецификации всех сборочных единиц.

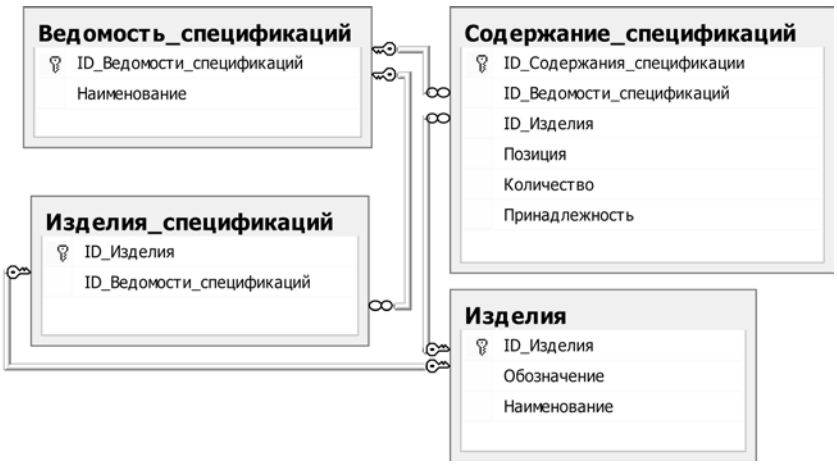

Рис. 2. Структура базы данных для хранения групповых спецификаций с полем принадлежности

Таблица 3

Спецификация *a*1

Позиция	Обозначение	Количество
1	*a*2	1
2	*a*3 или *a*4	2
3	*a*5	3
4	*a*6 или *a*7	1

Таблица 4

Спецификация *a*3

Позиция	Обозначение	Количество
1	*a*8	2
2	*a*9	2

Таблица 5

Спецификация *a*4

Позиция	Обозначение	Количество
1	*a*10	2
2	*a*11	1

Таблица 6

Спецификация *a*6

Позиция	Обозначение	Количество
1	*a*12 или *a*13	1
2	*a*14	2

Таблица 7

Спецификация *a*7

Позиция	Обозначение	Количество
1	*a*15	2
2	*a*16	1

Таблица 8

Спецификация *a*8

Позиция	Обозначение	Количество
1	*a*17 или *a*18	2
2	*a*19	1

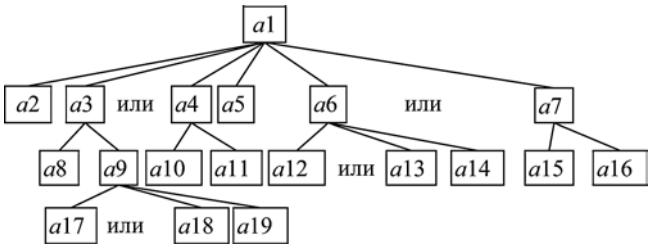

Рис. 3. Дерево изделия *a*1

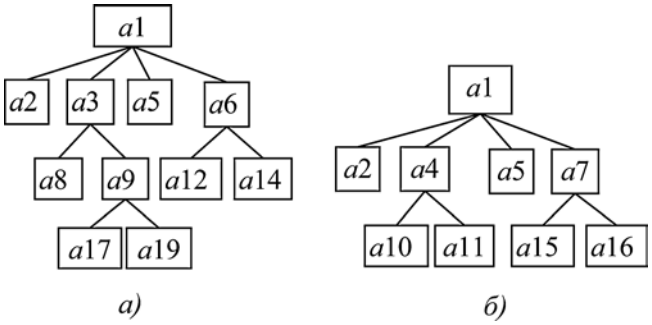

Рис. 4. Возможные варианты изделия *a*1

На рис. 3 приведено дерево изделия *a*1, составленное из представленных спецификаций.

Взаимозаменяемость элементов определяется следующими правилами:

Правило 1. Если используется элемент *a*3, то надо использовать элемент *a*6.

Правило 2. Если используется элемент *a*4, то надо использовать элемент *a*7.

Правило 3. Если используется элемент *a*17, то надо использовать элемент *a*12.

Правило 4. Если используется элемент *a*18, то надо использовать элемент *a*13.

При изготовлении изделия *a*1 необходимо однозначно задать позиции с взаимозаменяемыми элементами. Исходными данными для составления такой спецификации является наличие или отсутствие элементов *a*3, *a*4, *a*17, *a*18 в конечном изделии. При этом возможны разные варианты. На рис. 4. представлены деревья, полученные после применения правил 1—4 для следующих исходных данных:

*a*3, *a*17 присутствуют в изделии *a*1, (рис. 4, *а*);

*a*4 присутствует в изделии *a*1 (рис. 4, *б*).

Структура базы данных спецификации изделий с взаимозаменяемыми элементами представлена на рис. 5. В таблице Спецификации поле ID_Изделия_родителя представляет изделие, для которого составлена спецификация (куда входит изделие потомок). Для альтернативных позиций ID_Изделия_потомка будет равно нулю. В этом случае потомки определяет таблица ИЛИ_позиции, в которой для одной позиции спецификации задается несколько изделий потомков. В таблице Правила для альтернативных позиций спецификаций в поле Текст_на_SQL задается правило взаимозаменяемости элементов в формате SQL. Позиция спецификации, для которой применяется правило, определена полем ID_Спецификации. Поле Текст_на_ЕЯ содержит правило на естественном языке, например Если используется элемент *a*17, то надо использовать элемент *a*12. В таблице Исх_данные задаются корневые элементы взаимозаменяемых цепочек, например *a*3 или *a*4 для изделия на рис. 3.

Рис. 5. Структура базы данных спецификации изделий с взаимозаменяемыми элементами

Алгоритм составления дерева изделия состоит из следующих шагов (алгоритм 2):

шаг 1. Выбор корневого элемента из таблицы Изделия;

шаг 2. Построение дерева изделия по таблице Спецификации без взаимозаменяемых элементов;

шаг 3. Добавление в дерево взаимозаменяемых элементов из таблицы Или_потомки;

шаг 4. Удаление из дерева записей с нулевым значением ID_Изделия_Потомка;

шаг 5. Удаление из дерева альтернативных позиций по исходным данным из таблицы Исх_данные. При этом должны удаляться и элементы потомки, например, при удалении элемента *a*4 должны быть удалены элементы *a*10 и *a*11.

шаг 6. Удаление из дерева альтернативных элементов и их потомков в соответствии с правилами из таблицы Правила.

Структура базы данных для представления групповых спецификаций изделий с взаимозаменяемыми элементами представлена на рис. 6. Эта структура объединяет базы данных для хранения групповых спецификаций (см. рис. 2) и базы данных для хранения спецификаций изделий с взаимозаменяемыми элементами (см. рис. 5).

Алгоритм построения дерева изделия отличается от описанного выше алгоритма 2 тем, что на шагах 2 и 3 необходимо, используя поля Принадлежность таблицы Содержание_спецификаций, определять, входит ли деталь в изделие.

Рис. 6. Структура базы данных групповой спецификации с взаимозаменяемыми элементами

Заключение. Предложен способ хранения групповой спецификации изделий в реляционной базе данных, позволяющий сократить объем вводимой и хранимой информации, за счет того, что принадлежность детали изделию задается логической строкой, использующей обозначение родительского изделия. Для представления изделий с взаимозаменяемыми элементами предложено использовать продукционные правила вида Если ..., то ..., текст которых в формате SQL хранится в поле таблицы. Использование реляционных баз данных для хранения продукционных правил представляется достаточно перспективным, так как не требует приобретения новых программных средств на предприятиях, имеющих системы автоматизированного проектирования и управления производством.

Описанные способы могут быть использованы в системах автоматизированной подготовки конструкторско-технологической документации и нормирования. Например, они использованы при разработке автоматизированной системы нормирования для ЗАО "Тамбовский завод Полимермаш". Эффективность доказана трёхлетней эксплуатацией.

Библиографические ссылки

1. **Мокрозуб В.Г., Красильников В.Е., Мариковская М.П.** Интеллектуальная автоматизированная информационная система проектирования химического оборудования // Системы управления и информационные технологии. 2007. № 4.2 (30). С. 264—267.

2. **Обухов А.Д., Краснянский М.Н.** Разработка комплексной системы управления документооборотом: Взаимодействие базы данных изделий и архива документации // Автоматизация и управление в технических системах. 2013. № 4.1. С. 70—75.

3. **Мокрозуб В.Г., Немтинов В.А., Егоров С.Я., Морозов С.В.** Применение гиперграфов и реляционной базы данных для описания структуры радиотехнических систем // Успехи современной радиоэлектроники. Зарубежная радиоэлектроника. 2009. № 11. С. 37—41.

4. **Мокрозуб В.Г.** Представление структуры изделий в информационных системах управления машиностроительными предприятиями // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2009. № 10. С. 30—34.

5. **Калиниченко Л.А.** Эффективная поддержка баз данных с онтологическими зависимостями: реляционные языки вместо дескриптивных логик // Программирование. 2012. № 6. С. 45—62.

6. **Мокрозуб В.Г.** Таксономия в базе данных стандартных элементов технических объектов // Информационные технологии. 2009. № 11. С. 18—22.

УДК 620.92:662.6.001.57

И.В. Долотовский, канд. техн. наук, **Е.А. Ларин**, канд. техн. наук,
Н.В. Долотовская, канд. техн. наук
(Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.)
dnw50@yandex.ru

МЕТОДОЛОГИЯ ОПТИМИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ ПОТРЕБЛЕНИЕМ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ПЕРЕРАБОТКИ УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЯ

Предложена методология оптимизации потребления энергоресурсов на предприятиях, перерабатывающих углеводородное сырье, включающая решение задач системного анализа энергетического комплекса, технологической системы, внешнего источника энергообеспечения с установлением взаимосвязей, влияющих факторов и синтеза эффективного варианта энергообеспечения. Приведён пример реализации методики оптимизации и управления потреблением энергоресурсов на действующем предприятии при оптимизации энергопотребления привода технологического оборудования.

Ключевые слова: топливно-энергетические ресурсы; переработка газа и нефти; оптимизация; управление; энергетический комплекс; технологическая система.

The optimization methodology of energy consumption in the enterprises, processing hydrocarbon feedstock, including the tasks decision of the system analysis energy complex, technological system, an external energy source with establishment of relationships, influencing factors and synthesis of efficient power supply is proposed. The implementation methodology examples of the energy consumption optimization and control at the operating enterprise with power consuption energy optimization of the technological equipment are given.

Key words: fuel and energy resources; oil and gas processing; optimization; control; energy complex; technological system.

Введение. Современные предприятия переработки углеводородного сырья (УВС) (газа, газового конденсата, нефти) (ППГКГН) состоят из технологических и энергетических установок, образующих сложную производственную структуру, рентабельность которой во многом зависит от эффективности и режимов эксплуатации энергетического комплекса (ЭК), объединяющего все внутрипроизводственные источники энергоресурсов (ЭР), включая технологические агрегаты, а также всех потребителей. Технологические и энергетические установки ППГКГН взаимосвязаны производственным циклом по материальным и энергетическим потокам и являются крупными потребителями различных ЭР, получаемых от внешних или внутренних источников. Первичными ЭР для ППГКГН являются топливо как компонент УВС и электроэнергия. Потребляемая тепловая энергия генерируется в технологических процессах в виде водяного пара; недостающее количество потребляется от внешнего источника — котельной или ТЭЦ.

Решение задачи оптимизации и управления потреблением ЭР во взаимосвязанных технологической системе (ТС) и ЭК ППГКГН для достижения максимальной энергетической эффективности необходимо проводить с позиций системного анализа с учётом взаимосвязи ППГКГН с внешними источниками обеспечения электрической и тепловой энергией (ВИЭТС), водоснабжения и водоотведения. При этом качественной формулировке цели управления потреблением ЭР отвечает многокритериальная задача оптимизации динамического объекта, так как ЭК ППГКГН с самого начала его жизненного цикла ставится цель максимизации системной эффективности (целесообразности ЭК ППГКГН в топливно-энергетическом комплексе региона) с одновременной минимизацией потребления ЭР от ВИЭТС, водопотребления и водоотведения.

Технологическую топологию ППГКГН определяет состав сырья (исходной углеводородной смеси), но в общем виде блочно-иерархическая структура любого предприятия может быть представлена древовидной формой с внутренними взаимосвязями на высших уровнях — "ТС—ЭК" и "производства ТС—системы ЭК" (рис. 1). I уровень соответствует внешним

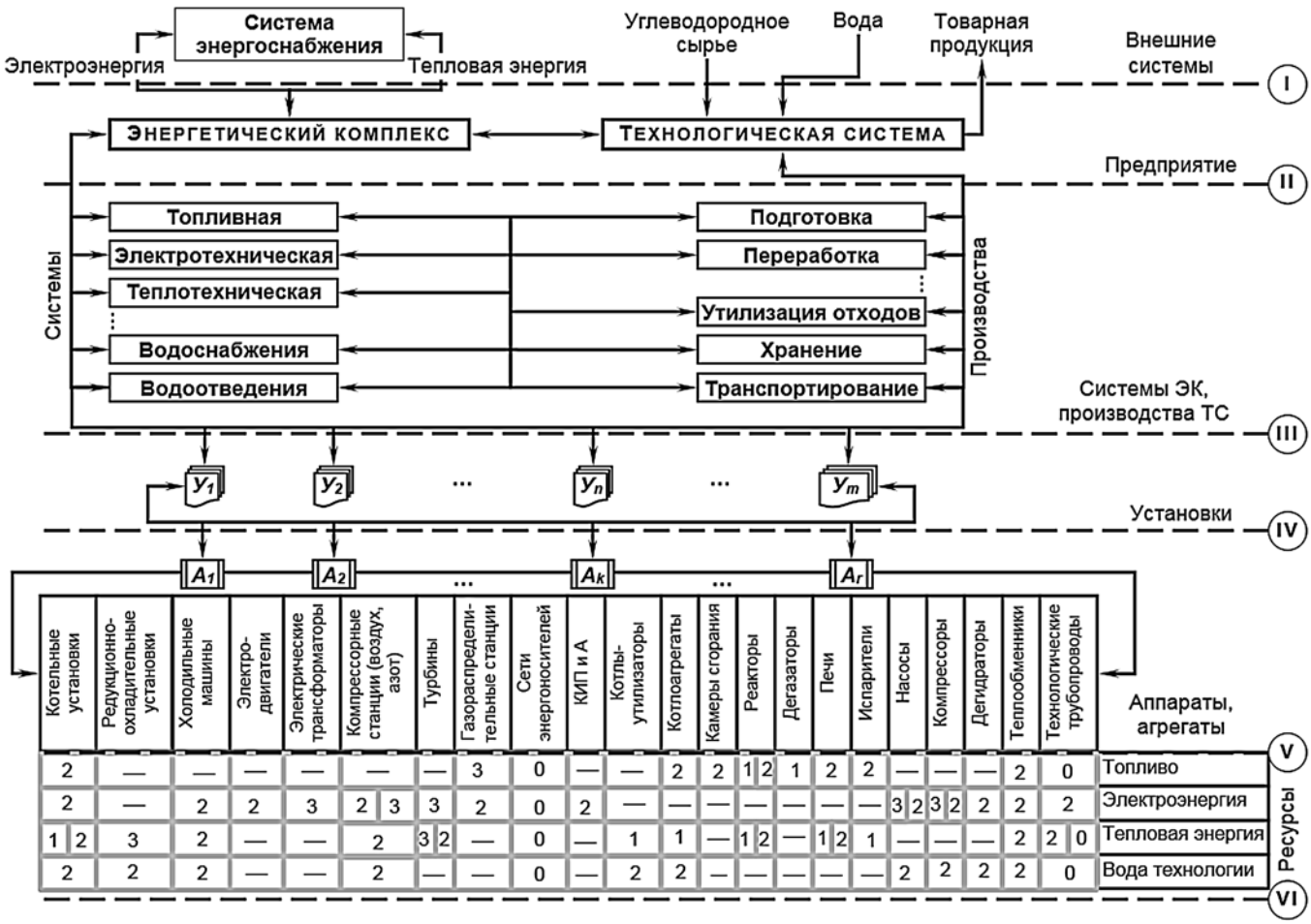

Рис. 1. Блочно-иерархическая структура ЭК и ТС ППГКГН:
тип взаимосвязи между элементами V и VI уровней: 0 — транспортирование; *1* — генерация; *2* — потребление; *3* — преобразование

системам обеспечения ППГКГН сырьем, ЭР и водой; III уровень включает элементы ТС: производства, необходимые для преобразования исходного УВС в конечную продукцию, и элементы ЭК: системы, необходимые и достаточные для обеспечения производств ТС и собственного обеспечения ЭР, получаемыми от ВИЭТС и генерируемыми в ТС и ЭК. При этом системы ЭК и производства ТС включают ряд установок IV уровня, содержащих энерготехнологические агрегаты (элементы V уровня), относящиеся к двум элементам II уровня одновременно: к ТС и ЭК. В качестве базовых элементов ТС рассматриваются основные производства, включающие установки подготовки и переработки УВС, утилизации отходов, хранения и транспортирования продукции. На V уровне находятся аппараты установок ТС и ЭК — реакторы, нагревательные и реакционные технологические печи, теплообменники различного типа, паровые и газовые турбины, нагнетатели (компрессоры, насосы, газодувки), электродвигатели, котлоагрегаты и т. д.

Последний VI уровень представлен ресурсами и матрицей соответствующих взаимосвязей элементов V уровня в процессах генерации, транспортирования, преобразования и потребления топлива, электроэнергии, тепловой энергии, технологической воды.

Методология оптимизации и управления потреблением ЭР базируется на общесистемном подходе, предусматривающем последовательную декомпозицию ППГКГН и выполняемых им функций, и синтез на соответствующих иерархических уровнях детализации оптимальных вариантов структур и режимов эксплуатации ЭК (далее — объекта). Реализация методологии оптимизации и управления осуществлена последовательным решением следующих основных взаимосвязанных задач:

разработкой операционно-описательных и иконографических моделей объекта с идентификацией внутренних и внешних связей

между элементами (производствами, подсистемами, установками, аппаратами) по степени значимости и выделением детерминирующие элементы и связи;

разработкой методологии анализа локальной и системной энергетической эффективности и математических моделей её расчёта для компонентов и объекта в целом;

проведением экспериментальных исследований в рамках энергетического аудита крупных ППГКГН: Астраханского (АГПЗ) и Сосногорского газоперерабатывающих заводов, Ново-Уренгойского завода по подготовке конденсата к транспорту, Сургутского завода стабилизации конденсата, Вуктыльского газопромыслового управления;

разработкой рациональных алгоритмов расчёта, программного обеспечения созданных информационно-аналитических моделей [1] и реляционной базы данных (БД) объекта;

созданием информационно-аналитической системы нормирования и оптимизации выработки и потребления топлива и энергоносителей на предприятии (ИАС ТЭР) [2] для определения оптимальных параметров подсистем ЭК ППГКГН и объекта в целом на основе имитационного моделирования;

проведением экспериментальной апробации ИАС ТЭР в структурных подразделениях объекта;

разработкой комплекса технических решений по повышению энергетической эффективности ЭК ППГКГН с использованием ИАС ТЭР.

В разработанной методологии оптимизации и управления потреблением ЭР декомпозиционный этап представлен на различных уровнях детализации объекта (уровни II—V см. рис. 1) совокупностью альтернативных потоковых графов и матриц, отражающих структуру объекта, соответствующие задачи исследования и методы их решения. Например, метод решения задачи формирования оптимального энерготехнологического баланса (ЭТБ) в переменных условиях эксплуатации объекта по составу сырьевого потока иллюстрируется диаграммами функциональных моделей, один из вариантов которых для основных систем ЭК и ТС ППГКГН приведён на рис. 2, где индексация параметров и переменных соответствует структуре рис. 1: i — установки, $i = 1, ..., m$; j — производства ТС и ЭК, $j = 1, ..., n$ и видам ЭР, поступающих на конечное потребление (топливо Т; тепловая энергия Q; электроэнергия Э).

На рис. 2 входная и выходная информации обозначают следующие параметры и переменные: Ω — технологические переменные ЭК и ТС; Z — схемные и конструктивные параметры установок, аппаратов; S — климатические факторы.

Минимальный объём входной информации по параметрам ТС, необходимый для расчёта материального баланса, включает данные:

$C_{ki}^{ОГ}$, $C_{ki}^{НК}$, $C_{ki}^{К}$ – компонентный состав (k) сырьевых потоков — отсепарированного газа (ОГ), нефти или газового конденсата (НК) и состав промежуточных технологических потоков (К) установки i; χ_{ki} — степень конверсии компонента k в технологическом процессе установки i; t_{ij} — время эксплуатации установки i производства j в соответствующем режиме; S_{jt} — климатические факторы для производства j в период времени t.

Результатом расчёта материального баланса является массив переменных G_{kij} (потоки продуктов, полупродуктов и расход сырья).

Расход сырья, который можно переработать на ППГКГН, определяется заданной производительностью оборудования и его характеристиками.

Входные данные, обеспечивающие разработку энергетического баланса, для тепло- и электроэнергетической систем включают параметры: Z_{jt}^{μ}, Ω_{jt}^{μ}, S_{jt}^{μ} — конструктивные, технологические и климатические факторы по соответствующему виду ЭР для производства j для периода времени t;

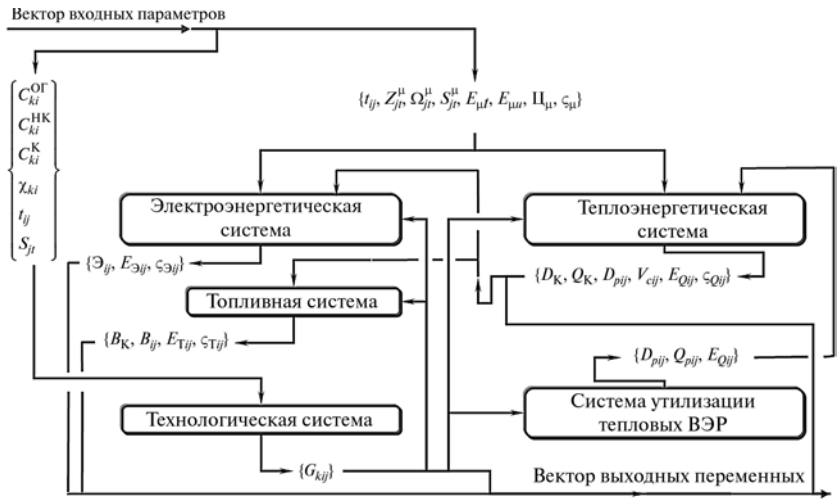

Рис. 2. Диаграмма модели расчёта энерготехнологического баланса для формирования системы управления потреблением ЭР ППГКГН в зависимости от влияющих входных параметров

$E_{\mu t}$, $E_{\mu u}$ — удельное нормативное потребление μ-го вида ЭР установок с непрерывным технологическим циклом и периодически действующих установок, а также тарифы на ЭР от внешних источников энергообеспечения $Ц_{\mu}$, систему показателей эффективности для соответствующего вида ЭР ζ_{μ} и расходы технологических потоков G_{kij}.

Следует отметить, что вектор входных параметров для расчёта ЭТБ формируется на основании созданной БД, информация в которой актуализируется пользователем или обновляется автоматически в зависимости от конфигурации информационной системы. Источниками информации для обновления БД являются результаты измерений, проведённых в рамках энергоаудита, или отчёты автоматизированных систем управления технологическими процессами ППГКГН, графики ремонтов оборудования, нормативная документация, регламенты производств и другая документация, формируемая в информационной системе или пользователем.

Результатами расчёта ЭТБ являются следующие переменные — выходная информация соответствующих систем ЭК:

электроэнергетическая система: $Э_{ij}$ — количество электроэнергии, потребляемой установкой i производства j; $E_{Эij}$ — удельное фактическое электропотребление установки, отнесённое к единице нормируемого технологического потока; $\zeta_{Эij}$ — комплекс показателей эффективности использования электроэнергии;

теплоэнергетическая система, включающая внутрипроизводственную систему получения тепловой энергии за счёт утилизации вторичных энергоресурсов (ВЭР): $D_К$, $Q_К$ — количество пара и его теплота, вырабатываемая котлами-утилизаторами и в производственной котельной (при её наличии в структуре ППГКГН); D_{pij}, Q_{pij} — количество пара давлением P (и его теплота), потребляемое основными и вспомогательными установками с учётом тепловых потерь в окружающую среду и потерь пара в технологии; V_{cij} — количество возвращаемого парового конденсата; E_{Qij}, ζ_{Qij} — удельное фактическое теплопотребление или генерация пара, отнесённые к единице нормируемого технологического потока и комплекс показателей эффективности потребления/генерации пара в установке i производства j;

топливная система: $B_К$, B_{ij} — потребление топлива на выработку пара в котельной и в установке i производства j; $E_{Тij}$, $\zeta_{Тij}$ — удельное фактическое потребление или генерация топлива, отнесённые к единице нормируемого технологического потока и комплекс показателей эффективности потребления/генерации топлива в установке i производства j.

По приведённой методике разрабатываются нормализованные и рациональные ЭТБ действующих ППГКГН с учётом имеющегося потенциала повышения энергетической эффективности оборудования, и оптимизируются режимы эксплуатации ЭК.

Синтез оптимальных вариантов объекта и режимов эксплуатации выполняется на основе критерия оптимальности (R), который в общем виде представлен в виде функции входных (X), выходных (Y) и управляющих (U) параметров за расчётный период времени t,

$$R = \int_0^t R\left(\overline{X}, \overline{Y}, \overline{U}\right) dt;$$

$$\overline{X} = \left(x_1, x_2, \ldots, x_a\right); \ \overline{Y} = \left(y_1, y_2, \ldots, y_b\right);$$

$$\overline{U} = \left(u_1, u_2, \ldots, u_d\right).$$

Зависимость выходных параметров от входных и управляющих представлена в виде функции $\overline{Y} = F\left(\overline{X}, \overline{U}\right)$, в которой F рассматривается как вектор-функция множества математических моделей элементов объекта $F = \{f_1, \ldots, f_{\varphi}, \ldots, f_{Ф}\}$ на соответствующих уровнях иерархии II—V (см. рис. 1).

Частными случаями множества функций F являются следующие отображения:

$$f_{\varphi,тс,\mu}:\left(А^{k,\varphi}_{тс,\mu}, ТП^{j,\varphi}_{тс,\mu}\right) \to П^{n,\varphi}_{тс,\mu};$$

$$f_{\varphi,эк,\mu}:\left(А^{l,\varphi}_{эк,\mu}, ТП^{i,\varphi}_{эк,\mu}\right) \to П^{m,\varphi}_{эк,\mu},$$

где $f_{\varphi,тс,\mu}$, $f_{\varphi,эк,\mu}$ — множества математических моделей аппаратов (А) и технологических процессов (ТП) с участием μ-го вида ЭР $\left(А^{k,\varphi}_{тс,\mu}, ТП^{j,\varphi}_{тс,\mu}, А^{l,\varphi}_{эк,\mu}, ТП^{i,\varphi}_{эк,\mu}\right)$ в соответствующем описании производств ($П^{n,\varphi}_{тс,\mu}$ и $П^{m,\varphi}_{эк,\mu}$) на пространстве технологических ($\Omega_{ТС}$, $\Omega_{ЭК}$), конструктивных ($Z_{ТС}$, $Z_{ЭК}$) характеристик ТС и ЭК, экологических и климатических (S), экономических (Ц) факторов для μ-го вида ЭР.

Математическая модель множества функций F (отображений $f_{(1,\ldots,Ф),тс,(1,\ldots,М)}$ и $f_{(1,\ldots,Ф),эк,(1,\ldots,М)}$ в $П^{(1,\ldots,N),(1,\ldots,Ф)}_{тс,(1,\ldots,М)}$ и $П^{(1,\ldots,M),(1,\ldots,Ф)}_{эк,(1,\ldots,М)}$) в общем виде представлена логически законченными блоками, основными из которых являются блоки расчёта ЭТБ (рассмотренного выше), гидродинамики и свойств материальных потоков

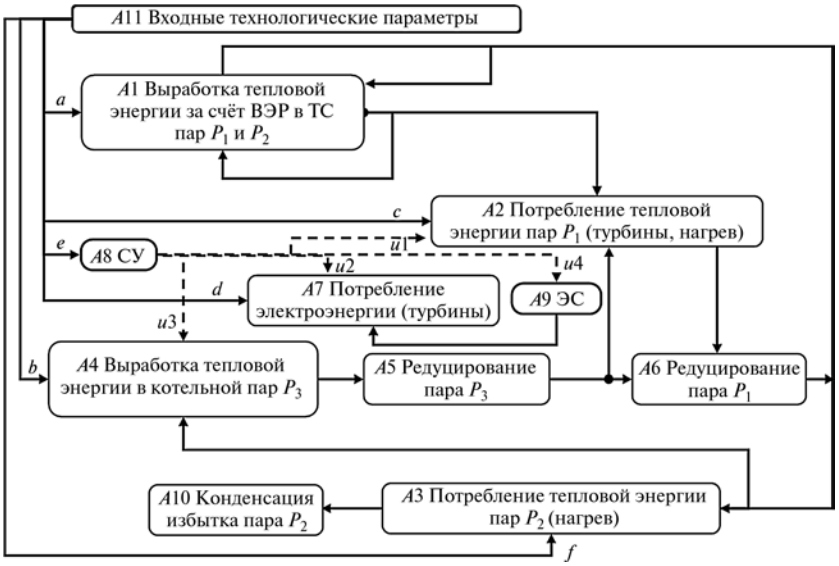

Рис. 3. Схема взаимосвязи параметров, информационных переменных и управляющих воздействий ППГКГН, системы управления и ВИЭТС: *A*1—*A*11 — расчётно-информационные блоки оборудования и систем: *A*1, *A*4 — генераторов тепловой энергии; *A*2, *A*3, *A*7 — потребителей тепловой и электрической энергии; *A*5, *A*6, *A*10 — преобразователей теплоты; *A*8 — системы управления; *A*9 — внешнего источника электроэнергии; *A*11 — формирователя исходных данных; *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f* — входные параметры блоков; *u*1, *u*2, *u*3, *u*4 — управляющие воздействия (задание блокам *A*2, *A*7, *A*4, *A*9)

и ЭР, кинетики процессов; БД параметров и констант по аппаратам и процессам; методические положения учёта, нормирования, планирования, регулирования и оптимизации генерации и потребления ЭР; результаты энергетического аудита и экспериментальные данные.

Экспериментальная апробация разработанной методологии управления потреблением ЭР проведена на действующем многопрофильном ППГКГН — Астраханском газоперерабатывающем заводе как для решения вопросов оптимальной эксплуатации отдельных элементов ЭК (нагнетательного оборудования, имеющего альтернативный привод — паровые турбины и электродвигатели), так и для формирования режимов генерации тепловой энергии в ВИЭТС в зависимости от состава сырья и других параметров ТС предприятия. Приведённая на рис. 3 логическая информационная взаимосвязь ЭК ППГКГН и ВИЭТС, объединяющего котельную и систему электроснабжения (ЭС), показывает механизм формирования задания на выработку тепловой и электрической энергии системой управления (СУ) в зависимости от влияющих факторов ТС и ЭК, основными из которых являются коэффициент загрузки оборудования производства серы $k_з$, степень конверсии сероводорода X_S, тарифы на электрическую и тепловую энергию.

Численный эксперимент с использованием разработанной ИАС ТЭР [2] проводился для 100, 90, 70 % загрузки всех установок производства серы и осушки газа и семи режимов, отличающихся количеством работающего нагнетательного оборудования установок. Эффективность рассмотренных установок по удельной энергоёмкости (кг условного топлива), отнесённой к единице переработанного сырья (отсепарированного газа), показана на рис. 4. Технико-экономический анализ выполнен по критерию эксплуатационных затрат (рис. 5). Анализ полученных результатов показывает, что при уменьшении коэффициента загрузки на 40 % оптимальная мощность электропривода должна быть увеличена почти в 2 раза. Аналогичный режим по мощности подключаемого электропривода должен поддерживаться и в условиях снижения степени конверсии сероводорода до 85 % от номинальной величины (линия *5* на рис. 5).

На рис. 6 показаны зависимости эксплуатационных затрат на ЭР (электроэнергию $И_Э$, тепловую энергию $И_Q$, суммарных И) в рассматриваемой системе от мощности подключаемого альтернативного привода установок и режимов эксплуатации пароперегревателей производства серы.

Анализ зависимостей на рис. 6, *а* показывает, что рациональный диапазон подключаемой мощности электропривода равен 45—52 МВт при эксплуатации пароперегревателей произ-

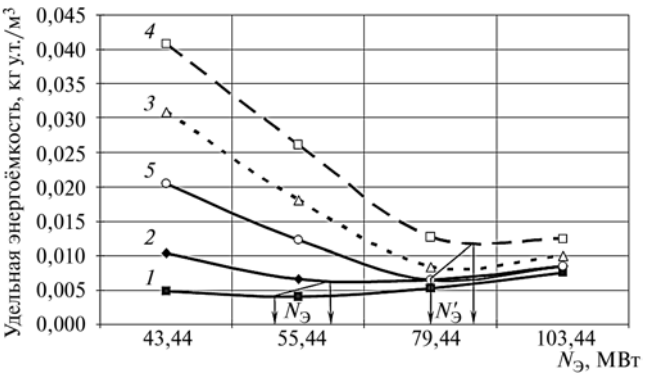

Рис. 4. Оптимизация мощности электропривода по удельной энергоёмкости перерабатываемого газа: *1—4* — $k_з$ = 1,0; 0,9; 0,7; 0,6 при $X_S = X_{ном}$; *5* — $k_з$ = 0,9 при $X_S = 0{,}85X_{ном}$

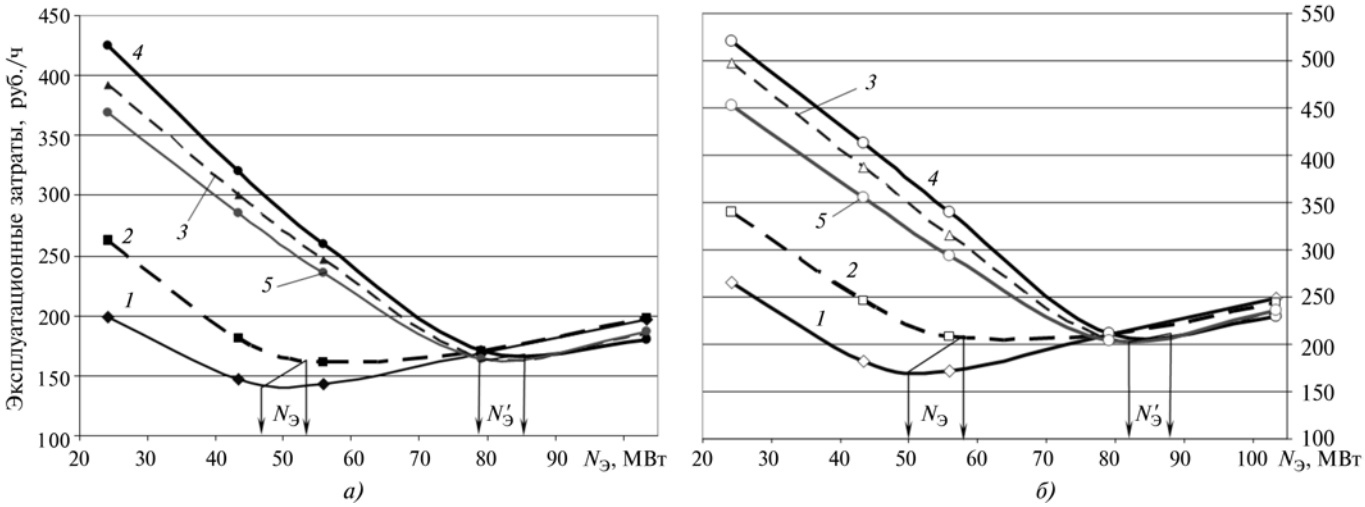

Рис. 5. Зависимость эксплуатационных затрат системы от мощности электропривода для различных тарифов на ЭР:
а — Ц$_Э$ = 2,28 руб./кВт·ч, Ц$_Q$ = 327,6 руб./ГДж; *б* — Ц$_Э$ = 3,84 руб./кВт·ч, Ц$_Q$ = 554,7 руб./ГДж (*1—5* — то же, что на рис. 4)

водства серы с впрыском парового конденсата в пароохладители.

В настоящее время оборудование установок эксплуатируется с суммарной мощностью подключённого электропривода $N_Э$ = = 55,44 МВт. Такой режим эксплуатации оборудования близок к оптимальному по критерию эксплуатационных затрат только в условиях отсутствия впрыска парового конденсата в пароперегреватели (рис. 6, *б*).

Сопоставление зависимостей на рис. 5 показывает, что по экономическим показателям эффективности энергоиспользования в системе мощность подключаемого электропривода действующих установок 55,44 МВт обеспечивает оптимальное потребление ЭР только для варианта эксплуатации с максимальным коэффициентом загрузки оборудования и номинальной степенью конверсии сероводорода.

Минимальное удельное потребление ЭР при эксплуатирующейся в настоящее время мощности электропривода 55,44 МВт соответствует расчётному режиму установок производства серы ($k_з$ = 1,0; $X_S = X_{ном}$). Для остальных режимов оптимум $N_Э$ смещается в диапазон 65—90 МВт.

Анализ результатов оптимизации мощности электропривода нагнетательного оборудования производства серы и установок компримирования товарного газа по удельной энергоёмкости и эксплуатационным затратам показал, что в реальных режимах эксплуатации оборудования при $k_з$ < (0,9—1,0) мощность электропривода должна быть в 1,3—1,7 раза больше по сравнению с функционирующей в настоящее время, которая соответствует номинальному значению коэффициента загрузки: $N_Э^{/} = (1,3-1,7)N_Э$.

Таким образом, по всем показателям энергетической эффективности данного элемента ЭК в реальных режимах эксплуатации оборудования, количество включаемого электропривода должно быть больше по сравнению с функционирующим в настоящее время.

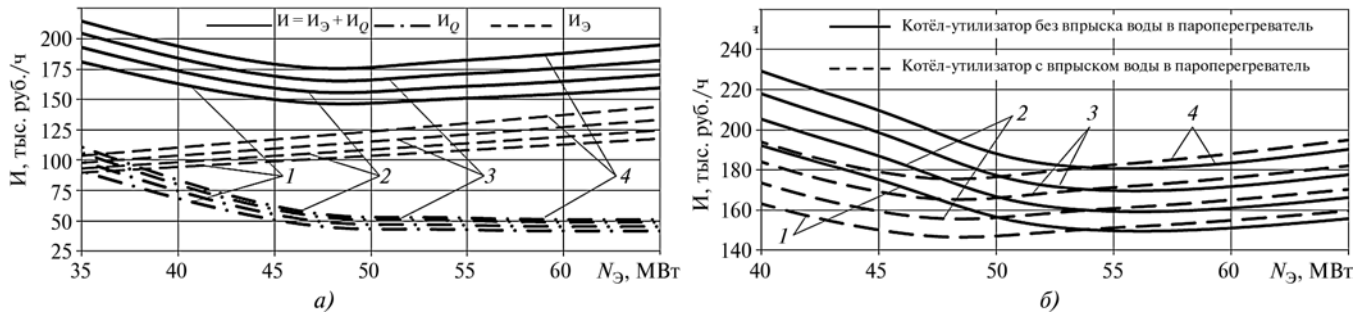

Рис. 6. Зависимость эксплуатационных затрат от мощности подключаемого электропривода для различных режимов эксплуатации пароперегревателя:
а — пароперегреватель с впрыском воды; *б* — два режима работы пароперегревателя (*1—5* — то же, что на рис. 4)

Заключение. Разработанная методология оптимизации и управления потреблением энергоресурсов на предприятиях переработки углеводородного сырья позволяет решить задачи повышения их энергетической эффективности и разработать стратегию развития энергетического комплекса во взаимосвязи с внешними энергогенерирующими системами с учётом режимных, технологических, климатических и экологических факторов.

Работа выполнена по госзаданию при финансовой поддержке Минобрнауки РФ.

Библиографические ссылки

1. **Система** "Энергоресурс": программа для ЭВМ № 2010615353 / Е.А. Ларин, И.В. Долотовский, Н.В. Долотовская. № 2010613798; заявл. 29.06.10; зарегистр. 20.08.10.

2. **Долотовский И.В., Ларин Е.А., Долотовская Н.В.** Информационно-аналитическая система нормирования и оптимизации выработки и потребления топлива и энергоносителей на предприятии // Патент РФ № 2465639. 2012, Бюл. № 30.

УДК 65.9

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

alexmikhalev87@gmail.com

ВЛИЯНИЕ ДИНАМИКИ КРЕДИТОВ ЮРИДИЧЕСКИМ ЛИЦАМ НА ПОКАЗАТЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ БАНКА

Раскрыто содержание эффективности деятельности кредитной организации с точки зрения клиентского сегмента и финансового результата банка. Показано влияние кредитной политики, акцентированной на выдаче ссуд юридическим лицам, на показатели эффективности банка.

Ключевые слова: эффективность деятельности; кредитный портфель; доходность; стоимость; себестоимость; рентабельность.

The activity effectiveness content of the credit institution in terms of customer segment and bank financial results is disclosed. The credit policy influence accentuated at granting loans to legal persons on banks effectiveness indicators is shown.

Key words: activity efficiency; credit portfolio; profitability; cost; cost price; profitability.

Кредитными организациями, как известно, проводится аккумуляция временно свободных денежных средств, регулируется денежный оборот в стране, перераспределяются ресурсы между различными отраслями реального сектора экономики. Банки часто выступают посредниками и гарантами выполнения двухсторонних обязательств между различными компаниями. Для реализации этих целей кредитные организации должны иметь высокую степень финансовой устойчивости. Однако в условиях макроэкономической неустойчивости решение этих задач заметно усложняется. Таким образом, значение эффективности деятельности банка существенно возрастает.

В экономической теории не существует единого толкования эффективности банковской деятельности. Данная категория многогранна и затрагивает не только непосредственно кредитные организации, но и их клиентов. Существуют следующие подходы к оценке эффективности банковской деятельности:

эффективность — социально-экономическая категория, показывающая влияние способов организации труда участников процесса на уровень достигнутых ими результатов [1].

эффективность деятельности банка — социально-экономическая категория, характеризующая способность кредитной организации сочетать рациональную организацию труда с наиболее положительными итогами деятельности, определяемыми соотношением затраченных ресурсов и результатов, полученных от их использования [2].

В данных определениях важно не только толкование исследуемого понятия как категории, неразрывно связанной с социальными факторами, но и выражение эффективности деятельности как функции, зависящей от затраченных ресурсов и полученных результатов.

Для проведения активных операций банки могут выбирать различных клиентов в качестве приоритетных. Существуют кредитные организации, имеющие достаточно сопоставимые объёмы ссуд, выданных юридическим и физическим лицам (МТС-Банк, Росбанк, Уральский банк реконструкции и развития, Уралсиб и др.). При этом в сложившейся структуре отечественного банковского сектора большинство кредитных организаций ориентируют внешнюю деятельность в сторону кредитования юридических лиц. Другими словами, большая часть ссудной задолженности в отечественном банковском секторе приходится на юридических лиц. Поэтому особый интерес представляет численная оценка изменений показателей эффективности деятельности банка при выборе кредитной политики, направленной, в большей степени, на кредитования юридических лиц.

Для решения поставленной задачи были выбраны 50 банков с наибольшими объёмами активов на конец 2013 г. [3]. Соответствующие данные по отчётам о прибылях и убытках, а также оборотно-сальдовые ведомости по выбранным банкам заимствованы из базы данных Центрального банка (ЦБ) [4]. Итоговые отчёты BS и PL по выбранной группе кредитных организаций получены на основе указаний [5]. Ретроспектива указанных отчётов выбрана с начала 2011 г. по 2013 г. включительно.

Определены три категории банков: корпоративный, розничный, универсальный. К первой категории отнесены кредитные организации, у которых средневзвешенное значение объёма ссудной задолженности клиентам юридическим лицам в общем объёме кредитного портфеля (брутто) превышало 80 % в рассматриваемый временной интервал. Во вторую категорию включены банки, у которых доля кредитов физическим лицам в общем объёме портфеля составляет более 80 %. При этом для повышения актуальности исследования весовые коэффициенты отношения объёма ссудной задолженности отдельному клиентскому сегменту к общему объёму кредитного портфеля в ранние периоды выбирались наименьшими. До конца 2013 г. включительно предполагался равномерный рост указанного весового показателя. Кредитные организации, не удовлетворяющие обозначенным условиям, отнесены в категорию универсальных банков. На последнем этапе было проведено усреднение рассчитанных показателей эффективности деятельности по указанным категориям кредитных организаций. Полученные данные по категории розничных банков выделены для более корректного расчёта показателей эффективности по двум другим категориям.

Так как указания ЦБ РФ не предполагают жёсткого закрепления группировки счетов оборотно-сальдовой ведомости и символов отчёта о прибылях и убытках в итоговых формах [5], отметим некоторые необходимые детали. Под кредитным портфелем будем понимать объём ссудной задолженности без учёта резервов (брутто). При этом межбанковские кредиты (МБК) не включались ни в объёмы кредитного портфеля юридических лиц, ни в объём ссудной задолженности в целом.

Данное решение принято на основании представленного ранее определения эффективности деятельности банка как понятия, неразрывно связанного с социальным фактором. Таким образом, вложения, относительно которых проводится анализ, должны иметь однозначно направленный внешний вектор деятельности кредитной организации. Межбанковские кредиты, в свою очередь, часто используются банками как один из инструментов управления ликвидностью.

Кратко рассмотрим методологию формирования основных статей отчёта о прибылях и убытках, используемых для анализа.

Аналогично построению балансового отчёта на счетах второго порядка отчёт о прибылях и убытках банка строится на различных символах статей PL. Процентные доходы по кредитам клиентам (юридическим лицам) формировались как сумма символов 11101—11114, 11116, 11201—11214. Процентные доходы по кредитам физическим лицам суммировались по символам 11115 и 11117. Кроме указанного в общем объёме процентных доходов также учитывались доходы по МБК от вложений в ценные бумаги и векселя.

Процентные расходы по средствам, привлечённым от физических лиц, представляли сумму по символам 21501—21502, 21601—21602, 21701—21702. Процентные расходы по депозитам юридических лиц определялись как сумма по символам 21201—21209, 21212—21214, 21301—21314, 21401—21414. В общий объём процентных расходов также входили расходы по МБК пассивным, выпущенным долговым обязательствам и векселям. Операционные расходы определялись как сумма расходов на персонал, расходов по амортизации, связанных с содержанием (эксплуатацией) имущества и его выбытием, организационных и

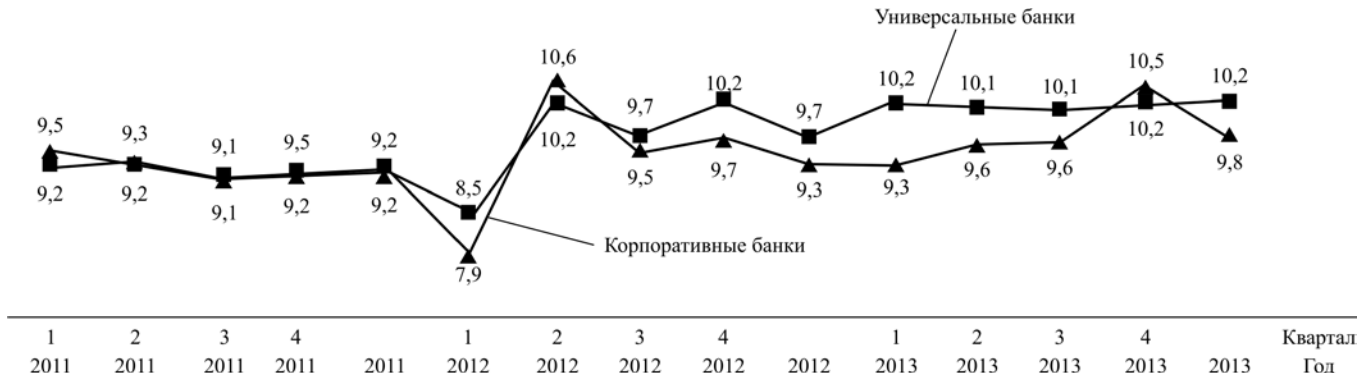

Рис. 1. Доходность кредитного портфеля клиентов юридических лиц (%)

управленческих расходов, доходов/расходов прошлых лет, выявленных в отчётном году, налогов (относимых на расходы), штрафов, пени, неустоек и пр.

Чистый операционный доход представлял разницу между прибылью до налога и операционными расходами.

Определим инструментарий анализа эффективности деятельности кредитной организации. Исследуемые показатели разделим на две группы. В первую выделим коэффициенты, непосредственно характеризующие степень эффективности использования кредитного портфеля: доходность кредитного портфеля, отдельно юридических и физических лиц, доходность кредитного портфеля в целом, отношение создания/восстановления резервов по PL к среднему объёму ссудной задолженности (COR), доходность кредитного портфеля с учётом COR, чистая процентная маржа (NIM, определяемая как отношение чистого процентного дохода к кредитному портфелю). Во вторую группу отнесём показатели, не имеющие непосредственного отношения к выданным ссудам: рентабельность капитала (до налога) ROE, рентабельность активов (до налога) ROA, долю стабильного дохода (чистый процентный доход и чистый комиссионный доход) в чистом операционном доходе (до резервов), долю волатильного дохода (чистый доход от операции с ценными бумагами, иностранной валютой и драгоценными металлами) в чистом операционном доходе (до резервов), стоимость фондирования, отношение расходов на персонал к кредитному портфелю, отношение суммы расходов на персонал и процентных расходов по средствам клиентов к кредитному портфелю.

Основываясь на представленной методологии сбора бухгалтерских отчётов и выбранных показателях, проанализируем полученные данные.

Достаточно интересные результаты можно наблюдать уже на этапе сравнения коэффициентов, характеризующих доходность кредитного портфеля. Из рис. 1 видно, что показатель доходности по ссудам, выданным клиентам юридическим лицам, у универсальных банков, как правило, не опускается ниже аналогичного показателя по банкам, отнесённым к корпоративным.

Данное обстоятельство, отчасти, может объясняться различиями в продуктовой структуре портфеля юридических лиц, а также разной степенью диверсификации совокупного портфеля между клиентами крупного и более доходного среднего и малого бизнеса.

Более логичным выглядит динамика показателя COR. В течение всего рассматриваемого временного интервала данный показатель по корпоративным банкам находился стабильно ниже, чем по универсальным. При этом разница между данными коэффициентами по двум указанным категориям банков ежегодно росла. Последнее обусловливается ростом кредитования физических лиц в период с 2011 по 2013 г. в целом, и ростом необеспеченного кредитования (потребительские кредиты, кредитные карты) в частности. Данное событие способствовало росту COR по универсальным банкам и, в силу незначительной доли ссудной задолженности физическим лицам, несущественно влияло на показатель COR у корпоративных кредитных организаций.

Несмотря на меньший объём создания резервов, показатель доходности с учётом COR по совокупному кредитному портфелю банков корпоративной категории ниже аналогичного коэффициента универсальных банков (рис. 2). Этому обстоятельству во многом спо-

Рис. 2. Доходность (%) кредитного портфеля с учётом показателя COR

собствует разница в доходности по портфелю физических лиц. Структура портфеля на исследуемом временном промежутке положительно отличалась у универсальных банков большими сроками кредитования и сравнительно меньшей долей просроченной задолженности.

Рассмотрим показатели, не относящиеся непосредственно к эффективности использования кредитного портфеля.

Доля стабильного дохода в чистом операционном доходе (до резервов) банков корпоративной категории соответствует аналогичному показателю по универсальным кредитным организациям. При этом соотношение чистого комиссионного дохода к кредитному портфелю (брутто) оказывается выше у универсальных банков. Таким образом, можно утверждать, что корпоративные кредитные организации при сопоставимых объёмах ссудной задолженности имеют меньшие объёмы стабильного дохода. Последнее, в отдельно взятых случаях, может скрывать резерв повышения эффективности бизнеса банков корпоративной категории.

Доля волатильного дохода в чистом операционном доходе (до резервов) корпоративных банков на протяжении всей анализируемой ретроспективы данных превышает аналогичный показатель по универсальным кредитным организациям. Данное обстоятельство может быть связано со спецификой банков, работающих в большей степени с юридическими лицами.

При сопоставлении стоимости фондирования банков корпоративной и универсальной категорий можно констатировать незначительное превышение стоимости средств клиентов у кредитных организаций второй категории. Рассматриваемый показатель рассчитывался без учёта бюджетных средств и депозитов "до востребования". При этом доля последних в средствах клиентов корпоративных банков исторически сложилась на более высоком уровне. Таким образом, есть основания утверждать о наличии исторически сложившейся более дешевой структуре средств клиентов у корпоративных кредитных организаций. Необходимо отметить, что данный вывод сделан по усреднённым значениям группы банков и, в силу достаточно незначительных разниц в исследуемых показателях, может трактоваться не более чем общий тренд по банкам, выбирающим основным направлением своей кредитной политики работу с юридическими лицами.

Для анализа эффективности использования затрат рассмотрим, в первую очередь, соотношение расходов на персонал к кредитному портфелю. Значения данного показателя, рассчитанного по отчётности "Дойче-Банк", значительно отличаются от аналогичных значений, рассчитанных по отчётности других банков. Таким образом, для получения более корректных результатов усреднённые показатели соотношения расходов на персонал к кредитному портфелю по категории корпоративных банков не будут учитывать значения, полученные по отчётности "Дойче-Банк". Результаты полученной выборки представлены в таблице.

Усреднённое соотношение расходов на персонал к кредитному портфелю

Категория банка	Период, год			Среднеквартальное значение за период 2011—2013 гг., %
	2011	2012	2013	
Универсальные	3,5	3,2	3,3	3,4
Корпоративные	2,6	2,4	2,4	2,6

По приведённым данным видно, что банки корпоративной категории на один и тот же объём кредитного портфеля затрачивают меньше ресурсов по сравнению с универсальными банками. Данное обстоятельство связано с высокой степенью затратности розничного направления кредитования. В качестве причин последнего можно указать потребность в более развитой филиальной сети и, как следствие, большем штате сотрудников для кредитования физических лиц.

Соотношение суммы расходов на персонал и процентных расходов по средствам клиентов, отнесённой к кредитному портфелю, также оказывается в пользу корпоративных банков. Таким образом, можно говорить о существовании предпосылок оценивать себестоимость продуктов корпоративных банков как меньшую, в сравнении с аналогичным показателем по универсальным кредитным организациям.

В завершении сравнительного анализа корпоративных и универсальных банков рассмотрим показатели ROE и ROA, как меру рентабельности бизнеса в целом при выбранной кредитной политике.

Банки описываемых категорий имеют достаточно сопоставимые показатели ROA. Среднеквартальное значение данного коэффициента за период с 2011—2013 гг. по корпоративным банкам составляет 1,3 %, по универсальным — 1,8 %. Таким образом, можно предположить, что сравнительно меньшая доходность кредитного портфеля корпоративных банков в достаточной степени компенсируется большими полученными объёмами прибыли по волатильным статьям дохода, меньшими объёмами сформированных резервов и меньшим объёмом затраченных ресурсов.

Тем не менее стоит отметить, что рентабельность активов универсальных банков в среднем находится на более высоком уровне. Данное обстоятельство, дополнительно усиливаемое значениями исторически сложившегося меньшего финансового рычага, используемым корпоративными банками, способствует увеличению разницы в показателях ROE. Среднеквартальное значение данного коэффициента за период с 2011—2013 гг. по корпоративным банкам составляет 13,6 %, по универсальным — 16,0 %.

Согласно изложенному выше можно утверждать, что показатели эффективности деятельности банка могут подвергаться существенным изменениям при увеличении доли ссудной задолженности юридическим лицам в совокупном кредитном портфеле. Можно констатировать, что доходность, в том числе с учётом рисковой составляющей, корпоративных банков в среднем ниже аналогичного показателя универсальных кредитных организаций. При этом показано, что корпоративные банки имеют лучшие показатели по объёму волатильного дохода.

Существенная разница показателей эффективности была отмечена и в коэффициентах, характеризующих эффективность использования затрат и себестоимость ссудных продуктов. Банкам корпоративной категории свойственны меньшие объёмы затрат на персонал, что со сложившейся более дешевой (в сравнении с универсальными кредитными организациями) структурой привлечения, ведёт к сравнительно меньшей себестоимости выдаваемых кредитов.

Достаточно интересными представляются полученные результаты, по рентабельности бизнесов. Так, показатель ROE у рассматриваемых категорий банков находится на сопоставимом уровне, при этом рентабельность активов по универсальным кредитным организациям выглядит более предпочтительной. Следовательно, можно утверждать, что меньшие объёмы стабильного дохода у банков корпоративной категории в большей степени нивелируются лучшими показателя по волатильным статьям PL и меньшей себестоимостью кредитов. Таким образом, можно отметить, что заметно отличающиеся по структуре доходов-расходов банки корпоративной и универсальных категорий в конечном итоге получают сопоставимые объёмы прибыли относительно их собственных средств и активов.

Библиографические ссылки

1. **Толчин К.В.** Об оценке эффективности деятельности банков // Деньги и кредит. 2007. № 9. С. 58—62.

2. **Методика** оценки эффективности деятельности многофилиального банка. URL: http://www.labrate.ru/discus/messages/7147/55555856-46063.pdf (дата обращения 20.08.2014).

3. **Рейтинговые** данные сайта URL: http://Bankir.ru (дата обращения 20.08.2014).

4. **Материалы** сайта URL: http://www.Cbr.ru (дата обращения 20.08.2014).

5. **Указание** Центрального Банка Российской Федерации от 12 ноября 2009 г. № 2332-у "О перечне, формах и порядке составления и представления форм отчётности кредитных организаций в Центральный Банк Российской Федерации".

ПО СТРАНИЦАМ ЖУРНАЛОВ

Теплостойкие антифрикционные углепластики для подшипников скольжения паровых турбин. *Вестник машиностроения.* 2014. № 9.

Исследованы теплостойкие антифрикционные углепластики ФУТ-Б и УПФС на основе термореактивного фенолформальдегидного связующего и термопласта (полифениленсульфида) в качестве опорных поверхностей подшипников паровых турбин. Эксперименты подтвердили их высокую несущую способность, низкий расход смазочного материала и допустимую температуру рабочей поверхности.

Квантовая модель сборки наноструктур. *Вестник машиностроения.* 2014. № 9.

Рассмотрены принципы сборки наноструктур на основе квантовой модели межэлектронного обменного взаимодействия атомов на примере процесса осаждения наноструктурных покрытий на рабочие поверхности режущего инструмента.

Эффективный способ получения бейнитной структуры экономно легированного высокопрочного чугуна. *Вестник машиностроения.* 2014. № 9.

Рассмотрены особенности изотермического превращения в высокопрочном чугуне с шаровидным графитом и возможность получения бейнитной структуры чугуна, экономнолегированного Ni, Cu и Mo и отливаемого в металлическую форму при непрерывном охлаждении.

Дифференциальное уравнение изнашивания режущих инструментов и его приложения. *Вестник машиностроения.* 2014. № 9.

Рассмотрены особенности топографии износа режущей части инструмента, установлена их связь с перераспределением силовых контактных напряжений на трущихся площадках передней и задней поверхностей лезвия. Получены дифференциальное уравнение изнашивания инструмента и решения по оптимизации формы лезвия для обеспечения равномерного его изнашивания.

Исследование распределения микрочастиц по размерам в порошках, полученных электроэрозионным диспергированием медных отходов. *Вестник машиностроения.* 2014. № 9.

Представлены результаты исследования распределения по размерам микрочастиц, полученных электроэрозионным диспергированием отходов медной проволоки электротехнической чистоты.

Геликонный плазменный источник с управляемыми резонаторами. *Наноинженерия.* 2014. № 9.

Показано, что в геликонном источнике на основе связанных плазменных резонаторов могут быть созданы условия для эффективной передачи энергии внешнего высокочастотного поля в ионно-плазменные потоки в области подложкодержателя при значительных удалениях его от возбуждающей антенны. Предложена физическая интерпретация этого эффекта.

Безэлектродный активатор реакционного газа для оптической тонкоплёночной технологии. *Наноинженерия.* 2014. № 9.

Представлены конструкция и параметры безэлектродного активатора реакционного газа, использующего электромагнитную энергию в гигагерцевом диапазоне, для работы совместно с ионными распылительными устройствами для нанесения тонкоплёночных оптических покрытий.

Промышленная вакуумно-плазменная установка NanoArcmaster950. *Наноинженерия.* 2014. № 9.

Представлен результат распыления разбалансированными магнетронными системами двухслойного покрытия на вкладыши подшипников скольжения для поршневых двигателей внутреннего сгорания с целью повышения антифрикционных свойств в паре трения шатун — коленчатый вал и, как следствие, повышения КПД двигателя в целом.

Керамические мишени и прозрачные электроды на основе ZnO : Ga. *Наноинженерия.* 2014. № 9.

Исследованы механизмы спекания керамических мишеней и процессы магнетронного формирования прозрачных электродов на основе ZnO : Ga. Показано, что низкотемпературное спекание компактированных порошков на основе ZnO в открытой атмосфере происходит в результате термической десорбции кислорода и формирования на поверхности зёрен легкоплавкого слоя $ZnOi_{1-x}$. Исследованы характеристики слоёв GZO, синтезированных DC магнетронным распылением керамических мишеней с содержанием галлия от 3 до 6 % ат. Изучена взаимосвязь электропроводности слоёв с содержанием галлия и температурой синтеза слоёв.

Структурно-параметрическая модель электромагнитоупругого актюатора нано- и микроперемещений. *Наноинженерия.* 2014. № 9.

На основе решения волнового уравнения построена обобщённая структурно-параметрическая модель электромагнитоупругого актюатора, определено влияние геометрических, физических параметров и внешней нагрузки на его статические и динамические характеристики в системе управления, получены передаточные функции пьезоактюатора для пьезопривода наноперемещений.

Учёт переменности параметров процесса точения фасонных поверхностей при определении оптимальных режимов резания. *Наукоёмкие технологии в машиностроении.* 2014. № 9.

Приведены результаты исследования переменности параметров процесса резания при точении фасонных поверхностей деталей. Представлена методика определения оптимальных режимов резания с учётом переменности параметров процесса обработки фасонных поверхностей для чернового и чистового точения.

Анализ механизма образования погрешностей координирующих размеров поверхностей детали в процессе её изготовления. *Наукоёмкие технологии в машиностроении.* 2014. № 9.

Проведен анализ механизма образования погрешностей координирующих размеров поверхностей детали в процессе её изготовления. Предложен метод анализа, основанный на модульной технологии. Выявлены варианты несовпадения технологических и конструкторских баз изготавливаемого модуля поверхностей.

Анализ производительности автоматизированной линии для сборки твэлов с уран-плутониевым топливом. Метод определения компоновки линии по заданному значению производительности. *Наукоёмкие технологии в машиностроении.* 2014. № 9.

Исследована проблема обеспечения производительности автоматической линии для работы с уран-плутониевым топливом. Рассмотрена линия, в которой подача заготовок осуществляется по одной через равные

промежутки времени. Описан разработанный метод определения компоновки линии по заданному значению производительности.

Автоматизация конструкторско-технологической подготовки производства на основе синхронного подхода. *Наукоёмкие технологии в машиностроении.* 2014. № 9.

Рассмотрены современный эффективный подход к конструкторско-технологической подготовке производства (КТПП) на основе систем CAD/CAM NX и Teamcenter PLM и обеспечение основополагающих принципов практической реализации синхронной технологической подготовки производства.

Автоматизация оценки производственной технологичности изделий в условиях многономенклатурных производственных систем. *Наукоёмкие технологии в машиностроении.* 2014. № 9.

Предложены дополнительные показатели оценки производственной технологичности, разработанные для учёта особенностей и возможностей многономенклатурных механообрабатывающих систем. Приведены методики автоматизированной оценки производственной технологичности по представленным показателям.

Анализ заселённости околоземного космического пространства объектами техногенного происхождения. *Полёт.* 2014. № 9.

Представлены результаты анализа состава космических объектов техногенного происхождения в околоземном космическом пространстве по состоянию на 1 января 2014 года, полученного по информации из всех доступных источников.

Анализ реализуемости продолжительного удержания КА в окрестности спутника планеты при движении по управляемым и свободным орбитам F-класса. *Полёт.* 2014. № 9.

Приводятся новые результаты анализа реализуемости процесса удержания космических аппаратов в окрестности спутника планеты при движении по управляемым и свободным орбитам *F*-класса, представляющие интерес в связи с планируемыми программами исследования и освоения Луны, повышенным вниманием к астероидно-кометной безопасности Земли. Обсуждаются возможные варианты построения управляемых периодических орбит, удовлетворяющих заданным требованиям.

Методический подход к оценке эффективности навигационных систем. *Полёт.* 2014. № 9.

Статья посвящена развитию методических подходов к оценке эффективности системы ГЛОНАСС, а также других средств и систем координатно-временного и навигационного обеспечения (КВНО) Российской Федерации (РФ). Приводятся результаты проведенных исследований по разработке методических основ системы оценки эффективности системы ГЛОНАСС и других средств и систем КВНО РФ. В том числе рассматриваются цели и назначение системы оценки эффективности навигационных систем, принципы её построения; формально определяются используемые критерии; рассматривается общая схема построения и функционирования системы, а также основные проблемные вопросы и задачи её создания.

Математическая модель заправки топливного бака жидкостной ракетной двигательной установки. *Полёт.* 2014. № 9.

Разработана и представлена математическая модель расчёта нестационарного процесса заправки топливного бака, позволяющая определить изменение температуры жидкости по времени в любой точке рассматриваемого пространства бака сложной формы.

Информационное сопровождение изделий на этапе сборки и испытаний. *Полёт.* 2014. № 9.

Рассмотрена структура и функционирование автоматизированной системы управления комплектацией изделий на примере электрогидравлических сервоприводов систем управления полетом ракет. Внедрение системы позволяет организовать информационное сопровождение изделий на этапе сборки и испытаний, снизить издержки производства и повысить качество продукции.

Технико-экономическая эффективность совершенствования сборки судовых трубопроводов на основе технологического применения сильфонных сдвигоповоротных компенсаторов. *Сборка в машиностроении, приборостроении.* 2014. № 9.

Рассмотрены основные типы судовых трубопроводов и составляющих их труб, приведена схема нового сильфонного сдвигоповоротного компенсатора с конструктивно изменённым разгрузочным устройством, представлены результаты изучения трудозатрат, расхода электродов, электроэнергии, кислорода, ацетилена и сжатого воздуха, а также применения средств технологического оснащения при совершенствовании сборки трубопроводов, представлена расчётная технико-экономическая эффективность этого совершенствования.

Влияние ультразвука на контактные напряжения деформации материала в процессах сборки соединений с крепежно-резьбообразующими деталями. *Сборка в машиностроении, приборостроении.* 2014. № 9.

Представлены результаты экспериментальных исследований напряжений сопротивления пластической деформации при формировании внутренних профилей резьбовыдавливающими крепежными деталями при воздействии на процесс ультразвуковых колебаний. Установлены степень и характер влияния ультразвука на контактные напряжения. Описаны математический аппарат, методика и техническое оснащение исследований.

Определение методических погрешностей и цифровое моделирование сборочной авиационной гравиметрической системы. *Сборка в машиностроении, приборостроении.* 2014. № 9.

Определены методические погрешности основных компонентов сборочной авиационной гравиметрической системы и проведено цифровое моделирование с целью изучения влияния различных параметров (курса, широты, скорости, высоты полёта самолёта) на результаты измерений ускорения силы тяжести.

Модели распределения случайных интервалов времени между предметами производства в транспортных потоках сборочного оборудования. *Сборка в машиностроении, приборостроении.* 2014. № 9.

Рассмотрены вопросы определения параметров распределения интервалов времени в транспортных потоках предметов производства автоматизированного технологического оборудования, в том числе сборочного. Результаты показали, что на стадии проектирования технологических систем, исходя из заданной программы выпуска готовой продукции и паспортных параметров надежности входящего в проектируемую систему оборудования, можно, с учетом принятых схем простоев, предсказать характеристики модифицированных потоков предметов производства. Такой подход позволяет сформировать в проектируемой технологической структуре накопительные и резервирующие устройства, обеспечивающие заданную среднюю производительность технологического процесса.