

Редакционный совет

Голенков В.А. д-р техн. наук, проф., председатель
Пилипенко О.В. д-р техн. наук, проф., зам. председателя
Радченко С.Ю. д-р техн. наук, проф., зам. председателя
Борзенков М.И. канд. техн. наук, доц., секретарь
Астафичев П.А. д-р юрид. наук, проф.
Иванова Т.Н. д-р техн. наук, проф.
Киричек А.В. д-р техн. наук, проф.
Колчунов В.И. д-р техн. наук, проф.
Константинов И.С. д-р техн. наук, проф.
Новиков А.Н. д-р техн. наук, проф.
Попова Л.В. д-р экон. наук, проф.
Степанов Ю.С. д-р техн. наук, проф.

Редколлегия

Главный редактор
Степанов Ю.С. д-р техн. наук, проф., заслуженный деятель науки Российской Федерации

Заместители главного редактора

Гордон В.А. д-р техн. наук, проф.
Барсуков Г.В. д-р техн. наук, проф.
Подмастерьев К.В. д-р техн. наук, проф.

Члены редколлегии

Бабичев А.П. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Бухач А. д-р техн. наук, проф. (Польша)
Вловин С.И. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Дмитриев А.М. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Емельянов С.Г. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Зубицких В.Г. д-р физ.-мат. наук, проф. (Россия)
Иванов Б.Р. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Киричек А.В. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Клименко С.А. д-р техн. наук, проф. (Украина)
Колесников К.С. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Копылов Ю.Р. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Малинин В.Г. д-р физ.-мат. наук, проф. (Россия)
Мирсалимов В.М. д-р физ.-мат. наук, проф. (Азербайджан)
Мулюкин О.П. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Осадчий В.Я. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Панин В.Е. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Распов В.Я. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Смоленцев В.П. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Старовойтов Э.И. д-р физ.-мат. наук, проф. (Беларусь)
Хейфец М.Л. д-р техн. наук, проф. (Беларусь)

Ответственный за выпуск

Григорьева О.Ю.

Адрес редакции

302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
(4862) 41-98-48, 55-55-24, 41-98-03,
55-05-81

www.gu-unpk.ru
E-mail: met_lit@ostu.ru

Зарег. в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. Свидетельство ПИ № ФС77-47351 от 03 ноября 2011 года

Подписной индекс **29504**
по объединенному каталогу «Пресса России»

© Госуниверситет – УНПК, 2014

Содержание

Естественные науки

<i>Корнеев Ю.С., Корнеева Е.Н., Играскина Н.А.</i> Применение и выбор пускозащитных муфт в приводах технологических машин.....	3
<i>Измеров М.А., Тихомиров В.П.</i> Фильтрационная модель протекания через фрактальную пористую среду.....	7
<i>Еишуткин Д.Н., Журавлева А.В., Калашникова Н.Г., Григорьева О.Ю.</i> Синтез оптимальных структур гидравлических машин ударного действия.....	15
<i>Горина М.А., Кузьмина Л.В.</i> Применение математических функций в экономической теории и практике.....	23
<i>Карпов И.Г., Зырянов Ю.Т., Мельник О.В.</i> Модель закона распределения непрерывных случайных величин на основе гамма-распределения.....	26
<i>Самотканов А.В., Воробьев В.И.</i> Математическая модель электропривода с двумя асинхронными двигателями, один из которых содержит поворотный статор.....	31

Моделирование технологических процессов

<i>Еременко Ю.И., Халапян С.Ю., Ярмуратий Д.Ю., Невзоров А.А.</i> О проблемах решения задачи автоматизированного управления шахтной печью на основе создания тренажера оператора.....	38
---	----

Конструирование, расчеты, материалы

<i>Бердник А.Н.</i> Эксергетический метод оценки эффективности систем воздухоснабжения с одно- и двухступенчатым.....	45
<i>Коноплев В.И., Ануфриев В.И.</i> Бункер для кусковых материалов.....	54

Машиностроительные технологии и инструменты

<i>Сергиев А.П., Проскурин Д.А., Макаров А.В., Еременко А.Ю., Долгих А.С.</i> Оптимизация режимов вибрационной обработки.....	59
<i>Дроконов А.М., Дроконов А.Е.</i> Снижение шума энергетических установок.....	65
<i>Журавлева Т.А., Барсуков Г.В.</i> Разработка специальных технологических приемов, обеспечивающих исключение влияния расслоений на качество деталей из стеклотекстолита при гидроабразивной резке.....	76
<i>Голенков В.А., Радченко С.Ю., Дорохов Д.О., Кисловский А.А.</i> Постановка задачи оптимизации геометрии инструмента при комплексном локальном деформировании.....	86

Машины, аппараты, технологии пищевой и легкой промышленности

<i>Тимошенко А.А.</i> Автоматизация управления выпечкой хлебобулочных изделий в конвейерных газовых печах.....	92
--	----

Инновации и кадры в машиностроении

<i>Степанова Е.Ю.</i> Экспортные ограничения США и ЕС как стимул к развитию наукоемких и высокотехнологических секторов экономики.....	96
<i>Абашиш М.И., Винокурова Е.В., Галиновский А.Л., Тимофеев В.Б.</i> Анализ приоритетных направлений научно-технического и образовательного сотрудничества между Россией и Китаем.....	104

Приборостроение и биотехнические системы

<i>Солдаткина Е.С., Солдаткин В.М.</i> Вихревая система воздушных сигналов дозвукового летательного аппарата.....	111
<i>Никитин А.В.</i> Бортовая система измерения параметров ветра на стартовых и взлетно-посадочных режимах вертолета.....	118
<i>Распов В.Я.</i> Силовые гироскопические комплексы в системах стабилизации и управления космических аппаратов. Образовательный аспект.....	127
<i>Новикова И.Н., Дунаев А.В., Крупаткин А.И.</i> Оценка влияния холодовой прессионной функциональной пробы на изменение параметров микроциркуляторно-тканевых систем.....	132
<i>Шкатов П.Н., Мякушев К.В.</i> Обобщенная оценка глубины проникновения вихревых токов при вихревом контроле.....	142

Испытания, контроль, диагностика и управление качеством

<i>Петрешин Д.И., Федонин О.Н., Хандожко А.В., Прокофьев А.Н.</i> Модернизация систем управления металлорежущих станков с ЧПУ для расширения функциональных возможностей станков.....	148
<i>Качанов А.Н., Коренков Д.А.</i> Контроль влажности капиллярно-пористых строительных материалов при вакуумной обработке.....	154



The journal is published since 1995
The journal is published 6 times a year

№ 3 (305) 2014

Fundamental and Applied Problems of Engineering and Technology

The founder – The Federal State Higher Education Professional Institution
«State University - Education-Scientific-Production Complex»
(State University – ESPC)

Editorial council

Golenkov V.A. Doc. Sc. Tech., Prof.,
president
Pilipenko O.V. Doc. Sc. Tech., Prof.,
vice-president
Radchenko S.Y. Doc. Sc. Tech., Prof.,
vice-president
Borzenkov M.I. Candidate Sc. Tech.,
Assistant Prof., secretary
Astafichev P.A. Doc. Sc. Law., Prof.
Ivanova T.I. Doc. Sc. Tech., Prof.
Kirichek A.V. Doc. Sc. Tech., Prof.
Kolchunov V.I. Doc. Sc. Tech., Prof.
Konstantinov I.S. Doc. Sc. Tech., Prof.
Novikov A.N. Doc. Sc. Tech., Prof.
Popova L.V. Doc. Sc. Ec., Prof.
Stepanov Y.S. Doc. Sc. Tech., Prof.

Editorial Committee

Editor-in-chief
Stepanov Y.S. Doc. Sc. Tech., Prof.,
honored worker of science of Russian
Federation

Editor-in-chief Assistants

Gordon V.A. Doc. Sc. Tech., Prof.
Barsukov G.V. Doc. Sc. Tech., Prof.
Podmasteryev K.V. Doc. Sc. Tech., Prof.

Member of editorial board

Babichev A.P. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)
Buchach A. Doc. Sc. Tech., Prof. (Poland)
Vdovin S.I. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)
Dmitriev A.M. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)
Emelyanov S.G. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)
Zubarev Y.M. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)
Subchaninov V.G. Doc. Sc. Ph. - Math., Prof.
(Russia)
Ivanov B.R. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)
Kirichek A.V. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)
Klimenko S.A. Doc. Sc. Tech., Prof. (Ukraine)
Kolesnikov K.S. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)
Kopylov Y.R. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)
Malinin V.G. Doc. Sc. Ph.- Math., Prof. (Russia)
Mirsalimov V.M. Doc. Sc. Ph. - Math., Prof.
(Azerbaijan)
Mulyukin O.P. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)
Osadchy V.Ya. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)
Panin V.E. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)
Raspopov V.Ya. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)
Smolenzev V.P. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)
Starovoitov A.I. Doc. Sc. Ph- Math., Prof.
(Belarus)
Heifets M.L. Doc. Sc. Tech., Prof. (Belarus)

Responsible for edition

Grigorieva O.Yu.

Address

302020 Orel,
Naugorskoe Chossee, 29
(4862) 41-98-48, 55-55-24, 41-98-03,
55-05-81
www.gu-unpk.ru
E-mail: met_lit@ostu.ru

Journal is registered in Federal Agency of supervision in sphere of communication, information technology and mass communications. The certificate of registration PI № FS77-47351 from 03.11.2011

Index on the catalogue of the «Pressa Rossi» **29504**

© State University – ESPC, 2014

Contents

Natural science

<i>Korneev YU.S., Korneeva E.N., Igrashkina N.A.</i> Application and choice of start-protective clutches in drives of technological machines.....	3
<i>Izmerov M.A., Tikhomirov V.P.</i> Filtration flow model through a fractal porous medium.....	7
<i>Eshutkin D.N., Zhuravleva A.V., Kalashnikova N., Grigorieva O.Y.</i> Synthesis of optimal hydraulic structures impact machines.....	15
<i>Gorina M.A., Kuzmina L.V.</i> The application of mathematical functions in economic theory and practice.....	23
<i>Karpov I.G., Zyryanov U.T., Melnik O.V.</i> The model of distribution of a continuous random variables on the basis of the gamma distribution.....	26
<i>Samotkanov A.V., Vorobiev V.I.</i> A mathematical model of the actuator with two asynchronous motors, one of which contains the rotary stator.....	31

Process modeling

<i>Eremenko Y.I., Khalapyan S.Y., Yarmurati D.Y., Nevzorov A.A.</i> About solving the problem of the automated control of shaft furnace through the creation of the operator's simulator.....	38
---	----

Construction, calculation, material

<i>Berdnik A.N.</i> The exergy method of assessing the effectiveness of air supply systems with one - and two-stage supercharged and with power turbine.....	45
<i>Konoplev V.I., Anufriev V.I.</i> Bunker for bulk materials.....	54

Machine building technology and toolware

<i>Sergiev A.P., Proskurin D.A., Makarov A.V., Eremenko A.Ju., Dolgih A.S.</i> Optimization of modes vibro finishing treatment.....	59
<i>Drokonov A.M., Drokonov A.E.</i> Noise abatement of power plants.....	65
<i>Zhuravleva T.A., Barsukov G.V.</i> Development special techniques, providing the exclusion of influence bundle on quality of parts made of fiberglass in waterjet cutting.....	76
<i>Golenkov V.A., Radchenko S.Yu., Dorokhov D.O., Kislovsky A.A.</i> Formulation optimizatsii geometry tool in local complex deformation.....	86

Machine, apparatus, technology light and food industry

<i>Timoshenko A.A.</i> Automation of control pastries bakery products in pipeline gas furnaces.....	92
---	----

Innovation and frame in machine building

<i>Stepanova E.Yu.</i> Export restrictions of the USA and EC as incentive to the development of the knowledge-intensive and hi-tech sectors of economy.....	96
<i>Abashin M.I., Vinokurova E.V., Galimovskii A.L., Timofeev V.B.</i> Analysis of priorities science and technology and education cooperation between Russia and China.....	104

Instrument making and biotechnological system

<i>Soldatkina E.S., Soldatkin V.M.</i> Vortex system of air signals subsonic aircraft.....	111
<i>Nikitin A.V.</i> On-board system of measurement of wind on the launch and take-off and landing modes helicopter.....	118
<i>Raspopov V.Ya.</i> Power gyroscopic complexes in the systems of the stabilization and control of the spacecrafts. The educational aspect.....	127
<i>Novikova I.N., Dunaev A.V., Krupatkin A.I.</i> Estimating the influence of the cold pressor functional test on the change of parameters of microcirculatory-tissue systems.....	132
<i>Shkatov P.N., Myakushev K.V.</i> Overall assessment of the penetration depth eddy currents in the eddy-current control.....	142

Tests, control, diagnostics and quality control

<i>Petreshin D.I., Fedonin O.N., Handoko A.V., Prokofiev A.N.</i> Modernization of control systems cnc machine tools to extend the functionality of machine tools.....	148
<i>Kachanov A.N., Korenkov D.A.</i> Control of moisture content of the capillary and porous construction materials at vacuum processing.....	154

The journal is on the List of the peer-reviewed journals and editions stated by the High Attestation Commission at the Ministry of Education and Science of the Russian Federation for the publication of the main scientific results of the thesis for the academic degree.

ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

УДК 62 – 86: 621.838.222

Ю.С. КОРНЕЕВ, Е.Н. КОРНЕЕВА, Н.А. ИГРАШКИНА

**ПРИМЕНЕНИЕ И ВЫБОР ПУСКОЗАЩИТНЫХ МУФТ В ПРИВОДАХ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН**

В работе рассмотрена область использования пускозащитных муфт и представлены их основные размеры и параметры

Ключевые слова: технологическая машина, муфта, момент

Современные технологические машины работают часто в условиях резкопеременных нагрузок и внезапно возникающих перегрузок, приводящих к браку продукции, а в некоторых случаях, к поломкам деталей и узлов машин, что влечет за собой ремонт и дорогостоящие простои.

В этих случаях широко применяются пусковые предохранительные муфты, которые иногда называют регулирующими. Одной из разновидностей таких муфт является пускозащитная муфта [1]. При наличии муфты данной конструкции обеспечивается плавное включение в соответствии с оптимальным законом нарастания передаваемого момента, происходит предохранение электродвигателя и рабочей машины от перегрузок.

Основными элементами этой муфты, влияющими на разгон рабочей машины, являются регулирующий диск, поверхность которого выполнена по сложной кривой, и фрикционные диски.

Качество поверхностей этих деталей оказывает существенное влияние на динамические и эксплуатационные характеристики пускозащитной муфты: износостойкость, надежность и долговечность, коэффициент трения, а также крутящий момент, передаваемый муфтой.

При соприкосновении двух фрикционных поверхностей трение может возникать лишь в фактически соприкасающихся точках. Имеющиеся на поверхностях тел микроскопические неровности мешают тесному контакту поверхностей. Даже для весьма тщательно отполированной поверхности высота микронеровностей имеет определенную величину.

Механическая обработка позволяет получить высокую чистоту и точность обработанной поверхности регулирующего диска и фрикционных поверхностей, обеспечивает повышение их эксплуатационных свойств. В результате такой обработки регулирующего и фрикционного дисков повышается твердость поверхностного слоя металла и его износостойкость, увеличиваются пределы упругости, текучести и усталости, создаются в поверхностном слое благоприятные остаточные напряжения сжатия, уменьшается величина микронеровностей и получается более стабильный коэффициент трения.

Все это положительно сказывается на работоспособности пускозащитной муфты в производственных условиях. Пускозащитная муфта на передаваемую мощность $N=5,5$ квт. и число оборотов $n=1460$ об/мин. была изготовлена и установлена в качестве предохранительного звена в приводе скребкового транспортёра на Орловском заводе "Автосельмаш" вместо применявшейся муфты типа МУВП.

Во время эксплуатации транспортёра обнаружилось, что электродвигатель перегревался, вследствие чего быстро выходил из строя, очень часто происходили поломки траверсы, а также самой муфты МУВП. После замены муфты типа МУВП на пускозащитную муфту перечисленные выше недостатки были устранены. Общие простои транспортера по техническим причинам, демонтаж и монтаж привода снизились в 5 раз, а затраты электроэнергии уменьшились на 3,4% по сравнению с таким же сроком эксплуатации транспортера до

установки пускозащитной муфты. Следует, однако, отметить, что пускозащитная муфта требует более точной центровки соединяемых валов, чем упругая втулочно-пальцевая муфта.

Эти муфты могут завоевать более широкую область применения, не ограничиваясь приводами транспортеров. В частности, муфта указанной конструкции на передаваемую мощность $N = 4,0$ кВт и число оборотов $n = 1440$ об/мин была установлена в приводе тележки для транспортировки готовой продукции в механическом цехе №1 ООО "Завод имени Медведова – Машиностроение" г. Орла (рис.1).



Рисунок 1 – Пускозащитная муфта в приводе тележки для транспортировки изделий

Ранее привод тележки осуществлялся от асинхронного электродвигателя марки 4А100L4УЗ через упругую втулочно-пальцевую муфту типа МУВП и червячный редуктор, режим работы тележки повторно-кратковременный. Муфта в течение всего периода эксплуатации не требовала специального ухода. Включение привода тележки происходило более плавно, без рывков и вибраций по сравнению с применявшейся ранее упругой втулочно-пальцевой муфтой.

Пускозащитная муфта обеспечила безнагрузочный разгон электродвигателя до скорости равной или близкой номинальной. В течение всего периода эксплуатации не наблюдалось случаев простоя тележки по техническим причинам, относящимся к его приводу, повысилась надёжность и долговечность привода. После временной разборки муфты визуальными наблюдениями установлено, что износ поверхностей фрикционных, нажимного и регулирующего дисков, шаров отсутствует, пластическая деформация или иные признаки выхода из строя деталей муфты не наблюдаются. Указанные наблюдения позволяют сделать следующие выводы:

1. Пускозащитная муфта обеспечивает полную изоляцию вращающихся масс ведущей системы от ведомой до достижения электродвигателем угловой скорости, равной $(0,7 - 0,8)\omega_{ном}$, в результате чего уменьшается продолжительность протекания максимального по величине пускового тока двигателя, что благоприятно сказывается на сроке службы двигателя и осуществляет надёжную защиту от перегрузок.

2. Конструкция муфты обладает достаточной работоспособностью и стабильностью.

3. Применение муфты благоприятно сказывается на работоспособности и надёжности агрегата в целом.

С целью облегчения выбора пускозащитной муфты авторами были рассчитаны основные размеры муфт. За основной параметр был взят крутящий момент, передаваемый муфтой. Параметрический ряд составлялся на основе известных нормалей на многодисковые фрикционные муфты [2]. Описание и основные расчеты пускозащитной муфты даны в работах [3, 4, 5], а размеры и параметры приведены в таблице 1 при частоте вращения $n=1500$ об/мин, в таблице 2 при частоте вращения $n=1000$ об/мин.

Таблица 1 – Размеры и параметры пускозащитных муфт (n = 1500 об/мин).

№ п/п	n об/мин	T Н·м	N кВт	Zгр(Zтр)	d мм	Dер мм	bI мм	r мм	βн°	a мм	b мм	R мм	dI мм	S1 мм	S2 мм	α°	l ₁ мм	l мм	D мм	L мм
1	1500	10	1,54	8 (2)	24	71	17,8	13,49	57°18'	3	36,6	4	4,08	1,2	0,4	45	40	100	100	150
2	1500	16	2,46	8 (2)	28	86,2	21,6	14,29	58°31'	4,7	40	5,11	47,6	1,2	0,4	45	40	110	120	160
3	1500	25	3,85	8 (2)	28	103,6	25,9	15,08	59°42'	7	41	8,1	47,6	1,6	0,4	45	50	120	140	180
4	1500	40	6,16	8 (2)	38	128	32	19,05	41°01'	16,7	47,4	17	64,6	1,6	0,5	45	70	140	180	220
5	1500	63	9,7	8 (2)	38	154,4	38,6	19,84	43°59'	24	46,8	24,6	64,6	2	0,65	45	70	150	205	230
6	1500	100	15,4	10 (4)	48	130	39	17,46	44°11'	13,9	55,8	14,12	81,6	2	0,65	36	100	150	180	260
7	1500	160	24,6	10 (4)	55	157,4	47,2	19,05	42°12'	20,3	57,7	21,9	93,5	2	0,65	36	100	160	220	270
8	1500	250	38,5	12 (4)	60	195	58,5	17,46	48°21'	26,5	65,6	26,7	102	2,5	1	30	130	160	270	300
9	1500	400	61,6	13 (4)	75	206	61,8	19,05	45°40'	25,6	78,2	26	127,5	2,5	1	27°42'	130	170	280	310

Таблица 2 – Размеры и параметры пускозащитных муфт (n = 1000 об/мин).

№ п/п	n об/мин	T Н·м	N кВт	Zгр(Zтр)	d мм	Dер мм	bI мм	r мм	βн°	a мм	b мм	R мм	dI мм	S1 мм	S2 мм	α°	l ₁ мм	l ₂ мм	D мм	L мм
1	1000	10	1,03	8 (2)	22	87,2	10,5	15,08	61°12'	0,64	41,5	7,7	37,4	1,2	0,4	45	40	100	130	150
2	1000	16	1,64	8 (2)	28	96,4	14,5	16,65	60°33'	2,8	45,5	5,7	47,6	1,2	0,4	45	50	110	140	170
3	1000	25	2,57	8 (2)	32	103,4	20,7	17,46	64°54'	3,3	48,4	4,96	54,4	1,6	0,4	45	70	130	150	210
4	1000	40	4,11	8 (2)	38	114,2	28,6	19,05	65°23'	4,51	52,8	4,72	64,6	1,6	0,5	45	70	140	170	220
5	1000	63	6,47	8 (2)	38	136,8	34,2	20,64	64°20'	7,4	56,8	8,3	64,6	2,0	0,5	45	70	150	190	230
6	1000	100	10,3	8 (2)	48	166,8	41,7	23,81	56°49'	13,2	63,6	13,24	81,6	2,0	0,65	45	100	170	230	280
7	1000	160	16,4	8 (2)	55	191,3	57,4	26,99	52°17'	19,75	69,75	20,2	93,5	2,5	1,0	45	100	180	270	290
8	1000	250	27,5	10 (4)	60	171,4	51,4	20,64	64°39'	9,5	71,14	9,51	102	2,0	0,65	36	130	180	230	320
9	1000	400	41,1	10 (4)	75	210	63	26,99	43°18'	25	83,4	26,1	127,5	2,5	1,0	36	130	190	300	330
10	1000	630	64,7	12 (4)	80	195,7	58,7	22,23	51°50'	14,5	92,2	14,63	136	2,5	1,0	30	160	190	280	360

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авторское свидетельство 418645 (СССР). Центробежная пусковая муфта. Авт. изобр. Кобцев Б.Г., Коськин В.П. – Заявл. 31.01.72, №17416225/25-27, опубл. 05.03.74.
2. МН. 5656-65- МН 5665-65. Муфты фрикционные многодисковые. – М: Издательство стандартов. 1965.
3. Коськин, В.И. Синтез центробежной пусковой муфты / В.И. Коськин, Б.Г. Кобцев. – М: Машиностроение. 1977.
4. Коськин, В.И. Технологичность конструкций некоторых видов пусковых муфт / В.И. Коськин, Б.Г. Кобцев, Ю.С. Корнеев. – В сб.: Совершенствование методов обработки металлов резаньем. Орел:1981. с. 96.
5. Корнеев, Ю.С. Разработка нормали на центробежную пусковую муфту / Ю.С. Корнеев. – В сб.: Прогрессивная технология в машиностроении и приборостроении. Орел: 1982. с. 96.

Корнеев Юрий Степанович

Госуниверситет – УНПК, г. Орел
Кандидат технических наук, доцент
302020, Орел, Наугорское шоссе, 29
Тел.: 41-98-96

Корнеева Елена Николаевна

Госуниверситет – УНПК, г. Орел
Кандидат технических наук, доцент
Тел.: 41-98-48

Играшкина Наталия Александровна

Госуниверситет – УНПК, г. Орел
Студентка гр. 21 – С
302020, Орел, Наугорское шоссе, 29

YU.S. KORNEEV, E.N. KORNEEVA, N.A. IGRASHKINA

APPLICATION AND CHOICE OF START-PROTECTIVE CLUTCHES IN DRIVES OF TECHNOLOGICAL MACHINES

This article is devoted to the use area of start-protective clutches and presented their main sizes and parameters.

Keywords: *tecnological machine, clutch, moment.*

BIBLIOGRAPHY

1. Avtorskoe svidetel'stvo 418645 (SSSR). Centrobezhnaja puskovaja mufta. Avt. izobr. Kobcev B.G., Kos'kin V.P. – Zajavl. 31.01.72, №17416225/25-27, opubl. 05.03.74.
2. МН. 5656-65- МН 5665-65. Mufty frikcionnye mnogodiskovyje. – М: Izdatel'stvo standartov. 1965.
3. Kos'kin, V.I. Sintez centrobezhnoj puskovoj mufty / V.I. Kos'kin, B.G. Kobcev. – М: Mashinostroenie. 1977.
4. Kos'kin, V.I. Tehnologichnost' konstrukcij nekotoryh vidov puskovyh muft / V.I. Kos'kin, B.G. Kobcev, Ju.S. Korneev. – V sb.: Sovershenstvovanie metodov obrabotki metallov rezan'em. Орел:1981. s. 96.
5. Korneev, Ju.S. Razrabotka normali na centrobezhnjuju puskovuju muftu / Ju.S. Korneev. – V sb.: Progresivnaja tehnologija v mashinostroenii i priborostroenii. Орел: 1982. s. 96.

Korneev Yury Stepanovich

State university – UNPK. Орел
Candidate of Technical Sciences, associate professor
302020, Eagle, Naugorskoye Highway, 29
Ph.: 41-98-96

Korneeva Elena Nikolaevna

State university – UNPK. Орел
Candidate of Technical Sciences, associate professor
302020, Eagle, Naugorskoye Highway, 29
Ph.: 41-98-48

Igrashkina Natalia Aleksandrovna

State university – UNPK. Орел
Student гр. 21 – With
302020, Eagle, Naugorskoye Highway, 29

М.А. ИЗМЕРОВ, В.П. ТИХОМИРОВ

ФИЛЬТРАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ПРОТЕКАНИЯ ЧЕРЕЗ ФРАКТАЛЬНУЮ ПОРИСТУЮ СРЕДУ

Предложена фильтрационная модель протекания через пористую среду. Пористая среда представляет собой фрактальный объект, структура которого определяется зазором между сопряженными поверхностями, состоящим из пор и площадок контакта волнистых и шероховатых сопряженных поверхностей. Приведены методики определения фрактальных размерностей извилистости и пористости среды. Получены зависимости утечки от параметров пористой и уплотняемой среды.

Ключевые слова: фильтрация, пористая среда, фрактал, перколяция, расход.

Герметичность соединений является важным показателем, определяющим работоспособное состояние уплотнительных устройств и экологическую безопасность. Утечка уплотняемой среды в торцовых уплотнительных устройствах зависит от качества поверхностного слоя и уровня сближения сопряженных поверхностей. Структуру дискретного контакта металл-металлического соединения можно представить в виде пористой фрактальной среды.

Расхождение теоретических результатов с экспериментальными данными связано с недостатками существующих моделей протекания [1]. В случае применения линейной фильтрационной модели Дарси проницаемость зависит от пористости, извилистости каналов и других факторов, точность определения которых влияет на оценку расхода уплотняемой среды. В связи с этим конструктор при проектировании конкретного герметизирующего устройства часто не обладает достоверными данными, необходимыми для обеспечения его работоспособного состояния на начальном этапе создания.

Полагаем известными параметры, определяющие показатели утечки (расхода) жидкости через пористую среду. Эти параметры оцениваются с помощью компьютерного моделирования на малом выделенном объеме (например, $0,8 \times 0,8 \times 0,8 \text{ мм}^3$). Это ограничение связано с возможностями ЭВМ (скорость обработки информации, объем памяти). Требуется оценить расход уплотняемой жидкости на площади, соответствующей контурной площади A_c , вычисленной с учётом волнистости с использованием щелевой модели протекания. *Теория.*

Оценка фрактальной извилистости каналов протекания.

Полагаем, что контакт фрактальных поверхностей уплотнительного устройства, являясь дискретным и состоящим из множества замкнутых и соединённых в цепочки пор, можно представить в виде фрактальной пористой среды. Длина цепочки соединённых между собой пор в плоскости разъёма, по которой проходит утечка, может быть определена (по Мандельброту [2]) следующей зависимостью

$$L = \lambda \cdot \delta^{1-D_T}, \quad (1)$$

где L – длина кривой, λ – параметр, определяемый экспериментально, δ – масштаб измерения (раствор циркуля при измерении длины кривой); D_T – фрактальная размерность кривой (цепочки пор).

Фрактальный объект (кривая) обладает свойством самоподобия: любой участок кривой имеет ту же фрактальную размерность, что и вся кривая. С математической точки зрения свойство подобия определяется по формуле:

$$k \cdot L = \lambda (k \cdot \delta)^{1-D_T}. \quad (2)$$

Здесь k – масштаб увеличения.

Для измерения длины фрактальной кривой в k -раз длиннее участка, на котором производились измерения, т.е. на участке $0,8 \times 0,8 \text{ мм}$, необходимо измерять (в частности методом *yard - stick*) длину раствором циркуля в k -раз больше предыдущего.

Рассмотрим процедуру определения фрактальной кривой на участке AB .

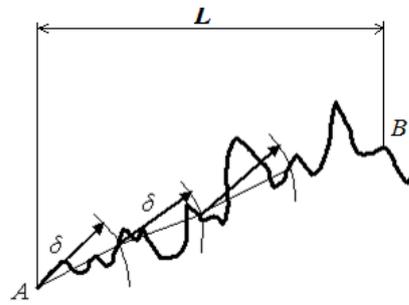


Рисунок 1 – Определение фрактальной размерности

Длина определяется выражением $L=N(\delta) \cdot \delta$. С уменьшением размера δ длина нелинейно возрастает. Прологарифмировав уравнение (1), запишем

$$\ln L = \ln \lambda + (1 - D_T) \cdot \ln \delta$$

Зависимость $\ln L - f(\ln \delta)$ представим в виде графика (рис. 2).

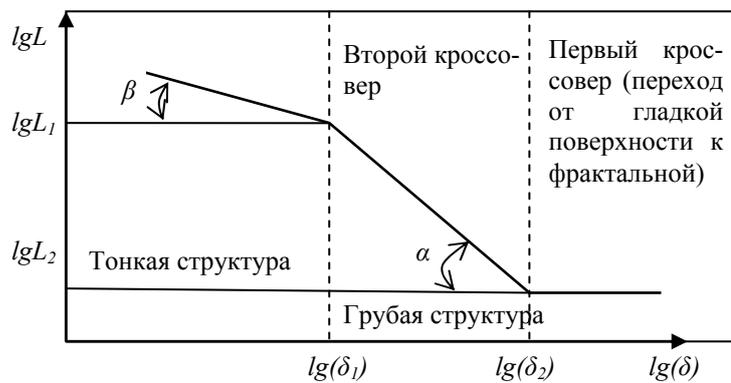


Рисунок 2 – Определение фрактальной размерности по углу наклона α

Наклон прямой на участке $\delta_1 \dots \delta_2$ позволяет найти фрактальную размерность

$$D_T = 1 - \text{tg} \alpha = 1 - \frac{\lg L_2 - \lg L_1}{(\lg \delta_2 - \lg \delta_1)}, \quad 1 < D_T < 2.$$

Прологарифмировав уравнение (1) при $L = L_1$ и $\delta = \delta_1$ и преобразовав полученное выражение, запишем

$$\begin{aligned} \ln L_1 &= \ln \lambda + (1 - D_T) \cdot \ln \delta_1, \\ \ln \lambda &= \ln L_1 - (1 - D_T) \cdot \ln \delta_1, \end{aligned}$$

откуда

$$\lambda = \frac{L_1}{\delta_1^{1-D_T}}$$

Растворы циркуля от δ_2 до δ_1 определяют соответствующие длины волн $\delta = 1 / \omega$, где ω – частота. На графике (рис. 3) представлена спектральная плотность типичного профиля шероховатой поверхности.

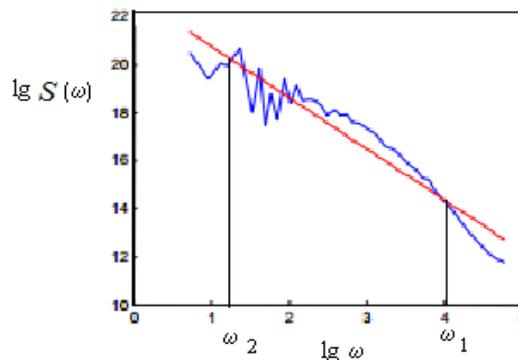


Рисунок 3 – Спектральная плотность

Спектральная плотность профиля фрактальной поверхности определяется зависимостью

$$S(\omega) = c\omega^{-\beta}.$$

Здесь β – угловой коэффициент (наклон) прямой зависимости $\lg S(\omega)$ от $\lg \omega$. Фрактальная размерность оценивается выражением

$$D = \frac{5 - \beta}{2},$$

где β – модуль углового коэффициента.

Тогда длина кривой L_T (магистрального канала протекания) будет равна

$$L_T = \lambda \left(\frac{A_c^{1/2}}{L_0} \delta \right)^{1-D_T} \quad (3)$$

Итак, представим магистральный канал утечки как показано на рисунке 4, предполагая, что боковые стенки, выделенные жирными линиями, изолированы.

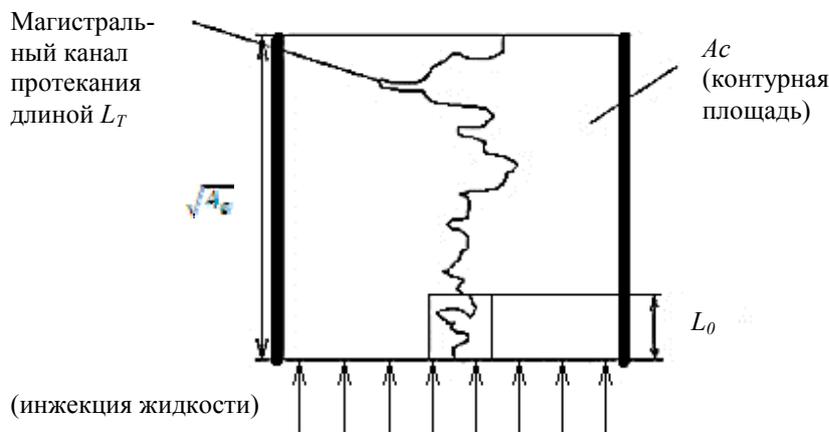


Рисунок 4 – Протекание через пористую среду

В данном случае коэффициент извилистости определяется как

$$K_{изв} = \frac{L_T}{\sqrt{A_c}} = \lambda \left(\frac{\delta^{1-D_T}}{L} \right)^{1-D_T}$$

С другой стороны, для площадки $L_0 \times L_0$ и диаметра канала $(2r)$ имеем [3, 4]

$$K_{изв} = \frac{L_T}{L_0} = L_0^{D_T-1} (2r)^{1-D_T}$$

При $D_T = 1$ имеем $K_{изв} = 1$.

Учитывая самоподобие ($K_{изв} = K_{изв}^0$), запишем

$$L_0^{D_T-1} \cdot (2r)^{1-D_T} = \lambda \frac{\delta^{1-D_T}}{A_c^{D_T/2} \cdot L_0^{1-D_T}}$$

$$(2r)^{1-D_T} = \lambda \frac{\delta^{1-D_T}}{A_c^{D_T/2} \cdot L_0^{1-D_T} \cdot L_0^{D_T-1}} = \lambda \frac{\delta^{1-D_T}}{A_c^{D_T/2}}$$

откуда

$$d_H = 2r = \frac{1}{\lambda^{1/D_T} \cdot \delta^{1/D_T} \cdot A_c^{D_T/2}}$$

Таким образом, средний гидравлический радиус равен

$$r = \frac{1}{2 \cdot A_c^{D_T/2} \cdot \delta^{1-D_T}}$$

Расход жидкости через прямолинейный цилиндрический канал по Пуазейлю определяется уравнением

$$q^*(r) = \frac{\pi r^4 dp}{8\eta dL_T}$$

Здесь дифференциал dL_T найдём из уравнения (3), приняв за переменную величину L_0 . Тогда

$$L_T = \lambda \cdot A_c^{D_T/2} \cdot \delta^{1-D_T} \cdot L_0^{D_T-1},$$

$$dL_T = \lambda \cdot A_c^{D_T/2} \cdot \delta^{1-D_T} \cdot (D_T - 1) \cdot L_0^{D_T-2} dL_0.$$

Тогда выражение для утечки через пористую среду имеет вид

$$Q_F = - \int_{r_{min}}^{r_{max}} q^*(r) dN(r)$$

Здесь $N(r)$ – число пор, чей радиус находится в диапазоне от r до $r+dr$:

$$dN(r) = -D_f \cdot r_{max}^{D_f} \cdot r^{-(D_f+1)} dr$$

Это уравнение получено дифференцированием известного выражения

$$N(L > r) = \left(\frac{r_{max}}{r}\right)^{D_f}.$$

Здесь D_f – фрактальная размерность пор.

Приняв градиент (перепад) давления $dP/dL_0 = \Delta P/L_0$ и подставив вышеприведенные зависимости в предыдущее выражение, найдём

$$Q_F = - \int_{r_{min}}^{r_{max}} \frac{\pi r^4}{8\eta} \frac{\Delta P}{(D_T - 1) \lambda \cdot A_c^{D_T/2} \delta^{1-D_T} L_0^{D_T-1}} D_f \cdot r_{max}^{D_f} \cdot r^{-(D_f+1)} dr =$$

$$= - \frac{\pi \Delta P \cdot D_f \cdot r_{max}^{D_f}}{8\eta (D_T - 1) \cdot A_c^{D_T/2} \delta^{1-D_T} \cdot L_0^{D_T-1}} \int_{r_{min}}^{r_{max}} \frac{r^4}{r^{D_f+1}} dr$$

$$I = - \int_{r_{min}}^{r_{max}} r^{4-D_f} dr = \frac{r^{4-D_f}}{4-D_f} \Big|_{r_{min}}^{r_{max}} = \frac{1}{4-D_f} (r_{max}^{4-D_f} - r_{min}^{4-D_f})$$

$$Q_F = - \frac{\pi \Delta P \cdot D_f}{8\eta (4-D_f) (D_T - 1) \lambda \cdot A_c^{D_T/2} \delta^{1-D_T} \cdot L_0^{D_T-1}} (r_{max}^4 - r_{max}^{D_f} \cdot r_{min}^{4-D_f}) =$$

$$= -A \cdot r_{max}^4 \left(1 - \left(\frac{r_{min}}{r_{max}}\right)^{4-D_f}\right)$$

В расчётах принимают $\frac{r_{min}}{r_{max}} = 10^{-2}$.

Площадь сечения пористой среды, перпендикулярная направлению фильтрации, определяется как

$$A = \frac{A_p}{m} = \frac{\pi D_f r_{max} (1-m)}{4(2-D_f)m}$$

Здесь m – пористость, A_p – площадь пор.

Для осесимметричного уплотнения $A_{Ac} = (r_2 - r_1) L_{Ac}$, откуда (в соответствии с рис. 5)

$$L_{Ac} = \frac{A_c}{r_2 - r_1}.$$

Тогда

$$A = L_{Ac} \left(\sum_{i=1}^n W_{pi} - \delta\right).$$

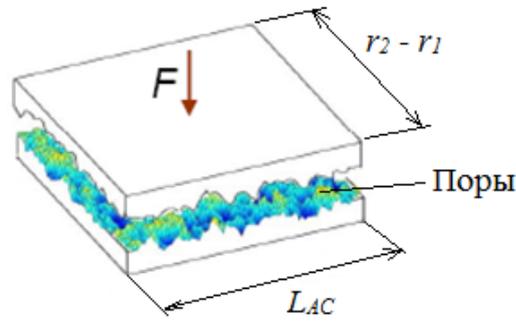


Рисунок 5 – Пористая среда

Окончательно запишем

$$Q_F = - \frac{\pi \cdot r_{\max}^4}{8\eta(4 - D_f)} \frac{\Delta P \cdot D_f}{(D_T - 1) \lambda \cdot A_c^{0.6(1-D_f)} \delta^{1-D_T} \cdot L_0^{D_T-1}}$$

Например, для осесимметричного уплотнения с параметрами $L_0 = 0,8$ мм, $A_c = 10$ мм², $\delta = 2$ мкм, $D_f = 1.5$, $D_T = 1.5$ и уплотняемыми средами трансформаторное масло (динамическая вязкость $\eta = 0,0316$ Па*с) и нефть ($\eta = 0,2$ Па*с) при перепаде давления в $\Delta p = 10^6$ Па получим следующие результаты (рис. 6).

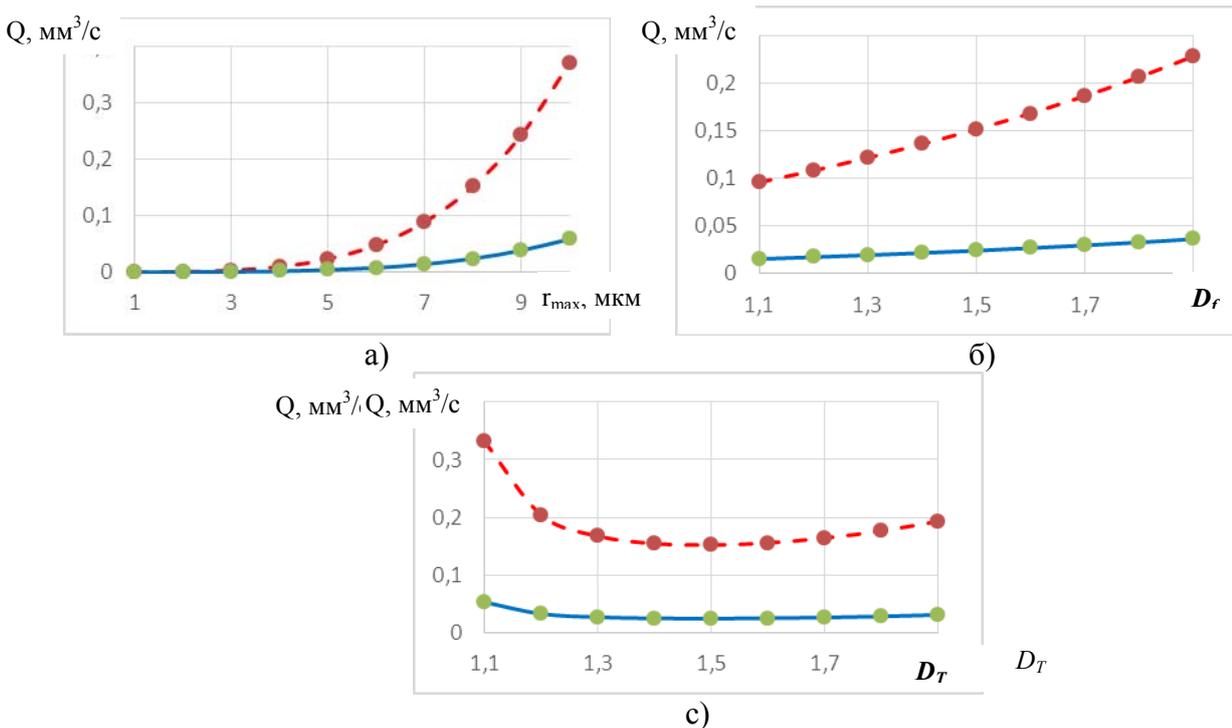


Рисунок 6 – Зависимость утечки Q , мм³/с, от: а) максимального радиуса пор r_{\max} , мкм б) фрактальной размерности пористости D_f , в) фрактальной размерности извилистости D_T (штриховая линия – трансформаторное масло, сплошная – нефть)

Полученные данные хорошо согласуются с данными по литературным источникам [3].

Фрактальная размерность пористости D_f

Число пор фрактальной пористой среды определяют следующим выражением:

$$N(R > r) = \left(\frac{r_{\max}}{r} \right)^{D_f}$$

Здесь r , r_{\max} и r_{\min} – размеры пор, D_f – фрактальная размерность пористой среды ($1 < D_f$)

< 2). Дифференцируя представленное выражение, запишем

$$-dN = D_f \cdot r_{max}^{D_f} \cdot r^{-(1+D_f)} dr$$

Отрицательный знак в полученном выражении указывает на то, что число пор уменьшается с ростом их размеров. Общее число пор, находящихся в пределах от r_{min} до r_{max} , равно

$$N_f(R > r_{min}) = \left(\frac{r_{max}}{r_{min}} \right)^{D_f}$$

Разделив предпоследнее выражение на последнее, получим

$$\frac{-dN}{N_f} = D_f \cdot r_{min}^{D_f} \cdot r^{-(1+D_f)} dr = f(r) dr$$

В работе [4] фрактальная размерность пористой среды определяется формулой

$$D_f = D_E + \frac{\ln m}{\ln \frac{r_{max}}{r_{min}}} - 1.$$

Здесь D_E – евклидова размерность (например, для трёхмерного пространства $D_E = 3$), m – пористость ($0 < m < 1$).

В расчётах [4] принимают $r_{min} / r_{max} = 10^{-2}$, тогда фрактальная размерность пористой среды окажется равной

$$D_f = 3 + \frac{\ln m}{4,605} - 1 \approx 2 + 0,215 \cdot \ln m$$

Таким образом, фрактальная размерность D_f пористой среды определяется по вышеприведенной формуле.

Фрактальная размерность извилистости D_T .

Рассмотрим капиллярную модель протекания через фрактальную пористую среду в виде цепочки соединённых между собой пор. В этом случае капилляр представляет собой фрактальный объект. Фрактальная размерность капилляра характеризует его извилистость, которая в свою очередь, связана с диаметром капилляра (рис. 7).

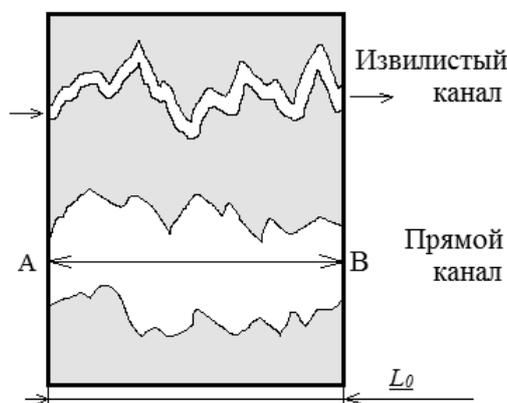


Рисунок 7 – Схематическое изображение каналов протекания
1- извилистый; 2 - прямой

Извилистый канал, имеющий большой диаметр и позволяющий соединить прямой линией его вход и выход, считается прямым. Согласно фрактальным представлениям [3], длина извилистого канала определяется выражением

$$L_c = L_0^{D_T} \cdot (2r)^{1-D_T}$$

Прологарифмировав это выражение, получим

$$\ln L_c = D_T \cdot \ln L_0 + (1 - D_T) \ln(2r),$$

откуда

$$\ln L_c - \ln(2r) = D_T \cdot (\ln L_0 - \ln(2r))$$

и

$$D_T = \frac{\ln L_t - \ln(2r)}{\ln L_0 - \ln(2r)} = \frac{\ln \frac{L_t}{2r}}{\ln \frac{L_0}{2r}}$$

Здесь r находится в диапазоне от r_{min} до r_{max} . Значение L_t определяется с помощью компьютерного моделирования в трёхмерной пористой среде со стороной L_0 в направлении протекания (рис. 8).

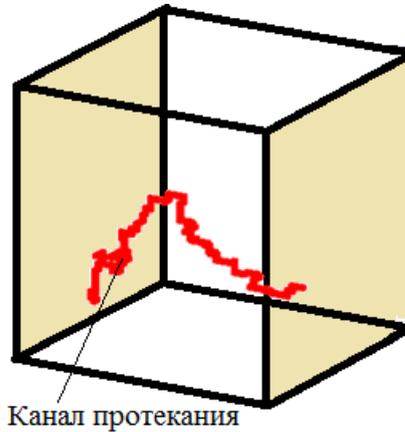


Рисунок 8 – Канал протекания

Тогда

$$\frac{L_t}{L_0} = L_0^{D_T-1} (2r)^{1-D_T}$$

$$\begin{aligned} \ln \frac{L_t}{L_0} &= (D_T - 1) \ln L_0 + (1 - D_T) \ln(2r) = (1 - D_T) \ln L_0 + (1 - D_T) \ln(2r) = \\ &= -(1 - D_T) \ln L_0 - \ln(2r_0) = (1 - D_T) [\ln(2r) - \ln L_0]. \end{aligned}$$

Отсюда найдём фрактальную размерность извилистости D_T :

$$(1 - D_T) = \frac{\ln \frac{L_t}{L_0}}{\ln(2r) - \ln L_0}$$

Тогда фрактальная размерность извилистости равна

$$D_T = 1 - \frac{\ln \frac{L_t}{L_0}}{\ln \frac{2r}{L_0}}$$

Средний размер цилиндрических пор (капилляров) можно определить как

$$d_{cp} = 2r_{cp} = 4 * 10^3 \frac{V}{A} \quad (\text{нм}),$$

где V – объём пор (см^3), A – площадь их поверхности (м^2) в одном грамме.

Таким образом, представляется возможным определить зависимости утечки от параметров пористой и уплотняемой среды, а так-же фрактальную размерность извилистости и пористости уплотняемой среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тихомиров, В.П. Имитационное моделирование герметичности плоских стыков / В.П. Тихомиров, Л.В. Вольпер, машиноведение, 1986. - №2. – С. 91 – 94.
2. Мандельброт, Б. Фрактальная геометрия природы / Б. Мандельброт / Пер. с англ. – М.: Институт компьютерных исследований, 2002. - 656 с.
3. Kou, J. Fractal analysis of effective thermal conductivity for three-phase (unsaturated) porous media / J.

Kou, Y. Liu, F. Wu, J. Fan, H. Lu, Y. Xu // Journal of applied physics, 2009. – v.106. – 054905. 1 – 6.
4. Yu, B. M. Fractals / B. M. Yu, J. H. Le // Fractals, 2001. – 9. – 365.

Измеров Михаил Александрович

ФГБОУ ВПО «Брянский государственный технический университет»
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Детали машин»
E-mail: Maik51@yandex.ru

Тихомиров Виктор Петрович

ФГБОУ ВПО «Брянский государственный технический университет»
Доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Детали машин»
E-mail: dm-bgtu@yandex.ru

M.A. IZMEROV, V.P. TIKHOMIROV

FILTRATION FLOW MODEL THROUGH A FRACTAL POROUS MEDIUM

The filtration model of percolation through the porous media is offered. The porous media represents as the fractal object which structure is defined by the inter surfaces contact gap consisting of porous and areas of contact of wavy and rough interfaced surfaces. Definition techniques fractal dimensions of tortuosity and porosity of media are resulted. Dependences of leak on parameters of the porous media and condensed environment are received.

Keywords: filtration, porous media, fractal, percolation, leakage.

BIBLIOGRAPHY

1. Tihomirov, V.P. Imitacionnoe modelirovanie germetichnosti ploskih stykov / V.P. Tihomirov, L.V. Vol'per, mashinovedenie, 1986. - №2. – S. 91 – 94.
2. Mandel'brot, B. Fraktal'naja geometrija prirody / B. Mandel'brot / Per. s angl. – M.: Institut komp'juternyh issledovaniy, 2002. - 656 s.
3. Kou, J. Fractal analysis of effective thermal conductivity for three-phase (unsaturated) porous media / J. Kou, Y. Liu, F. Wu, J. Fan, H. Lu, Y. Xu // Journal of applied physics, 2009. – v.106. – 054905. 1 – 6.
4. Yu, B. M. Fractals / B. M. Yu, J. H. Le // Fractals, 2001. – 9. – 365.

Izmerov Mikhail Aleksandrovich

FSEI HPE "Bryansk state technical University
Candidate of technical Sciences, associate Professor of the Department "machine Parts"
E-mail: Maik51@yandex.ru

Tikhomirov Victor Petrovich

FSEI HPE "Bryansk state technical University
Doctor of technical Sciences, Professor, head. the Department "machine Parts"
E-mail: dm-bgtu@yandex.ru

СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНЫХ СТРУКТУР ГИДРАВЛИЧЕСКИХ МАШИН УДАРНОГО ДЕЙСТВИЯ

В статье рассматривается разработанный авторами метод синтеза структуры органов управления гидравлических машин ударного действия, основывающийся на формализации процесса и применении методов дискретной математики. При этом исключаются или существенно ограничиваются субъективные решения проектировщиков.

Ключевые слова: логические элементы, датчики состояния, алгебра логики, управление движением.

Синтез структурных схем, их проектирование и создание всегда представляет очень сложную проблему, состоящую в выборе из большого числа возможных вариантов схем и конструкций ту, которая обеспечивает заранее заданное движение. Поэтому выбор схемы для каждого конкретного случая проектирования является не единственным и возникает проблема нахождения оптимального решения, т.е. наилучшего, в некотором смысле из множества возможных вариантов.

Экономичность производства и эксплуатации машины определяется, в том числе и уровнем ее надежности. Оценить надежность будущей машины на стадии проектирования, выбора ее схемы очень сложно, однако несомненным является то, что чем меньше число элементов входящих в состав машины, тем выше показатели надежности.

Выполненные ранее нами исследования [1, 2] позволяют выбирать параметры ударных механизмов и режимы их движения, при которых достигаются максимальные по величине уровни ударной мощности и коэффициента полезного действия.

Обеспечение заданной последовательности движения бойка осуществляется органом управления. В настоящее время еще нет научно обоснованных методов выбора структуры органов управления и оценки оптимальности выбранной структуры. В практике конструирования гидравлических машин ударного действия до сих пор главным является интуитивный подход, опирающийся на опыт и изобретательность конструктора.

Разработанный нами метод синтеза структуры органов управления гидравлических машин ударного действия базируется на основных положениях теории конечных автоматов. Он предусматривает следующие пять этапов решения задачи синтеза (рис. 1).

1. По циклограмме работы ударного механизма составляется таблица переходов и ориентированный граф. Используя полученные в результате динамического расчета закономерности изменения силовых и кинематических параметров, составляются диаграммы входных и выходных сигналов механизмов.

2. Исходя из диаграммы входных и выходных сигналов ударного механизма, составляется кодиро-

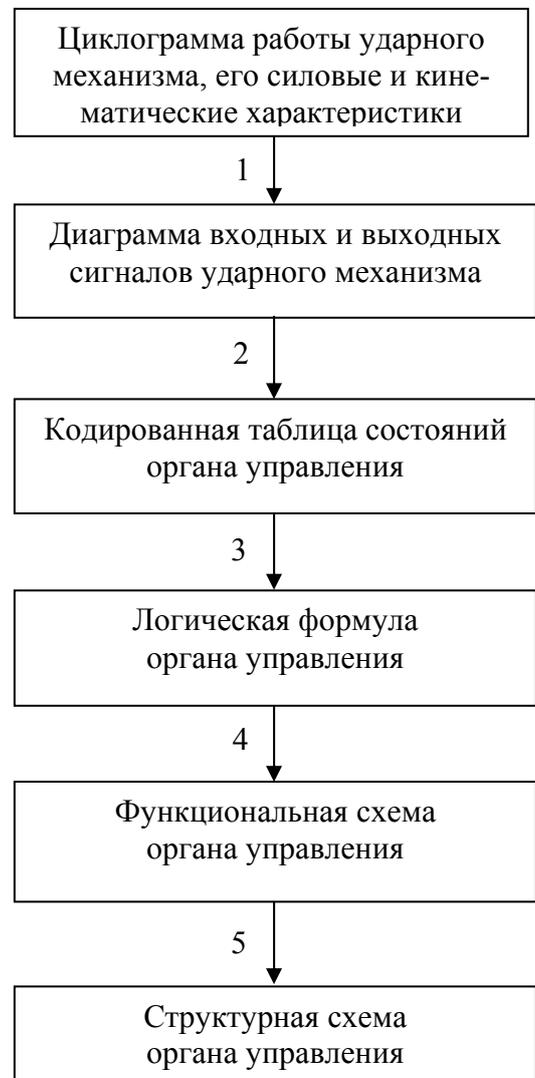


Рисунок 1 – Последовательность синтеза органов управления гидравлических машин ударного действия

ванная таблица состояния органа управления и его графоид.

3. По полученной кодированной таблице состояний и графоиду органа управления составляется некоторое математическое соотношение или логическая формула органа управления, затем полученные алгебраические зависимости оптимизируются (минимизируются) с помощью законов алгебры логики.

4. По полученным булевым выражениям составляется функциональная схема органа управления.

5. В соответствии с функциональной схемой выбираются логические элементы, назначаются типы распределителей, датчиков состояний и элементов памяти. Составляется структурная схема органа управления.

Предлагается оптимизировать структуру машины исходя из минимального количества логических элементов, что по нашему мнению будет соответствовать наилучшим показателям ее надежности. Однако метод не исключает применение и других критериев оптимальности.

Объектом управления является ударный механизм, с бойком которого орган управления имеет обратную связь. При этом структурная схема органа управления (рис. 2) в общем случае включает одно или несколько распределительных устройств датчики состояния, элементы памяти и управляющие элементы.

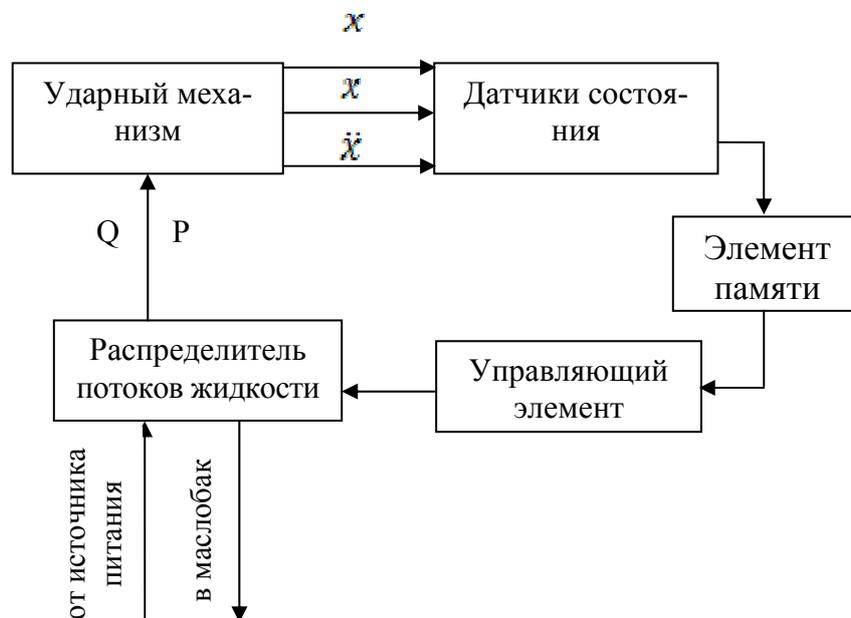


Рисунок 2 – Взаимосвязь элементов гидравлической машины ударного действия

Известны гидравлические машины ударного действия с независимым (принудительным) управлением распределителей [3, 4]. Они имеют определенные преимущества, в простоте конструкций, однако область их применения ограничена тем, что объект воздействия ударного механизма (внешняя среда) должна обладать высокой стабильностью, т.е. при каждом цикле движения продолжительность фазы удара должна оставаться неизменной, что исключает применение таких машин для разрушения горных пород, грунтов, бетонов и др.

При составлении структурной схемы недостаточно только формально указывать значения сигналов, необходимо, учитывая особенности ударного механизма (объекта управления), показывать, где и как могут быть получены сигналы. Отсюда следует вывод, что проектировщик должен иметь соответствующее представление о датчиках состояний, типах распределителей, имеющихся в его распоряжении.

На этой стадии проектирования необходимо обратить внимание на то, что неправильное использование распределителей и датчиков состояний может привести к неоптимальным решениям.

Выбор распределителей, датчиков состояний и элементов памяти зависит от физических величин, которые необходимо преобразовать. Они должны быть согласованы по мощности и вместе с тем не должно возникать трудностей при их соединении с логическими элементами. Таким образом, применение предлагаемого метода, в первую очередь, предусматривает получение основных характеристик, рассматриваемых ударных механизмов, как объекта управления.

Управление движением бойка производится путем направления потоков жидкости в рабочие камеры ударного механизма. Согласно разработанной нами классификации, ударные механизмы могут иметь одну, либо две управляемых камеры. В связи с этим рассматриваемые классы ударных механизмов могут быть подразделены на три группы: ударные механизмы первой группы (I и II классы) имеют две управляемые камеры, второй (III класс) – одну управляемую камеру рабочего хода и третьей (IV, V, VI и VII классы) – одну управляемую камеру обратного хода.

Данные таблицы 1 позволяют установить необходимую последовательность силовых воздействий (входных сигналов) в управляемых камерах для обеспечения функционирования ударных механизмов различных классов.

Изменение входных сигналов ударных механизмов (давление жидкости в управляемых камерах) приводит к изменению состояний ударного механизма. Под состоянием ударного механизма понимаются фазы движения бойка, в течение которых совокупности комбинаций входных и выходных (координаты положения, скорость и ускорение бойка) сигналов остаются неизменными.

Для рассматриваемых ударных механизмов можно выделить четыре состояния – q_1 , q_2 , q_3 и q_4 , соответствующих во времени фазам разгона (t_1) и торможения (t_2) при обратном ходе, рабочего хода (t_p) и соударения (t_c).

Закон функционирования ударного механизма может быть представлен в виде таблиц переходов, строки которых соответствуют различным входным сигналам (P_A и P_B), а столбцы – различным состояниям ударного механизма q . На пересечении i строки и k столбца таблицы переходов ставится состояние ударного механизма, в которое он переходит из состояния q_k под действием входных сигналов, определяемых i строкой. Варианты переходов рассматриваемых типов ударных механизмов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Таблица переходов ударных механизмов

Класс ударного механизма, режим движения	Входные сигналы	Состояние ударного механизма			
		q_1	q_2	q_3	q_4
1	2	3	4	5	6
I, II	$P_A=1; P_B=0$	q_2	q_3	q_4	q_4
	$P_A=0; P_B=1$	q_1	q_1	q_1	q_1
III	$P_A=0; P_B=0$	q_1	q_2	q_3	q_4
	$P_A=1; P_B=1$	q_2	q_3	q_4	q_4
IV V	$P_B=1;$	q_1	q_1	q_1	q_1
	$P_B=0;$	q_2	q_3	q_4	q_4
VI и VII, с инерционным выбегом	$P_B=1;$	q_1	q_1	q_1	q_1
	$P_B=0;$	q_2	q_3	q_4	q_4
VI и VII, с естественным торможением	$P_B=0;$	q_2	q_2	q_1	q_1
	$P_B=0;$	q_3	q_3	q_4	q_4

При этом принято, что значения P_A и P_B равные 1, соответствуют положению, когда соответствующая камера сообщена с источником питания, а P_A или P_B равные 0 – с маслобаком или вспомогательной камерой.

Так как заданной последовательностью изменения состояний является $q_1 \rightarrow q_2 \rightarrow q_3 \rightarrow q_4 \rightarrow q_1$, то, пользуясь таблицей переходов, можно установить, в какие фазы и какие входные сигналы (совокупности сигналов) должны быть поданы в ударный механизм. Однако определение последовательности входных сигналов непосредственно из таблиц переходов обычно рекомендуется [5] только в самых простых случаях. В общем случае более удобным и наглядным является представление законов функционирования ударных механизмов в виде ориентированного графа (составленного по таблице переходов) [6].

Вершины графа являются состояниями ударного механизма q_1, q_2, q_3 и q_4 , а около каждого ребра ставятся входные сигналы (или совокупность сигналов), вызывающие переход ударного механизма из одного состояния в другое. Такие графы (с нагруженными ребрами) называют графоидами. Ориентированные графоиды рассматриваемых классов ударных механизмов, являющиеся их геометрической интерпретацией, приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Графоиды состояний ударных механизмов

Класс ударного механизма, режим движения	Графоид состояний
I и II	
III	
IV, V, VI, и VII с инерционным выбегом	
VI и VII с естественным торможением	

Для ударных механизмов с двумя управляемыми камерами (I и II класса) совокупности входных сигналов ($P_A=0; P_B=0; P_A=1; P_B=1$) не изменяют состояний ударного механизма. Совокупность сигналов ($P_A=1; P_B=0$) переводят ударный механизм из состояния q_1 в q_2 , из q_2 в q_3 и из q_3 в q_4 . Если ударный механизм находится в состоянии q_4 , то указанная совокупность входных сигналов не изменяет этого состояния; такое же положение имеет место при

совокупности сигналов ($P_A=0; P_B=1$) и состоянии ударного механизма q_1 . Наличие на входе совокупности сигналов ($P_A=0; P_B=1$) переводят ударный механизм из любого состояния в состояние q_1 . Для ударных механизмов с управляемой камерой рабочего хода III класса наличие входного сигнала $P_A=1$ вызывает переход ударного механизма из состояния q_1 в q_2 , из q_2 в q_3 и из q_3 в q_4 , но не изменяет состояние ударного механизма q_4 . Сигнал $P_A=1$ переводит ударный механизм из любого состояния в состояние q_1 .

Для ударных механизмов с управляемой камерой обратного хода IV, V, VI и VII классов при режиме движения с инерционным выбегом графоиды состояний имеют вид, аналогичный графоиду механизмов III класса если положить вместо входных сигналов $P_A=1$ и $P_A=0$ соответственно $P_B=1$ и $P_B=0$. При режиме движения с естественным торможением бойка механизмов VI и VII классов входной сигнал $P_B=1$ не изменяет состояния q_2 и переводит ударный механизм из состояния q_1 в q_2 , из q_3 в q_1 и из q_4 в q_1 ; входной сигнал $P_B=0$ не изменяет состояний q_4 и переводит ударный механизм из состояний q_1 и q_2 в q_3 и из q_3 в q_4 .

Особенностью органов управления с обратной связью, существенно отличающей их, является зависимость не только выходных характеристик ударного механизма (ускорение, скорость, перемещение) от сигналов на входе, но и обратная зависимость входных сигналов (P_A или P_B) от выходных характеристик. При этом выходные сигналы (P_A и P_B) органа управления являются входными для ударного механизма, а выходные сигналы ударного механизма (ускорение, скорость и перемещение бойка) являются входными для органа управления. Для решения задачи синтеза структуры органа управления необходимо иметь закономерности изменения в течение цикла перемещения скорости и ускорения бойка.

На рисунках 3, 4, 5, 6, 7, 8 приведены упрощенные диаграммы изменения входных и выходных сигналов в течение цикла работы ударных механизмов различных классов.

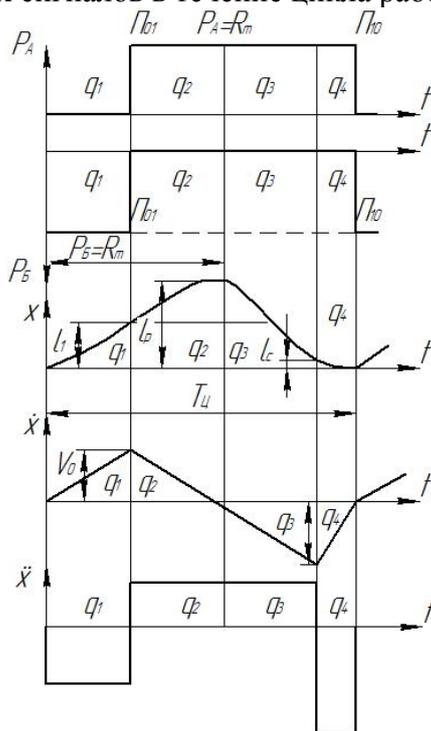


Рисунок 3 – Диаграмма изменения входных и выходных сигналов ударных механизмов I и II классов

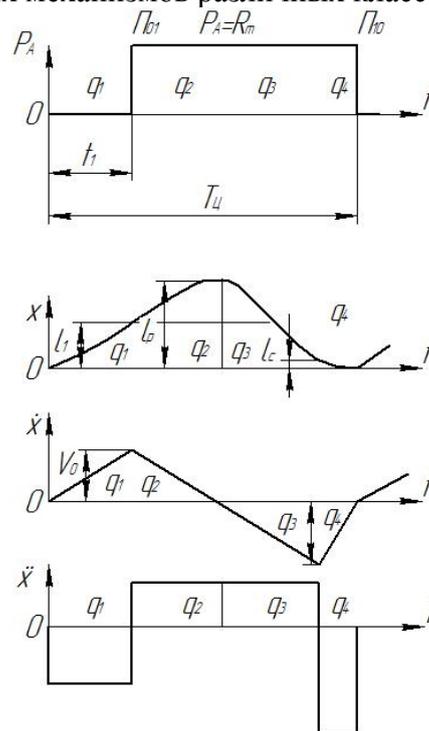


Рисунок 4 – Диаграмма изменения входных и выходных сигналов ударных механизмов III класса

Таким образом, ударный механизм как объект управления может быть охарактеризован с помощью таблиц переходов, графоидов состояний и диаграмм изменения входных и выходных сигналов во времени.

В соответствии с теорией конечных автоматов [15] возможно построение органов управления двух видов (родов).

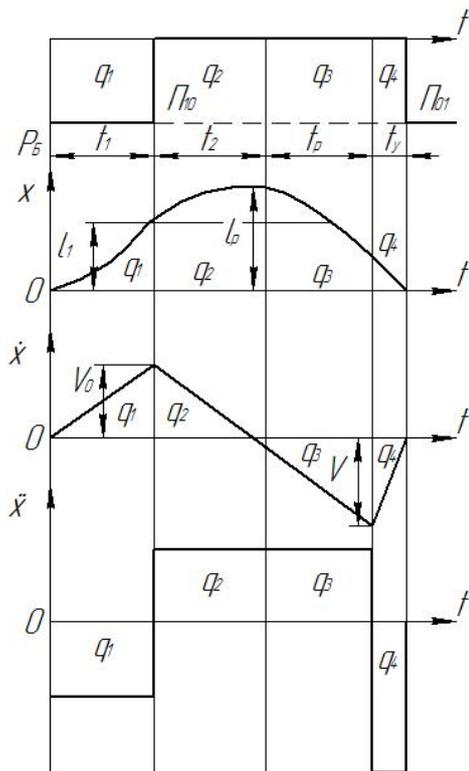


Рисунок 5 – Диаграмма изменения входных и выходных сигналов ударных механизмов IV классов

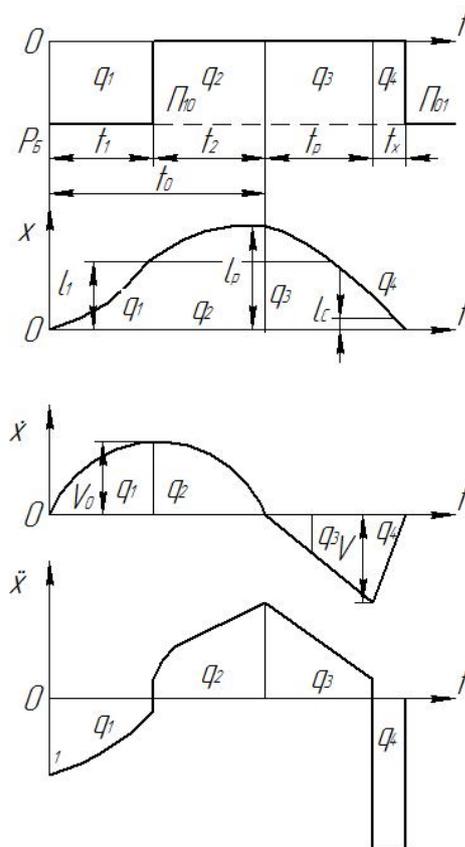


Рисунок 6 – Диаграмма изменения входных и выходных сигналов ударных механизмов VI и VII классов с инерционным выбегом бойка

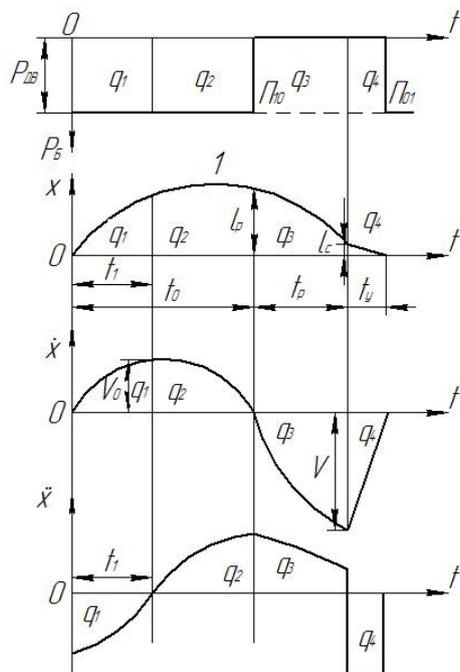


Рисунок 7 – Диаграмма изменения входных и выходных сигналов ударных механизмов VI и VII классов с естественным торможением бойка

Органы управления первого рода – комбинационные, составленные из логических элементов без наличия устройств (элементов) памяти. Органы управления второго рода – с использованием элементов памяти.

В гидравлических машинах ударного действия с органами управления первого рода состояние ударного механизма в любой момент времени однозначно определяется предыдущим состоянием и совокупностью входных сигналов. Длительность действия входных сигналов должна быть не менее продолжительности данной фазы движения (состояния). Такие сигналы называют потенциальными [5].

В гидравлических машинах ударного действия с органами управления второго рода совокупность входных сигналов ударного механизма зависит не только от сигналов на входе органа управления в данный момент времени, но и от сигналов, поступивших в предыдущие фазы движения. Предложенный принцип построения структурных схем предполагает в первую очередь определение составных элементов органа управления, оценку их свойств, возможностей, и условия функционирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Котылев, Ю.Е. Прикладная теория гидравлических машин ударного действия / Ю.Е. Котылев, Д.Н. Ешуткин. – Машиностроение-1, 2007. – 175 с.
2. Ешуткин, Д.Н. Гидравлические машины ударного действия / Д.Н. Ешуткин, А.В. Журавлева, А.И. Абдурашитов. – Орел: Госуниверситет - УНПК, 2011. – 137 с.
3. Алимов, О.Д. Гидравлические виброударные системы / О.Д. Алимов. И.: Наука, 1990. – 352 с.
4. Басов, С.А. Прикладная теория и основы проектирования силовых импульсных систем гидравлических ударных машин. Диссертация на соискание ученой степени доктора. Фрунзе, 1986. – 323 с.
5. Мелихов, А.Н. ориентированные графы и конечные автоматы / А.Н. Мелихов. – М., 1971. – 416 с.
6. Берж, К.Н. Теория графов и ее применение / К.Н. Берж. – М.: ил., 1962. – 285 с.

Ешуткин Дмитрий Никитович

Госуниверситет – УНПК, г. Орел

Доктор технических наук, профессор кафедры «Техническая механика и инженерная графика»

г. Орел, Наугорское шоссе, 29

тел. 8 (4862) 41-98-46

E-mail: sapr@ostu.ru

Журавлева Анжелика Викторовна

Госуниверситет - УНПК, г. Орел

Кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Техническая механика и инженерная графика»

г. Орел, Наугорское шоссе, 29

тел. 8 (4862) 41-98-72

E-mail: anzelikazur2011@yandex.ru

Калашникова Наталья Григорьевна

Госуниверситет – УНПК, г. Орел

Кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой «Техническая механика и инженерная графика»

г. Орел, Наугорское шоссе, 29

тел. 8 (4862) 41-98-41

E-mail: sapr@ostu.ru

Григорьева Ольга Юрьевна

Госуниверситет – УНПК, г. Орел

Аспирант кафедры «Техническая механика и инженерная графика»

г. Орел, Наугорское шоссе, 29

тел. 8 (4862) 41-98-72

E-mail: nika305@rambler.ru

D.N. ESHUTKIN, A.V. ZHURAVLEVA, N.G. KALASHNIKOVA, O.Y. GRIGORIEVA

**SYNTHESIS OF OPTIMAL HYDRAULIC STRUCTURES
IMPACT MACHINES**

The article considers the method developed by the authors of the synthesis of the structure of the PR-Ganov management gidravlicheskiy impact machines based on formalization process and the application of methods of discrete mathematics. This eliminates or su-public limited subjective decisions of the designers.

Keywords: *logic elements, sensors status, the algebra of logic, control of movement.*

BIBLIOGRAPHY

1. Kotylev, Ju.E. Prikladnaja teorija gidravlicheskih mashin udarnogo dejstvija / Ju.E. Kotylev, D.N. Eshutkin. – Mashinostroenie-1, 2007. – 175 s.
2. Eshutkin, D.N. Gidravlicheskie mashiny udarnogo dejstvija / D.N. Eshutkin, A.V. Zhuravleva, A.I. Abdurashitov. – Орел: Gosuniversitet - UNPK, 2011. – 137 s.
3. Alimov, O.D. Gidravlicheskie vibroudarnye sistemy / O.D. Alimov. I.: Nauka, 1990. – 352 s.

4. Basov, S.A. Prikladnaja teorija i osnovy proektirovanija silovyh impul'snyh sistem gidravliche-skih udarnyh mashin. Dissertacija na soiskanie uchenoj stepeni doktora. Frunze, 1986. – 323 s.
5. Melihov, A.N. orientirovannye grafy i konechnye avtomaty / A.N. Melihov. – M., 1971. – 416 s.
6. Berzh, K.N. Teorija grafov i ee primenenie / K.N. Berzh. – M.: il., 1962. – 285 s.

Eshutkin Dmitry Nikitovich

State University - ESPC, Orel
Ph.D., professor of "Technical Mechanics and Engineering Graphics"
Orel, Naugorskoe Highway 29
tel. 8 (4862) 41-98-46
E-mail: sapr@ostu.ru

Zhuravleva Angelica Viktorovna

State University - ESPC, Orel
Candidate of physico-mathematical sciences, associate professor of "technicals Mechanics and Engineering Graphics"
Orel, Naugorskoe Highway 29
tel. 8 (4862) 41-98-72
E-mail: anzelikazur2011@yandex.ru

Kalashikova Natalia Grigorievna

State University - ESPC, Orel
Ph.D., Associate Professor, Head. Chair of "technicals Mechanics and Engineering Graphics"
Orel, Naugorskoe Highway 29
tel. 8 (4862) 41-98-41
E-mail: sapr@ostu.ru

Grigorieva Olga Yurievna

State University - ESPC, Orel
Graduate student of "technicals Mechanics and Engineering Graphics"
Orel, Naugorskoe Highway 29
tel. 8 (4862) 41-98-72
E-mail: nika305@rambler.ru

М.А. ГОРИНА, Л.В. КУЗЬМИНА

ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ В ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ И ПРАКТИКЕ

Рассмотрены математические функции и их применение в экономике. Представлены основные методы интерполяции функций.

Ключевые слова: интерполирование, функция, график, полином.

Функции широко применяются в экономической теории и практике. Спектр используемых функций весьма широк: от простейших линейных до функций, получаемых по определенному алгоритму с помощью рекуррентных соотношений, связывающих состояния изучаемых объектов в разные периоды времени.

Так же любая презентация бизнес плана не обходится без построения графиков, основанных на точных математических данных. Помимо прочего в экономической практике часто применяется метод построения математической модели, позволяющей не только избежать ошибок ещё на развитии дела, но и открыть новые пути решения уже имеющихся проблем.

Примером может послужить функция Спроса. Если функция спроса представлена линейной зависимостью, то прямая функция спроса может быть представлена как:

$$Qd = a - bP,$$

а обратная функция спроса как

$$Pd = a/b - (1/b)Q.$$

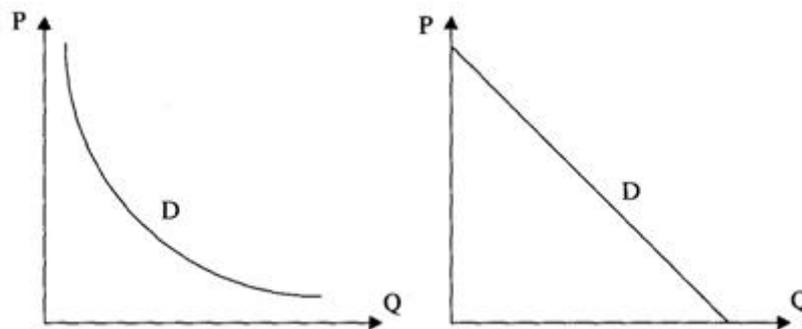


Рисунок 1 – График функции Спроса

Особую важность для экономики представляет интерполирование функций. Интерполирование- способ нахождения промежуточных значений величины по имеющемуся дискретному набору известных значений.

Самым распространённым применением интерполяции является получение значений таблично заданной функции для тех ее аргументов, которых нет в таблице. Пусть на отрезке $[a, b]$ определена некоторая функция $y = f(x)$ однако полная информация нам неизвестна. Известны лишь ее значения в конечном числе точек x_0, x_1, \dots, x_n этого отрезка:

$$a \leq X_0 < X_1 < \dots < X_i < X_{i+1} < \dots < X_n \leq b.$$

Требуется по известным значениям «восстановить» исходную функцию $y = f(x)$ то есть построить на отрезке $[a, b]$ функцию $F(x)$, достаточно близкую к $f(x)$. Функцию $F(x)$ принято называть интерполирующей функцией, точки $x=x_0, x=x_1, \dots, x=x_n$ - узлами интерполяции. Подобные задачи часто возникают на практике при обработке экспериментальных данных.

Различают два вида интерполяции:

1. Глобальный, то есть соединение двух точек единым интерполяционным полиномом,

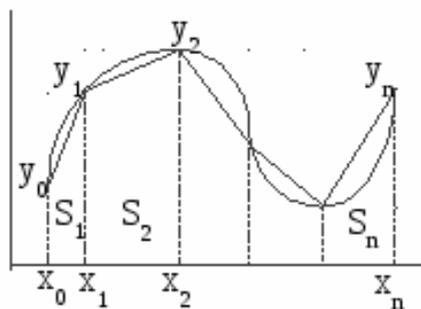


Рисунок 2 – График соединения единым интерполяционным полиномом

2. Локальный, то есть соединение точек отрезками прямой (по двум точкам), отрезками параболы (по трем точкам).

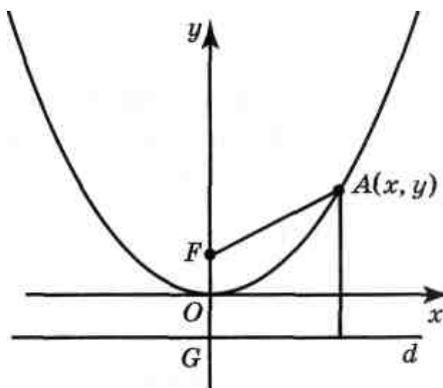


Рисунок 3 – График соединения локальным интерполяционным полем

После постановки задачи интерполирования необходимо выбрать метод. Существует несколько различных методов интерполирования функций:

1. Метод Лагранжа (метод вариации произвольных постоянных) — метод для получения общего решения неоднородного уравнения, зная общее решение однородного уравнения без нахождения частного решения.
2. Метод Ньютона - формулы вычислительной математики, применяющиеся для полиномиального интерполирования.
3. Интерполяция сплайнами- функция, область определения которой разбита на конечное число отрезков, на каждом из которых сплайн совпадает с некоторым алгебраическим многочленом.

Каждый из них представляет особую ценность и помогает решить почти любой пример.

Таким образом, интерполирование функции в экономике играет важную роль, помогая восстановить недостающие данные, создавать математические модели и делать прогнозы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Еременко, В.Т. Математическая модель оценки производительности беспроводной вычислительной сети асу предприятия / С.И. Афонин, В.Т. Еременко, Д. А. Краснов и др. // Информационные системы и технологии. – 2011. – № 5 – С.11 – 20.
2. Колосов, Д.Э. Модели и методы оптимального размещения информационных ресурсов в научно-образовательных телекоммуникационных сетях / Д.Э. Колосов. – М.:2005.-152с.

Горина Мария Андреевна

Госуниверситет – УНПК, г. Орел
Студент факультета «Экономика и менеджмент»
Россия, 302020, г. Орел, Наугорское ш., д. 29
Тел. 89536133580,
E-mail. Wnezemnaja57@mail.ru

Кузьмина Людмила Васильевна

Госуниверситет – УНПК, г. Орел
Канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры «Высшая математика»
Россия, 302020, г. Орел, Наугорское ш., д. 29
(4862) 43-67-73,
E-mail. kvm@ostu.ru

M.A. GORINA, L.V. KUZMINA

THE APPLICATION OF MATHEMATICAL FUNCTIONS IN ECONOMIC THEORY AND PRACTICE

The article deals with mathematical functions and their application to economy. Here the main methods of functions application are presented.

Keywords: interpolation function, graph polynomial.

BIBLIOGRAPHY

1. Eremenko, V.T. Matematicheskaja model' ocenki proizvoditel'nosti besprovodnoj vychislitel'noj seti asu predprijatija / S.I. Afonin, V.T. Eremenko, D. A. Krasnov i dr. // Informacionnye sistemy i tehnologii. – 2011. – № 5 – S.11 – 20.
2. Kolosov, D.Je. Modeli i metody optimal'nogo razmeshhenija informacionnyh resursov v nauchno-obrazovatel'nyh telekommunikacionnyh setjah / D.Je. Kolosov. – M.:2005.-152s.

Gorina Maria Andreyvna

State University - ESPC, Orel
A student of "Economics and Management"
Address: Russia, 302020, Orel, Naugorskoye w., 29
Tel. 89536133580,
E-mail. Wnezemnaja57@mail.ru

Kuzmina Lyudmila Vasilevna

State University - ESPC, Orel
Candidate. Sci., assistant professor of "Higher Mathematics"
Address: Russia, 302020, Orel, Naugorskoye w., 29
(4862) 43-67-73,
E-mail. kvm@ostu.ru

И.Г. КАРПОВ, Ю.Т. ЗЫРЯНОВ, О.В. МЕЛЬНИК

МОДЕЛЬ ЗАКОНА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НЕПРЕРЫВНЫХ СЛУЧАЙНЫХ ВЕЛИЧИН НА ОСНОВЕ ГАММА-РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

Разработана модель закона распределения непрерывных случайных величин, принимающих как положительные, так и отрицательные значения, на основе гамма-распределения. Получены выражения для его основных числовых характеристик.

Ключевые слова: модель закона распределения, непрерывная случайная величина, гамма-распределение, характеристические функции, плотность распределения вероятностей, область существования.

Непрерывная случайная величина (СВ) ξ имеет гамма-распределение с параметром формы α и параметром масштаба λ , если ее плотность распределения вероятностей (ПРВ) задается формулой [1-4]

$$p(x) = \frac{\lambda^\alpha x^{\alpha-1}}{\Gamma(\alpha)} \exp(-\lambda x), \quad 0 \leq x < \infty, \quad (1)$$

где $\Gamma(z)$ – гамма-функция.

Характеристическая функция гамма-распределения определяется выражением

$$\theta(\mathcal{D}) = \frac{\lambda^\alpha}{(\lambda - j\mathcal{D})^\alpha}, \quad (2)$$

а начальный момент первого порядка, центральные моменты второго, третьего и четвертого порядков – соответственно выражениями

$$m_1 = \frac{\alpha}{\lambda}; \quad M_2 = \frac{\alpha}{\lambda^2}; \quad M_3 = \frac{2\alpha}{\lambda^3}; \quad M_4 = 3M_2^2 + \frac{6\alpha}{\lambda^4}. \quad (3)$$

Сумма любого конечного числа n независимых СВ с одним и тем же параметром масштаба λ и параметрами формы $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ имеет гамма-распределение с параметром масштаба λ и параметром формы $\alpha = \alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_n$. Иными словами, гамма-распределение устойчиво относительно операции композиции законов распределения.

Основная цель данной работы - на основе гамма-распределения разработать модель закона распределения непрерывных случайных величин, принимающих как положительные, так и отрицательные значения без учета параметра сдвига, а также получить выражения для его основных числовых характеристик.

Пусть непрерывные СВ ξ_1 и ξ_2 имеют гамма-распределение с одним и тем же параметром формы α и параметром масштаба соответственно λ_1, λ_2 . Получим ПРВ их разности, то есть ПРВ СВ $\xi = \xi_1 - \xi_2$ с учетом того, что СВ ξ_1 и ξ_2 являются независимыми. Для этого воспользуемся аппаратом характеристических функций. Характеристические функции СВ ξ_1 и ξ_2 определяются выражениями, аналогичными соотношению (2):

$$\theta_1(\mathcal{D}) = \frac{\lambda_1^\alpha}{(\lambda_1 - j\mathcal{D})^\alpha}, \quad \theta_2(\mathcal{D}) = \frac{\lambda_2^\alpha}{(\lambda_2 - j\mathcal{D})^\alpha}. \quad (4)$$

Для независимых СВ ξ_1 и ξ_2 характеристическая функция их разности будет определяться произведением характеристических функций СВ ξ_1 и ξ_2 :

$$\theta(\mathcal{D}) = \theta_1(\mathcal{D}) \theta_2(-\mathcal{D}) = \frac{\lambda_1^\alpha \lambda_2^\alpha}{(\lambda_1 - j\mathcal{D})^\alpha (\lambda_2 + j\mathcal{D})^\alpha}. \quad (5)$$

ПРВ $p(x)$ разности СВ ξ_1 и ξ_2 находим с помощью обратного преобразования Фурье, определяемого соотношением [1-3]

$$p(x) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \exp(-j\vartheta x) \theta(\vartheta) d\vartheta. \quad (6)$$

Подставив (5) в (6) и произведя интегрирование с учетом [5], получим

$$p(x) = \frac{\sqrt{\lambda_1 \lambda_2}}{\sqrt{\pi} \Gamma(\alpha)} \left(\frac{\lambda_1 \lambda_2 |x|}{\lambda_1 + \lambda_2} \right)^{\alpha-0,5} \exp\left(\frac{\lambda_2 - \lambda_1}{2} x\right) K_{\alpha-0,5}\left(\frac{\lambda_1 + \lambda_2}{2} |x|\right); \quad (7)$$

где $-\infty < x < \infty$; $K_\alpha(z)$ – функция Макдональда (модифицированная функция Бесселя 2-го рода).

Начальный момент 1-го порядка и центральные моменты 2-го, 3-го и 4-го порядков для распределения (7) с учетом (3) определяются выражениями

$$m_1 = \frac{\alpha}{\lambda_1} - \frac{\alpha}{\lambda_2}; \quad M_2 = \frac{\alpha}{\lambda_1^2} + \frac{\alpha}{\lambda_2^2}; \quad M_3 = \frac{2\alpha}{\lambda_1^3} - \frac{2\alpha}{\lambda_2^3}; \quad (8)$$

$$M_4 = 3M_2^2 + \frac{6\alpha}{\lambda_1^4} + \frac{6\alpha}{\lambda_2^4}. \quad (9)$$

Произведем замену параметров в (7), (8) и (9), используя соотношения

$$\lambda = \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{2}; \quad k = \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{\lambda_1 + \lambda_2}; \quad \nu = 2\alpha,$$

а также в (7) и (8) введем параметр сдвига μ . В результате получим

$$p(x) = \frac{(1-k^2)^{0,5\nu} \lambda}{\sqrt{\pi} \Gamma(0,5\nu)} \left(\frac{\lambda |x - \mu|}{2} \right)^{0,5(\nu-1)} \exp[k\lambda(x - \mu)] K_{0,5(\nu-1)}(\lambda |x - \mu|); \quad (10)$$

$$m_1 = \mu + \frac{\nu}{\lambda} \cdot \frac{k}{1-k^2}; \quad M_2 = \frac{\nu}{\lambda^2} \cdot \frac{1+k^2}{(1-k^2)^2}; \quad M_3 = \frac{2\nu}{\lambda^3} \cdot \frac{k(3+k^2)}{(1-k^2)^3}; \quad (11)$$

$$M_4 = 3M_2^2 + \frac{6\nu}{\lambda^4} \cdot \frac{1+6k^2+k^4}{(1-k^2)^4}. \quad (12)$$

Наряду с центральными моментами третьего и четвертого порядков используются часто коэффициент асимметрии K_a и коэффициент эксцесса K_e , определяемые для ПРВ (10) с помощью соотношений

$$K_a = \frac{2}{\sqrt{\nu}} \cdot \frac{k(3+k^2)}{(1+k^2)^{1,5}}; \quad K_e = \frac{6}{\nu} \cdot \frac{1+6k^2+k^4}{(1+k^2)^2}. \quad (13)$$

Если $k = 0$, то полученные соотношения (10) – (13) значительно упрощаются:

$$p(x) = \frac{\lambda}{\sqrt{\pi} \Gamma(0,5\nu)} \left(\frac{\lambda |x - \mu|}{2} \right)^{0,5(\nu-1)} K_{0,5(\nu-1)}(\lambda |x - \mu|); \quad (14)$$

$$m_1 = \mu; \quad M_2 = \frac{\nu}{\lambda^2}; \quad M_3 = 0; \quad M_4 = \frac{3\nu(\nu+2)}{\lambda^4}; \quad (15)$$

$$K_a = 0; \quad K_e = \frac{6}{\nu}. \quad (16)$$

Полученные выражения для ПРВ (10) и его частного случая (14) позволяют описать распределения непрерывных случайных величин, принимающих как положительные, так и

отрицательные значения. Назовем ПРВ (10) двухсторонним гамма-распределением. Оно также, как и гамма-распределение, является безгранично делимым распределением.

Следует отметить, что частным случаем ПРВ (14) при $\nu=2$ является распределение Лапласа [3,4]

$$p(x) = 0,5\lambda \exp(-\lambda|x-\mu|), \quad -\infty < x < \infty. \quad (17)$$

Рассмотрим теперь предельные случаи ПРВ (10).

1. При $\nu > 30$ и $-0,055 < k < 0,055$ ПРВ (10) преобразуется в гауссовское распределение

$$p(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi D}} \exp\left[-\frac{(x-m)^2}{2D}\right]; \quad -\infty < x < \infty, \quad (18)$$

где

$$m = \mu + \frac{\nu}{\lambda} \cdot \frac{k}{1-k^2}; \quad D = \frac{\nu-1}{\lambda^2} \cdot \frac{1+k^2}{(1-k^2)^2}. \quad (19)$$

2. При $\nu > 30$ и $0,055 \leq k \leq 0,675$ ПРВ (10) преобразуется в распределение Вальда [3,4]

$$p(x) = \frac{c}{2\sqrt{\pi b}(x-\mu_1)^{1,5}} \exp\left(c-b(x-\mu_1)-\frac{c^2}{4b(x-\mu_1)}\right); \quad \mu_1 < x < \infty, \quad (20)$$

где

$$c = \frac{9}{K_a^2}; \quad b = \frac{\sqrt{c}}{2\sqrt{M_2}}; \quad \mu_1 = m_1 - \frac{3\sqrt{M_2}}{K_a}. \quad (21)$$

3. Если $\nu > 30$ и $-0,675 \leq k \leq -0,055$, то ПРВ (10) преобразуется в распределение Вальда с отрицательным коэффициентом асимметрии K_a

$$p(x) = \frac{c}{2\sqrt{\pi b}(\mu_1-x)^{1,5}} \exp\left(c-b(\mu_1-x)-\frac{c^2}{4b(\mu_1-x)}\right); \quad -\infty < x < \mu_1. \quad (22)$$

Параметры ПРВ (22) определяются также соотношениями (21).

4. Если $\nu > 30$ и $0,675 < k < 0,875$, то ПРВ (10) преобразуется в гамма-распределение, подобное (1), с ненулевым параметром сдвига

$$p(x) = \frac{\beta^\alpha (x-\mu_2)^{\alpha-1}}{\Gamma(\alpha)} \exp(-\beta(x-\mu_2)); \quad \mu_2 \leq x < \infty, \quad (23)$$

где

$$\alpha = \frac{4}{K_a^2}; \quad \beta = \frac{2}{K_a\sqrt{M_2}}; \quad \mu_2 = m_1 - \frac{2\sqrt{M_2}}{K_a}. \quad (24)$$

5. При $\nu > 30$ и $-0,875 < k < -0,675$ ПРВ (10) преобразуется в гамма-распределение с отрицательным коэффициентом асимметрии K_a

$$p(x) = \frac{\beta^\alpha (\mu_2-x)^{\alpha-1}}{\Gamma(\alpha)} \exp(-\beta(\mu_2-x)); \quad -\infty < x \leq \mu_2. \quad (25)$$

Значения параметров α , β и μ_2 распределения (25) определяются теми же соотношениями, что и для ПРВ (23), с той разницей, что $\beta = 2/(K_a\sqrt{M_2})$.

6. Если $k \geq 0,875$, то ПРВ (10) преобразуется в гамма-распределение

$$p(x) = \frac{\beta^\alpha (x - \mu_2)^{\alpha-1}}{\Gamma(\alpha)} \exp(-\beta(x - \mu_2)); \quad \mu_2 \leq x < \infty, \quad (26)$$

$$\text{где } \alpha = 0,5\nu; \quad \beta = \lambda(1 - k); \quad \mu_2 = \mu - 0,5\nu/\lambda(1 + k). \quad (27)$$

7. При $k \leq -0,875$ ПРВ (10) преобразуется в гамма-распределение с отрицательным коэффициентом асимметрии K_a

$$p(x) = \frac{\beta^\alpha (\mu_2 - x)^{\alpha-1}}{\Gamma(\alpha)} \exp(-\beta(\mu_2 - x)); \quad -\infty < x \leq \mu_2, \quad (28)$$

где

$$\alpha = 0,5\nu; \quad \beta = \lambda(1 + k); \quad \mu_2 = \mu + 0,5\nu/\lambda(1 - k). \quad (29)$$

Необходимо отметить, что область существования ПРВ (10) почти совпадает с областью существования распределений Пирсона [4]. В нее не входит только область существования бета-распределения.

Таким образом, на основе гамма-распределения разработана модель закона распределения непрерывных случайных величин, принимающих как положительные, так и отрицательные значения. Предложено полученную ПРВ (10) назвать двухсторонним гамма-распределением. Получены выражения для основных числовых характеристик распределения (10), а также рассмотрены его предельные случаи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гнеденко, Б.В. Курс теории вероятностей / Б.В. Гнеденко. – М.: Наука, 1988. – 448 с.
2. Вероятность и математическая статистика: энциклопедия / Гл. ред. Ю.В. Прохоров. – М.: Большая Российская энциклопедия, 1999. – 910 с.
3. Вадзинский, Р.Н. Справочник по вероятностным распределениям / Р.Н. Вадзинский. – СПб.: Наука, 2001. – 296 с.
4. Одномерные непрерывные распределения: часть 1 / Н.Л. Джонсон, С. Коц, Н. Балакришнан. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. – 703 с.
5. Прудников, А.П. Интегралы и ряды. Элементарные функции / А.П. Прудников, Ю.А. Брычков, О.И. Маричев. – М.: Наука, 1984. – 800 с.

Карпов Иван Георгиевич

ФГБОУ ВПО Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов
 Доктор технических наук, профессор кафедры информационные системы и защита информации
 392000, Тамбов, ул. Советская, 106
 Тел: (4752) 73-26-27, +9108595874
 zeratul68@mail.ru

Зырянов Юрий Трифонович

ФГБОУ ВПО Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов
 Доктор технических наук, профессор кафедры конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем
 392000, Тамбов, ул. Советская, 106
 Тел: (4752) 72-69-64, +9156662190
 zut-tmb@mail.ru

Мельник Олег Васильевич

ФГБОУ ВПО Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов
 аспирант кафедры конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем
 392000, Тамбов, ул. Советская, 106
 Тел: (4752) 45-42-63, +9156795568
 melfice.bft@gmail.com

THE MODEL OF DISTRIBUTION OF A CONTINUOUS RANDOM VARIABLES ON THE BASIS OF THE GAMMA DISTRIBUTION

A model of distribution law of continuous random variables that take both positive and negative values, based on gamma distribution. Obtained an expression for the basic numerical characteristics.

Keywords: *model of distribution law, continuous random variable, gamma distribution, the characteristic function, density of the probability distribution, scope of existence.*

BIBLIOGRAPHY

1. Gnedenko, B.V. Kurs teorii verojatnostej / B.V. Gnedenko. – M.: Nauka, 1988. – 448 s.
2. Verojatnost' i matematicheskaja statistika: jenciklopedija / Gl. red. Ju.V. Prohorov. – M.: Bol'shaja Rossijskaja jenciklopedija, 1999. – 910 s.
3. Vadzinskij, R.N. Spravochnik po verojatnostnym raspredelenijam / R.N. Vadzinskij. – SPb.: Nauka, 2001. – 296 s.
4. Odnomernye nepreryvnye raspredelenija: chast' 1 / N.L. Dzhonson, S. Koc, N. Balakrishnan. – M.: BINOM. Laboratorija znanij, 2010. – 703 s.
5. Prudnikov, A.P. Integraly i rjady. Jelementarnye funkcii / A.P. Prudnikov, Ju.A. Brychkov, O.I. Marichev. – M.: Nauka, 1984. – 800 s.

Karpov Ivan Georgievich

Tambov state technical University, Tambov

Doctor of technical Sciences, Professor of the Department of information systems and information protection

392000, Tambov, street Soviet, 106

Tel: (4752) 73-26-27, +9108595874

zeratul68@mail.ru

Zyryanov Yuri Trifonovich

Tambov state technical University, Tambov

Doctor of technical Sciences, Professor of the Department of designing of radio electronic and microprocessor C-systems

392000, Tambov, street Soviet, 106

Tel: (4752) 72-69-64, +9156662190

zut-tmb@mail.ru

Melnik Oleg Vasilievich

Tambov state technical University, Tambov

postgraduate student of the Department of designing of radio electronic and microprocessor systems

392000, Tambov, street Soviet, 106

Tel: (4752) 45-42-63, +9156795568

melfice.bft@gmail.com

А.В. САМОТКАНОВ, В.И. ВОРОБЬЕВ

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ДВУМЯ АСИНХРОННЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ, ОДИН ИЗ КОТОРЫХ СОДЕРЖИТ ПОВОРОТНЫЙ СТАТОР

Представлена математическая модель электропривода с двумя асинхронными двигателями, один из которых содержит поворотный статор, с учетом насыщения магнитопровода и потерь в стали. Дифференциальные уравнения записаны в обобщенной ортогональной системе координат, жестко связанной со статорами двигателей. Показаны результаты расчета режима пуска двигателя ДМТФ 012-06.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, поворотный статор, дифференциальные уравнения, потери в стали, насыщение магнитопровода.

Анализ технических характеристик и схемных решений отечественных и зарубежных регулируемых электроприводов с асинхронными двигателями вспомогательных агрегатов тягового подвижного состава позволил сделать вывод, что все известные виды регулируемых электроприводов, содержащих асинхронные машины, разработанных в России и за рубежом, обладают рядом недостатков, препятствующих в настоящее время их использованию на отечественном тяговом подвижном составе [1, 2].

Существенным недостатком систем с фазовым управлением является применение электрических машин с более низкими технико-экономическими показателями, чем асинхронные электродвигатели серийные, что увеличивает стоимость, вес и габариты таких электроприводов вентиляторов. Для управления этими специальными электродвигателями также необходимо применение вентильных преобразователей, содержащих силовые полупроводниковые приборы.

Недостатками систем с непосредственным преобразователем частоты являются завышенные массогабаритные показатели, из-за применения дополнительных трансформаторов и дросселей, повышенное число силовых вентилялей, в отдельных случаях – использование специальных электрических машин переменного тока, например двухфазных.

Недостатками систем с автономными инверторами напряжения (АИН) являются, прежде всего, сложность, и как следствие этого, низкая надежность, высокая стоимость. Современные преобразователи снабжены микропроцессорными системами управления, они обеспечивают плавный пуск, частотное торможение и пуск двигателя, работу при различных моментах нагрузки. Для механизмов к вентиляторной нагрузкой такие преобразователи обладают избыточными регулировочными возможностями. Для наладки и эксплуатации преобразователей частоты необходимо наличие высококвалифицированного персонала, следовательно, необходимы большие затраты на обслуживание АИН при эксплуатации. Кроме того, при работе АИН возможны различные тяжелые аварийные режимы, в результате которых, несмотря на многочисленные виды защит, может выйти из строя и преобразователь и асинхронный электродвигатель. В связи с отсутствием в настоящее время в большинстве локомотивных депо опытных эксплуатационников преобразователей частоты для ремонта или замены вышедшего из строя оборудования необходимо обращаться к представителям фирм производителя, что повлечет за собой вынужденный простой локомотива.

В результате проведенного анализа внимание было обращено на плавно регулируемый электропривод с асинхронным двигателем, имеющим поворотный статор, который имеет определенные перспективы применения на отечественном железнодорожном подвижном составе [3]. Он не содержит преобразователей частоты в силовой части, что позволяет улучшить технико-экономические характеристики электропривода – повысить его надежность, снизить стоимость, снизить удельные затраты на функционирование вспомогательных си-

стем, улучшить показатели качества работы автоматических систем регулирования, в которых будет применяться этот электропривод.

Стандартные математические модели, описывающие динамические процессы в асинхронных машинах, основанные на уравнениях Парка-Горева и записанные в двухфазной системе координат, не учитывают ни явление насыщения главного магнитного потока, ни существующие потери в стали. При разработке современных систем управления, регулирующих выходную координату с поддержанием экстремального значения какого-либо энергетического показателя, необходимо применение моделей, в полной степени учитывающих и отражающих динамику изменения указанных факторов. В противном случае окажутся неработоспособными ни идентификаторы параметров и переменных состояния асинхронной машины [4, 5], ни алгоритмы оптимизации по энергетическим критериям [6].

За последнее десятилетие разработаны разнообразные методики и способы учета различных нелинейных зависимостей, включая потери в стали, которые возникают при работе двигателя.

Рассмотрим более подробно возможные варианты моделирования потерь в стали статора посредством дифференциальных уравнений электромеханических процессов. Существуют методики, в которых сопротивление, эквивалентное потерям в стали, включается либо последовательно взаимноиндуктивности [6], либо в контуры обмоток статора и ротора последовательно соответствующим сопротивлениям [5]. Этим достигается некоторое упрощение при моделировании, т.к. количество уравнений не меняется по сравнению с исходной системой, описывающей динамику обобщенного двухфазного двигателя. Однако при этом возникают погрешности, искажающие реальную картину энергетических процессов в асинхронной машине. т.к. принимается ряд допущений о малом диапазоне изменения тока намагничивания, пренебрежении частотой тока ротора и др.

Более оптимальным вариантом моделирования потерь в стали является включение сопротивления, пропорционального потерям в стали, параллельно взаимноиндуктивности [4, 5, 7]. Картина распределения потерь в меди обмоток статора и ротора и стали статора получается наиболее близкой к реальной.

Не повторяя элементов общей теории электрических машин, примем за исходную известную систему дифференциальных уравнений [3], описывающих электромагнитные процессы в асинхронном двигателе. Эти уравнения в общем случае записывают для системы ортогональных координат UV , вращающихся в пространстве с произвольной скоростью ω_k . Уравнения могут быть выражены в векторной форме или в виде проекций обобщенных электромагнитных параметров на ортогональные оси координат. При частоте вращения осей координат, равной синхронной $\omega_k = \omega_0$, система дифференциальных уравнений описывается в координатах x, y , а при $\omega_k = 0$ – в координатах α, β . Обозначим оси координат обобщенной машины через α, β и все величины дифференциальных уравнений будем описывать в терминах этой системы координат.

Математическое описание электропривода с двумя фазными асинхронными двигателями, статор одного из которых выполнен поворотным, а роторы соединены посредством добавочных резисторов, осуществим на основе схемы замещения (рис. 1) и двухфазной модели электропривода (рис. 2).

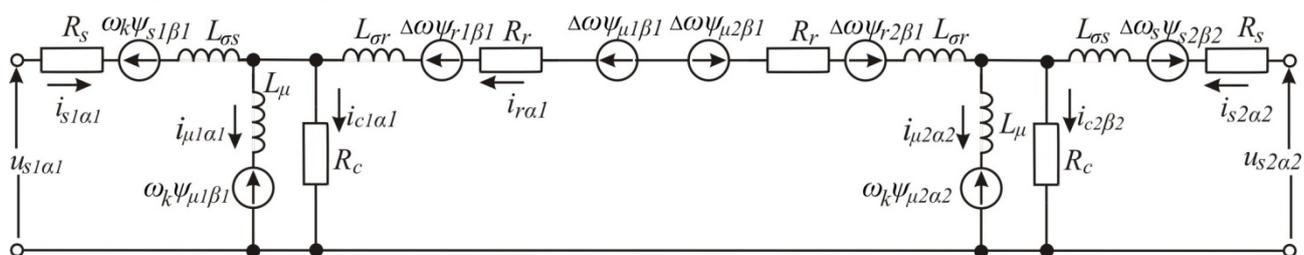


Рисунок 1 – Эквивалентная схема замещения одной фазы электропривода

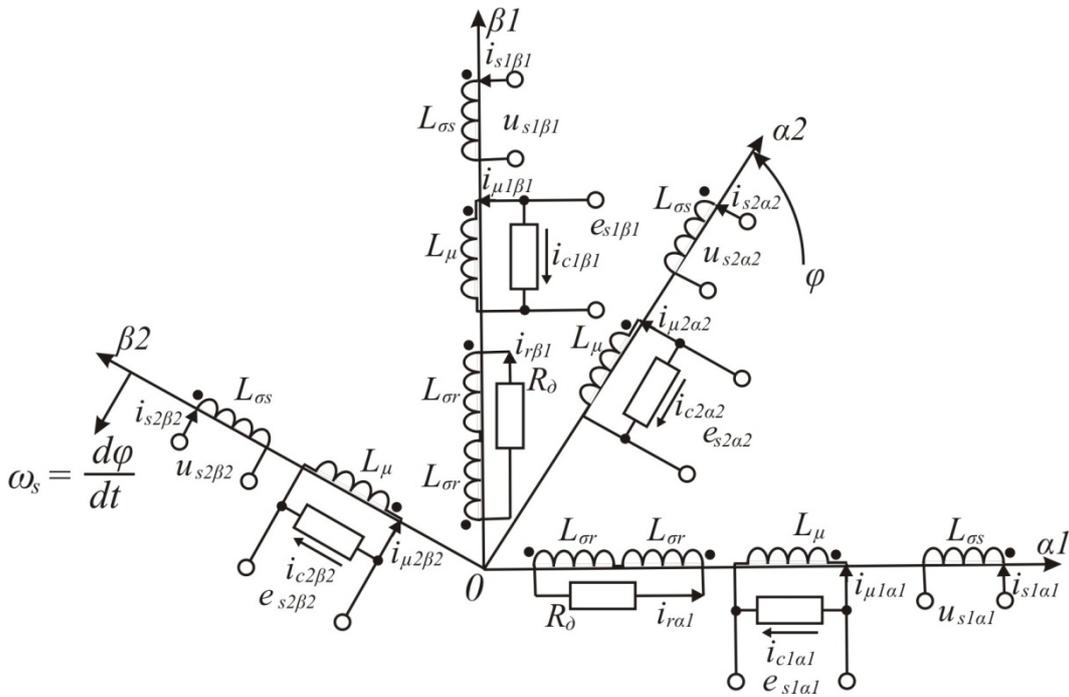


Рисунок 2 – Двухфазная модель электропривода

Работа электропривода рассматривается в осях $\alpha 1, \beta 1$, жестко связанных с неподвижным статором и осях $\alpha 2, \beta 2$, жестко связанных с поворотным статором.

Запишем систему дифференциальных уравнений электрического равновесия обмоток двигателей в рассматриваемом электроприводе в соответствии с его эквивалентной замещением (рис. 1) и двухфазной моделью (рис. 2), дополнив их выражением для токов на основании первого закона Кирхгофа:

$$\left\{ \begin{array}{l} \vec{u}_{s1,2} = \vec{i}_{s1,2} R_c + \frac{d\vec{\psi}_{s1,2}}{dt} + \frac{d\vec{\psi}_{\mu 1,2}}{dt} + j\omega_k (\vec{\psi}_{s1} + \vec{\psi}_{s2}), \\ \vec{u}_{r1,2} = \vec{i}_{r1,2} R_s + \frac{d\vec{\psi}_{r1,2}}{dt} + \frac{d\vec{\psi}_{\mu 1,2}}{dt} + j(\omega_k \pm \omega_s) (\vec{\psi}_{r1} + \vec{\psi}_{r2}), \\ 0 = 2\vec{i}_{r1,2} R_r + \frac{d\vec{\psi}_{r1,2}}{dt} + \frac{d\vec{\psi}_{\mu 1,2}}{dt} + \frac{d\vec{\psi}_{s1,2}}{dt} + \frac{d\vec{\psi}_{s2,2}}{dt} + j(\omega_k - \omega) (\vec{\psi}_{r1} + \vec{\psi}_{r2} + \vec{\psi}_{s1} + \vec{\psi}_{s2}), \\ \vec{i}_{c1,2} R_c = j\omega_k \vec{\psi}_{\mu 1,2} + \frac{d\vec{\psi}_{\mu 1,2}}{dt}, \\ \vec{i}_{s1,2} + \vec{i}_{r1,2} = \vec{i}_{s1,2} + \vec{i}_{r1,2}. \end{array} \right. \quad (1)$$

На рис. 1 и 2, а также в выражениях (1) приняты следующие обозначения: R_s, R_r – сопротивления обмоток статора и ротора соответственно, R_c – сопротивление, учитывающее потери в стали, R_0 – добавочное сопротивление, вводимое в цепь роторов, $L_{\sigma s}, L_{\sigma r}$ – собственные индуктивности рассеяния обмоток статоров и роторов, L_{μ} – главная индуктивность, $\omega_k, \omega_s, \omega_r$ – частоты вращения системы координат, поворотного статора и валов роторов соответственно, φ – угол поворота статора, $u_{s1,2}, i_{s1,2}$ – напряжения и тока двух статоров, $i_{r1,2}$ – токи роторов, $i_{c1,2}$ – токи, протекающие через сопротивление, учитывающее потери в стали, $i_{\mu 1,2}$ – токи намагничивания, $\psi_{s1,2}, \psi_{r1,2}, \psi_{\mu 1,2}$ – собственные потокосцепления статора, ротора и главное потокосцепление соответственно, – проекции напряжений, токов и потокосцеплений статора и ротора на соответствующие оси.

Анализируя систему уравнений (1) и рис. 1 и 2, можно сделать заключение о том, что обе машины имеют механическую и электрическую по цепи ротора связи, в магнитном же отношении они являются развязанными. Решим данную систему относительно главных потокосцеплений и токов статора и ротора. Осуществим переход от потокосцеплений к токам, протекающим по обмоткам машин. Выражения для собственных потокосцеплений обмоток статора и ротора:

$$\vec{\psi}_{s1,1} = L_{os} \vec{i}_{s1,1} \quad (2)$$

$$\vec{\psi}_{r1,2} = L_{or} \vec{i}_{r1,2} \quad (3)$$

где L_{os} , L_{or} – собственные индуктивности рассеяния обмоток статора и ротора соответственно

При работе электропривода меняется взаимное положение обмоток статора двух машин. Система координат выбрана таким образом, что обмотки роторов обеих машин (индуктивности обмоток L_{or}), обмотка статора (индуктивность обмотки L_{os}) и главная индуктивность (L_{μ}) первого двигателя расположены на неподвижных друг относительно друга осях $\alpha 1$, $\beta 1$; обмотками, меняющими свое положение относительно других (но неподвижными друг относительно друга), являются обмотки второго двигателя, расположенные на осях $\alpha 2$, $\beta 2$. Проекция токов и потокосцеплений проходят полный цикл изменений при повороте статора второго двигателя на угол $\varphi_{эл} = 2\pi$, поэтому, с учетом принятых на рис. 2 направлений токов и знака угла поворота статора, можно записать:

$$l_{r\alpha 2} = l_{r\alpha 1} \cos\varphi + l_{r\beta 1} \sin\varphi, \quad (4)$$

$$l_{r\beta 2} = -l_{r\alpha 1} \sin\varphi - l_{r\beta 1} \cos\varphi, \quad (5)$$

$$\psi_{s2\alpha 2} = -\psi_{s2\alpha 2} \cos\varphi - \psi_{s2\beta 2} \sin\varphi, \quad (6)$$

$$\psi_{s2\beta 2} = -\psi_{s2\alpha 2} \sin\varphi + \psi_{s2\beta 2} \cos\varphi. \quad (7)$$

Таким образом, подставляя в систему уравнений (1) выражения (2) – (7), получим дифференциальные уравнения, описывающие динамические электромеханические процессы в электроприводе с двумя асинхронными двигателями, один из которых содержит поворотный статор:

$$\begin{aligned} u_{s1\alpha 1} &= l_{s1\alpha 1} R_s + L_{os} \frac{d l_{s1\alpha 1}}{dt} + \frac{d \psi_{s1\alpha 1}}{dt} - \omega_k (L_{os} l_{s1\beta 1} + \psi_{s1\beta 1}), \\ u_{s1\beta 1} &= l_{s1\beta 1} R_s + L_{os} \frac{d l_{s1\beta 1}}{dt} + \frac{d \psi_{s1\beta 1}}{dt} + \omega_k (L_{os} l_{s1\alpha 1} + \psi_{s1\alpha 1}), \\ u_{s2\alpha 2} &= l_{s2\alpha 2} R_s + L_{os} \frac{d l_{s2\alpha 2}}{dt} + \frac{d \psi_{s2\alpha 2}}{dt} - \omega_k (L_{os} l_{s2\beta 2} + \psi_{s2\beta 2}), \\ u_{s2\beta 2} &= l_{s2\beta 2} R_s + L_{os} \frac{d l_{s2\beta 2}}{dt} + \frac{d \psi_{s2\beta 2}}{dt} + \omega_k (L_{os} l_{s2\alpha 2} + \psi_{s2\alpha 2}), \\ 0 &= 2l_{r\alpha 1} R_r + L_{or} \frac{d l_{r\alpha 1}}{dt} + \frac{d \psi_{r1\alpha 1}}{dt} + L_{or} \frac{d l_{r\alpha 1}}{dt} - \frac{d \psi_{s2\alpha 2}}{dt} \cos\varphi - \frac{d \psi_{s2\beta 2}}{dt} \sin\varphi - \\ &\quad - (\omega_k - \omega) (L_{or} l_{r\beta 1} + L_{or} l_{r\beta 1} + \psi_{r1\beta 1} - \psi_{s2\alpha 2} \sin\varphi + \psi_{s2\beta 2} \cos\varphi), \\ 0 &= 2l_{r\beta 1} R_r + L_{or} \frac{d l_{r\beta 1}}{dt} + \frac{d \psi_{r1\beta 1}}{dt} + L_{or} \frac{d l_{r\beta 1}}{dt} + \frac{d \psi_{s2\alpha 2}}{dt} \sin\varphi - \frac{d \psi_{s2\beta 2}}{dt} \cos\varphi + \\ &\quad + (\omega_k - \omega) (L_{or} l_{r\alpha 1} + L_{or} l_{r\alpha 1} + \psi_{r1\alpha 1} - \psi_{s2\alpha 2} \cos\varphi - \psi_{s2\beta 2} \sin\varphi), \\ l_{c1\alpha 1} R_c &= -\omega_k \psi_{s1\alpha 1} + \frac{d \psi_{s1\alpha 1}}{dt}, \quad l_{c1\beta 1} R_c = -\omega_k \psi_{s1\beta 1} + \frac{d \psi_{s1\beta 1}}{dt}, \\ l_{c2\alpha 2} R_c &= -\omega_k \psi_{s2\alpha 2} + \frac{d \psi_{s2\alpha 2}}{dt}, \quad l_{c2\beta 2} R_c = -\omega_k \psi_{s2\beta 2} + \frac{d \psi_{s2\beta 2}}{dt}, \\ l_{r1\alpha 1} + l_{r1\alpha 1} &= l_{s1\alpha 1} + l_{r\alpha 1}, \quad l_{c1\beta 1} + l_{r1\beta 1} = l_{s1\beta 1} + l_{r\beta 1}, \\ l_{c2\alpha 2} + l_{r2\alpha 2} &= l_{s2\alpha 2} + l_{r\alpha 2}, \quad l_{c2\beta 2} + l_{r2\beta 2} = l_{s2\beta 2} + l_{r\beta 2}. \end{aligned}$$

Явление насыщения по главному магнитному пути учитывается следующей характеристикой:

$$L_{\mu x} = -0.002I_{\mu x}^6 + 0.037I_{\mu x}^5 - 0.26I_{\mu x}^4 + 0.87I_{\mu x}^3 - 1.278I_{\mu x}^2 + 0.214I_{\mu x} + 1.413.$$

Индекс «*» в последнем выражении указывает на относительное значение параметра).

Нелинейная зависимость потерь в стали от частоты учитывается зависимостью:

$$R_c = \begin{cases} 88.3135 + 5.646f_s + 0.0534f_s^2, & f_s \leq 50 \text{ Гц}, \\ 1261.3 - 37868/f_s, & f_s > 50 \text{ Гц} \end{cases}$$

Уравнения электромагнитного момента каждого двигателя:

$$M_1 = \frac{3 p_n}{2 L_{cr}} [(L_{cr} l_{r\alpha 1} + \psi_{\alpha 1 \beta 1}) \psi_{\beta 1 \alpha 1} - (L_{cr} l_{r\beta 1} + \psi_{\beta 1 \alpha 1}) \psi_{\alpha 1 \beta 1}],$$

$$M_2 = \frac{3 p_n}{2 L_{cr}} [(L_{cr} l_{r\alpha 1} - \psi_{\alpha 2 \alpha 2} \cos \varphi - \psi_{\alpha 2 \beta 2} \sin \varphi)(\psi_{\alpha 2 \alpha 2} \sin \varphi - \psi_{\alpha 2 \beta 2} \cos \varphi) + (L_{cr} l_{r\beta 1} + \psi_{\alpha 2 \alpha 2} \sin \varphi - \psi_{\alpha 2 \beta 2} \cos \varphi)(-\psi_{\alpha 2 \alpha 2} \cos \varphi - \psi_{\alpha 2 \beta 2} \sin \varphi)].$$

Суммарный момент электропривода:

$$M = M_1 + M_2$$

Асинхронный двигатель с поворотным статором является электрической машиной, которая имеет две вращающиеся части – статор и ротор (рис. 3). Поэтому для исследования электромеханических переходных процессов полученную модель необходимо дополнить двумя уравнениями движения:

$$\frac{J_{r\Sigma}}{p_n} \frac{d\omega_r}{dt} = M - M_{cr},$$

$$\frac{J_{s\Sigma}}{p_n} \frac{d\omega_s}{dt} = M_2 - M_{cs},$$

где $J_{r\Sigma}, J_{s\Sigma}$ – моменты инерции роторов и статора и связанных с ними вращающимися массами соответственно; M_{cr}, M_{cs} – моменты сопротивления соответственно ротору и статору.

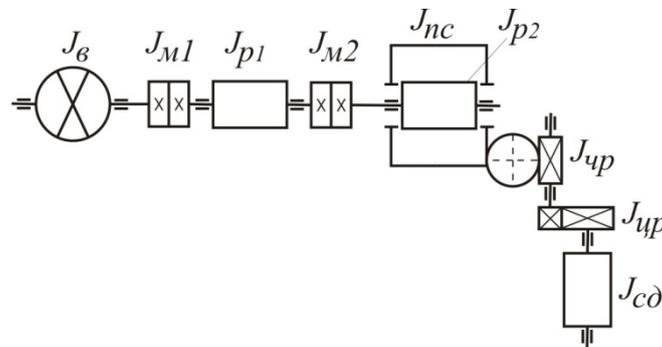


Рисунок 3 – Кинематическая схема электропривода с поворотным статором

Момент инерции роторов:

$$J_{r\Sigma} = J_B + J_{M1} + J_{p1} + J_{M2} + J_{p2},$$

где J_B – момент инерции вентилятора; J_{M1} – момент инерции муфты (карданного вала), связывающей вал вентилятора с валом ротора асинхронного двигателя; J_{p1} – момент инерции вала ротора асинхронного двигателя с неподвижным статором; J_{M2} – момент инерции муфты, связывающей валы роторов асинхронных двигателей; J_{p2} – момент инерции вала ротора асинхронного двигателя с поворотным статором.

Момент инерции статора:

$$J_{s\Sigma} = J_{nc} + J_{чр.п} + J_{чр.ч} + J_{сд.п},$$

где J_{nc} – момент инерции поворотного статора; $J_{чр.п}$ – момент инерции червячной передачи, приведенный к скорости вращения статора; $J_{чр.ч}$ – момент инерции цилиндрической передачи, приведенный к скорости вращения статора; $J_{сд.п}$ – момент инерции вала ротора серводвигателя, осуществляющего поворот статора, приведенный к скорости вращения статора.

Для расчета переходных процессов в электроприводе с асинхронными двигателями разработанная математическая модель была реализована в компьютерной программе на языке среды MatLab. С помощью данной программы был произведен расчет процесса пуска привода, содержащего два асинхронных электродвигателя типа ДМТФ 012-06 при вентиляторной нагрузке, максимальном угле поворота статора (π эл.гр.), номинальном сопротивлении цепей ротора. Полученные осциллограммы приведены на рисунке 4.

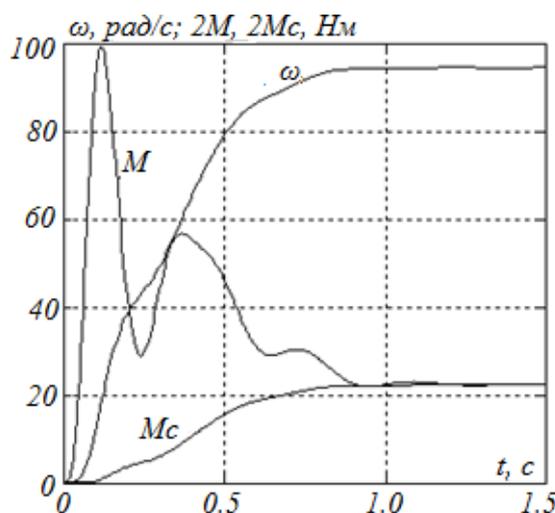


Рисунок 4 – Расчетные осциллограммы пуска электропривода

Анализ полученных осциллограмм (рис. 4), их сравнение с полученными экспериментальными данными [8] показали адекватность разработанной математической модели процессам, происходящим в исследуемом электроприводе.

Таким образом, разработанная математическая модель электроприводе с двумя асинхронными двигателями, один из которых содержит поворотный статор, учитывающая потери в стали и нелинейность намагничивания магнитопровода пригодна для решения задач моделирования динамики электропривода в разомкнутых и замкнутых системах электропривода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Электроприводы вспомогательных механизмов подвижного состава / А.С. Космодамианский [и др.] // Технические, экономические и экологические проблемы транспорта: материалы международной научной конференции, Брянск: БФ РГОТУПС, 2008. Т. 2. – С. 24 – 32
2. Сравнительная оценка электроприводов вспомогательных агрегатов подвижного состава / А.С. Космодамианский [и др.] // Электроника и электрооборудование транспорта, № 1 – 2011. – С. 31 – 34.
3. Космодамианский, А.С. Дифференциальные уравнения асинхронного электропривода с поворотным статором / А.С. Космодамианский, В.И. Воробьев, А.А. Пугачев // НТТ – наука и техника транспорта, № 3 – 2008. – С. 50 – 55
4. Vector control using series iron loss model of induction motors and power loss minimization / K. Aissa, K.D. Eddine // World academy of science, engineering, and technology, 52, 2009. – P. 142 – 148.
5. Мощинский, Ю.А. Обобщенная математическая модель частотно-регулируемого асинхронного двигателя с учетом потерь в стали / Ю.А. Мощинский, Аунг Вин Тут // Электричество. – 2007. – № 11. – С. 60 – 66.
6. Виноградов А.Б. Учет потерь в стали, насыщения и поверхностного эффекта при моделировании динамических процессов в частотно-регулируемом асинхронном электроприводе./ А.Б. Виноградов // Электротехника. – 2005. – №5. – С. 57 – 61.
7. Пугачев, А.А. Моделирование энергетических процессов в электроприводах с асинхронным двигателем на базе эквивалентной схемы замещения / А.А. Пугачев, В.И. Воробьев, А.С. Космодамианский // Проблемы электротехники, электроэнергетики и электротехнологии: IV Международная научно-техническая конференция: сборник трудов. – Тольятти, ч. 1, 2012. – С. 208 – 213
8. Пугачев, А.А. Регулируемый электропривод вспомогательных агрегатов подвижного состава с асинхронным двигателем, имеющим поворотный статор / А.А. Пугачев // дисс... канд. техн. наук. – Москва. 2009. – 153 с.

Самотканов Александр Васильевич

Российская открытая академия транспорта (филиал МГУПС) (РОАТ МИИТ), г. Москва
 Ассистент кафедры «Тяговый подвижной состав» РОАТ МИИТ
 125808, г. Москва, ул. Часовая, 22/2

Воробьев Владимир Иванович

Брянский государственный технический университет (БГТУ), г. Брянск
 Канд. техн. наук, доцент кафедры «Подвижной состав железных дорог» БГТУ
 241035, г. Брянск, бульвар 50-летия Октября, д. 7

A.V. SAMOTKANOV, V.I. VOROBIEV

A MATHEMATICAL MODEL OF THE ACTUATOR WITH TWO ASYNCHRONOUS MOTORS, ONE OF WHICH CONTAINS THE ROTARY STATOR

The mathematical model of electric drive consisted of two induction motors one of which has rotatory stator are shown. The mathematical model takes into account the iron losses and magnetic saturation. The differential equations are written in a generalized system of coordinates strictly linked to the stators of motors. The results of calculating of the startup mode of a ДМТФ 012-06 are presented.

Keywords: induction motor, rotatory stator, differential equations, iron losses, magnetic saturation

BIBLIOGRAPHY

1. Jelektroprivody vspomogatel'nyh mehanizmov podvizhnogo sostava / A.S. Kosmodamianskij [i dr.] // Tehnicheskie, jekonomicheskie i jekologicheskie problemy transporta: materialy mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii, Brjansk: BF RGOTUPS, 2008. T. 2. – S. 24 – 32
2. Sravnitel'naja ocenka jelektroprivodov vspomogatel'nyh agregatov podvizhnogo sostava / A.S. Kosmodamianskij [i dr.] // Jelektronika i jelektrooborudovanie transporta, № 1 – 2011. – S. 31 – 34.
3. Kosmodamianskij, A.S. Differencial'nye uravnenija asinhronnogo jelektroprivoda s povorotnym statorom / A.S. Kosmodamianskij, V.I. Vorob'ev, A.A. Pugachev // NTT – nauka i tehnika transporta, № 3 – 2008. – S. 50 – 55
4. Vector control using series iron loss model of induction motors and power loss minimization / K. Aissa, K.D. Eddine // World academy of science, engineering, and technology, 52, 2009. – P. 142 – 148.
5. Moshhinskij, Ju.A. Obobshhennaja matematicheskaja model' chastotno-reguliruemogo asinhronnogo dvigatelja s uchetom poter' v stali / Ju.A. Moshhinskij, Aung Vin Tut // Jelektrichestvo. – 2007. – № 11. – S. . 60 – 66.
6. Vinogradov A.B. Uchet poter' v stali, nasyshhenija i poverhnostnogo jeffekta pri modelirovanii dinamicheskikh processov v chastotno-reguliruemom asinhronnom jelektroprivode./ A.B. Vinogradov // Jelektrotehnika. – 2005. – №5. – S. 57 – 61.
7. Pugachev, A.A. Modelirovanie jenergeticheskikh processov v jelektroprivodah s asinhronnym dvigatelem na baze jekvivalentnoj shemy zameshenija / A.A. Pugachev, V.I. Vorob'ev, A.S. Kosmodamianskij // Problemy jelektrotehniki, jelektrojenergetiki i jelektrotehnologii: IV Mezhdunarodnaja nauchno-tehnicheskaja konferencija: sbornik trudov. – Tol'jatti, ch. 1, 2012. – S. 208 – 213
8. Pugachev, A.A. Reguliruemyj jelektroprivod vspomogatel'nyh agregatov podvizhnogo sostava s asinhronnym dvigatelem, imejushhim povorotnyj stator / A.A. Pugachev // diss... kand. tehn. nauk. – Moskva. 2009. – 153 s.

Samotkanov Alexander Vassilievich

Russian Open Transport Academy (MSUT branch)
Assistant of the Department “Tractive Stock”,
22/2 Chasovaya str., 125808 Moscow

Vorobyev Vladimir Ivanovich

Bryansk State Technical University
PhD in Engineering, Assistant Professor, Assistant Professor of the Department “Railway Rolling Stock”,
7 bul.50-letiya October, 241035, Bryansk, tel.: 8(4832)560261

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

УДК 004.032.26 + 519.876.2

Ю.И. ЕРЕМЕНКО, С.Ю. ХАЛАПЯН, Д.Ю. ЯРМУРАТИЙ, А.А. НЕВЗОРОВ

О ПРОБЛЕМАХ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ШАХТНОЙ ПЕЧЬЮ НА ОСНОВЕ СОЗДАНИЯ ТРЕНАЖЕРА ОПЕРАТОРА

Приведены результаты анализа современных методов построения тренажера оператора, управляющего шахтной печью. Определены недостатки существующих методик, выявлены возможные пути решения проблем связанных с недостаточным качеством обучения оператора сложного и нелинейного агрегата. Обоснована возможность применения искусственных нейронных сетей в качестве аппарата, моделирующего сложные технологические процессы, протекающие в шахтной печи.

***Ключевые слова:** Имитационное моделирование, шахтная печь, нейронная сеть, нейросетевая модель, тренажер оператора.*

Введение

В последние десятилетия прогресс в области автоматизации технологических процессов и производств привел к повышению потребностей во все более сложных технических системах. Характерным стало использование в системах управления вычислительных машин и комплексов. Однако оператор на множестве сложных объектов был и остается незаменимым самостоятельным звеном системы управления в силу таких его качеств, как способность справляться с задачами управления в непредвиденных обстоятельствах, прогнозировать ход событий и находить оптимальные решения в сложных ситуациях.

Одним из таких сложных объектов управления являются металлургические шахтные печи (ШП), в том числе ШП металлзации и доменные печи, в которых протекают сложные физико-химические процессы, требующие высокой степени подготовки оперативного персонала, позволяющей обеспечивать правильность и своевременность принимаемых управленческих решений.

Нелинейность и нестационарность шахтных печей как объекта управления существенно затрудняет их комплексную автоматизацию. Вычислительная сложность задачи динамической идентификации ШП не позволяет с удовлетворительным качеством осуществлять автоматическое управление печью даже в условиях применения наиболее мощных современных вычислительных комплексов.

Иными словами, задача создания адаптивной системы управления «упирается» в невозможность построения математической модели технологического объекта, одновременно удовлетворяющей требованиям адекватности и оперативности ее работы.

Отсутствие приемлемой математической модели заставляет разработчиков разбивать задачу управления на несколько более простых подзадач, решаемых локальными системами автоматического регулирования, и возлагать на оператора обязанность организации их согласованного функционирования для достижения глобальной цели управления технологическим процессом путем формирования заданий для локальных систем. При этом оператор, решая задачу глобального управления, руководствуется собственными (часто интуитивными) представлениями об объекте управления, о взаимосвязи технологических параметров.

Из-за сложности ШП на оперативный персонал накладывается весьма широкий спектр задач. К числу основных задач оператора относятся:

- раннее распознавание и четкая отработка аварийных ситуаций (оптимальный и быстрый вывод ШП из аварийной ситуации);
- предотвращение перехода объекта в опасные режимы;

- оптимизация управления ШП с целью минимизации себестоимости (ресурсо- и энергозатрат на единицу продукции), максимизации прибыли или производительности агрегата при технологических ограничениях и ограничениях на качество готового продукта.

Ни в коей мере не умаляя важности решения двух первых задач, направленного на обеспечение безаварийной эксплуатации технологического объекта, авторы обращают внимание на всёвозрастающее значение задачи оптимального ведения технологического процесса для металлургических ШП и ряда других энерго- и ресурсоемких агрегатов в металлургии и других отраслях промышленности.

Задача оптимизации управления является, кроме того, наиболее сложной для оператора. В отличие от отработки аварийных и предаварийных ситуаций, где после их точного и своевременного распознавания первоочередное значение приобретает выполнение оператором заранее определенной последовательности действий, оптимизация технологического процесса требует постоянного анализа результатов собственных действий, который затрудняется существенной и, к тому же, «неравномерной» инерционностью технологического объекта.

В таких условиях особую актуальность приобретает задача обучения и повышения квалификации оперативного персонала. В настоящее время обучение оператора-стажера заключается в наблюдении за работой опытного оператора, управлении объектом «под присмотром» высококвалифицированного персонала, ознакомлении с техническим регламентом. Такая организация процесса обучения имеет, на наш взгляд, ряд существенных недостатков:

- отсутствует возможность объективной оценки знаний стажера, его готовности к самостоятельной работе;

- общение с опытным оператором во время его работы, как и управление «под присмотром», могут в итоге привести к снижению эффективности работы объекта, а при наименее удачном стечении обстоятельств – к развитию аварийной ситуации;

- ограниченный срок обучения и необходимость обеспечения нормального хода технологического процесса зачастую не позволяет стажеру ознакомиться со всеми режимами функционирования объекта, рассмотреть большое количество разнообразных производственных ситуаций;

- полностью исключается возможность обучения оператора «с отрывом от производства», в учебном заведении.

Одним из возможных путей преодоления выявленных недостатков является применение специальных обучающих систем – тренажеров, позволяющих организовать обучение в условиях, максимально приближенных к реальной работе оператора, но без какого-либо воздействия на реальный технологический процесс.

1. Принципы построения систем обучения оператора

Обучающие системы оператора шахтной печи, в литературе представлены в работах таких отечественных ученых, как Чистов В.П., Захарова Г.Б., Кононенко И.А., Иванов Е. Б., Пареньков А. Е., Лисиенко В.Г., Морозова В.А. и др.

Проведенный анализ выявил общую структуру тренажера оператора, которая представлена стандартными укрупненными блоками, различающимися у разных авторов методикой их построения. Согласно классическому представлению о структуре системы, она должна состоять из моделирующей станции (для размещения и вычисления в реальном времени математической модели процесса), как минимум одной станции оператора с наличием человеко-машинного интерфейса (SCADA системы), станции инструктора. Все станции должны быть соединены в локальную сеть для обмена данными. Типовая структура тренажера представлена на рисунке 1.

Для разработки компьютерного тренажера решаются три основные задачи:

- построение аппаратной структуры тренажера, включающей необходимое оборудование для проведения тренинга;

- проектирование программно-информационной части тренажера (рис. 1);

- организация методической составляющей процесса обучения, учитывающей различные стороны тренинга с целью приведения мыслительного механизма поведения оператора к некому эталонному состоянию.

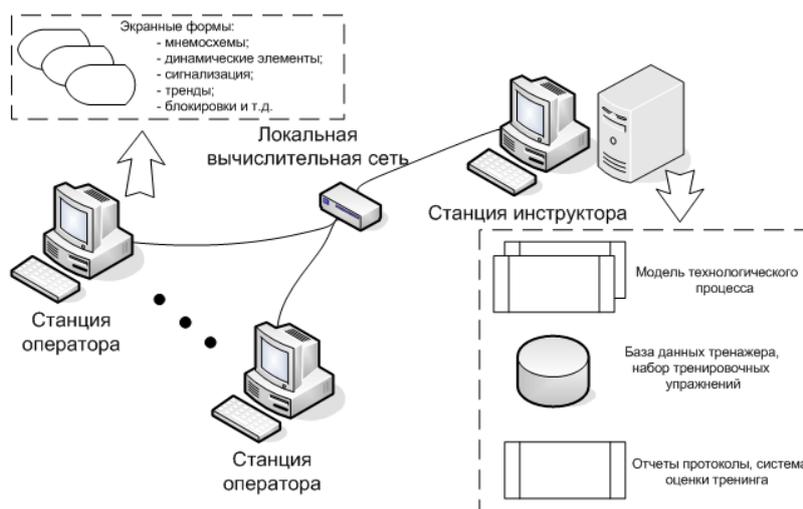


Рисунок 1 – Типовая аппаратная структура тренажера

Центральным элементом, определяющим функционал тренажера, является модель технологического объекта [3]. Модель содержит в себе либо основные алгебраические и дифференциальные уравнения и связи между ними (имитационное моделирование), либо базу основных технологических параметров, таких как технологический регламент, экспертные знания, нечеткие модели (методы искусственного интеллекта).

2. Тренажеры оператора шахтных печей на основе имитационной методологии

Попытки проектирования обучающих систем для шахтных печей предпринимаются достаточно давно. Считается, что для улучшения операционных умений оператора необходимо разработать учебный тренажер объекта, состоящий из автоматизированного рабочего места с моделью процесса, человеко-машинного интерфейса и системы управления объектом. Акцент делается на то, что необходимо достичь максимально реалистичной ситуации, когда оператор может посредством человеко-машинного интерфейса управлять объектом, а система управления представлена тем же программным обеспечением, которое управляет самим реальным процессом [12].

За последние годы широкое применение получили распределенные системы управления. В данных системах человеко-машинный интерфейс (НМИ), через который оператор контролирует работу объекта и станция управления, которая оказывает воздействия на объект и собирает эксплуатационные данные, связаны через шину данных.

Известно [12], что обучение оператора посредством работы его на тренажере, который моделирует реальный объект, эффективно для приобретения и повышения навыков управления.

Для того чтобы максимально эффективно использовать такой обучающий тренажер, важно разработать систему, которая давала бы оператору чувство реальности при управлении. Для этого необходимо, чтобы тренажер включал детализированные модели процесса, которые повторяли бы с определенной точностью поведение реального объекта, и что немаловажно адекватно реагировали на оказываемые воздействия со стороны оператора. Однако, разработка системы, включающей то же число устройств тех же технических требований как система управления реальным объектом, влечет за собой существенные затраты оборудования и трудовых ресурсов.

Разработчики таких тренажерных систем и ученые [2], приходят к общему мнению о необходимости упрощения описания технологического процесса (исключение из модели некоторых, как считается, малозначимых параметров, приводящих к возникновению в объекте нелинейностей), а также возможности использования программных продуктов моделирующих отдельные звенья процесса (клапаны, задвижки, связи между ними) на базе стандартизированных блоков. Приведенные решения проблем моделирования сложных металлургических процессов неизбежно приводят к снижению качественных показателей тренажера, возникающих из-за упрощения модели процесса.

При создании и исследовании моделей сложных производственных процессов технологические аспекты процесса могут быть описаны в виде аналитических зависимостей на основе физико-химических законов и фундаментальных констант. Таковы, например, система управления и контроля доменной печи "Раутаруукки" (Финляндия) [1], система технических расчетов параметров доменного процесса "GO-STOP", созданная по лицензии фирмы "Кавасаки Стил Корпорейшн" (Япония) [11] и др.

Кроме предложенных выше разработок стоит отметить схожую обучающую систему оператора шахтной дуговой печи, разработанной на базе имитационного моделирования, для металлургического предприятия ОАО Северсталь [10]. Данное решение позволяет автоматизировать процесс обучения и контроль знаний технического персонала на предприятиях металлургической промышленности. Мультимедийная обучающая система SIKE – это компьютерная программа, предназначенная для обучения и проверки знаний в диалоговом режиме, в которой широко применяются современные средства компьютерного дизайна и средства мультимедиа.

Обучение технологии производится на основе имитационной математической модели технологического процесса, отражающей развитие этого процесса при заданных условиях и действиях обучаемого. Оператору необходимо провести технологический процесс, при этом в любой момент времени может произойти случайная аварийная ситуация, которую нужно идентифицировать, своевременно принять меры по ее устранению и, по возможности, довести технологический процесс до конца [9].

Предложенная обучающая система SIKE оператора шахтной дуговой печи, как и представленные выше тренажеры [1, 11], предполагает отработку у оператора ряда некоторых установленных, стандартных действий, выхода из случайно возникшей аварийной ситуации. Данный функционал тренажера не решает проблему обучения оператора оптимальному управлению. Кроме того, системе присущи и общие недостатки имитационной методологии моделирования объекта: высокая степень рекурсии при разработке модели, которая порождает сложность отслеживания ошибок моделирования, затраты времени на перерасчет большого количества параметров и характеристик процесса.

В итоге регистрируются начальные технологические условия на объекте, природа и время возникновения нештатных ситуаций, как учебные сценарии. Оператору предлагается некоторое начальное состояние системы: штатное/нештатное или аварийное, из которого необходимо прийти посредством управления к установленному регламенту.

Недостаток имитационных тренажеров шахтных печей заключается в ограниченности их функционала, проявляющейся из-за накладываемой на процесс разработки модели сложности технологического агрегата. Оператору в процессе обучения предлагается нештатная или аварийная ситуация, при возникновении которой ему необходимо выполнить ряд строго установленных операций. На сегодняшний день, в связи с постоянным ужесточением требований к качеству и эффективности производства, обучение отработке только аварийных ситуаций является недостаточным и к решению поставленной задачи обучения оптимальному управлению не ведет.

3. Тренажеры оператора шахтных печей на основе методов нечёткой логики

Основной задачей разработки обучающей системы на базе нечеткой логики является систематизация для сложных ситуаций основных признаков диагностики аварий в матричной форме с введением элементов троичной нечеткой логики в критериях "меньше", "норма", "больше".

Нормальный режим работы объекта предполагается, если параметры X_i (состояние объекта управления), находятся в допустимой зоне, называемой "нормой" и ограниченной величинами \max и \min . Параметры \max и \min называются порогами. Пороги задаются на основании технологических инструкций и опыта экспертов в принятых для данного измерения единицах.

Данные о технологическом процессе в виде индивидуальных файлов по каждому параметру формирует система сбора информации. В каждой записи фиксируется значение параметра и время наблюдения.

Система контроля распаковывает файлы, анализирует выход параметров за пороги и выдает логическое значение (=, либо <, либо >) в виде картинного протокола, в котором параметры представлены соответствующими им плоскими фигурами в цвете, обозначающем “норма”, либо “меньше”, либо “больше”. В итоге формируется нечеткая модель доменного процесса.

По модели процесса строится независимый от системы обработки информации тренажер оператора доменной печи, позволяющий имитировать различные отклонения технологического процесса от нормального режима эксплуатации.

Тренажер предназначен для отработки различных режимов управления объектом, для обучения и тестирования оператора, обслуживающего технологический объект. Для описания всех возможных ситуаций на объекте необходимо создание базы сценариев обучения.

Оператору следует так подобрать управляющие воздействия, чтобы перевести технологический процесс в нормальный режим эксплуатации. Такой перевод, как правило, осуществляется за несколько шагов последовательным приближением к норме.

Так тренажер мастера доменной печи на основе нечеткой логики с применением технологических инструкций мастеров [10], созданный под руководством д.т.н. Чистова В.П. (ИМАШ УРО РАН), выходил в нормальное состояние, которое определяется по температуре горна и общему перепаду давления, за 8 тактов.

Проведенный анализ показал, что, как и тренажеры на базе имитационных моделей, обучающие тренажеры на основе нечеткой логики ориентированы в большей мере на обучение персонала раннему распознаванию и предотвращению нештатных и аварийных ситуаций.

По мнению авторов, такое положение дел обусловлено качеством математических моделей, составляющих основу тренажеров. Считается, что требования к точности тренажерной модели могут отличаться от требований к точности моделей объектов исследования и управления. Например, если относительная погрешность модели для управления и исследования не должна превышать 0,5-1%, то для обучения она может составлять 10% и более [4]. Однако, для построения тренажера, осуществляющего обучение методам оптимального управления, очевидно, нужна более точная модель.

Описанные выше методы имитационного моделирования и моделирования на основе нечеткой логики необходимой точности модели не обеспечивают, поэтому возникает задача поиска/разработки метода моделирования, подходящего для оптимизационного тренажера.

В трудах Д.А. Пospelova, И.М. Макарова, В.М. Лохина, Р.М. Юсупова, А.А. Жданова, Y.-Z. Lu, К.М. Hangos, S. Omatu и др. приведены результаты многочисленных экспериментов, демонстрирующих хорошие способности искусственных нейронных сетей к моделированию сложных технологических объектов и систем. Множество примеров применения технологии нейронных сетей для моделирования сложных технологических процессов и автоматизации производств позволяют предложить в качестве основы тренажера оператора нейросетевую модель шахтной печи.

Имеющийся опыт нейросетевого моделирования технологического процесса ШП на основе ретроспективной информации о ходе технологического процесса [6] дает основание рассчитывать на обеспечение точности модели, необходимой для построения оптимизационного тренажера.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ №12-07-00252 и №13-08-00532.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ахолла, Т. Развитие технологий производства чугуна на металлургическом заводе RAUTARUUKKI STEEL / Т. Ахолла, С. Калло // Металлург, 1999. - № 11. - С. 55–59.
2. Благодарный, Н.С. Компьютерный тренажер управления узлом выделения этилена установки ЭП-300 / Н.С. Благодарный [и др.] // Математические методы в технике и технологиях: Сб. тр. XXI Междунар. науч. конф. - Т. 9. - Саратов: Изд-во СГТУ, - 2008. - С. 207-209.
3. Дозорцев, В.М. Компьютерные тренажеры для обучения операторов технологических процессов В.М. Дозорцев. - М.: Изд. Синтег, 2009. – 372 с.

4. Душанин, П.Н. Моделирование технологических процессов и систем управления блоков печей в компьютерных тренажерах для обучения и контроля знаний персонала нефтеперерабатывающих предприятий / П.Н. Душанин. Диссертация ... к.т.н.- Ярославль, 2002. - 180 с.
5. Еременко, Ю.И. Интеграция интеллектуальных систем в состав АСУ металлургических производств / Еременко Ю.И., Халапян С.Ю. // Известия вузов. Черная металлургия. - 2002. - № 1. - С. 53-56.
6. Еременко, Ю.И. Разработка модели шахтной печи металлизации на основе технологии нейронных сетей. / Ю.И. Еременко, С.Ю. Халапян, Д.А. Полещенко, Д.Ю. Ярмуратий // Мехатроника, автоматизация, управление. - 2013. - № 4. - С. 56-60.
7. Еременко, Ю.И. Проблемы сохранения опытных знаний человека-оператора верхнего уровня АСУ ТП / Ю.И. Еременко, С.Ю. Халапян, Д.Ю. Ярмуратий // Образование, наука, производство и управление. - 2011. - Т. 1. - № 1. - С. 248-252.
8. Еременко, Ю.И. Синтез системы управления чашевым окомкователем с нейросетевой надстройкой и оценка ее эффективности относительно шаговой системы экстремального управления. / Ю.И. Еременко, Д.А. Полещенко, А.И. Глушенко // Мехатроника, автоматизация, управление. 2011. № 10. с. 56-61.
9. Инновации для профессионалов. Бизнес & Партнер. - 2012.
10. Чистов, В.П. Экспертные системы металлургических агрегатов с использованием законов нечеткой логики и неравновесной термодинамики / В.П. Чистов, А.Е. Пареньков, Е.Б. Иванов и др. // Наука и производство Урала: сб. науч. тр. Московский гос. ин-т стали и сплавов (Новотроицкий филиал). - Новотроицк, 2006. - С. 114 - 118.
11. Экспертная система доменных печей "Раутаруукки-кавасаки" // Rautaruukki engineering. FIN – 90101 OULU, FINLAND.
12. Takehiko Izuha. Operator's Training Simulator for Blast Furnace Plant./ Takehiko Izuha, Takashi Sato, Hidenori Gomi, Yasujiro Sono.// Nippon steel technical report no. 89 january 2004. - P. 85-90.

Еременко Юрий Иванович

ФГОАУ ВПО СТИ НИТУ «МИСиС»

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой АИСУ

E-mail: erem49@mail.ru

Халапян Сергей Юрьевич

ФГОАУ ВПО СТИ НИТУ «МИСиС»

Кандидат технических наук, доцент кафедры АИСУ

E-mail: cx@hotmail.ru

Ярмуратий Дмитрий Юрьевич

ФГОАУ ВПО СТИ НИТУ «МИСиС»

Ассистент кафедры АИСУ

E-mail: jiorp2007@yandex.ru

Невзоров Андрей Александрович

ФГОАУ ВПО СТИ НИТУ «МИСиС»

Аспирант кафедры АИСУ

E-mail: titan00756@gmail.com

Y.I. EREMENKO, S.Y. KHALAPYAN, D.Y. YARMURATI, A.A.NEVZOROV

**ABOUT SOLVING THE PROBLEM OF THE AUTOMATED CONTROL
OF SHAFT FURNACE THROUGH THE CREATION
OF THE OPERATOR'S SIMULATOR.**

The results of analysis of modern methods of construction of the simulator for the operator that controls the shaft furnace. Identified shortcomings of existing methods and possible solutions to problems associated with insufficient quality of the training of the operator that controls the complex and non-linear unit. The opportunity of application of artificial neural networks for modeling of technological process occurring in the shaft furnace.

Keywords: imitational modeling, shaft furnace, neural network, neural network model, a simulator for the operator.

BIBLIOGRAPHY

1. Aholla, T. Razvitie tehnologij proizvodstva chuguna na metallurgicheskom zavode RAUTARUUKKI STEEL / T. Aholla, S. Kallo // Metallurg, 1999. - № 11. - S. 55-59.

2. Blagodarnyj, N.S. Komp'juternyj trenazher upravljenja uzlom vydelenija jetilena ustanovki JeP-300 /N.S. Blagodarnyj [i dr.] // Matematicheskie metody v tehnike i tehnologijah: Sb. tr. XXI Mezhdunar. nauch. konf. - T. 9. - Saratov: Izd-vo SGTU, - 2008. - S. 207-209.
3. Dozorcev, V.M. Komp'juternye trenazhery dlja obuchenija operatorov tehnologicheskikh processov V.M. Dozorcev. - M.: Izd. Sinteg, 2009. – 372 s.
4. Dushanin, P.N. Modelirovanie tehnologicheskikh processov i sistem upravljenja blokov pechej v komp'juternyh trenazherah dlja obuchenija i kontrolja znaniy personala neftepererabatyvajushhix predpriyatij /P.N. Dushanin. Dissertacija ... k.t.n.- Jaroslavl', 2002. - 180 s.
5. Eremenko, Ju.I. Integracija intellektual'nyh sistem v sostav ASU metallurgicheskikh proizvodstv / Eremenko Ju.I., Halapjan S.Ju. //Izvestija vuzov. Chernaja metallurgija. - 2002. - № 1. - S. 53-56.
6. Eremenko, Ju.I. Razrabotka modeli shahthnoj pechi metallizacii na osnove tehnologii nejronnyh setej. / Ju.I. Eremenko, S.Ju. Halapjan, D.A. Poleshhenko, D.Ju. Jarmuratij //Mehatronika, avtomatizacija, upravlenie. - 2013. - № 4. - S. 56-60.
7. Eremenko, Ju.I. Problemy sohraneniya opytnyh znaniy cheloveka-operatora verhnego urovnja ASU TP /Ju.I. Eremenko, S.Ju. Halapjan, D.Ju. Jarmuratij //Obrazovanie, nauka, proizvodstvo i upravlenie. - 2011. - T. I. - № I. - S. 248-252.
8. Eremenko, Ju.I. Sintez sistema upravlenija chashevym okomkovatelem s nejrosetevoj nadstrojkoj i ocenka ee jeffektivnosti otnositel'no shagovoj sistema jekstremal'nogo upravlenija. / Ju.I. Eremenko, D.A. Poleshhenko, A.I. Glushhenko //Mehatronika, avtomatizacija, upravlenie. 2011. № 10. s. 56-61.
9. Innovacii dlja professionalov. Biznes & Partner. - 2012.
10. Chistov, V.P. Jekspertnye sistemy metallurgicheskikh agregatov s ispol'zovaniem zakonov nechjotkoj logiki i neravnesnoj termodinamiki / V.P. Chistov, A.E. Paren'kov, E.B. Ivanov i dr. // Nauka i proizvodstvo Urala: sb. nauch. tr. Moskovskij gos. in-t stali i splavov (Novotroickij filial). - Novotroick, 2006. - S. 114 - 118.
11. Jekspertnaja sistema domennyh pechej "Rautaruukki-kawasaki" // Rautaruukki engineering. FIN – 90101 OULU, FINLAND.
12. Takehiko Izuha. Operator's Training Simulator for Blast Furnace Plant./ Takehiko Izuha, Takashi Sato, Hidenori Gomi, Yasujiro Sono.// Nippon steel technical report no. 89 january 2004. - P. 85-90.

Eremenko Yuriy Ivanovich

Oskol institute of technology branch of the "National University of Science and Technology "MISiS"
Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department "Automation and information control systems"
E-mail: erem49@mail.ru

Khalapyan Sergey Yurievich

Oskol institute of technology branch of the "National University of Science and Technology "MISiS"
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department "Automation and information control systems"
E-mail: cx@hotmail.ru

Yarmurati Dmitriy Yurievich

Oskol institute of technology branch of the "National University of Science and Technology "MISiS"
Assistant, Department "Automation and information control systems"
E-mail: jjiopg2007@yandex.ru

Nevzorov Andrey Aleksandrovich

Oskol institute of technology branch of the "National University of Science and Technology "MISiS"
Graduate student, Department "Automation and information control systems"
E-mail: titan00756@gmail.com

КОНСТРУИРОВАНИЕ, РАСЧЕТЫ, МАТЕРИАЛЫ

УДК 621.436

А.Н. БЕРДНИК

ЭКСЕРГЕТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ВОЗДУХОСНАБЖЕНИЯ С ОДНО- И ДВУХСТУПЕНЧАТЫМ НАДДУВОМ И С СИЛОВОЙ ТУРБИНОЙ

В статье представлены основные отличия метода располагаемой энергии газов, энтропийного метода и эксергетического метода, даны их преимущества и недостатки. Приведены энергетические и эксергетические балансы систем воздухообеспечения с одно- и двухступенчатым наддувом и с силовой турбиной.

Ключевые слова: энтропия, располагаемая энергия, эксергия, система воздухообеспечения, поршневой двигатель, двухступенчатый наддув, силовая турбина.

В настоящее время существующие методы оценки эффективности систем воздухообеспечения с одно- и двухступенчатым наддувом и с силовой турбиной поршневых двигателей не могут ответить на ряд вопросов, связанных с выбором рациональной системы газотурбинного наддува при форсировании по среднему эффективному давлению. Это связано, во-первых, с недостаточным описанием процессов локальных потерь работоспособности газов при движении энергетического потока от цилиндра двигателя к турбине; во-вторых, неясно, почему при увеличении степени форсирования поршневого двигателя до 3,5 – 4 МПа целесообразно переходить на двухступенчатый наддув; в-третьих, неясно, при каком среднем эффективном давлении использовать силовую турбину (СТ) в составе комбинированного двигателя внутреннего сгорания (ДВС).

В анализируемой системе должны занимать существенное место энергетические превращения, для изучения которых необходимо второе начало термодинамики. Другими словами, в энергетических превращениях достаточно важную роль должны играть такие, которые характеризуются энтропией, отличной от нуля. Действие этой системы происходит в условиях взаимодействия с равновесной окружающей средой, параметры которой (температура, давление и состав) не зависят от действия системы. Вместе с тем эти параметры оказывают определяющее влияние на характеристики системы, и абстрагироваться от них при анализе, как правило, невозможно; рассматривается, по существу, большая система, включающая и рассматриваемую систему, и окружающую среду. Такой подход в наибольшей степени соответствует большинству задач инженерной практики. В этом заключается существенное отличие эксергетического метода от метода располагаемой энергии газов и энтропийного метода, в которых параметры равновесной окружающей среды не входят в рассмотрение, а учитываются только при воздействии через границы системы [1,2,3].

Более того, метод располагаемой энергии газов [4,5,6] используется только для оценки эффективности импульсных систем газотурбинного наддува, которые применяются при низком и среднем наддуве ($p_{me} < 2$ МПа), а расчёты располагаемой мощности по данному методу позволяют судить о преимуществах той или иной импульсной выпускной системы с энергетической точки зрения, основанной на первом законе термодинамики. Также необходимо отметить, что понятие «располагаемая работа газов» связано с изменением энтальпии при стационарном адиабатном процессе. А энтальпия, в свою очередь, не является мерой работоспособности системы, некой является энтропия, а является функцией состояния системы. Поэтому понятие «потери работоспособности газов» применительно к методу располагаемой энергии газов, которые определяются как разность располагаемой работы газов в ци-

линдре и перед турбиной, не является по сути верным, так как речь идёт о располагаемой мощности газов, которая не является мерой работоспособности системы.

Практическое внедрение энтропийного метода вызывает некоторые затруднения по следующим причинам [7,8,9,10]:

1. Полученные исследования с использованием энтропийного метода не позволяют перенести их на различные типы поршневых двигателей, т. е. сам по себе метод теряет свою универсальность.

2. Способов непосредственного измерения энтропии не существует.

Поскольку эксергия является единой мерой работоспособности [1,2,3], т. е. величиной, определяющей пригодность к действию ресурсов вещества и энергии, её применение позволяет дать объективную оценку энергетических ресурсов любого вида (в том числе и вторичных).

Все виды энергии целесообразно разделить на две группы по признаку их превратимости:

1. Виды энергии полностью, без ограничений, превратимые в любые другие виды энергии.

2. Виды энергии, которые не могут полностью быть преобразованы в любой другой вид энергии.

Виды энергии первой группы характеризуются общим признаком – их энтропия равна нулю; другими словами, они не характеризуются энтропией. Подвод или отвод теплоты к телу никак не сказывается на энергии этого вида.

Виды энергии второй группы, напротив, всегда характеризуются энтропией, отличной от нуля. Изменение энергии этого вида всегда связано с тепловыми воздействиями.

При сравнении видов энергии с позиции их превратимости следует обратить внимание на одно важное обстоятельство – влияние параметров окружающей среды на энергетические преобразования. Все виды энергии, относящиеся к первой группе, при взаимных преобразованиях остаются полностью превратимыми совершенно независимо от параметров окружающей среды. Все виды энергии, относящиеся ко второй группе, становятся зависимыми не только от ее параметров, но и от параметров окружающей среды. Чем меньше разность параметров окружающей среды и рабочего тела технической системы, тем меньшая часть энергии может быть преобразована. При равенстве параметров рабочего тела в системе и в окружающей среде техническая ценность энергии любого вида, относящегося ко второй группе, равна нулю.

Взаимодействие системы с окружающей средой может проходить как обратимо (идеальный процесс), так и необратимо (реальный процесс). В первом случае в соответствии с определением эксергии будет получена работа, равная эксергии. В реальном процессе работа меньше, чем убыль энергии. Это означает, что часть эксергии не превращается в работу, а исчезнет в результате необратимости. В этом состоит одно из существенных отличий эксергии от энергии. Эксергия подчиняется закону сохранения только в обратимых процессах; во всех остальных случаях (реальные системы) она может частично или полностью исчезать, теряться в результате рассеяния энергии в необратимых процессах. Естественно, что, чем меньше при прочих равных условиях эта потеря эксергии, тем термогазодинамически совершеннее процесс.

Особенности энергетических и эксергетических балансов для различных систем воздухооборудования поршневого двигателя хорошо прослеживаются на рисунках 1 – 6. На рисунке 1, 3 и 5 видно, что потоки энергии изображаются полосами, ширина которых пропорциональна соответствующим величинам энергии; направление каждого потока указывается стрелкой.

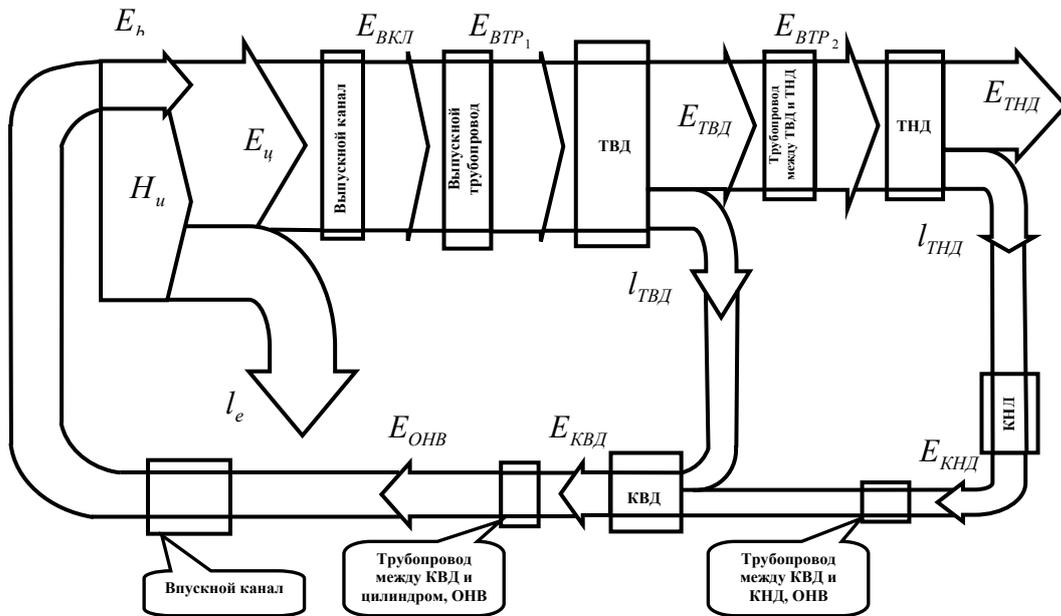


Рисунок 1 – Энергетический баланс системы воздухообеспечения с двухступенчатым наддувом

Естественно, что полосы в энергетической диаграмме (см. рисунок 1, 3 и 5) в силу закона сохранения энергии не могут менять ширину: они могут только сливаться или разделяться. На такой диаграмме можно посредством соответствующих условных обозначений показать и переход одного вида энергии в другой.

Очевидно, что:

- для системы воздухообеспечения с двухступенчатым наддувом уравнение энергетического баланса будет иметь вид: $H_u + E_b = E_{ТНД} + l_e$, где H_u – низшая теплотворная способность топлива; E_b – энергия сжатого воздуха, поступающая в цилиндр поршневого двигателя; $E_{ТНД}$ – энергия газов, выходящих из турбины низкого давления (ТНД) в атмосферу; l_e – удельная эффективная работа двигателя;

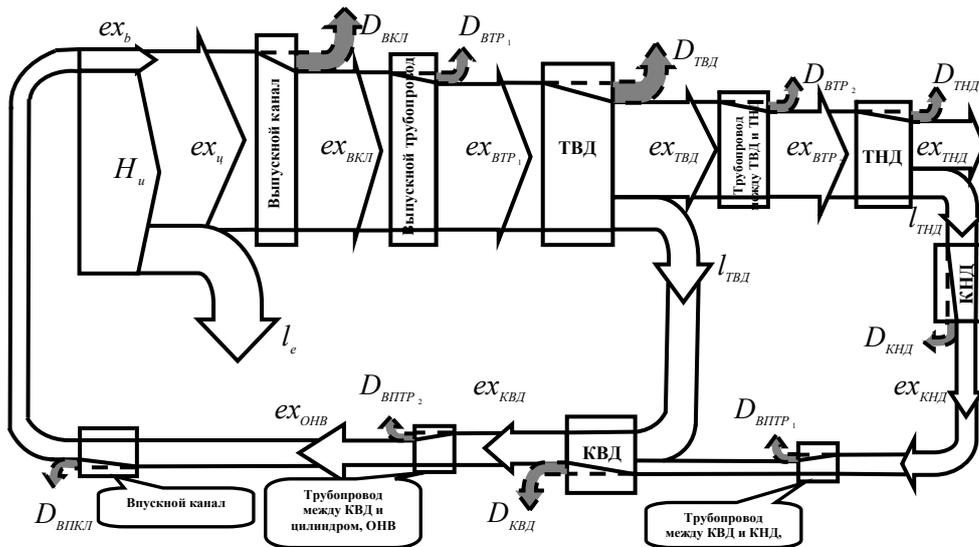


Рисунок 2 – Эксергетический баланс системы воздухообеспечения с двухступенчатым наддувом

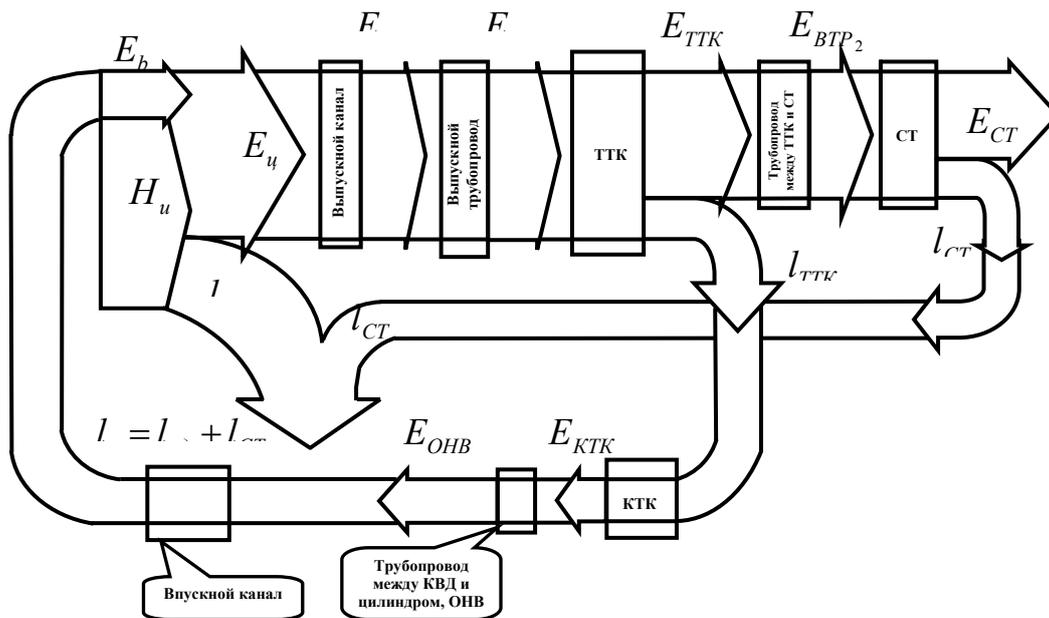


Рисунок 3 – Энергетический баланс одноступенчатой системы воздухообеспечения с силовой турбиной (схема ТК+СТ)

- для одноступенчатой системы воздухообеспечения с силовой турбиной (схема ТК+СТ) уравнение энергетического баланса будет иметь вид: $H_u + E_b = E_{СТ} + l_e$, где $E_{СТ}$ – энергия газов, выходящих из СТ в атмосферу; $l_e = l_{eд} + l_{СТ}$; $l_{eд}$ – удельная эффективная работа поршневой части двигателя; $l_{СТ}$ – удельная полезная работа СТ;

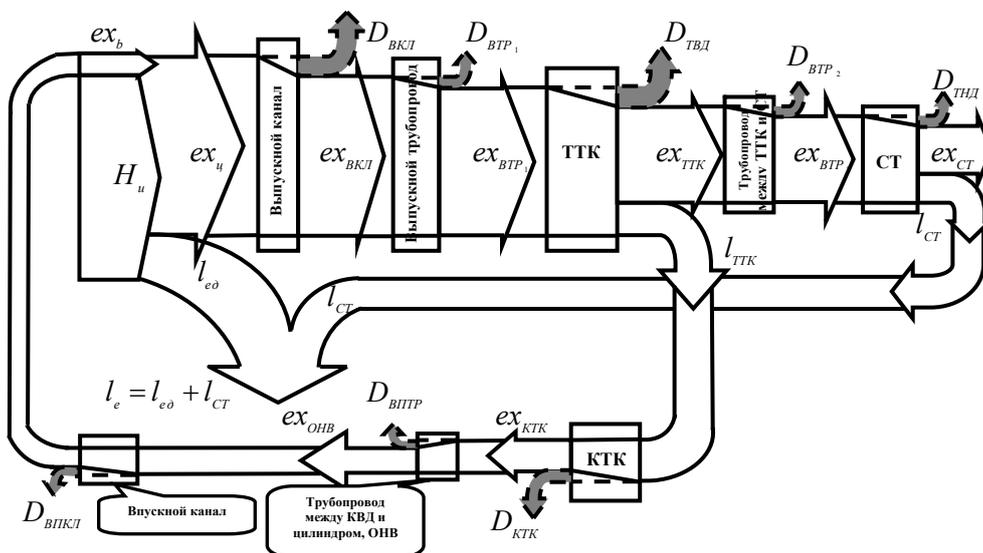


Рисунок 4 – Эксергетический баланс одноступенчатой системы воздухообеспечения с силовой турбиной (схема ТК+СТ)

- системы воздухообеспечения с двухступенчатым наддувом уравнение эксергетического баланса будет иметь вид:

$$H_u + ex_b = ex_{ТНД} + l_e - (D_{ВКЛ} + D_{ВТР_1} + D_{ТВД} + D_{ВТР_2} + D_{ТНД} + D_{КНД} + D_{ВППР_1} + D_{КВД} + D_{ВППР_2} + D_{ВПКЛ}),$$

где ex_b – эксергия сжатого воздуха, поступающего в цилиндр поршневого двигателя; $ex_{ТНД}$ – эксергия газов, выходящих из ТНД в атмосферу; $D_{ВКЛ}$ – потери эксергии газов в выпускном канале поршневого двигателя; $D_{ВТР_1}$ – потери эксергии газов в выпускном трубопроводе между цилиндром поршневого двигателя и турбиной высокого давления (ТВД); $D_{ТВД}$ – потери эксергии газов в ТВД; $D_{ВТР_2}$ – потери эксергии газов в выпускном трубопроводе между ТВД и ТНД; $D_{ТНД}$ – потери эксергии газов в ТНД; $D_{КНД}$ – потери эксергии сжатого воздуха в компрессоре низкого давления (КНД); $D_{ВППР_1}$ – потери эксергии сжатого воздуха во впускном трубопроводе и охладителе наддувочного воздуха (ОНВ) между компрессором высокого давления (КВД) и КНД; $D_{КВД}$ – потери эксергии сжатого воздуха в КВД; $D_{ВППР_2}$ – потери эксергии сжатого воздуха во впускном трубопроводе и ОНВ между КВД и цилиндром поршневого двигателя; $D_{ВПКЛ}$ – потери эксергии газов во впускном канале поршневого двигателя;

- одноступенчатой системы воздухообеспечения с силовой турбиной (схема ТК+СТ) уравнение эксергетического баланса будет иметь вид:

$$H_u + ex_b = ex_{СТ} + l_e - (D_{ВКЛ} + D_{ВТР_1} + D_{ТТК} + D_{ВТР_2} + D_{СТ} + D_{КТК} + D_{ВППР} + D_{ВПКЛ}),$$

где $ex_{СТ}$ – эксергия газов, выходящих из СТ в атмосферу; $D_{ВТР_1}$ – потери эксергии газов в выпускном трубопроводе между цилиндром поршневого двигателя и ТТК; $D_{ТТК}$ – потери эксергии газов в ТТК; $D_{ВТР_2}$ – потери эксергии газов в выпускном трубопроводе между ТТК и СТ; $D_{СТ}$ – потери эксергии газов в СТ; $D_{КТК}$ – потери эксергии сжатого воздуха в КТК; $D_{ВППР}$ – потери эксергии сжатого воздуха во впускном трубопроводе и ОНВ между компрессором турбокомпрессора (КТК) и цилиндром поршневого двигателя;

- одноступенчатой системы воздухообеспечения с силовой турбиной (схема СТ+ТК) уравнение эксергетического баланса будет иметь вид:

$$H_u + ex_b = ex_{ТТК} + l_e - (D_{ВКЛ} + D_{ВТР_1} + D_{СТ} + D_{ВТР_2} + D_{ТТК} + D_{КТК} + D_{ВППР} + D_{ВПКЛ}),$$

где $ex_{ТТК}$ – эксергия газов, выходящих из ТТК в атмосферу; $D_{ВТР_1}$ – потери эксергии газов в выпускном трубопроводе между цилиндром поршневого двигателя и СТ; $D_{ВТР_2}$ – потери эксергии газов в выпускном трубопроводе между СТ и ТТК.

Следует отметить, что на рисунках 1 – 6 потоки энергии и эксергии, идущие в систему смазывания и охлаждения комбинированного ДВС не рассматриваются.

Определение КПД по эксергетическому балансу системы основано на общих уравнениях. Оно остаётся в силе независимо от вида системы и характера происходящих в ней процессов.

В общем случае эксергетический КПД будет определяться отношениями

$$\eta_{ex} = \sum ex_{вых} / \sum ex_{вх} = (\sum ex_{вх} - \sum D_i) / \sum ex_{вх}, \quad (1)$$

где $ex_{вых}$ – эксергия потока на выходе из системы; $ex_{вх}$ – эксергия потока на входе в систему; D_i – потери эксергии потока на различных участках системы.

Из этого следуют два принципиально важных свойства КПД:

1. Для идеального, полностью обратимого процесса, где процессы D_i отсутствуют, значение $\eta_{ex} = 1$ (или 100 %). Если подведённая эксергия полностью теряется в процессе, то

в этом случае $\eta_{ex} = 0$. В реальных процессах, занимающих промежуточное положение, всегда $\eta_{ex} < 1$; чем выше η_{ex} , тем система преобразования термогазодинамически совершенней.

2. Разность между $\sum ex_{ex}$ и $\sum ex_{вых}$, т. е. затратами и эффектом, всегда равна суммарной потере от необратимости $\sum D_i$.

Соотношение (1) определяет η_{ex} единственным образом в интервале от 0 до 1. Здесь представлено достаточно чёткое различие между тем, что затрачено, и тем, что получено. Но в тех случаях, когда имеются «сквозные» потоки рабочего тела, например с теплообменником, задача усложняется и соотношение (1) «не работает».

Тогда часто применяется другой подход – разностный. Если обозначить уменьшение расходуемой энергии через $\sum \nabla ex_{ex}$ (затраты), увеличение расходуемой энергии через $\sum \Delta ex_{вых}$ (полезные эффекты), то в общем случае можно записать

$$\eta_{ex} = \frac{\sum \Delta ex_{вых}}{\sum \nabla ex_{ex}}.$$

Подход через приращения ex позволяет в принципе составить КПД, отражающий степень реализации поставленной цели. Однако и здесь имеется возможность получения нескольких η_{ex} , разных по значению. Подобная ситуация связана прежде всего с тем, что под полезными эффектами и затратами в одном и том же процессе можно понимать разные вещи (например, теплообмен).

Наконец, существует и третий подход к определению η_{ex} : из числителя и знаменателя (1) вычитается эксергия, не претерпевшая в системе качественных превращений, называемая транзитной эксергией ex^{TP} :

$$\eta_{ex} = \frac{\sum ex_{вых} - ex^{TP}}{\sum ex_{ex} - ex^{TP}}.$$

Эта идея – исключить из рассмотрения те потоки энергии, которые не претерпевают в системе изменения или превращения, – очень плодотворна; её реализация позволила бы выделить и оценить те преобразования, которые полезны с точки зрения целевого назначения системы.

Однако приведённое определение транзитной эксергии допускает множество различных трактовок. В одном случае под ex^{TP} понимают эксергию потока вещества, не изменившего в системе свой состав; в другом – какие-либо другие «сквозные» эксергетические потоки, не изменившие другие параметры интенсивности (p или T). Очевидно, что здесь имеется возможность получения большого количества разных η_{ex} в зависимости от того, что понимать под ex^{TP} .

Единственный путь выявления транзитной эксергии состоит в том, что необходимо рассмотреть каждый вид (и, если необходимо, каждую составляющую) эксергии, входящей в баланс данной системы, по отдельности.

Подробный анализ методики расчета η_{ex} с учётом транзитной эксергии дан в работе [2].

Исключение транзита имеет смысл для большинства технических систем, полезные эффекты которых сводятся только к передаче одного и того же вида энергии от одной внешней подсистемы к другой. В нашем случае примером такой технической системы служит система газотурбинного наддува комбинированного ДВС, где вся проходящая через систему эксергия транзитная, и её выделение теряет смысл. Для такой системы КПД вычисляется предельно просто по соотношению (1). Этот подход чётко отражает существо дела: он показывает, насколько успешно система справляется с передачей, доставкой эксергии к цели и

какая её часть при этом теряется. В конечном счёте, глубина анализа должна определяться в каждом случае его целями.

Таким образом, на основании рисунка 2, 4 и 6 эффективный КПД поршневого двигателя можно определить как

$$\eta_{et} = l_e / (H_u + ex_b).$$

Следует отметить, что предложенный подход с использованием эксергетического метода является одним из вариантов оценки эффективности систем воздухообеспечения с одно- и двухступенчатым наддувом и с силовой турбиной в зависимости от уровня форсирования поршневого двигателя и не может полноценно быть использован без физического моделирования процессов, протекающих в системах воздухообеспечения поршневых комбинированных двигателей [11].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Двигатели внутреннего сгорания: Теория поршневых и комбинированных двигателей / под ред. А. С. Орлина, М. Г. Круглова. М. : Машиностроение, 1983. 372 с.
2. Бродянский, В.М. Эксергетический метод и его приложения / В.М. Бродянский, В. Фратшер, М. Михалек. М. : Энергоатомиздат, 1988. 288 с.
3. Кириллин, В.А. Техническая термодинамика / В.А. Кириллин, В.В. Сычёв, А.Е. Шейндлин. М. : Энергоатомиздат, 1983. 416 с.
4. Орлин, А.С. Комбинированные двухтактные двигатели / А.С. Орлин, М.Г. Круглов. М. : Машиностроение, 1968. 576 с.
5. Орлин, А.С. Двигатели внутреннего сгорания / А.С. Орлин, Д.Н. Вырубов, М.Г. Круглов. М. : Машиностроение, 1971. 399 с.
6. Лашко, В.А. Методы оценки эффективности систем газотурбинного наддува комбинированных двигателей внутреннего сгорания : учеб. пособие / В.А. Лашко, А.Н. Бердник. Хабаровск : Изд-во ТОГУ, 2006. 118 с.
7. Ивин, В.И. Экспериментальное исследование потока в выпускном канале двигателя внутреннего сгорания / В.И. Ивин, Л.А. Васильев, С.М. Возчиков. М. : Изд-во МВТУ им. Н. Э. Баумана, 1975. С. 81 – 85.
8. Абрамович, Г.Н. Прикладная газовая динамика / Г.Н. Абрамович. М. : Наука, 1976. 888 с.
9. Седов, Л.И. Об осреднении неравномерных потоков газа в каналах / Л.И. Седов, Г.Г. Чёрный // Теория гидромеханики : сб. статей. М. : Оборонгиз, 1954. № 12. Вып. 4.
10. Нечитайло, К.Ф. Рассеивание энергии в выпускном коллекторе многоцилиндрового двигателя / К.Ф. Нечитайло. Харьков : Изд-во ХАИ, 1973. С. 71 – 75.
11. Лашко, В.А. Физическое моделирование процессов в системах воздухообеспечения поршневых комбинированных двигателях / В.А. Лашко, А.Н. Бердник // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. Орёл : Изд-во Госуниверситет – УНПК, 2013. № 1. С. 38 – 51.

Бердник Алексей Николаевич

ФГБОУ ВПО «Тихоокеанский государственный университет»

Кандидат технических наук, доцент

Тел: (4212) 37-52-17

E-mail: alex.bdk75@yandex.ru

A.N. BERDNIK

THE EXERGY METHOD OF ASSESSING THE EFFECTIVENESS OF AIR SUPPLY SYSTEMS WITH ONE - AND TWO-STAGE SUPERCHARGED AND WITH POWER TURBINE

The article presents the main differences methods have the energy gases, entropy method and exergy method, given their advantages and disadvantages. Given the energy and exergy balances air supply systems with one - and two-stage supercharging and power turbine.

Keywords: *entropy, have energy, exergy, air-system, piston engine, two-stage supercharging, power turbine.*

BIBLIOGRAPHY

1. Dvigateli vnutrennego sgoranija: Teorija porshnevnyh i kombinirovannyh dvigatelej / pod red. A. S. Orlina, M. G. Kruglova. M. : Mashinostroenie, 1983. 372 s.
2. Brodjanskij, V.M. Jeksergeticheskij metod i ego prilozhenija / V.M. Brodjanskij, V. Fratsher, M. Mi-halek. M. : Jenergoatomizdat, 1988. 288 s.
3. Kirillin, V.A. Tehnicheskaja termodinamika / V.A. Kirillin, V.V. Sychjov, A.E. Shejndlin. M. : Jenergoatomizdat, 1983. 416 s.
4. Orlin, A.S. Kombinirovannye dvouhaktne dvigateli / A.S. Orlin, M.G. Kruglov. M. : Mashino-stroenie, 1968. 576 s.
5. Orlin, A.S. Dvigateli vnutrennego sgoranija / A.S. Orlin, D.N. Vyrubov, M.G. Kruglov. M. : Mashinostroenie, 1971. 399 s.
6. Lashko, V.A. Metody ocenki jeffektivnosti sistem gazoturbinnogo nadduva kombinirovannyh dvi-gatelej vnutrennego sgoranija : ucheb. posobie / V.A. Lashko, A.N. Berdnik. Habarovsk : Izd-vo TOGU, 2006. 118 s.
7. Ivin, V.I. Jeksperimental'noe issledovanie potoka v vypusknom kanale dvigatelja vnutrennego sgoranija / V.I. Ivin, L.A. Vasil'ev, S.M. Vozchikov. M. : Izd-vo MVTU im. N. Je. Baumana, 1975. S. 81 – 85.
8. Abramovich, G.N. Prikladnaja gazovaja dinamika / G.N. Abramovich. M. : Nauka, 1976. 888 s.
9. Sedov, L.I. Ob osrednenii neravnomernyh potokov gaza v kanalah / L.I. Sedov, G.G. Chjornyj // Teo-rija gidromehaniki : sb. statej. M. : Oborongiz, 1954. № 12. Vyp. 4.
10. Nechitajlo, K.F. Rasseivanie jenerгии v vypusknom kollektore mnogocilindrovogo dvigatelja / K.F. Nechitajlo. Har'kov : Izd-vo HAI, 1973. S. 71 – 75.
11. Lashko, V.A. Fizicheskoe modelirovanie processov v sistemah vozduhosnabzhenija porshnevnyh kombinirovannyh dvigateljah / V.A. Lashko, A.N. Berdnik // Fundamental'nye i prikladnye problemy tehnik i tehnologij. Orjol : Izd-vo Gosuniversitet – UNPK, 2013. № 1. S. 38 – 51.

Berdnik Alexey Nikolaevich

Pacific National University, Khabarovsk

Candidate of technical sciences, associate professor of department «DVS»

Tel: (4212) 37-52-17

E-mail: alex.bdk75@yandex.ru

БУНКЕР ДЛЯ КУСКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

В статье рассматривается конструкция бункера, позволяющая производить выгрузку кускового материала, склонного к заклиниванию в замкнутом объеме при нарушении условий гравитационного истечения при непрерывном потоке

Ключевые слова: гравитация; бункер; привод; ступень; плита; желоб; синусоида; ролик-опора; диафрагма.

На предприятиях по производству щебня широко используются гравитационные устройства, в которых кусковые грузы движутся вниз по наклону под действием силы тяжести. Если груз массой m скользит с коэффициентом трения f по наклонной плоскости под углом β на длине l , разность уровней в начальной и конечной точках $h = l \sin \beta$ и скорость в этих точках v_n и v_k , то работа силы тяжести груза, затрачиваемая на работу трения и приращение кинетической энергии [1], равна

$$mgh = mgl f \cos \beta + m(v_k^2 - v_n^2) / 2.$$

Если заданы скорости в начальной v_n и конечной v_k точках и разность уровней между ними h , то угол β , под которым должна быть расположена наклонная плоскость, находится из равенства

$$\operatorname{tg} \beta = 2ghf / (2gh + v_n^2 - v_k^2).$$

Если известна начальная скорость и задан угол наклона β , то конечная скорость равна

$$v_R = \sqrt{2gh(1 - f \operatorname{ctg} \beta) + v_n^2}.$$

При $v_k = v_n$, т.е. при движении с постоянной скоростью, $\operatorname{tg} \beta_0 = f$. Для ускоренного движения ($v_k > v_n$) $\beta > \beta_0$, для замедленного движения ($v_k < v_n$) $\beta < \beta_0$.

Если груз движется по бункеру прямоугольной формы, то под коэффициентом трения скольжения понимается приведенный коэффициент, который учитывает сопротивление трения как по дну, так и по боковым стенкам бункера.

Однако условия гравитационного истечения материала при работе могут изменяться ввиду налипания мелких влажных частиц на дно бункера. Это приводит к увеличению значения коэффициента трения, нарушению условий естественного истечения материала и заклиниванию его в замкнутом объеме при непрерывном потоке. С целью восстановления условий гравитационного истечения материала предлагается устройство для разгрузки кусковых материалов из бункеров [2].

В устройстве используется схема выгрузки кускового материала из бункера, содержащая рабочий орган, расположенный под углом 60° к горизонтали, и привод рабочего органа, прикрепленного к бункеру. Рабочий орган выполнен в виде ступеней из плит и диафрагм и подвижных трехсекционных желобов, средние секции которых изготовлены в виде волнообразной поверхности синусоидального профиля, а крайние секции желобов – в виде плит и расположены в щелях противоположных стенок над днищем бункера и оперты по нижней поверхности средней секции со стороны днища и торцевой поверхности крайних секций со стороны выходного отверстия на ролик-опоры. Торцевая часть подвижных трехсекционных желобов со стороны входного отверстия бункера перекрыта консолями ступеней, при этом подвижные трехсекционные желоба связаны с приводом.

Предлагаемое устройство позволяет решить основную задачу, связанную с восстановлением условий гравитационного истечения кускового материала за счет его ворошения на полном объеме при перемещении непрерывным потоком по наклонной плоскости.

Устройство относится к средствам для выгрузки кускового материала, склонного к заклиниванию в замкнутом объеме, и может быть применено в горнорудной, химической, угольной, строительной и других отраслях народного хозяйства.

На рис. 1 представлена схема общего вида устройства для выгрузки кускового материала из бункера; на рис. 2 – схема расположения приводов и подвижных трехсекционных желобов бункера (рис. 1); на рис. 3 – схема привода рабочего органа бункера (рис. 2); на рис. 4 – схема винтового устройства для линейного перемещения желоба бункера (рис. 3); на рисунке 5 – схема расположения направляющих винтового устройства трехсекционного желоба бункера (рис. 4).

Устройство для выгрузки кускового материала из бункера содержит рабочий орган 1, расположенный под углом 60° к горизонтали, винт 2 и привод 3, который прикреплен к стенке 4 бункера 5. Рабочий орган 1 выполнен в виде ступеней 6,7,8 из плит и диафрагм 10,12 и подвижных трехсекционных желобов 9,11. Средняя секция 15 желоба 9 изготовлена в виде волнообразной поверхности синусоидального профиля, а крайние секции 13,16 изготовлены из плит и расположены в щелях 14,17 вертикальных стенок 4,18 бункера 5. Подвижной трехсекционный желоб 9 поддерживается по нижней плоскости со стороны днища бункера 5 и по торцу со стороны выпускного отверстия бункера соответственно роликоопорами 19,20,21 и 22,23. Ступени 6,7,8 закреплены к вертикальным стенкам 4,18 с внутренней стороны бункера 5. Нижние части концов ступеней 6,7 расположены консольно по отношению к диафрагмам 10,12 и в плане перекрывают торцевую часть подвижного трехсекционного желоба 9 со стороны входного отверстия бункера. Подвижной трехсекционный желоб 9 связан с гайкой 24, которая расположена в направляющих 25 корпуса 26. Ход подвижного трехсекционного желоба 9 ограничивается конечными выключателями 27 и 28.

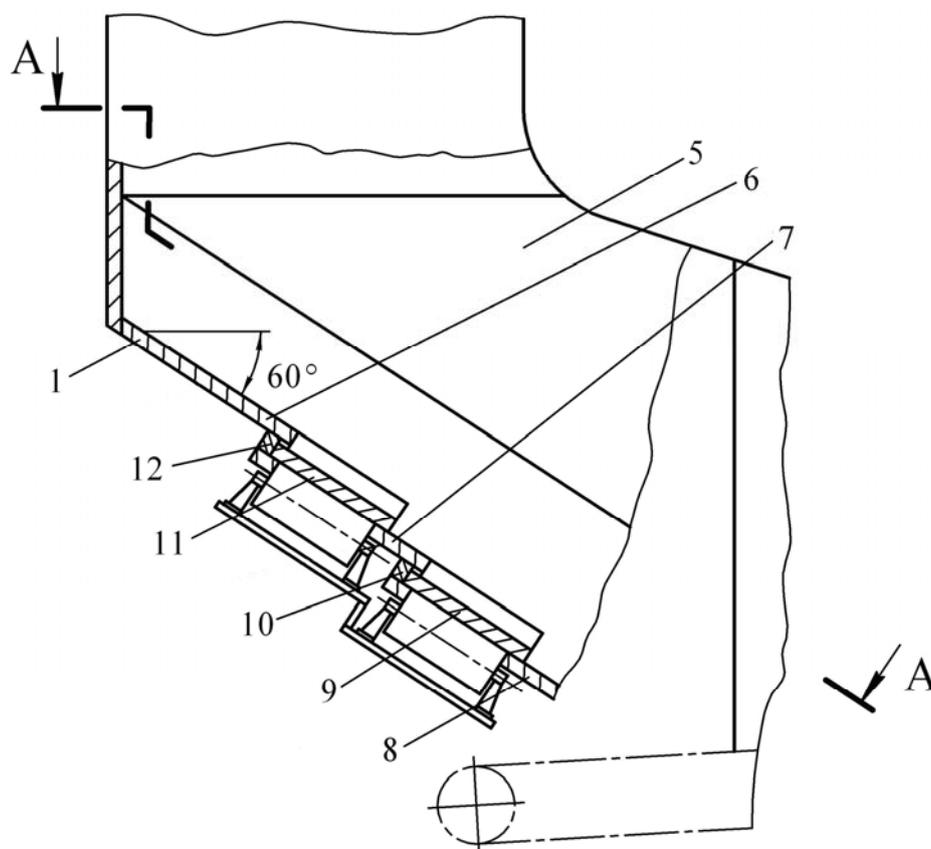


Рисунок 1 – Схема устройства для выгрузки кускового материала из бункера (общий вид)

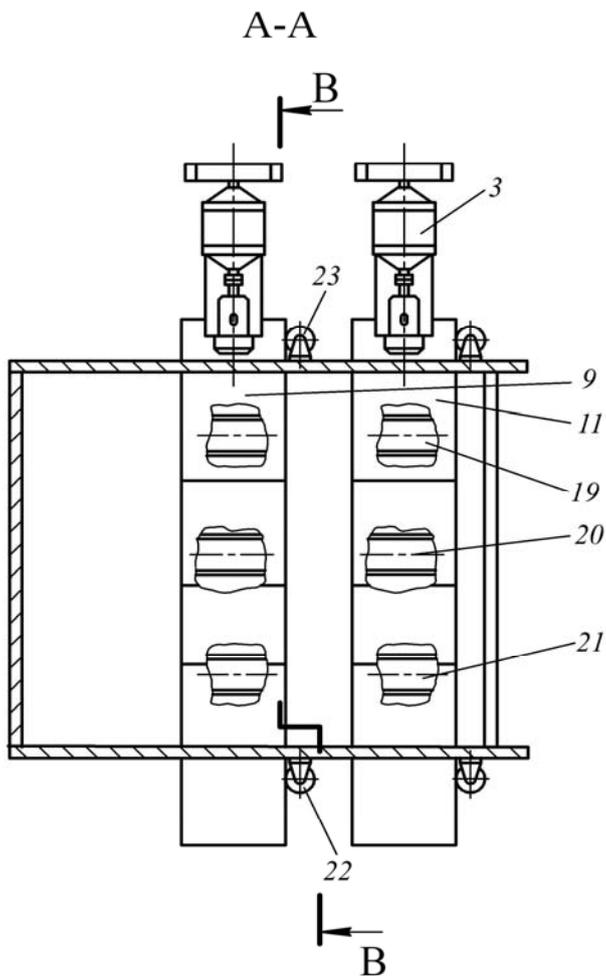


Рисунок 2 – Схема расположения приводов и подвижных трехсекционных желобов бункера (рис.1)

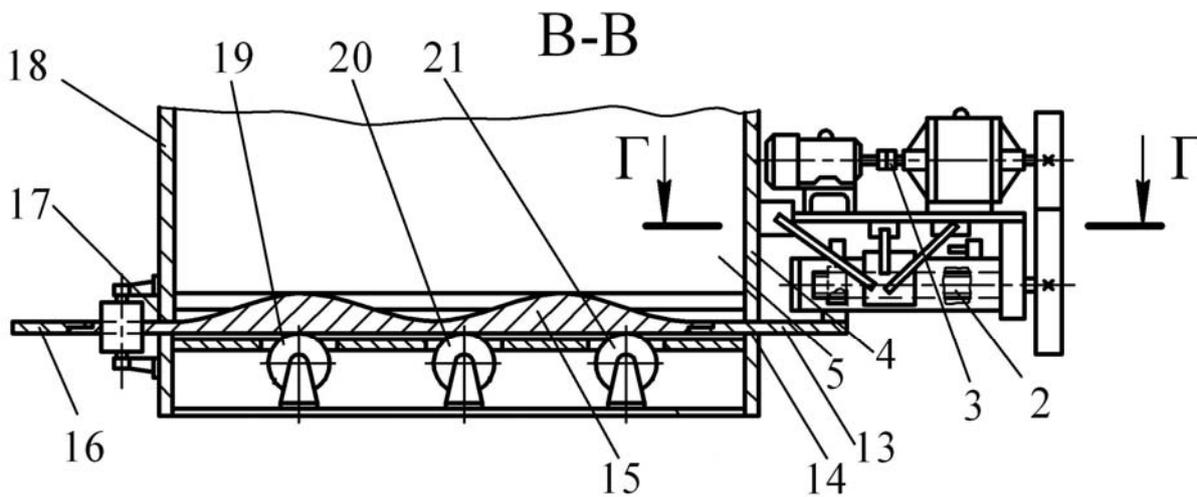


Рисунок 3 – Схема привода рабочего органа бункера (рис. 2)

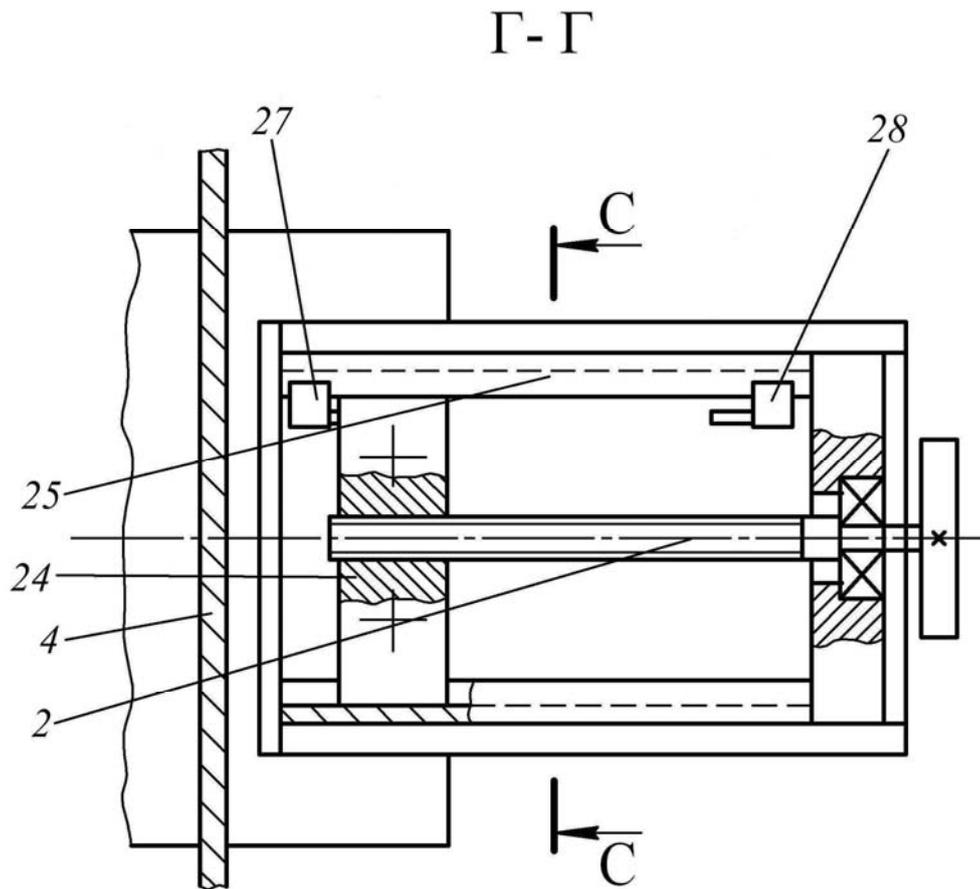


Рисунок 4 – Схема винтового устройства для линейного перемещения желоба бункера (рис. 3)

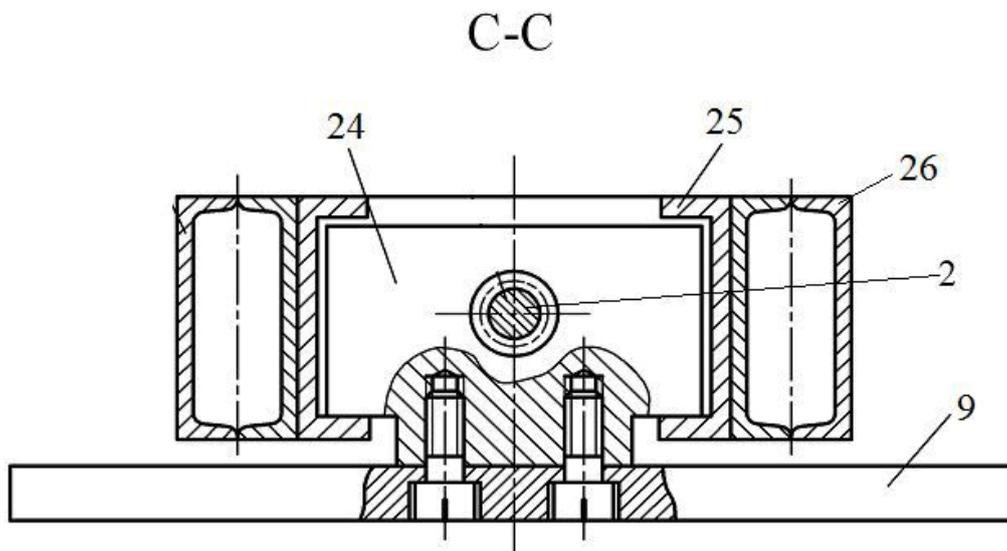


Рисунок 5 – Схема расположения направляющих винтового устройства трехсекционного желоба бункера (Рис.4)

Устройство для выгрузки кускового материала из бункера работает следующим образом.

При включении привода 3 крутящий момент передается на винт 2. Вращение винта 2 преобразуется гайкой 24 в поступательное перемещение подвижного трехсекционного желоба 9 по направляющим 25 и щелям 14,17. Привод 3 перемещает подвижной желоб 9 по

роликоопорам 19,20,21 и 22,23 поперек днища бункера 5 и за счет волнообразной поверхности средней секции 15 трехсекционного желоба 9 осуществляет одновременно перемещение отдельных слоев материала относительно друг друга по вертикали и вращение отдельных кусков. Таким образом, при движении трехсекционного желоба 9 происходит ворошение материала в бункере. Реверсирование движения трехсекционного желоба 9 осуществляется конечными выключателями 27 и 28. После осуществления ворошения материала привод (приводы) выключается. Устройство (устройства) включают периодически при заклинивании материала в бункере с целью восстановления условий гравитационного истечения при его непрерывном потоке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Спиваковский А.О. [и др.]. Транспортирующие машины. М.: Машиностроение, 1983. 488 с.
2. Патент РФ № 2363647 B65G65/23. Устройство для выгрузки кускового материала из бункера / Коноплев В.И., Ануфриев В.И., Ануфриев С.В. Опубл.10.08.2009 Бюл. № 22.

Коноплев Василий Иванович

ФГБОУ ВПО «Тульский государственный университет»
Кандидат технических наук, доцент
Тел:(4872) 33-22-88,
ptm@tsu.tula.ru,

Ануфриев Валерий Иванович

ФГБОУ ВПО «Тульский государственный университет»
Кандидат технических наук, доцент
Тел:(4872) 33-22-88,
ptm@tsu.tula.ru,

V.I. KONOPLEV, V.I ANUFRIEV

BUNKER FOR BULK MATERIALS

The article considers the design of the bunker, which allows unloading of bulk material prone to jamming in a confined space for any breach of the expiry of gravity in a continuous stream.

Keywords: *gravity, bunker, gear, level, plate, chute, sinusoid, roller-bearing, diaphragm.*

BIBLIOGRAPHY

1. Spivakovskiy A.O. (and others) Transporting Machines. M.: Machinery, 1983. 488p.
2. Patent RF №2363647 B65G65/23. Device for discharging bulk material from a bunker./ Konoplev V.I., Anufriev V.I., Anufriev S.V. Published 10.08.2009 Ballot №22.

Konoplev Vasily Ivanovich

Tula state University, Tula
Ph. D, docent
Phone:(4872) 33-22-88
E-mail: ptm@tsu.tula.ru

Anufriev Valery Ivanovich

Tula state University, Tula
Ph. D, docent
Phone:(4872) 33-22-88
E-mail: ptm@tsu.tula.ru

МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ **И ИНСТРУМЕНТЫ**

УДК 621.048

А.П. СЕРГИЕВ, Д.А. ПРОСКУРИН, А.В. МАКАРОВ, А.Ю. ЕРЕМЕНКО, А.С. ДОЛГИХ

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ ВИБРАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ

В статье дано теоретическое обоснование и экспериментальное подтверждение формирования в сыпучей среде продольных волн сжатия-разряжения, показана возможность оптимизации процесса съема металла при настройке системы на формирование стоячей или бегущей волны.

Ключевые слова: виброфиниш, продольная волна, гранулированная среда, зона сжатия и разряжения, бегущая волна, оптимизация.

Исследование физической сущности процесса виброфинишной обработки в свободных абразивных средах позволило выявить основные параметры, определяющие его технологические возможности [1].

Интенсивность процесса обработки в абразивных средах определяется от полезной работы, совершаемой при взаимодействии абразивных гранул, выполняющих роль режущего инструмента, с обрабатываемой поверхностью [2].

Определяющим требованием построения адекватной математической модели является необходимость соблюдения размерности физических величин и их сочетания в модели, что открывает возможность физического осмысления полученного результата.

Повышенные требования к адекватности, как правило, связаны с увеличением числа факторов и значительному усложнению модели, что может привести к громоздким, порой необозримым, системам уравнений, не поддающимся изучению [3]. Как отмечают Р. Акоф и М. Сасиени [4], степень понимания явления обратно пропорциональна числу переменных, фигурирующих в его описании, а У. Прагер [5] замечает, что введение в модель слишком большого числа факторов может создать ложное согласие между результатами моделирования и эксперимента, которое будет ошибочно интерпретировано, как подтверждение истинности модели до тех пор, пока ее использование в несколько измененных условиях не обнаружит ее неадекватность.

Таким образом, становится целесообразным создание достаточно простой модели по отношению к выбранной системе определяющих параметров, что дает возможность при незначительных затратах труда и с разумной точностью провести анализ выбранных факторов и осмыслить физический смысл, качественные и количественные характеристики объекта исследования.

При взаимодействии внутренней поверхности контейнера с гранулированной технологической средой частицам в прилегающем слое передаются колебания той же частоты.

В работе [3] отмечается, что исследование модели тем успешнее, чем больше учтено аргументированных соображений о предполагаемых свойствах изучаемого объекта, отвечающих цели исследования, стараться кратчайшим путем идти к цели, без ненужной детализации.

В работе [6] рассматривается модель из цепочки соударяющихся частиц под действием вибрации. Исследование модели показало, что частота столкновений между частицами значительно превышает частоту вибрации, что неоднократно наблюдалось нами при анализе движения частиц, зафиксированном скоростной кино съемкой [7-8].

В основу разработки модели логично принять возникновение и распространение продольных волн в упруго-вязкой среде за счет подбора значений амплитуды и частоты колебаний.

При прохождении продольной волны в среде создаются чередующиеся сгущения и разрежения частиц, которые перемещаются в направлении распространения волны со скоро-

стью v , при этом различные частицы колеблются со сдвигом по фазе, повторяющейся через 2π , что составляет длину волны λ с периодом T : $\lambda = vT$.

При каждом колебании возникает одно сгущение и одно разрежение волны. К тому моменту, как источник будет завершать колебание, первое сгущение успеет пройти путь λ . Если ширина контейнера $B < \lambda$, тогда время распространения волны $t < T$ и зона разрыхления может полностью не сформироваться, что отрицательно скажется на условиях осуществления микрорезания.

Распространяясь от источника колебаний, волновой процесс охватывает все новые и новые части пространства, образуя фронт волны. Фронт волны представляет собой ту поверхность, которая отделяет часть пространства, уже вовлеченную в волновой процесс к моменту времени t , от области, в которой колебания еще не возникли, т.е. волновой фронт все время перемещается.

Геометрическое место точек, колеблющихся в одинаковой фазе, образует волновую поверхность. Волновых поверхностей может образоваться несколько в пространстве, охваченном волновым процессом. Следовательно, волновых поверхностей существует бесконечное множество, в то время как волновой фронт в каждый момент времени только один. Волновые поверхности остаются неподвижными (они проходят через положения равновесия частиц, колеблющихся в одинаковой фазе).

Волновые поверхности могут быть любой формы. В простейших случаях они имеют форму плоскости, сферы или определяются формой контейнера.

Скорость распространения продольной волны в гранулированной среде во многом определяет механизм взаимодействия обрабатываемых тел с поверхностями деталей. Упруго деформированная среда, возвращаясь в недеформированное состояние после контакта со стенкой рабочей камеры, способна совершить работу, т.е. обладает запасом энергии.

Плотность энергии в каждый момент времени в разных точках пространства различна и изменяется по закону квадрата синуса. Среднее значение плотности энергии в каждой точке среды будет равно:

$$\bar{w} = \frac{1}{2} \rho A^2 \omega^2 \quad (1)$$

Плотность энергии и ее среднее значение (1) пропорциональны плотности среды ρ , квадрату частоты ω и квадрату амплитуды волны A .

Итак, среда, в которой возникает волна, обладает дополнительным запасом энергии, которая доставляется от источника колебаний в различные точки среды самой волной. Поток энергии – скалярная величина, размерность которой совпадает с размерностью мощности. Зная плотность потока энергии в различных точках поверхности и поток энергии через эту поверхность можно спрогнозировать интенсивность и равномерность обработки всех элементов поверхности изделия.

Для экспериментального исследования распределения продольных волн в гранулированной среде была проведена скоростная киносъемка камерой СКС-1М, обеспечивающая 64 кадра за одно колебание контейнера. Контейнер шириной $B=200$ мм, заполненный стальными полированными шариками $\varnothing 5$ мм, имел прозрачную торцевую стенку, освещенную мощным источником света, оставляющим яркие блики на контактирующих со стенкой точках шариков, что позволяло зафиксировать траектории их перемещения в течение почти полного периода колебаний. Стабильность круговых колебаний контейнеру по всему сечению обеспечивалась синтезом горизонтальной и вертикальной составляющих амплитуды колебаний с жесткой кинематической связью смещения их фазы на 90° .

Составляющие амплитуды задавались жесткими эксцентриковыми толкателями, насаженными на валы приводных бабок, что исключало возможность демпфирования колебаний от взаимодействия с гранулированной средой, вязкость и диссипативные свойства которой оказывают существенное влияние при возбуждении колебаний инерционными вибро-возбудителями.

Кинематика устройства позволяла синтезировать линейные, эллиптические и круговые колебания с любым соотношением горизонтальных и вертикальных составляющих от 0 до 5 мм.

Частота колебаний задавалась дискретно 900, 1400 и 2200 об/мин от двигателя постоянного тока П-41.

Для определения величины съема металла за 1 час обработки использовались образцы цилиндрической формы $\varnothing 15 \times 30$ мм из нормализованной стали 45.

Для сохранения прозрачности во всех экспериментах гранулированная среда (абразивные гранулы ЭКЧ-5К ЧТ средним диаметром 10-15 мм и массой 20 кг) непрерывно промывалась водой с антикоррозионными присадками.

На рисунке 1а представлена структура распространения фронта волны по сечению контейнера и результирующий вектор волны, распространяющийся от точки взаимодействия поверхности контейнера через гранулированную среду.

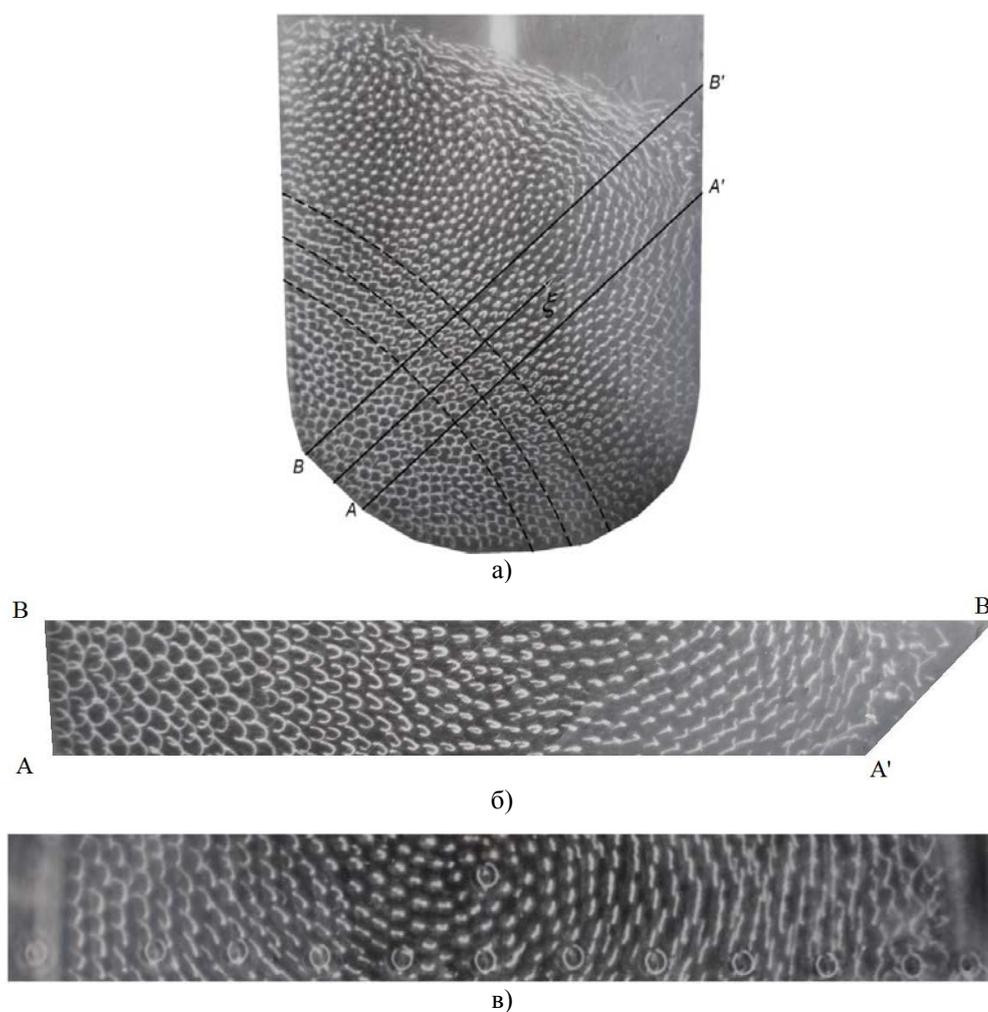


Рисунок 1 – Распространение фронта волны в контейнере

а – структура распространения фронта волны по сечению контейнера и результирующий вектор волны ζ ;

б – зона разрыхления, уходящая в открытое пространство;

в – зона разрыхления в случае распространения волны от стенки к стенке

На рисунке 1б и 1в зафиксированы зоны сжатия и разрыхления. Необходимо отметить, что зона разрыхления, уходящая в открытое пространство (верх контейнера) значительно протяженнее, чем в случае распространения волны от стенки к стенке через центр масс среды, специально отмеченной серией индикаторов жестко прикрепленных к наружной стенке контейнера (рис. 1в).

Последнее обстоятельство является основополагающим в оптимизации интенсивности процесса.

Как показано в аналитической части исследования, съем металла может осуществляться только в зоне разрыхления, где существуют условия для перемещения абразивных гранул относительно обрабатываемых поверхностей.

Логично предположить, что по мере возрастания подводимой энергии колебаний, т.е. увеличения величины вектора Умова, зона сжатия (уплотнения) будет увеличиваться, а зона разрыхления уменьшаться и, несмотря на увеличение единичных актов микрорезания, общая интенсивность процесса будет замедляться и компенсироваться увеличением зоны разрыхления в открытой верхней зоне контейнера, но это приводит к появлению побитостей и ухудшению параметров шероховатости. При дальнейшем увеличении частоты колебаний в системе появится возможность появления кратной частоты продольной волны, где будут возникать две зоны сжатия и две зоны разрыхления. Высказанное предположение наглядно подтверждается кривыми на рисунке 2, специально построенными по дискретным значениям параметров, где на всех частотах при определенных значениях амплитуд происходит снижение интенсивности процесса и формирование нового роста съема металла по мере формирования новых продольных волн на кратных частотах.

При определенном сочетании геометрических параметров рабочей камеры и упруго-вязких характеристик среды может установиться стоячая волна. Наблюдаемое явление особенно ярко наблюдается в тороидальных контейнерах, где волны не отражаются от противоположных стенок, а циркулируют по окружности.

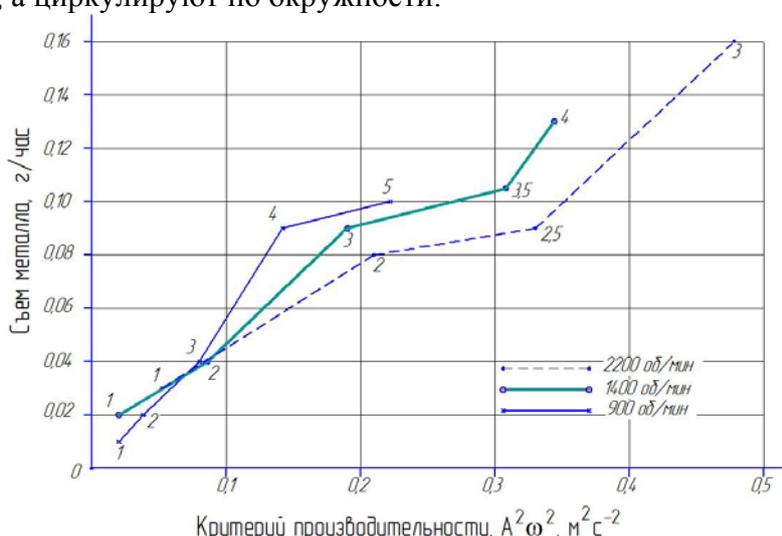


Рисунок 2 – Зависимость съема металла от частоты колебаний цифрами обозначены значения амплитуд A , мм.

Нами экспериментально установлено [10], что при реализации режима бегущей волны интенсивность процесса возросла более чем в 20 раз, что открывает широкие возможности существенного сокращения технологического времени обработки и себестоимости процесса за счет индивидуальной настройки действующих вибротехнологий на оптимальные режимы, которая легко осуществляется заменой дискретных частот колебаний на оптимальные с помощью частотных преобразователей.

Аналитические и экспериментальные исследования показали, что математическая модель, обеспечивающая максимальную интенсивность съема металла при виброфинишной обработке, будет определяться зависимостью:

$$M_{\text{сфт}} = f(A^2\omega^2), \text{ при } \omega \rightarrow \omega_{\text{сфт}} \quad (2)$$

Оптимизацию режимов обработки целесообразно осуществлять подбором частоты колебаний при фиксированных значениях амплитуд. Форма и объем контейнера, а также состав гранулированной среды влияют на значение постоянного коэффициента, определяющего тангенс угла наклона кривой. Использование современных частотных преобразователей позволяет провести процедуру настройки вибротехнологии в кратчайшее время, после чего оптимальный режим фиксируется в виброприводе и отражается в технологическом процессе.

При упрочнении поверхностей закрепленных изделий в среде стальных шариков наблюдается неравномерная степень упрочнения некоторых поверхностей сложной формы.

В этих случаях целесообразно подобрать несколько режимов для каждого участка обработки и составить программу изменения частоты колебаний и времени обработки для каждого значимого элемента поверхности для обеспечения суммарного равномерного упрочняющего воздействия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сергиев, А.П. Физические основы виброобработки / А.П. Сергиев // Производственно-технический бюллетень. М., 1964. - №7. – С. 53 – 58.
2. Сергиев, А.П. Влияние основных параметров процесса виброобработки на величину и характер металлосоема / А.П. Сергиев // Вопросы динамики и прочности. – Рига.: Зинатне, 1971. - №21. – С. 87 – 100.
3. Блехман, И.И. Прикладная математика. Предмет, логика, особенности подходов. С примерами из механики / И.И. Блехман, А.Д. Мышкис, Я.Г. Пановко. – 4-е изд. – М.: Издательство ЛКИ, 2007. – 376 с.
4. Акоф, Р. Основы исследования операций / Р. Акоф, М. Сасени. – М.: Мир, 1971. – 536 с.
5. Прагер, У. Вводные замечания / У. Прагер. // Математика наших дней. – М.: Знание, 1976. – С. 5 – 16.
6. Кремер, Е.Б. Одномерная динамическая континуальная модель сыпучей среды / Е.Б. Кремер, А.Я. Фиулин. // ДАН СССР. – 1989. – Т. 309, №4.
7. Сергиев, А.П. Объемная вибрационная обработка деталей / А.П. Сергиев. – М.: Изд-во, 1972. – 128 с.
8. Сергиев, А.П. Особенности движения массы загрузки в различных зонах рабочего контейнера вибромашины / А.П. Сергиев, В.А. Анпилогов // Вестник машиностроения. – 1989. - №3. – С. 83 – 100.
9. Сергиев, А.П. Инновационная математическая модель вибрационной технологии / А.П. Сергиев, Д.А. Проскурин, А.С. Долгих // Механика ударно-волновых процессов в технологических системах: сб. статей международной научно-технической конференции. - Ростов н/Д, 2012. – С. 283-293.
10. Сергиев, А.П. Гидроротационная отделочная обработка в режиме бегущей волны / А.П. Сергиев, Е.И. Антипенко, О.В. Иванов, Ю.В. Марченко // Вестник Приазовского Госуниверситета. - Мариуполь, 1997. - №3. – С. 124-128.

Сергиев Аркадий Петрович

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) НИТУ «МИСиС»
Профессор кафедры «Технологии и оборудование в металлургии и машиностроении»
Тел.: +7 (919) 4308250
E-mail: omd_sti_misis@mail.ru

Проскурин Денис Александрович

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) НИТУ «МИСиС»
Ассистент кафедры «Технологии и оборудование в металлургии и машиностроении»
Тел.: +7 (960) 6235346
E-mail: deninio@mail.ru

Макаров Алексей Владимирович

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) НИТУ «МИСиС»
Доцент кафедры «Технологии и оборудование в металлургии и машиностроении»
Тел.: +7 (952) 4359010
E-mail: makarov.av@mail.ru

Еременко Алексей Юрьевич

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) НИТУ «МИСиС»
Доцент кафедры «Технологии и оборудование в металлургии и машиностроении»
Телефон: +7 (951) 1512019
E-mail: al_remenko@mail.ru

Долгих Антон Сергеевич

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) НИТУ «МИСиС»
Аспирант кафедры «Технологии и оборудование в металлургии и машиностроении»
Телефон: +7 (4725) 422989
E-mail: omd_sti_misis@mail.ru

A.P. SERGIEV, D.A. PROSKURIN, A.V. MAKAROV, A.Ju. EREMENKO, A.S. DOLGIH

OPTIMIZATION OF MODES VIBRO FINISHING TREATMENT

In this article given a theoretical evidence and experimental confirmation of a formation in granular medium longitudinal wave compression-underpressure, shown a possibility of optimization of metal removal when a system setup on the formation of a standing or traveling wave.

Keywords: vibro finish, longitudinal wave, granular medium, area compression and underpressure, traveling wave, optimization.

BIBLIOGRAPHY

1. Sergiev, A.P. Fizicheskie osnovy vibroobrabotki / A.P. Sergiev // Proizvodstvenno-tehnicheskij bjulleten'. M., 1964. - №7. – S. 53 – 58.
2. Sergiev, A.P. Vlijanie osnovnyh parametrov processa vibroobrabotki na velichinu i harakter me-tallos#ema / A.P. Sergiev // Voprosy dinamiki i prochnosti. – Riga.: Zinatne, 1971. - №21. – S. 87 – 100.
3. Blehman, I.I. Prikladnaja matematika. Predmet, logika, osobennosti podhodov. S primerami iz mehaniki / I.I. Blehman, A.D. Myshkis, Ja.G. Panovko. – 4-e izd. – M.: Izdatel'stvo LKI, 2007. – 376 s.
4. Akof, R. Osnovy issledovanija operacij / R. Akof, M. Sasieni. – M.: Mir, 1971. – 536 s.
5. Prager, U. Vvodnye zamechanija / U. Prager. // Matematika nashih dnei. – M.: Znanie, 1976. – S. 5 – 16.
6. Kremer, E.B. Odnomernaja dinamicheskaja kontinual'naja model' sypuchej sredy / E.B. Kremer, A.Ja. Fiu-lin. // DAN SSSR. – 1989. – T. 309, №4.
7. Sergiev, A.P. Ob#emnaja vibracionnaja obrabotka detalej / A.P. Sergiev. – M.: Izd-vo, 1972. – 128 s.
8. Sergiev, A.P. Osobennosti dvizhenija massy zagruzki v razlichnyh zonah rabocheho kontejnera vibromashiny / A.P. Sergiev, V.A. Anpilogov // Vestnik mashinostroenija. – 1989. - №3. – S. 83 – 100.
9. Sergiev, A.P. Innovacionnaja matematicheskaja model' vibracionnoj tehnologii / A.P. Sergiev, D.A. Proskurin, A.S. Dolgih // Mehanika udarno-volnovyh processov v tehnologicheskikh sistemah: sb. statej mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoi konferencii. - Rostov n/D, 2012. – S. 283-293.
10. Sergiev, A.P. Gidrorotacionnaja otdelochnaja obrabotka v rezhime begushhej volny / A.P. Sergiev, E.I. Antipenko, O.V. Ivanov, Ju.V. Marchenko // Vestnik Priazovskogo Gosuniversiteta. - Mariupol', 1997. - №3. – S. 124-128.

Sergiev Arkadij Petrovich

Sary Oskol University named by Ugarov A.A. (branch) National University of Science and Technology «MISiS»
The professor of Department "Technology and equipment in metallurgy and machine-building"
Phone: +7 (919) 4308250
E-mail: omd_sti_misis@mail.ru

Proskurin Denis Aleksandrovich

Sary Oskol University named by Ugarov A.A. (branch) National University of Science and Technology «MISiS»
Postgraduate, the assistant of Department "Technology and equipment in metallurgy and machine-building"
Phone: +7 (960) 6235346
E-mail: deninio@mail.ru

Makarov Aleksej Vladimirovich

Sary Oskol University named by Ugarov A.A. (branch) National University of Science and Technology «MISiS»
The associate professor of Department "Technology and equipment in metallurgy and machine-building"
Phone: +7 (952) 4359010
E-mail: makarov.av@mail.ru

Eremenko Aleksej Jur'evich

Sary Oskol University named by Ugarov A.A. (branch) National University of Science and Technology «MISiS»
The associate professor of Department "Technology and equipment in metallurgy and machine-building"
Phone: +7 (951) 1512019
E-mail: al_erenko@mail.ru

Dolgih Anton Sergeevich

Sary Oskol University named by Ugarov A.A. (branch) National University of Science and Technology «MISiS»
Postgraduate of Department "Technology and equipment in metallurgy and machine-building"
Phone: +7 (4725) 422989
E-mail: omd_sti_misis@mail.ru

СНИЖЕНИЕ ШУМА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Представлен комплекс технических решений, направленных на снижение излучаемого энергетическими установками звукового давления.

Ключевые слова: шум, вибрация, глушитель шума, турбомашина.

В основу современного технического прогресса положено постоянное наращивание производительности энергетических установок. Модернизация энергоблоков, как правило, приводит к снижению металлоемкости агрегатов, а в условиях увеличения параметров газо-воздушных потоков и развиваемых мощностей это вызывает рост уровня виброактивности элементов установок и, как следствие, повышение интенсивности излучаемого ими звукового давления газодинамического и механического происхождения.

Высокий уровень акустического давления, генерируемого турбоустановками, негативно отражается на условиях труда обслуживающего персонала станций и быта жителей селитебных зон. Установлено, что при работе с повышенными уровнями шума производительность труда может снизиться на 40 % и существенно сократится продолжительность жизни человека. Поэтому, наряду с совершенствованием технико-экономических показателей энергетического оборудования, снижение виброакустической активности турбоустановок приобретает первостепенное значение.

Рассмотрим эффективные методы конструктивной модернизации элементов мощных турбоблоков различного класса и назначения, направленной на снижение генерируемой ими акустической мощности [1...5].

1. Направляющие аппараты турбомашин

В турбомашине генератором высокого шума служит проточная часть, например сопловые аппараты. Вблизи концов направляющих лопаток в погранслоях на ограничивающих поверхностях каналов возникают сложные вторичные течения, вызываемые вязкостью рабочего тела и разностью давлений на вогнутой и выпуклой сторонах смежных профилей.

Вдоль торцевых поверхностей направляющих аппаратов (НА) под влиянием разности давлений происходит перетекание теплоносителя. На спинке лопатки в периферийном и корневом сечениях радиальные градиенты давления, направленные к ядру потока, содействуют интенсификации вторичных течений. В результате в периферийной и корневой зонах канала формируются вихревые течения, вращающиеся относительно оси, практически совпадающей с направлением основного потока.

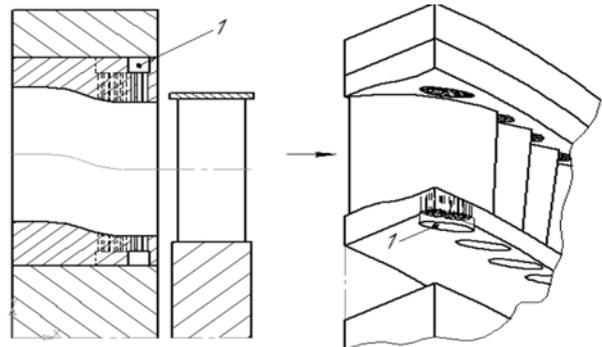


Рисунок 1 – Сопловой аппарат с резонаторами 1

Существенно сократить вихревые явления в направляющей решетке, стабилизировать течение рабочего тела и, как следствие, снизить тепловые потери и мощность излучаемой звуковой энергии можно путем размещения вдоль внутренних и внешних обводов межлопаточных каналов соплового аппарата (в зоне повышенных скоростей потока) акустических резонаторов – демпферных камер, отделенных от флюида перфорированной стенкой, обеспечивающей прозрачность для звуковых и аэродинамических волн, что уменьшит нестационарность течений (рис. 1).

При этом наибольший экономический и акустический эффект может быть получен в турбинных отсеках с криволинейными формами меридиональных обводов. Перфорирован-

ные каналы таких глушителей, которые могут выполняться одно- или двухслойного типа, следует располагать по потоку, размещая их в области выпуклой поверхности сопловых лопаток, где преимущественно формируются интенсивные вихреобразования (рис. 1).

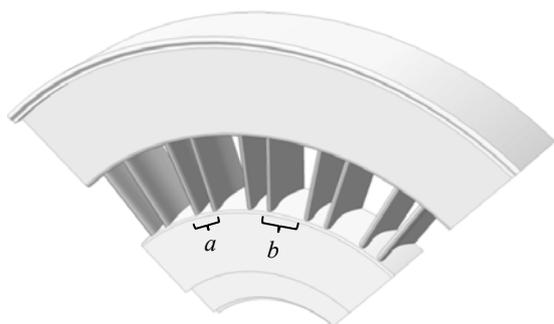


Рисунок 2 – Диафрагма с разношаговым расположением лопаток

правило, равномерно размещаются в окружном направлении, а потому РЛ попадают в зоны изменения интенсивности давления теплоносителя с постоянной периодичностью, что вызывает их вибрацию с шаговой частотой и при определенных режимах работы ступени и конструктивном оформлении рабочего венца может привести к преобразованию всей вибрационной энергии в максимальную амплитуду его колебаний, сформировав при этом высокие уровни акустического давления.

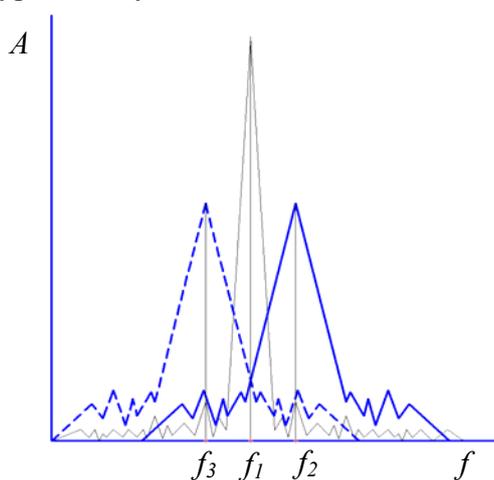


Рисунок 3 – Спектр амплитуд колебаний РЛ

При этом, для поддержания окружного силового баланса статора и крутящего момента ротора поток теплоносителя, проходящий через верхнюю и нижнюю части НА, должен быть примерно одинаков. Для обеспечения такого сбалансированного течения число комбинаций сопел в каждой полудиафрагме следует принимать примерно равным (независимо от способа их расположения).

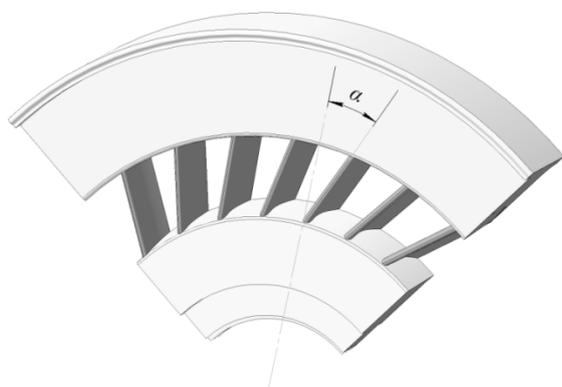


Рисунок 4 – Диафрагма с сопловыми лопатками, установленными с «навалом»

Учитывая, что течение энергоносителя в направляющих решетках турбомашин сопровождается интенсивными вторичными течениями с возможным отрывом пограничных слоев на поверхностях обводов, передача энергии потока на рабочие лопатки (РЛ) турбинной ступени происходит в условиях его импульсного воздействия, вызывая вибрацию и шум рабочих колес (РК).

В диафрагмах сопловые каналы, как

С целью сокращения резонансных явлений в проточной части турбомашин в отдельных конструкциях следует располагать направляющие лопатки (НЛ) в сопловых аппаратах не с постоянным шагом, а с меняющимся в окружном направлении (рис. 2). При этом сопла диафрагмы приобретают различный профиль, например типов *a* и *b* (рис. 2). Компоновку сопел и их профилей следует формировать в определенной комбинации, причем в ней могут быть использованы и сопла смежного типа. Комбинировать их по окружности можно в различной последовательности – в зависимости от режима работы турбомашин, параметров энергоносителя и геометрии РЛ, влияющих на вибрационные характеристики рабочего венца.

Характер виброакустической активности РЛ исходной и модернизированной ступеней проиллюстрирован на рис. 3, из которого видно, что при установке сопел с равным шагом на спектре амплитуд наблюдается их максимум при прохождении частоты f_1 .

Энергия колебаний при неравномерном расположении сопел распадается на множество импульсов со сторонними частотами f_2, f_3 и другими, формирующими меньшие амплитуды колебаний РЛ, что, как следствие, сократит и уровень излучаемой турбинным отсеком звуковой мощности.

Снижение виброакустической активности

рабочего венца может быть получено и при расположении сопловых лопаток в НА с «навалом» (некоторым углом к радиальному направлению, рис. 4), в результате чего РЛ будут постепенно входить в зону кромочного следа, что существенно сократит возбуждающую аэродинамическую силу.

2. Выхлопные устройства турбомашин

Выхлопные устройства турбомашин с целью повышения их жесткости и организации течения выходных газов в каналах тракта снабжают силовыми стойками (ребрами), которые, контактируя с потоком, могут стать причиной образования интенсивных ударных аэродинамических волн. В случае распространения ударных волн вверх по течению в проточной части формируется противодавление, воздействующее на ротор, что способствует возбуждению РЛ и росту виброакустической активности установки.

Как видно, существует потребность создания конструкций силовых элементов, позволяющих сократить неравномерность течений рабочего тела в выхлопном отсеке.

На рисунке 5 приведены аэродинамически усовершенствованные варианты выхлопных устройств турбомашин (развертки выходных колец патрубков). На рисунке 5 а показано кольцо 1 с размещенными на нем несколькими парами НЛ 2, служащими для организации подвода рабочего тела к силовым элементам 3. НЛ образуют диффузорный канал, обеспечивающий некоторое отклонение потока от профиля силовой стойки и снижение скоростей у ее передней кромки, чем достигается подавление ударной волны от взаимодействия потока с ребром. При этом НЛ должны иметь геометрическую форму, обеспечивающую эффективное преобразование энергии набегающего на стойку потока и ее сокращение в области входной кромки стойки.

Возможен вариант модернизации выхлопного устройства с использованием силовых стоек с управляемым пограничным слоем (УПС) [1], при использовании которых исключается необходимость размещения направляющих лопаток.

В варианте силовой стойки 4 с УПС (рис. 5 б) поток попадает в ее полость через открытую входную кромку (конфузорно-диффузорный канал) и вытекает за миделевым сечением вдоль поверхности профиля из специальных конфузорных щелей под малыми углами, сдувая заторможенный пограничный слой и предотвращая его отрыв. Это позволит существенно сократить нестационарные аэродинамические силы, возникающие при обтекании потоком силовых стоек (особенно при неосевом его входе), снизить виброакустическую активность выхлопного тракта, что очень важно с учетом размещения в этой области подшипников турбомашин.

Высоким уровнем звукового давления обладают также выхлопные тракты газотурбинных двигателей (ГТД). Основными источниками акустической мощности на выхлопе ГТД являются шум сгорания топлива, турбулентный шум и шум от вращения ротора. Шум от сгорания топлива возникает в камере сгорания, турбулентный – включает в себя все динамически неустойчивые явления в результате высоких скоростей потока выхлопных газов и их периодические воздействия на корпус выхлопного тракта. Шум ротора является результатом прохождения рабочих лопаток мимо сопловых сегментов, что создает пульсации давления, которые распространяются в область выхлопа.

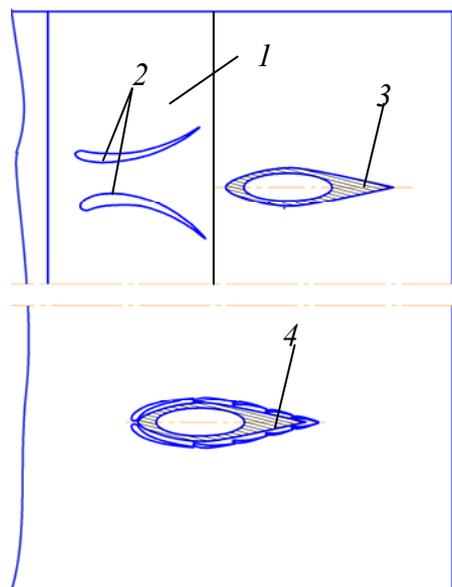


Рисунок 5 – Развертка выхлопной части турбин

а – вариант с НЛ; б – вариант с стойкой с УПС

В результате этих процессов в установке формируется звуковое давление, а потому существует необходимость оснащения выходных трактов ГТД шумоподавляющими устройствами, обеспечивающими снижение турбулентности потока выходных газов и, как следствие, акустической мощности турбомашин.

Одним из вариантов такого устройства является конструкция выхлопного глушителя, приведенная на рисунок 6 а.

Система шумоглушения включает входную диффузную часть 1 для приема выпускных газов и выходной канал 2, формирующий дальнейшее движение потока, вдоль тракта которого размещены силовые элементы 3, форма и расположение которых должны сократить число образующихся в канале звуковых волн. С этой целью они устанавливаются в выхлопном тракте под некоторым углом α к набегающему потоку, на определенном расстоянии друг от друга, с первоначальным расположением по потоку узких стоек.

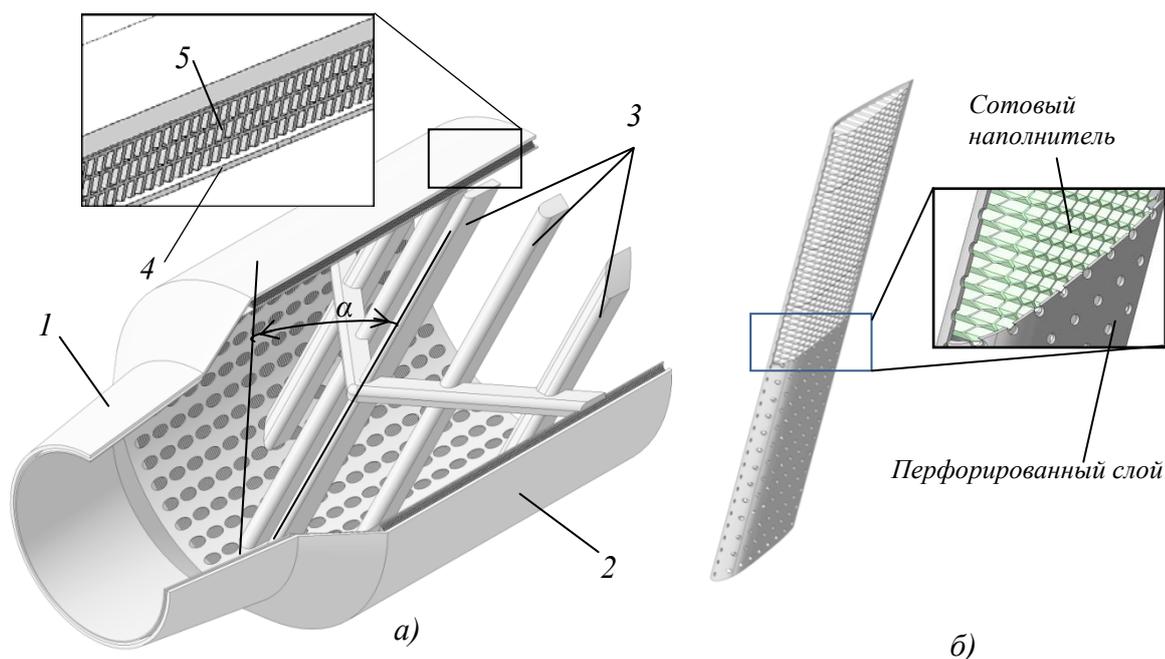


Рисунок 6 – Выхлопной глушитель газовой турбины

а – система шумоглушения выхлопного устройства; б - шумопоглощающая стойка

Такое размещение силовых элементов будет способствовать, наряду с уменьшением уровня шума, снижению низкочастотных колебаний в выпускном тракте. При этом стойки 3 следует выполнить с перфорированной (акустически прозрачной) поверхностью, оснатив их внутреннюю полость мелкоячеистой плетеной металлической сеткой или сотовой структурой, настроенной на определенный частотный диапазон (рис. 6 б).

Корпус выхлопного устройства ГТД следует также обеспечить системой шумоглушения (рис. 6 а). Конструкция его должна быть многослойной, с размещением между внутренней перфорированной поверхностью 4 и внешним корпусом звукопоглощающего наполнителя 5, например металлической сетки различных форм плетения.

3. Агрегаты с газотурбинным приводом

3.1. Газоперекачивающие агрегаты с газотурбинным приводом

Увеличение мощности и производительности ГПА, работающих на компрессорных станциях магистральных газопроводов, осуществляется в основном посредством интенсификации энергетических процессов, повышения параметров циклов и динамических нагрузок, за счет чего значительно возрастает излучаемое энергоблоками звуковое давление, снижается работоспособность и безопасность труда обслуживающего персонала.

По физической природе шум ГПА включает аэродинамическую и механическую составляющие. Первая формируется за счет вихреобразования на входе в компрессор, пульсирующего давления в камере сгорания, аэродинамических процессов в проточной части турбомашин, газодинамических явлений в их входных и выходных отсеках, неоднородности потока во всасывающем и выхлопном трактах нагнетателя природного газа.

Механические шумы образуются в результате динамических воздействий элементов агрегата вследствие дисбаланса роторов, вибрации лопаточных венцов, нарушений геометрии подшипниковых узлов и др.

При этом газозвушной шум, излучаемый каналами всасывания и выхлопа ГПА, является главным источником акустического воздействия энергоустановок на прилегающие селитебные зоны. Эти тракты представляют собой волноводы, свободно транспортирующие из зоны генерации в окружающую среду звуковую энергию, интенсивность которой может достигать 50% от общей акустической мощности агрегатов [1].

Снижение шума двигателей энергоблоков и патрубков этих установок может быть обеспечено облицовкой внутренней поверхности их корпусных элементов звукопоглощающими конструкциями (ЗПК), например одно- или двухсекционными ячеистыми оболочками, состоящими из перфорированной обшивки (металлической сетки) со стороны газового потока и системы сотовых (коробчатых) камер-резонаторов, настроенных на определенный частотный диапазон (рис. 7 а, б) [3].

Следует отметить, что в двухслойных оболочках, которые следует располагать, в области наибольшей интенсивности шума, вставки одного пояса по отношению к другому необходимо смещать на полшага с целью исключения прямолинейного течения акустических волн, что будет способствовать дополнительной диссипации их энергии.

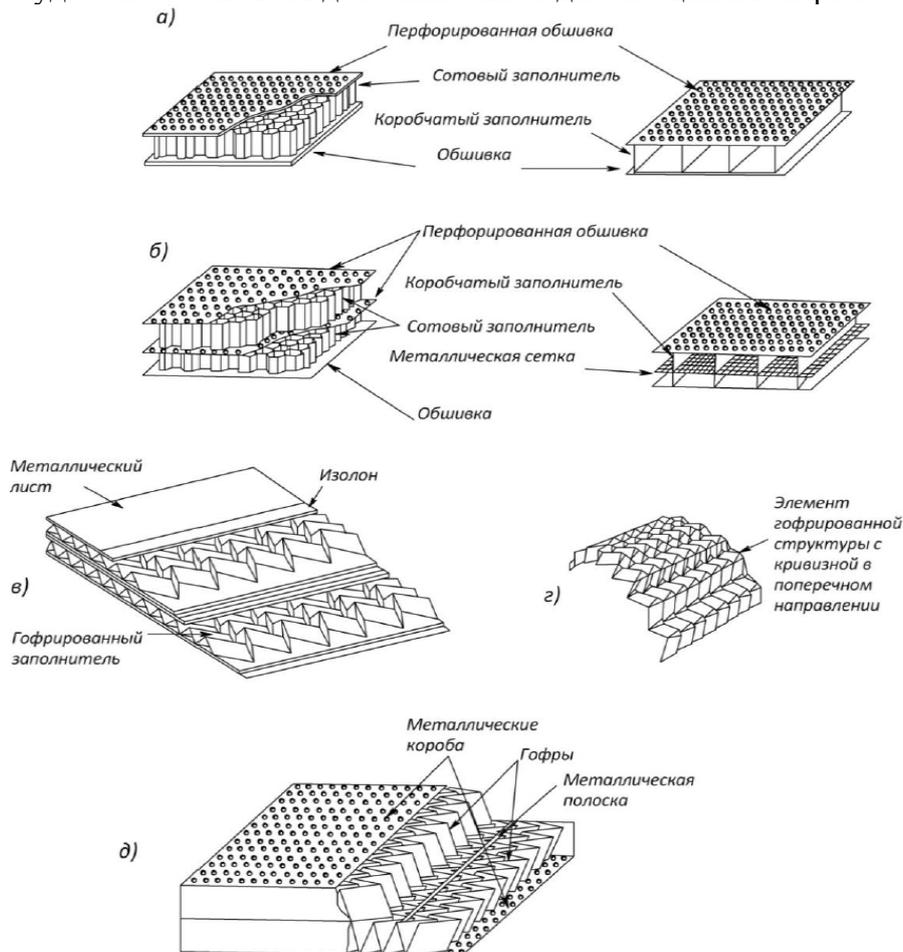


Рисунок 7 – Конструкции систем шумоглушения

а, б – соответственно одно- и двухсекционные внутренние звукопоглощающие панели с сотовым наполнителем; в, г, д – звукопоглощающие двухсекционные оболочки корпуса с наполнителем гофрированного типа

Процесс гашения звукового давления в таких резонаторах протекает следующим образом. Если параметры частоты, доминирующей в волновом спектре энергоносителя, равны или близки собственной частоте колебаний сотовой структуры поверхностных резонаторов, то в их полостях формируются интенсивные акустические колебательные процессы, что способствует рассеиванию волновой энергии газа в камерах ЗПК. Её непогашенная часть отражается через перфорированную стенку в сферу потока, а возникшая разнонаправленность течений будет способствовать гашению звукового давления на корпусные элементы и, как следствие, уровня излучаемого шума. Таким образом, при проектировании ЗПК необходимо обеспечить согласование частоты собственных колебаний резонансных камер (посредством оптимизации системы перфорации и геометрии камер) с частотным диапазоном акустического излучения теплоносителя.

Таковыми устройствами могут быть оснащены воздухозаборные камеры (ВЗК), проточная часть и выходные тракты газотурбинных двигателей.

Другое конструктивное решение заключается в создании ЗПК с наполнителем гофрированного типа, выполняемым в виде системы зигзагообразных каналов с чередующимися вершинами и углублениями (рис. 7 в, з). В такой конструкции образуются резонансные объемы переменной геометрии - камеры Гельмгольца, что позволяет существенно расширить диапазон эффективного звукопоглощения [2].

Отдельная секция (панель) такой ЗПК включает гофрированную структуру с размещенным между ней и внешним тонкостенным металлическим коробом прокладочным материалом с резко отличающимся импедансом. При температуре теплоносителя до 70°C с этой целью может быть использован изолон, а при более высоких значениях - базальтовый фетр. При работе двигателя излучаемое звуковое давление генерируется внутри такого контейнера. Эффективность подобных звукопоглощающих и звукоизолирующих устройств может быть повышена посредством применения многослойных панелей и использования наполнителя перфорированного типа, что позволит включить в процесс гашения шума весь объем резонансных камер. Следует также отметить, что ЗПК с гофрированным наполнителем обладают определенными преимуществами в сравнении с сотовыми конструкциями, т.к. последним свойственны: узкий диапазон эффективного звукопоглощения, низкая технологичность производства, сложность использования в кольцевых каналах, трудность удаления конденсата. Кроме того, импеданс сотовой многослойной системы мало зависит от материала сот ввиду параллельности их стенок фронту звуковых волн, а потому практически не препятствующих распространению звука.

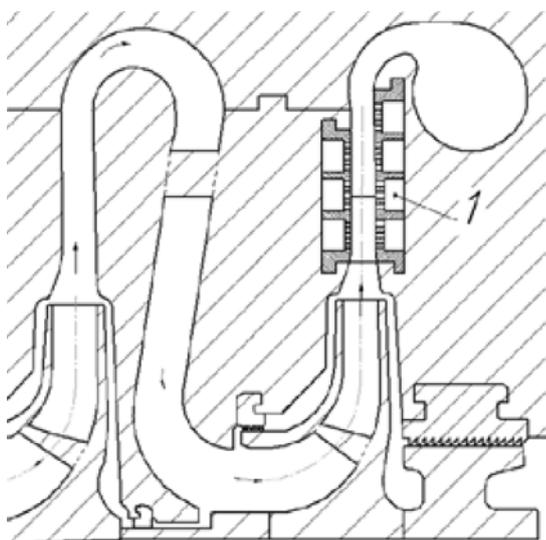


Рисунок 8 – ЦБН с матрицей резонатора 1

У панелей гофрированного типа стенки, ограничивающие резонансный объем, расположены под различными углами наклона к фронту волн, препятствуя их распространению. Поэтому импеданс таких панелей зависит от материала структуры, ее геометрических форм и степени проницаемости.

При использовании таких ЗПК в ВЗК и выхлопных трактах газотурбинных двигателей их внутренние стенки выполняются перфорированными (рис. 7 д).

В композиции суммарной акустической мощности газоперекачивающих агрегатов большая доля звуковой энергии приходится на центробежные нагнетатели (ЦБН) газа, шумовое поле которых формируется в основном двумя факторами – высокоскоростным потоком за турбинным венцом, вызывающим максимальную амплитуду пульсаций акустической мощности, и взаимодействием аэродинамических сил рабочего колеса и диффузора.

С целью гашения шума этого агрегата следует установить вдоль поверхности выходного диффузора (лопаточного или безлопаточного типа) матрицу акустического резонатора – звуковой демпфер, состоящий из ряда кольцевых секций с размещенными в них камерами, отделенными от газового потока перфорированной стенкой пористостью 5...10 % (рис. 8).

При этом следует отметить, что размещение в диффузорах лопаточных аппаратов существенно повышает уровень излучаемого каналом звукового давления, а потому эффективность использования в таких трактах шумоглушащих устройств возрастает.

Относительные размеры, форма, количество, структура и расположение акустических секций (камер) должны выбираться в зависимости от геометрии проточной части нагнетателя газов, параметров энергоносителя, частотных характеристик генерируемых волновых процессов, что обеспечит интенсивное шумоглушение в широком диапазоне режимов работы турбокомпрессора.

При оборудовании ЦБН такими глушителями можно ожидать снижения излучаемой ими звуковой мощности на 10... 12 дБ без какого либо негативного воздействия на производительность компрессора. Внедрение системы шумоглушения обеспечит наряду со снижением виброакустической активности нагнетателя уменьшение интенсивности звукоизлучения трубопроводами подвода и выхода газа.

Наряду с изложенными конструктивными решениями, направленными на снижение излучаемой энергоблоками акустической мощности, многие агрегаты оборудуются внешними экранирующими кожухами.

При создании внешних экранирующих кожухов энергоустановок их поверхность следует оснащать высокоэффективными звукопоглощающими материалами (ЗПМ) типа Лайт-Баттс (минеральная вата на основе базальтовых пород) или БВТМ-ПМ (ультратонкое штапельное волокно), разместив заключенные в стеклотканевую оболочку (типа СЭ) секции из ЗПМ на внутренней и внешней поверхностях в шахматном порядке: одна ячейка с наполнителем, смежная – свободная (рис. 9).

3.2. Осевые компрессоры

Внедрение в широкую эксплуатацию в качестве энергопривода газотурбинных двигателей позволило существенно повысить надежность, маневренность и экономичность энергетических установок. Вместе с тем, как отмечалось, таким двигателям свойственен высокий уровень звуковой мощности, который формируется преимущественно за счет нестационарных процессов на входе в компрессор. Это создает ударные звуковые волны, формируемые преимущественно первой ступенью компрессора и излучаемые в окружающую среду воздухозаборным устройством ГТД, а потому существует потребность в разработке методов снижения мощности генерируемых акустических процессов. Одним из таких конструктивных решений является оборудование входной ступени осевого компрессора специальным периферийным устройством шумоглушения (рис. 10).

Устройство включает кольцевую камеру 1 в корпусе 4, сообщающуюся посредством радиально ориентированных сотовых вставок 3 с проточной частью 2 двигателя. Края сотовых отверстий согласованы с входной кромкой РЛ первой ступени компрессора 5, далее по потоку внешний обвод ступени выполнен сплошным.

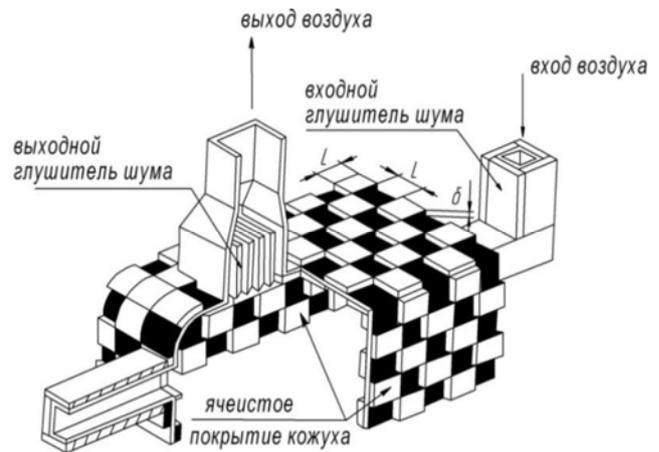


Рисунок 9 – Звукопоглощающий кожух с ячейковым покрытием ЗПМ

Работает устройство следующим образом. Пульсации давления газа, возникающие за РЛ, имеют вид сложных колебаний, спектр которых включает отдельные составляющие с частотой вибрации лопатки. Вращающийся над периферийной кромкой РЛ вихрь вытесняется в радиальном направлении в кольцевую периферийную камеру 1. При этом образующаяся в сотовых ячейках разнонаправленность течений газа, демпфирование вращающегося вихря, его взаимодействие с периферийным пограничным слоем происходят в области радиального зазора, т.е. вне лопаточных каналов РК, что уменьшит деформацию в них линий тока теплоносителя, сократит его непроизводительные протечки в проточной части.

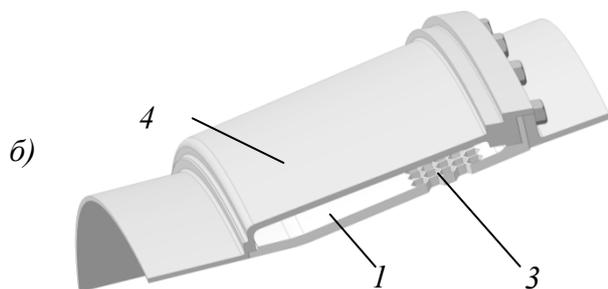
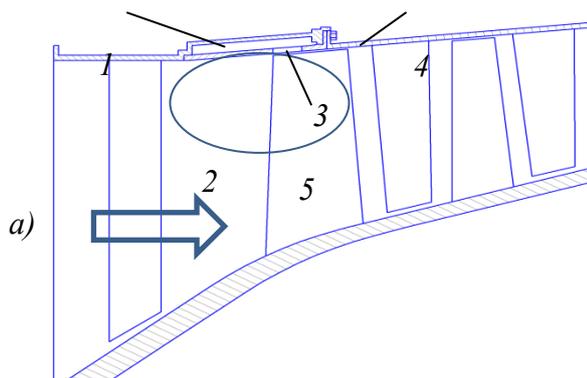


Рисунок 10 – Периферийное устройство шумоглушения компрессора

*а – проточная часть компрессора;
б – устройство шумоглушения*

Вращающийся вихрь при движении по сотовым каналам 3 в камеру 1 создает определенную турбулентность, а при обратных токах устраняет возникновение интенсивных волновых гармоник над первой по потоку РЛ, что снизит пульсации рабочего тела в области радиальных зазоров и уровень воздействующих на РК и корпус аэродинамических сил.

Такое устройство позволит улучшить виброакустические характеристики входного отсека компрессора и, как следствие, сократить уровень излучаемого шума в окружающую среду.

4. Агрегаты наддува двигателей внутреннего сгорания

Взаимодействие РЛ турбины турбокомпрессора с газовым потоком генерирует интенсивный высокочастотный шум, частота которого зависит от скорости вращения ротора. Рабочее колесо переносит этот шум через выхлопную систему в окружающую среду, что вызывает необходимость оснащения таких турбокомпрессоров звукопоглощающими аппаратами. В приведенном на рис. 11 его варианте выхлопные газы ДВС поступают через входной патрубок 3 корпуса 1 к рабочему колесу 4 турбокомпрессора и, совершив работу, направляются в выхлопной канал 2, оснащенный устройством подавления шума.

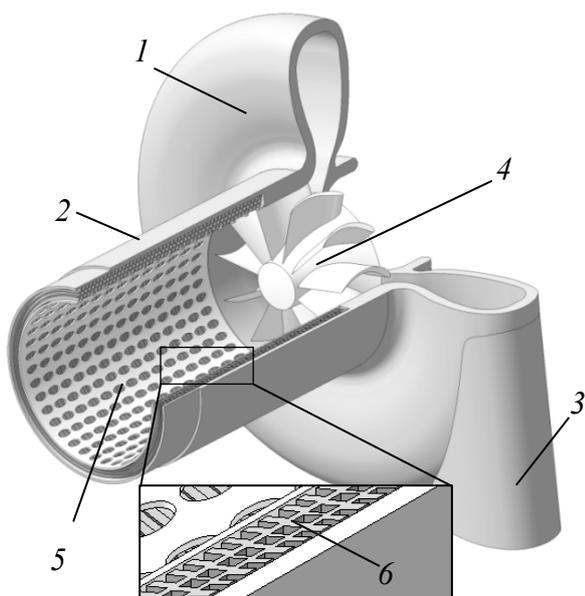


Рисунок 11 – Система звукопоглощения турбокомпрессора

Глушитель размещается под внешним корпусом 2 и включает внутреннюю перфорированную оболочку 5 и одно- или многослойный звукопоглощающий материал 6. Внутренняя перфорированная стенка (степень перфорации примерно 25-30%) позволяет пропускать высокочастотные звуковые волны в пористую структуру шумоглушения 6, выполненную, например, из мелкоячеистой проволоки различных форм плетения.

Такое устройство способствует уменьшению излучаемой турбокомпрессором звуковой мощности посредством:

- абсорбирующих свойств материала внутреннего слоя, обеспечивающего снижение интенсивности высокочастотных звуковых колебаний рабочей среды;
- многослойности выхлопного канала, что снижает вибрационную нагрузку на внешний корпус турбокомпрессора.

Высокий уровень акустической мощности в турбокомпрессорах различной мощности может генерировать собственно корпус агрегата.

Компрессорные ступени форсированных агрегатов турбонаддува, заключенные в обычный корпус, имеют некоторые ограничения в плане стабильности режимов работы при высоких степенях сжатия и максимальных расходах газа.

Выполнение в корпусе обводных каналов, как правило, увеличивает область устойчивых режимов работы компрессора в условиях создания высоких степеней сжатия воздуха, но при этом возможен рост уровня генерируемого турбокомпрессором шума.

С целью обеспечения благоприятных экологических характеристик турбокомпрессора следует осуществить конструктивную модернизацию корпуса, например по принципу, приведенному на рисунке 12.

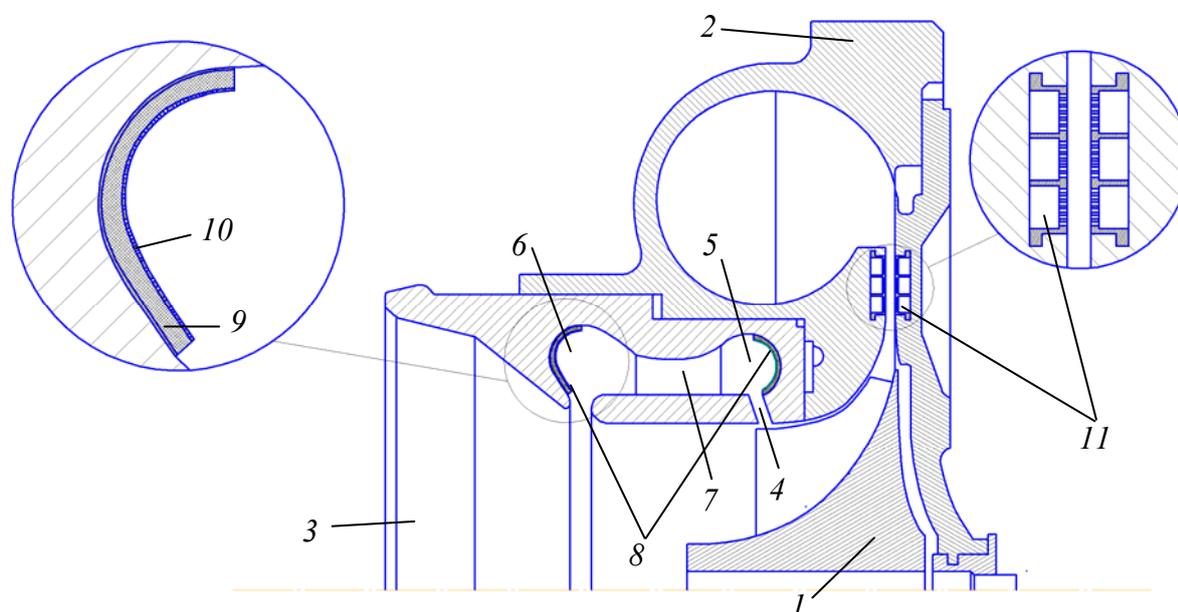


Рисунок 12 – Схема компрессора агрегата турбонаддува

Компрессорное колесо 1 агрегата турбонаддува располагается в корпусе 2, который конструктивно образует входной канал 3. В корпусе компрессора выполнены: кольцевая проточка 4, расположенная в непосредственной близости от РК и кольцевые камеры 5 и 6 сферической формы, сообщающиеся между собой кольцевым каналом 7, снабженным продольными ребрами.

Камеры 5 и 6 в обводном канале позволяют снизить уровень генерируемого корпусом звукового давления посредством разнонаправленного отражения от сферических поверхностей звуковых волн. Серия таких отражений исключает возможность совпадения волновых частот и обеспечит гашение их энергии с снижением амплитуд. Кроме того, полость 6, начиная с области газовпуска, исключает процессы распространения звуковых колебаний вниз по течению.

Дополнительное шумоглушение агрегата турбонаддува может быть обеспечено использованием внутри кольцевых камер специальных звукопоглощающих полуколец 8, включающих внутренний перфорированный слой 10 и звукопоглощающий наполнитель 9. Наряду с этим, существенно снизить уровень шума компрессора можно посредством размещения вдоль поверхности выходного диффузора акустических резонаторов 11 – звуковых демпферов, описанных ранее.

При конструировании акустически усовершенствованного корпуса ТК следует геометрию каналов, размеры и форму перфорации стенок в области систем шумоглушения, зоны расположения акустических камер выбирать в зависимости от геометрии проточной части компрессора, параметров газа, а также частотной характеристики генерируемых волновых процессов.

5. Регулирующие клапанные устройства

С целью улучшения акустических характеристик регулирующих клапанных устройств (затворов, свечей, например в газораспределительных системах), следует выполнить следующие мероприятия.

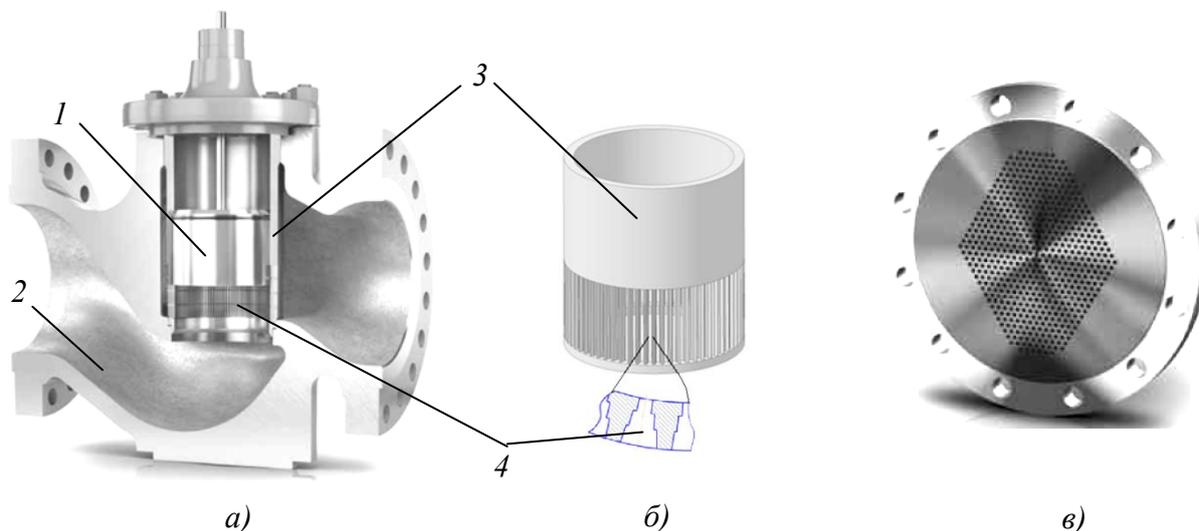


Рисунок 13 – Малошумный регулирующий клапан

а – регулирующий клапан; б – шумоглушающее устройство; в – дроссельная шайба

Регулирующий клапан 1 (рис. 13 а) размещается в аэродинамически совершенном корпусе 2, оборудованном цилиндром 3 с шумоглушающим устройством, проточная часть которого имеет вертикальные диффузорные каналы 4 ступенчатой формы. Создание таких каналов позволит снизить уровень генерируемого регулирующим клапаном звукового давления за счет:

- снижения взаимодействия вытекающих струй флюида, что предотвратит формирование дополнительной турбулентности потока за клапаном;
- смещения характеристик звукового поля в область высоких частот, менее чувствительных для органов слуха и способствующих снижению акустической мощности коллектора газа, имеющего низкую собственную частоту. В этом случае рост частоты звукового давления происходит посредством организации истечения газа из малых выходных отверстий в шумоглушающем устройстве.

Оптимальная геометрия щелевых ступенчатых диффузорных каналов должна выбираться в зависимости от расхода и физических свойств протекающего агента, что позволит управлять уровнем снижения генерируемого таким устройством шума.

Снижение излучаемой регулирующим клапаном акустической мощности можно также обеспечить установкой в его выходном тракте перфорированных (дроссельных) шайб с диффузорными отверстиями ступенчатого типа, которые будут способствовать вырождению турбулентности потока и создадут противодавление в этом канале (рис. 13 в). В зависимости от параметров газа определяется число устанавливаемых шайб, степень перфорации которых должна последовательно увеличиваться.

Внедрение результатов настоящих разработок в практику проектирования и модернизации энергетического оборудования тепловых и компрессорных станций позволит повысить его экономичность и надежность, а также обеспечить рекомендуемые стандартом ИСО-2000 показатели вибрации и шума в зоне действующих энергетических установок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Апостолов, А.А. Акустические характеристики газотурбинных газоперекачивающих агрегатов магистральных газопроводов / А.А. Апостолов, И.Г. Гоголев, А.М. Дроконов, Н.В. Дашунин. – Брянск, Клиновская типография. 2002 – 180 с.
2. Богданов, С.А. Разработка эффективных звукопоглощающих конструкций для снижения шума ГТД и энергоустановок: дис. ... канд. тех. наук: 05.07.05 / Богданов Сергей Александрович – Самара, 2007. –156 с.
3. Иноземцев, А.А. Газотурбинные двигатели / А.А. Иноземцев, В.Л. Сандрацкий. – Пермь: ОАО «Авиадвигатель», 2006 – 1500 с.
4. Пат. № US 2010/0322755 A1 США. Use of non-uniform nozzle vane spacing to reduce acoustic signature / J.A. Tecza; заявитель и патентообладатель Dresser-Rand Company. – № 486501; Оpubл. 23.12.10. – 14 с.
5. Пат. № US 2011/0085902 A1 США. Low-Noise ported-shroud compressor for a turbocharger / Junfei Yin; заявитель и патентообладатель Honeywell International, Inc. – № 899023; Оpubл. 12.04.11. – 12 с.

Дроконов Алексей Михайлович

Брянский государственный технический университет
кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры «Тепловые двигатели»
Тел. 51-84-80.

Дроконов Алексей Евгеньевич

Брянский государственный технический университет
студент
Тел. 51-68-86

A.M. DROKONOV, A.E. DROKONOV

NOISE ABATEMENT OF POWER PLANTS

The article deals with a complex of technical solutions aimed at reducing noise pressure level emitted by power plants.

Keywords: noise, vibration, sound damper, turbomachine.

BIBLIOGRAPHY

1. Apostolov, A.A. Akusticheskie harakteristiki gazoturbinnih gazoperekachivajushhih agregatov magistral'nyh gazoprovodov / A.A. Apostolov, I.G. Gogolev, A.M. DrokonoV, N.V. Dashunin. – Brjansk, Klinovskaja tipografija. 2002 – 180 s.
2. Bogdanov, S.A. Razrabotka jeffektivnyh zvukopogloshhajushhih konstrukcij dlja snizhenija shuma GTD i jenergoustanovok: dis. ... kand. teh. nauk: 05.07.05 / Bogdanov Sergej Aleksandrovich – Samara, 2007. –156 s.
3. Inozemcev, A.A. Gazoturbinnye dvigateli / A.A. Inozemcev, V.L. Sandrackij. – Perm': OAO «Aviadvigatel'», 2006 – 1500 s.
4. Pat. № US 2010/0322755 A1 SShA. Use of non-uniform nozzle vane spacing to reduce acoustic signature / J.A. Tecza; zajavitel' i patentoobladatel' Dresser-Rand Company. – № 486501; Opubl. 23.12.10. – 14 s.
5. Pat. № US 2011/0085902 A1 SShA. Low-Noise ported-shroud compressor for a turbocharger / Junfei Yin; zajavitel' i patentoobladatel' Honeywell International, Inc. – № 899023; Opubl. 12.04.11. – 12 s.

Drakonov Alexey Mikhailovich

Bryansk state technical University
candidate of technical Sciences, associate Professor, Professor of the Department "Heat engines"
Phone 51-84-80.

Drakonov Alexey Evgenyevich

Bryansk state technical University
student
Phone 51-68-86

РАЗРАБОТКА СПЕЦИАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЕМОВ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ИСКЛЮЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ РАССЛОЕНИЙ НА КАЧЕСТВО ДЕТАЛЕЙ ИЗ СТЕКЛОТЕКСТОЛИТА ПРИ ГИДРОАБРАЗИВНОЙ РЕЗКЕ

Авторами статьи разработаны специальные технологические приемы, позволяющие снизить вероятность распространения расслоений на вырезаемую заготовку при гидроабразивной резке, что обеспечивает повышение качества изделий из стеклотекстолита и снижение их себестоимости.

Ключевые слова: гидроабразивное резание, стеклотекстолит, расслоение, растрескивание.

Введение. В настоящее время в машиностроении, электро- и радиотехнике широко применяются полимерные материалы, практически не уступающие металлам по своим физико-механическим характеристикам, а также обладающие меньшим весом, диэлектрическими свойствами, высокой химической стойкостью. Процесс их механической обработки по традиционной технологии (методами резания, сверления, фрезерования) резко отличается от процессов резания металлов, при этом эффективность обработки зависит не только от режимов работы оборудования и геометрии режущего инструмента, но и обусловлена структурой и специфическими свойствами полимерных материалов.

Одними из наиболее распространенных материалов этой группы являются стеклотекстолиты - композиционные полимерные материалы, связующим веществом которых является синтетическая смола, а наполнителем, придающим повышенную прочность всей композиции, - стеклянное волокно. Стеклотекстолит используется при изготовлении электрораспределительных устройств, щитов, панелей, конструкции которых могут содержать большое количество сквозных элементов (отверстия под крепеж, окна, пазы различной конфигурации).

На практике, при механической обработке стеклотекстолита, имеются значительные затруднения для достижения требуемого качества поверхности и точности обработки, в основном связанные со следующими особенностями данного материала:

- анизотропией материала, приводящей к различным условиям резания вдоль и поперек армирующих волокон (данное свойство сказывается на шероховатости обработанных поверхностей);
- абразивными свойствами наполнителя, вызывающими интенсивный износ режущего инструмента;
- слоистой структурой материала, имеющей склонность к расслаиванию и растрескиванию материала;
- низкой теплопроводностью и теплостойкостью материала, что обуславливает необходимость охлаждения инструмента во избежание выгорания связующего;
- высокие упругие свойства приводят к упругим деформациям заготовки под действием сил резания и усилий закрепления, что негативно сказывается на точности получаемых деталей.

На качество обработанных поверхностей также влияет состояние материала, наличие микропор и микротрещин, внутренних напряжений, несплошностей связующего и других дефектов, связанных как с процессом изготовления листовых полимерных материалов, так и с условиями и длительностью их хранения.

Традиционные методы резания, не исключая дефектов изготовления, имеют и другие недостатки: низкая производительность; сложность получения деталей фигурного профиля; значительные отходы материала из-за нерационального раскроя и больших при-

пусков и напусков.

Потери, обусловленные технологическими особенностями механической обработки, физико-химическими характеристиками материала и их взаимным влиянием учитываются в производственном процессе, как правило, путем увеличения норматива расхода материала в зависимости от сложности конфигурации деталей, требований точности обработки, размера партии и др.

В связи с постоянно растущим уровнем требований потребителя к показателям качества, снижения стоимости изделий при увеличении производительности процессов резки, все большее распространение приобретает технология гидрорезания жидкостной или гидроабразивной струей [1-4]. Отличительными признаками технологии являются отсутствие термического (температура в зоне реза 60-90° С) и силового механического воздействия на обрабатываемые изделия и малая доля потерь материала.

Процесс гидроабразивной резки (ГАР) заключается в следующем: вода, подающаяся под давлением 300...400 МПа и выходящая через отверстие малого диаметра 0,1...0,2 мм со скоростью 900...1200 м/с, оказывает эрозионное воздействие на обрабатываемый материал, отрывая и унося из зоны реза его частицы. Для увеличения режущей способности в жидкостную струю вводят абразивные частицы в виде порошков.

Экспериментальные работы по внедрению метода ГАР на промышленном предприятии [5] подтвердили применимость технологии для обработки листового стеклотекстолита с требуемым качеством и высокой производительностью процесса.

Выяснено, что основным видом брака при обработке стеклотекстолитов методом ГАР является расслоение материала в местах врезания абразивно-жидкостной струи в материал [6]. При этом факторы, существенно влияющие на возникновение расслоений, при гидроабразивном резании и обработке лезвийным инструментом, аналогичны, и могут быть разделены на две группы:

- 1) технологические факторы, зависящие от режимов обработки и технологических параметров оборудования;
- 2) состояние материала на момент его обработки.

Влияние первой группы факторов при гидроабразивной обработке деталей из стеклотекстолитов было подробно рассмотрено в работе [5] где, в качестве объекта исследования были использованы образцы электротехнического листового стеклотекстолита СТЭФ-1 1с (ГОСТ 12652-74).

Выяснено, что наибольшее влияние на величину расслоений оказывает давление истечения гидроабразивной струи при врезании, зернистость абразива, диаметр выходного отверстия сопла и их взаимное влияние. При этом с увеличением давления врезания и зернистости абразива увеличивается величина расслоения материала. При увеличении диаметра сопла размер расслоения уменьшается. Это связано с тем, что при увеличении диаметра выходного сопла удельное давление врезания на единицу площади материала снижается [7, 8].

В производственных условиях наиболее просто варьировать величиной давления врезания в материал. Экспериментальным путем получено оптимальное давление врезания в стеклотекстолит марки СТЭФ-1 1с (ГОСТ 12652-74), равное 70 МПа. При этом можно использовать широко распространенный абразив зернистостью 80 mesh и сопла с диаметром выходного отверстия 0,8мм. При дальнейшем снижении давления врезания не рекомендуется использования абразива с зернистостью 80 mesh, т.к. велика вероятность закупорки сопла. В этом случае требуется применение более дорогостоящего абразива меньшей зернистости, например 120 mesh [9].

Под состоянием материала на момент его обработки понимают наличие или отсутствие в нем микропор и микротрещин, внутренних напряжений, несплошностей связующего и других дефектов, связанных как с качеством изготовления многослойных листовых материалов, так и с условиями и длительностью их хранения.

Если влияние первой группы факторов подвержено исследованиям, то влияние второй группы факторов трудно прогнозировать заранее. Поэтому при механической обработке в

производственных условиях для получения партии годных деталей, нормы расхода материала завышают на технологические потери, позволяющие скомпенсировать возможный брак. Это значительно увеличивает стоимость изготовления партии, так как стеклотекстолиты являются достаточно дорогими материалами (например, 1 кг СТЭФ-1с толщиной 20 мм стоит 270 руб; лист 20 мм х 1200 мм х 1040 мм весит 46 кг и стоит 12 500 рублей).

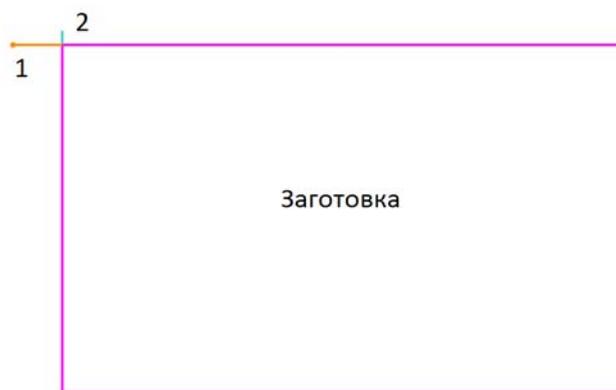
Использование метода ГАР для обработки деталей из листовых стеклотекстолитов позволяет значительно повысить качество получаемых деталей, дает возможность изготовления изделий фигурного профиля, улучшает экологию рабочего места [5]. Однако основной проблемой остается вероятность появления расслоений при врезании струи в материал.

Для уменьшения влияния или полного исключения расслоений материала при использовании ГАР, при обеспечении требуемых параметров качества деталей из стеклотекстолита с минимальными затратами труда, материальных и энергетических ресурсов разработан комплекс технологических приемов.

Основная часть.

1 Технологические приемы, используемые для вырезки наружных контуров:

а) Увеличение длины захода струи к вырезаемому контуру заготовки (рис. 1). Величина захода к контуру должна быть несколько больше величины отслоения.



*Рисунок 1 – Технологический прием: увеличение длины захода на контур заготовки для исключения появления брака
1-заход на контур, 2-выход с контура*

При этом увеличивается расход раскраиваемого материала, раскрой становится менее рациональным.

Для получения более рационального раскроя можно располагать заготовки, как показано на рисунке 2. Врезание для четырех заготовок в данном случае осуществляется в одной точке. Это экономит количество абразива, необходимое для врезания на заготовки 2, 3, 4, т.к. отверстие под заход струи уже выполнено при врезании на заготовку 1 в точке (1) и исключает возникновение отслоений при врезании.

При таком расположении заготовок на листе раскрой листа выглядит, как показано на рисунке 3.

б) Производить врезание вне материала. Врезание производится вне материала на расстоянии 0,5-1 мм от края листа.

Обработка 1-го ряда заготовок в раскрое показана на рисунке 4.

Так как врезание производится за пределами материала, расслоения не появляются.

Таким образом, можно уменьшить длину захода к контуру заготовки.

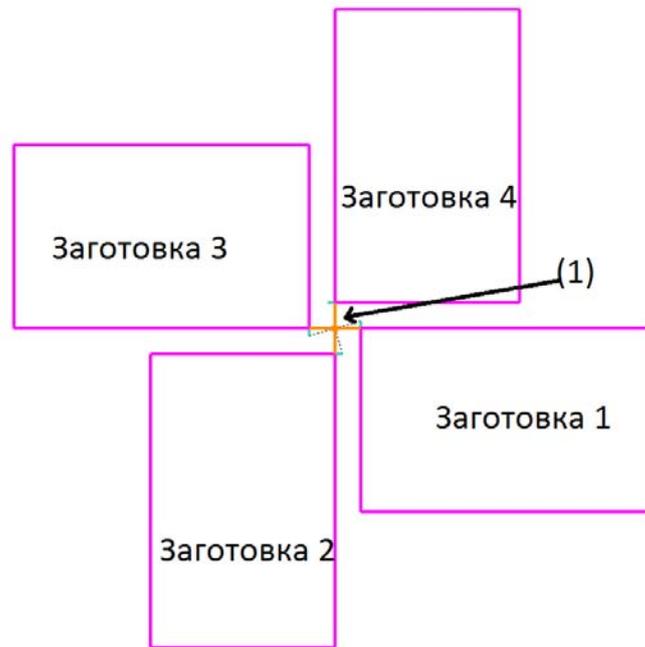


Рисунок 2 – Пример расположения заготовок с увеличенной длиной захода на контур

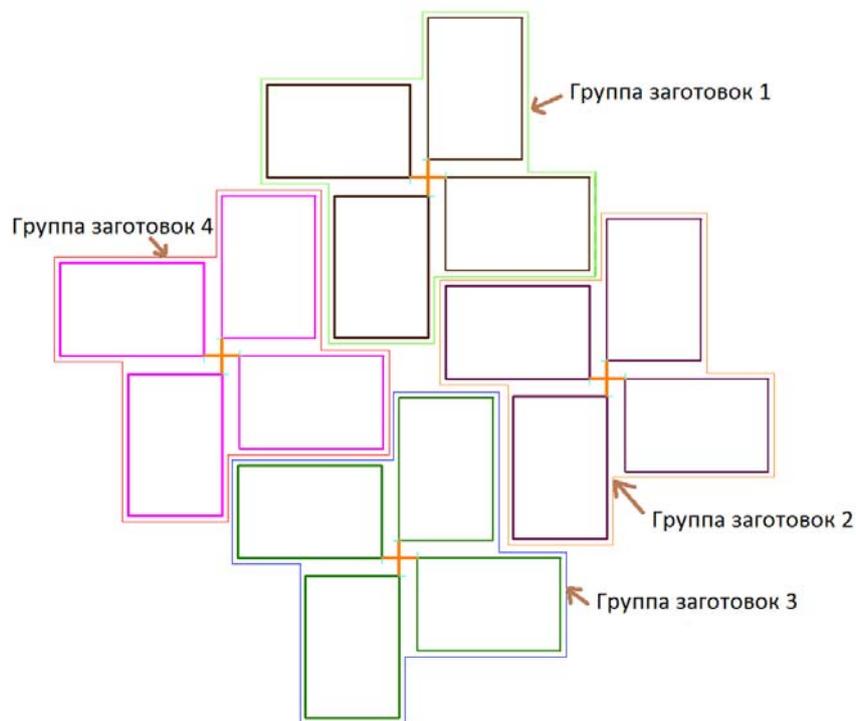


Рисунок 3 – Пример расположения заготовок на листовом материале

Обработку 2-го и последующих рядов заготовок необходимо производить следующим образом: после вырезки 1-ого ряда заготовок, оператор останавливает процесс резания и извлекает вырезанные заготовок. Врезания для 2-го ряда заготовок необходимо производить в отверстиях, оставшихся от извлеченных заготовок 1-го ряда (рис. 5). После вырезки 2-го ряда заготовок, оператор извлекает их из листа и при вырезке заготовок 3-го ряда врезания в материал производят в отверстия, оставшиеся от 2-го ряда. Таким образом, раскрой листа производится последовательно рядами.

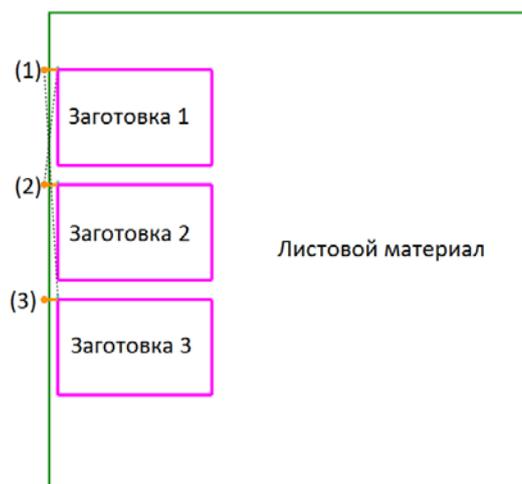


Рисунок 4 – Вырезка 1-го ряда заготовок в раскрое с врезанием вне материала в точках (1), (2), (3)

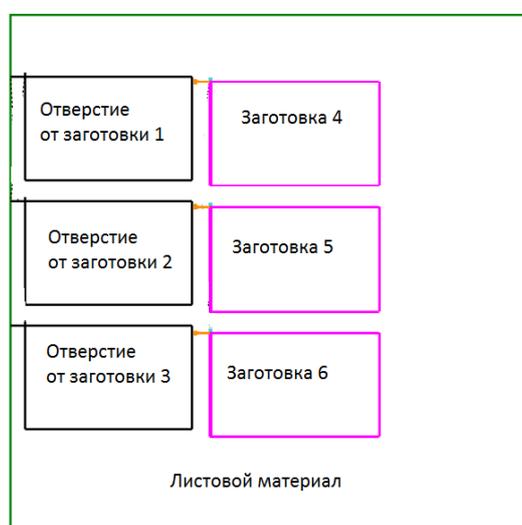


Рисунок 5 – Обработка 2-го ряда заготовок в раскрое с врезанием вне материала

Такой способ раскроя имеет недостаток: простой оборудования, связанные с необходимостью извлечения вырезанных деталей. Данный прием целесообразно использовать для обработки листового материала толщиной от 10 мм, где время вырезки заготовок достаточно велико, а также при раскрое крупногабаритных заготовок.

в) Использование отсекающих резов. Раскрой листового материала сравнительно небольших толщин происходит с достаточно высокой скоростью (например, 1500 мм/мин для СТЭФ-1 толщиной 6мм, и до 10000 мм/мин для СТЭФ-1 толщиной 1мм). Поэтому технологический прием с врезанием в отверстия от извлеченных заготовок приведет к значительному простоя дорогостоящего оборудования. В этом случае целесообразно применять отсекающие резы.

Для этого перед вырезкой 1-ого ряда деталей производится технологический отсекающий рез (рис. 6).

После выполнения отсекающего реза производим вырезку 1-го ряда заготовок. При этом врезание в материал производится левее отсекающего реза, а контур самой заготовки расположен правее него (рис. 7). Таким образом, при появлении расслоений при врезании в материал, дефект не проникает дальше отсекающего реза (рис. 8).

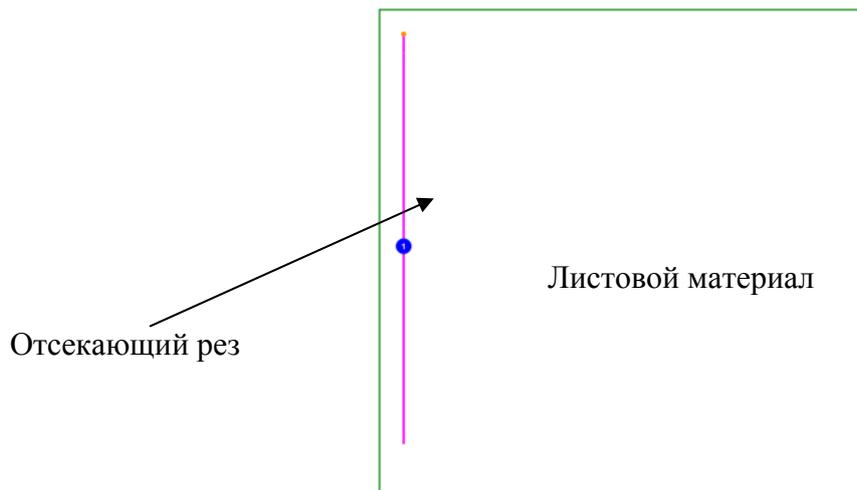


Рисунок 6 – Выполнение технологического отсекающего реза

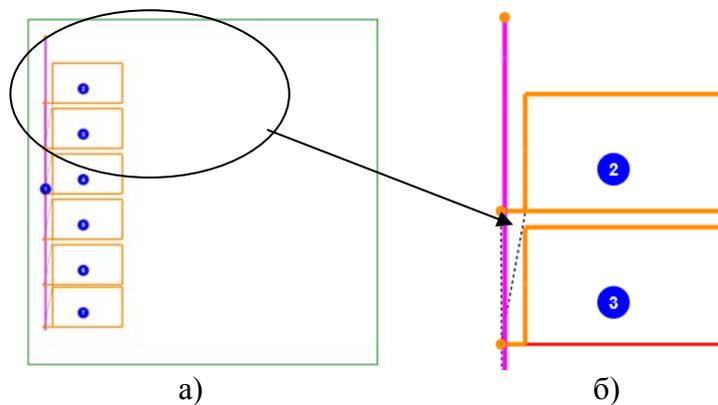


Рисунок 7 – Раскрой заготовок с применением отсекающего реза
а- общий вид; б- увеличено

Далее выполняются второй отсекающий рез и вырезка последующего ряда (рисунок 9). При выполнении второго отсекающего реза можно полностью отсекать материал с отрезанными заготовками и снимать его с рабочего стола установки, а можно производить отсекающий рез, как показано на рисунке 9.

Перед обработкой 3-го ряда производится еще один отсекающий рез, и т.д.

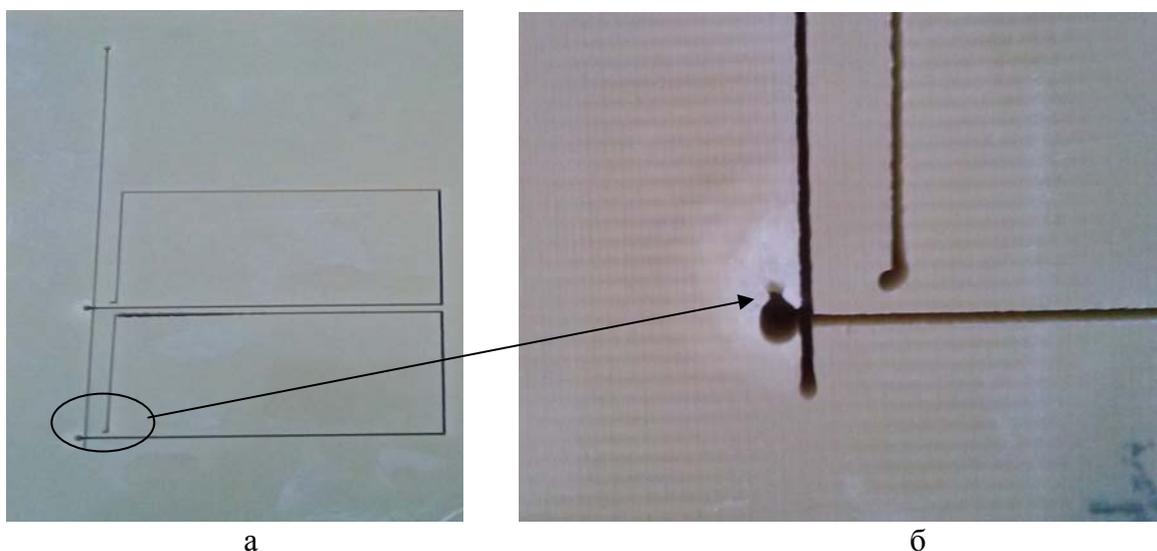


Рисунок 8 – Раскрой заготовок с применением отсекающего реза
а- общий вид; б- увеличено

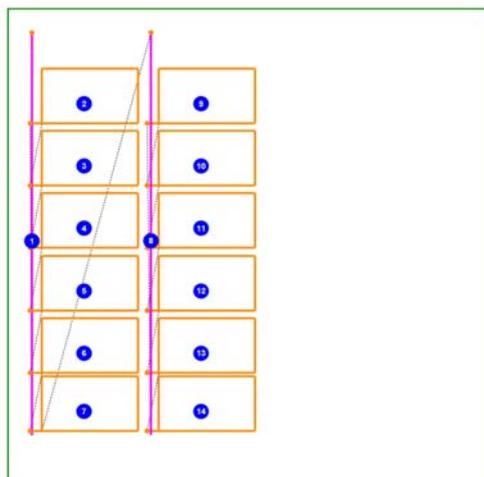


Рисунок 9 – Вырезка второго ряда заготовок

При использовании этого технологического приема важно чтобы врезание в материал производилось на расстоянии не более 0,5-1 мм левее отсекающего реза для избегания зацепления кромки материала соплом, что может привести к сдвигу листового материала или поломке сопла. Это связано с тем, что при разрезке тонколистовых материалов толщиной до 5 мм очень часто происходит приподнимание отрезанной кромки материала, что может привести к наезду сопла на эту кромку и, соответственно, к поломке сопла и смещению листового материала во время обработки. Величина расстояния от места врезания до отсекающего реза должна быть меньше наружного диаметра сопла. Это позволяет не зацепить кромкой сопла приподнимающуюся кромку материала.

2. Технологические приемы, используемые для вырезки внутренних контуров.

При подготовке раскроя деталей с наличием внутренних контуров (окон, отверстий и т.д.), необходимо сопоставить величину максимального расслоения, полученного при тестовых врезаниях и минимального внутреннего контура.

В случае если величина минимального контура больше величины максимального расслоения корректируем величину подхода к внутреннему контуру. Точка врезания в материал должна быть максимально приближена к центру вырезаемого контура (рис. 10 а, в).

В случае если величина минимального контура меньше величины максимального расслоения необходимо проведение дополнительных тестовых резов со снижением давления врезания до 60 МПа. При этом рекомендуется применение абразива меньшей зернистости (например, 120 mesh). При дальнейшем снижении давления врезания резко увеличивается вероятность засора сопла.

В случаях, если снижение давления врезания и уменьшение зернистости абразива не привело к снижению величины расслоения, необходимо:

- ✓ В местах врезания в материал механическим путем (например, сверлением) выполнить отверстия под заход струи.

- ✓ На данном материале вырезать детали, в которых требуется обработка только наружного контура, а для деталей с внутренним контуром использовать другой материал.

Вышеперечисленные технологические приемы позволяют значительно снизить вероятность возникновения брака на заготовках из стеклотекстолитов при их обработке абразивно-жидкостной струей.

Например, на базе ОАО «Тайфун» производилась вырезка деталей типа «Рамка» из листового стеклотекстолита СТЭФ-1с ГОСТ 12652-74 толщиной 16 мм. В детали с габаритными размерами 90 мм X 100 мм имелось окно с габаритными размерами 40 мм X 50 мм. Количество деталей 134 шт. Детали вырезались из 2-х листовых заготовок разных партий (по 67 деталей на каждом листе). Перед началом работ на каждом листе было проведено 10 тестовых врезаний в центре и по краям листа. Выяснилось, что на листе № 1 на тестовых врезаниях расслоения не образовывались. На листе №2 из 10 тестовых врезаний образовалось 4

расслоения с максимальным размером 20мм X 30мм. Было принято решение, при раскрое листа № 1 необходимо увеличить величину захода на внутренние контуры до 15 мм. При раскрое листа №2 для вырезки наружных контуров использовали технологию отсекающих резов, для вырезки внутренних контуров точкой захода струи выбрали центральную точку контуров. В результате на листе № 1 в 96% врезаний расслоения не образовывались, а в 4% расслоения были менее 4мм. На листе № 2 расслоения образовались в 40% врезаний, но за счет использования технологических приемов только 1 деталь является неисправимым браком.

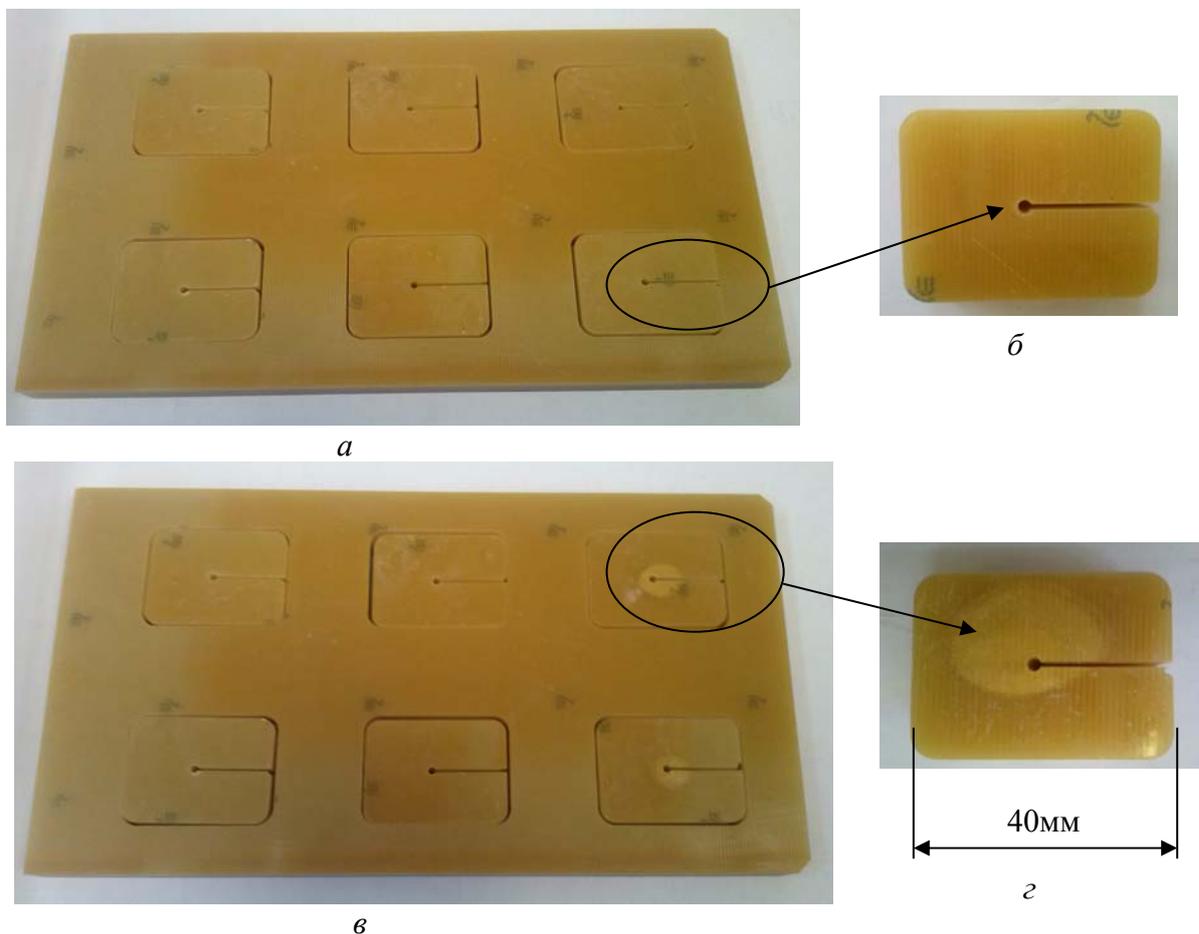


Рисунок 10 – Вырезка внутренних окон

*а - расслоения при врезании не образовались; б - отход материала увеличено;
в - расслоения образовались, но они остаются в отходе материала; г - отход материала увеличено*

При обработке деталей из стеклотекстолитов гидроабразивной струей необходимо уделять особое внимание укладке листового материала на стол станка.

Для исключения прогибов тонколистовых материалов во время обработки применяют специальные подложки (опорный мелкосетчатый настил, фанера и т.д.).

3. Выбор вида опорной поверхности для укладки материала.

Не последнее значение необходимо уделить выбору типа опорных пластин стола станка, на которые укладывается материал. Чаще всего опорная пластина в сечении имеет плоскую кромку толщиной до 4 - 5мм (рис. 11, а). При наезде струи на кромку пластины отраженная от кромки опорной пластины струя оставляет зарезы на нижней кромке материала. Для избегания таких дефектов рекомендуется использовать настил со вставками из резины (рис. 11, б) или настил с сечением типа «ножа» (рис. 11, в).

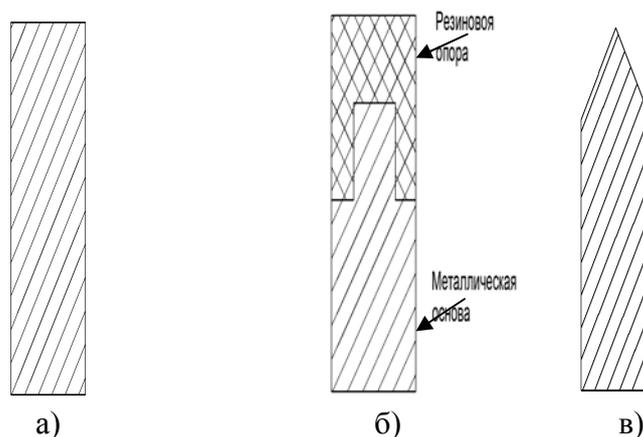


Рисунок 11 – Типы опорных пластин стола гидроабразивной установки
 а - пластины с прямоугольным сечением, б - пластины с резиновыми вставками,
 в - пластины с сечением типа «нож»

4. Выбор направления обхода контура и последовательности вырезки заготовок.

Необходимо отметить, что при раскрое стеклотекстолитов важно правильно выбирать направление обхода контура гидроабразивной струей и последовательность резки. Материал необходимо раскраивать таким образом, чтобы при его раскрое обеспечивалась максимальная жесткость листа.

Выводы.

Авторами статьи разработаны следующие специальные технологические приемы для: вырезки наружных контуров, вырезки внутренних контуров, выбора вида опорной поверхности для укладки материала, выбора направления обхода контура и последовательности вырезки заготовок. Их использование, позволяет снизить или исключить вероятность распространения расслоений на вырезаемую заготовку при гидроабразивной резки, что обеспечивает повышение качества изделий из стеклотекстолита и снижение их себестоимости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барсуков, Г.В. Определение производительности гидроабразивного резания с учетом характеристик абразивного зерна [Текст] / Г.В. Барсуков, А.В. Михеев // Справочник. Инженерный журнал. - 2008. - № 1. - С. 9 – 14.
2. Барсуков Г.В. Определение компонентного состава масс абразивной смеси для резания материалов сверхзвуковой гидроабразивной струей [Текст] / Г.В. Барсуков, А.А. Александров // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – № 2-3. - 2012. – С. 74 – 81.
3. Тарасов, В.А. Проблемы и перспективы развития гидроабразивных технологий в ракетно-космической технике / В.А. Тарасов, А.Л. Галиновский // Инженерный журнал: наука и инновации. – 2013. – Вып. 3. URL: <http://engjournal.ru/catalog/machin/rocket/636.html>.
4. Степанов, Ю.С. Научные технологии резания материалов сверхзвуковой струей жидкости различного состава / Ю.С. Степанов, Г.В. Барсуков, А.В. Михеев // Научные технологии в машиностроении. – 2011. - № 4. – С. 32-38.
5. Барсуков, Г.В. Исследование влияния технологических режимов гидроабразивного резания на расслоение поверхности деталей из стеклотекстолита [Текст] / Г.В. Барсуков, Т.А. Журавлева // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2013. – № 4. С. 47 – 56.
6. Степанов, Ю.С. Моделирование разрушения многослойной преграды с газовым зазором под действием сверхзвукового струйного потока свободных абразивных частиц [Текст] / Ю.С. Степанов, Г.В. Барсуков, А.В. Михеев // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. - № 4-2. – 2010. – С. 65 – 70.
7. Степанов, Ю.С. Современные технологии гидро- и гидроабразивной обработки заготовок [Текст] / Ю.С. Степанов, Г.В. Барсуков, Е.Г. Алешин // Научные технологии в машиностроении. – 2012. – № 6 – С. 15- 20.
8. Степанов, Ю.С. Формирование качества поверхностного слоя деталей при резании сверхзвуковой струей жидкости [Текст] / Ю.С. Степанов, Г.В. Барсуков // СТИИ. -2003. - № 10. - С. 15 –17.
9. Степанов, Ю.С. Влияние параметров течения сверхзвуковой гидроабразивной струи на геометрическую форму поверхности разрушения преграды [Текст] / Ю.С. Степанов, Г.В. Барсуков, А.В. Михеев // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2012. – № 2 -5. С. 53 – 63.

Журавлева Татьяна Александровна

Госуниверситет - УНПК, г. Орел

Аспирант кафедры КТОМП

Тел. (4862) 54-14-51

E-mail: awj@list.ru

Барсуков Геннадий Валерьевич

Госуниверситет - УНПК, г. Орел

Доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой КТОМП

Тел. (4862) 54-14-51

E-mail: awj@list.ru

T.A. ZHURAVLEVA, G.V. BARSUKOV

DEVELOPMENT SPECIAL TECHNIQUES, PROVIDING THE EXCLUSION OF INFLUENCE BUNDLE ON QUALITY OF PARTS MADE OF FIBERGLASS IN WATERJET CUTTING

The authors have developed special technological methods that reduce the likelihood of spreading bundles on cut workpiece for waterjet cutting that enhances the quality of fiberglass products and reduce their cost.

Keywords: abrasive waterjet cutting, fiberglass, delamination, cracking.

BIBLIOGRAPHY

1. Barsukov, G.V. Opredelenie proizvoditel'nosti gidroabrazivnogo rezaniya s uchetom harakteristik abrazi-vnogo zerna [Tekst] / G.V. Barsukov, A.V. Miheev // Spravochnik. Inzhenernyj zhurnal. - 2008. - № 1. - S. 9 – 14.
2. Barsukov G.V. Opredelenie komponentnogo sostava mass abraziivnoj smesi dlja rezaniya materialov sverhzvukovoj gidroabrazivnoj struej [Tekst] / G.V. Barsukov, A.A. Aleksandrov // Fundamental'nye i pri-kladnye problemy tehniki i tehnologii. – № 2-3. - 2012. – S. 74 – 81.
3. Tarasov, V.A. Problemy i perspektivy razvitiya gidrostrujnyh tehnologij v raketno-kosmicheskoj tehnike /V.A. Tarasov, A.L. Galinovskij // Inzhenernyj zhurnal: nauka i innovacii. – 2013. – Vyp. 3. URL: <http://engjournal.ru/catalog/machin/rocket/636.html>.
4. Stepanov, Ju.S. Naukoemkie tehnologii rezaniya materialov sverhzvukovoj struej zhidkosti razlich-nogo sostava / Ju.S. Stepanov, G.V. Barsukov, A.V. Miheev // Naukoemkie6 tehnologii v mashinostroenii . – 2011. - № 4. – S. 32-38.
5. Barsukov, G.V. Issledovanie vlijaniya tehnologicheskikh rezhimov gidroabrazivnogo rezaniya na rassloenie poverhnosti detalej iz steklotekstolita [Tekst] / G.V. Barsukov, T.A. Zhuravleva // Fundamental'nye i prikladnye prob-lemy tehniki i tehnologii. – 2013. – № 4. S. 47 – 56.
6. Stepanov, Ju.S. Modelirovanie razrusheniya mnogoslojnoj pregrady s gazovym zazorom pod dejstvi-em sverhzvukovogo strujnogo potoka svobodnyh abraziivnyh chastic [Tekst] / Ju.S. Stepanov, G.V. Barsukov, A.V. Miheev // Fundamental'nye i prikladnye problemy tehniki i tehnologii. - № 4-2. – 2010. – S. 65 – 70.
7. Stepanov, Ju.S. Sovremennye tehnologii gidro- i gidroabrazivnoj obrabotki zagotovok [Tekst] / Ju.S. Ste-panov, G.V. Barsukov, E.G. Aljushin // Naukoemkie tehnologii v mashinostroenii. – 2012. – № 6 – S. 15- 20.
8. Stepanov, Ju.S. Formirovanie kachestva poverhnostnogo sloja detalej pri rezanii sverhzvukovoj struej zhidkosti [Tekst] / Ju.S. Stepanov, G.V. Barsukov // STIN. -2003. - № 10. - S. 15 –17.
9. Stepanov, Ju.S. Vlijanie parametrov techeniya sverhzvukovoj gidroabrazivnoj strui na geometriche-skuju formu poverhnosti razrusheniya pregrady [Tekst] / Ju.S. Stepanov, G.V. Barsukov, A.V. Miheev // Funda-mental'nye i prikladnye problemy tehniki i tehnologii. – 2012. – № 2 -5. S. 53 – 63.

Zhuravleva Tatyana Aleksandrovna

State University - ESPC, Orel

Ph.D., assistant professor of chemistry

Tel. (4862) 54-14-51

E-mail: awj@list.ru

Barsukov Gennady Valeryevich

State University - ESPC, Orel

Professor, Head. Department KTOMP

Tel. (4862) 54-14-51

E-mail: awj@list.ru

УДК 621.787.4

В.А. ГОЛЕНКОВ, С.Ю. РАДЧЕНКО, Д.О. ДОРОХОВ, А.А. КИСЛОВСКИЙ

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ ГЕОМЕТРИИ ИНСТРУМЕНТА ПРИ КОМПЛЕКСНОМ ЛОКАЛЬНОМ ДЕФОРМИРОВАНИИ

В статье сформулирована постановка задачи о нахождении оптимальной геометрии инструмента для процесса комплексного локального деформирования. Дано одно из возможных решений указанной проблематики – построение геометрии инструмента на основе катеноида.

Ключевые слова: комплексное локальное деформирование; площадь пятна контакта; цепная линия; катеноид.

Введение. Современное машиностроение предъявляет все более жесткие требования к распределению механических, прочностных, эксплуатационных свойств деталей машин, в том числе заданных переменных свойств по объему изделия. Актуальным направлением достижения такого результата является создание градиентных наноструктур в деталях из различных металлов и сплавов. Принципиально объемную или приповерхностную изотропную наноструктуру можно создать интенсивным пластическим деформированием (ИПД) или поверхностным пластическим деформированием (ППД) соответственно [1,2], а градиентную наноструктуру можно сформировать комплексной локальной деформацией (КЛД) [3-13]. Для некоторых условий работы деталей машин именно градиентная от рабочей поверхности структура будет являться наиболее предпочтительной. По сути, методами КЛД удастся создать структуры с плавным переходом (изменением размеров зерен и их взаимной ориентации) от наноструктур до исходного (например, литого) состояния материала заготовки.

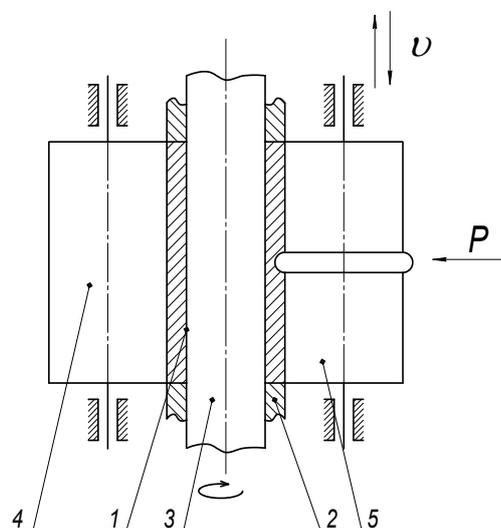


Рисунок 1 – Схема обкатки формирующим и заглаживающим инструментом

1 – заготовка; 2 – упор; 3 – оправка;
4 – заглаживающий ролик;
5 – формирующий ролик [6]

Метод КЛД является новым процессом, основанным на синтезе и модификации таких методов, как валковая штамповка и обкатка. Схема одного из вариантов способа представлена на рисунке 1. Способ реализуется следующим образом [10]: заготовку 1 устанавливают на оправку 4 и фиксируют между упором 2 и прижимом 3, сообщая при этом осевое сжатие. Затем подводят ролики 5 и 6, один или более из которых имеют кольцевой деформирующий выступ, после чего заготовке сообщают крутящий момент. Наружную поверхность формируют многократным возвратно-поступательным осевым перемещением роликов, имеющих кольцевые выступы, после чего ролики разводят, отводят прижим и извлекают оправку и готовое изделие. На рисунке 2 представлены экспериментальные данные по обработке втулок описанным способом КЛД. [9]. Таким образом, показано, что методы обработки давлением, основанные на комплексном локальном нагружении очага деформации, позволяют получать изделия с градиентными показателями механических свойств.

лями механических свойств.

Основная часть. Одним из актуальных вопросов технологии КЛД, является вопрос об определении оптимальной формы поверхности деформирующего инструмента (поверхности Ψ на рис. 3). В общем случае данный вопрос сводится к задаче по деформированию инструментом (индентором) поверхности Θ некоторого тела по траектории Ω , принадлежавшей данной поверхности, и разбивается на три подзадачи [3]:

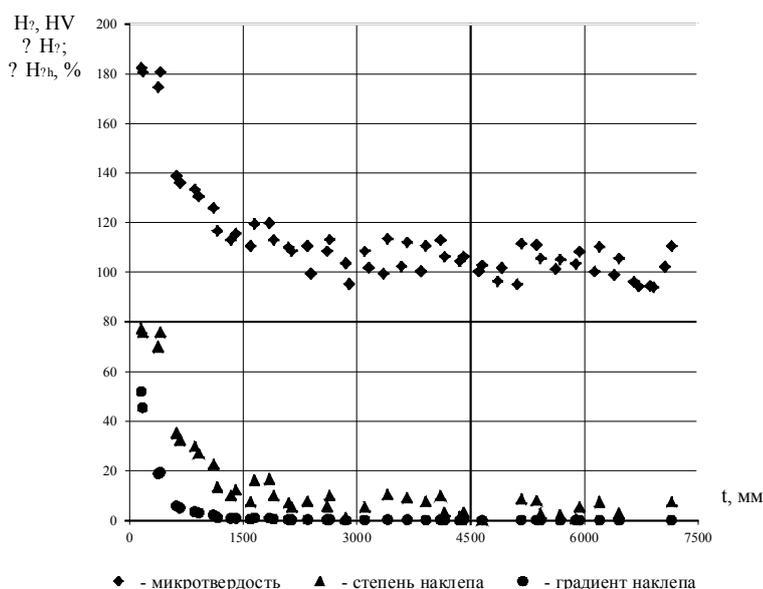


Рисунок 2 – Распределение значений параметров микротвердости по сечению для втулки из сплава Бр05Ц5С5, обработанной по способу [5] с числом проходов 18, $\phi_{нар.}$ 45мм, $\phi_{внут.}$ 30мм.

1. Внедрение тела в заготовку (упрощенный уровень – внедрение тела в полупространство) с действующей силой P ; можно выделить следующие уровни: упругий (задача Герца), и уровень упругопластической деформации;
2. Переход тела к движению по траектории Ω с действующими силой P и моментом M ;
3. Установившееся движение по траектории Ω с действующими силой P и моментом M .

Вопрос о распределении напряжений и деформаций в теле заготовки после вдавливания инденторов, имеющих форму шара, плоскости, конуса, ролика в конкретных частных случаях решен. Однако, данные решения получены в основном традиционными методами, в частности, методом линий скольжения. Современный уровень математического моделирования с помощью программных средств позволяет более полно и точно решать данный класс задач [14-18]. Интерес представляет другой вопрос: какова должна быть геометрия инструмента, чтобы добиться нужного распределения напряжений и требуемого уровня накоплений деформаций без разрушения в теле заготовки, т. е. задача оптимизации формы индентора. Решение указанной задачи с помощью таких программ как Deform, Qform, ANSYS и т. д. возможно лишь методом подбора, т. е. необходимо заранее задаваться геометрией инструмента и анализировать распределения различных параметров в объеме заготовки. Таким образом, необходимо перебрать все возможные геометрические формы, что весьма трудоемко. Отсюда необходимость ограничения числа возможных вариантов и поиск иных подходов к постановке и решению указанной задачи.

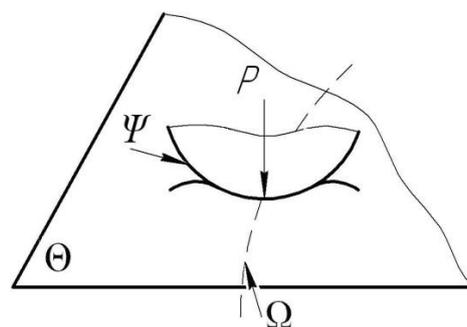


Рисунок 3 - К постановке задачи по деформированию инструментом поверхности Θ тела по траектории Ω [1]

Одним из ограничивающих условий может являться минимизация площади пятна контакта при заданной глубине внедрения индентора (см. рис. 4), что по сути оптимизирует силовые параметры процесса, так как ведет, например, к уменьшению сил трения. В приложении к указанным процессам КЛД и обкатки задача выглядит следующим образом (см. рис. б) и математически означает минимизацию следующего выражения:

$$S = \iint_{\sigma_{xy}} \sqrt{1 + (z'_x)^2 + (z'_y)^2} dx dy \quad (1)$$

Выражение (1) оценивает площадь контакта не вполне адекватно, так как индентор перемещается по траектории Ω , что влечет возникновение волны металла перед ним и двух остаточных волн по бокам от канавки, оставляемой индентором. Кроме того, любая поверхность обладает шероховатостью, однако в первом приближении такое упрощение допустимо. В то же время, задача по минимизации (1) весьма сложна, но эквивалентна следующей: определение поверхности вращения, проходящей через две точки $P_1(x_1, y_1)$ и $P_2(x_2, y_2)$ при $x_1 < x_2$ плоскости xOy , образованной вращением кривой $y = f(x)$ вокруг оси Ox и имеющей наименьшую возможную площадь. Т. е., необходимо выбрать функцию $y(x)$, для которой интеграл

$$S = 2\pi \int_{x_1}^{x_2} y \sqrt{1 + y'^2} dx, \quad (2)$$

представляющий собой площадь поверхности вращения, был бы минимален. Последнее известно как проблема Плато (см. рис.5). Решением (2) в данном случае будет поверхность, называемая катеноидом. Катеноид – это поверхность, образованная вращением цепной линии

$$y = a \cdot ch\left(\frac{x}{a}\right) \quad (3)$$

вокруг оси Ox .

Необходимо отметить удовлетворительное совпадение кривых при глубинах внедрения в тело заготовки не более 0,2мм (см. рис. 6), при увеличении радиуса ролика в продольном сечении и коэффициента a в выражении (3) наблюдается еще большее соответствие, т. е на практике цепную линию можно будет заменить той или иной окружностью.

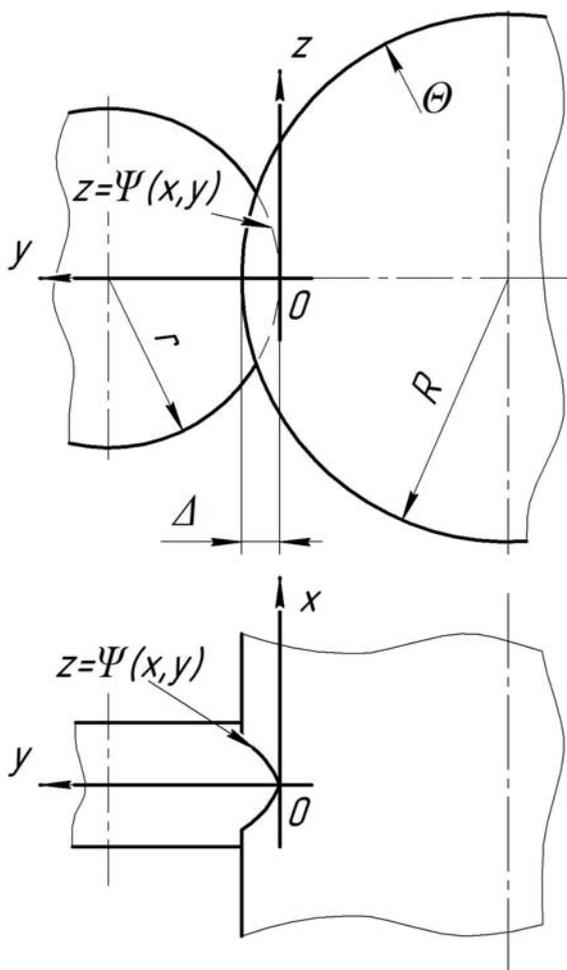


Рисунок 4 – К определению площади пятна контакта

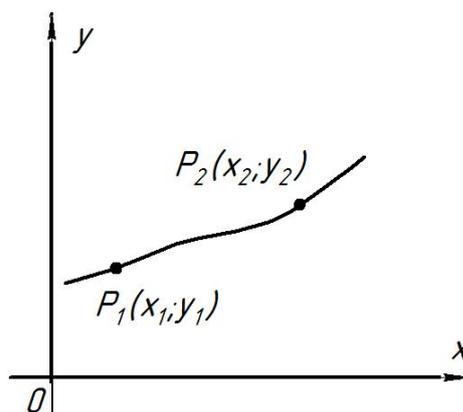


Рисунок 5 – К постановке проблемы Плато

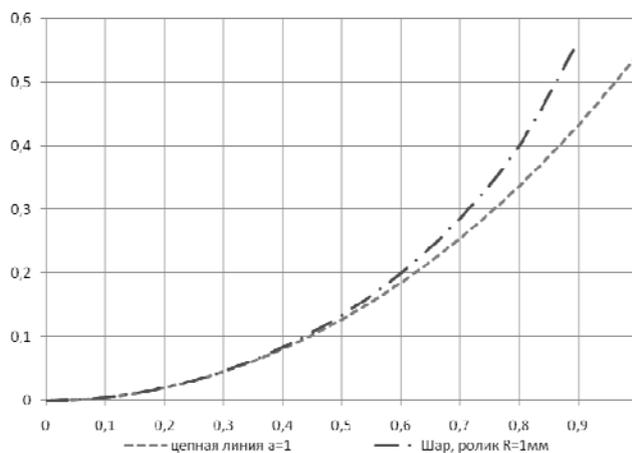


Рисунок 6 – Сравнение кривых для цепной линии и окружности

При этом, если требуется более тонкое регулирование градиента механических свойств изделия, этого можно добиться варьированием константы в выражении (3) при проектировании профиля обкатывающего инструмента. Таким образом, задача оптимизации инструмента для получения заданного распределения механических свойств изделия сводится к решению (1), обеспечивающему необходимое распределение напряжений и деформаций в очаге пластической деформации, а также его конфигурацию по ширине и глубине при определенном числе проходов инструмента.

Заключение. В статье представлен подход к постановке задачи по оптимизации геометрии инструмента на основе удобной формализации его формы для создания требуемых градиентных механических свойств деталей машин, позволяющий моделировать и проектировать технологические процессы, основанные на комплексном локальном нагружении очага деформации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Голенков, В.А. Классификация процессов комплексного локального деформирования [Текст] / В.А. Голенков С.Ю. Радченко, Д.О. Дорохов, И.М. Грядун // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. 2010. – № 6. – С. 85-89.
2. Голенков, В.А. Анализ видов упрочняющей обработки пластическим деформированием [Текст] / В.А. Голенков С.Ю. Радченко, Д.О. Дорохов, И.М. Грядун // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. 2011. – № 1. – С. 59-62.
3. Голенков, В.А. Применение комплексного локального нагружения при формировании градиентных механических свойств [Текст] / В.А. Голенков, С.Ю. Радченко, О.В. Дорофеев, Д.О. Дорохов // *Заготовительные производства в машиностроении*. №10 – 2009. – С. 22-25
4. Голенков, В.А. Научное обоснование технологии обработки давлением с комплексным локальным нагружением очага деформации [Текст] / В.А. Голенков С.Ю. Радченко, Д.О. Дорохов // *Научные основы технологии в машиностроении*. 2011. – № 3. – С. 31-37.
5. Голенков, В.А. Научные основы упрочнения комплексным локальным деформированием [Текст] / В.А. Голенков, С.Ю. Радченко, Д.О. Дорохов, Г.П. Короткий. – М.: ООО «Издательство Машиностроение», Орел: Госуниверситет-УНПК. – 2013. – 122 с.
6. Голенков, В.А. Разработка конструкции экспериментальной установки для получения изделий с градиентными субмикронными и наноструктурными состояниями вещества на основе валькования штамповки [Текст] / В.А. Голенков, С.Ю. Радченко, Д.О. Дорохов // *Известия ОрелГТУ*. Серия: «Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии» – 2008-2/270(545). С.53-55.
7. Голенков, В.А. Перспективы применения технологии «валькование штамповка» для получения градиентных субмикронных и наноструктурных материалов [Текст] / В.А. Голенков, С.Ю. Радченко, Д.О. Дорохов. // *Известия ТулГУ. Технические науки*. Вып. 2. – Тула: Изд-во ТулГУ, – 2008. – С.123-128.
8. Голенков, В.А. Формирование градиентных субмикронных и наноструктурных состояний комплексным локальным нагружением очага деформации [Текст] / В.А. Голенков, С.Ю. Радченко, Д.О. Дорохов // *Упрочняющие технологии и покрытия*. – 2009. – №3. – С. 54-56.
9. Голенков, В.А. Создание градиентных структур на основе метода валькования штамповки [Текст] / В.А. Голенков, С.Ю. Радченко, О.В. Дорофеев, Д.О. Дорохов // *Известия ОрелГТУ*. Серия «Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии», № 3/275(561). – Орел: ОрелГТУ. – 2009. – С.42-46.
10. Пат. 2340423 РФ, В 24 В 39/04. Способ получения металлических втулок/В.А. Голенков, В.Г. Малинин, С.Ю. Радченко, Г.П. Короткий, Д.О. Дорохов; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «ОрелГТУ». № 2007110990/02; заявл. 26.03.2007; опубл. 10.12.2008, Бюл. № 13.
11. Пат. 2387514 РФ, В21D 51/02. Способ получения металлических втулок с градиентной субмикронной и нанокристаллической структурой/В.А. Голенков, С.Ю. Радченко, Д.О. Дорохов; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «ОрелГТУ». № 2008146756/02; заявл. 26.11.2008; опубл. 27.04.2010, Бюл. № 12.
12. Пат. 2389580 РФ, В21D 51/02. Способ получения металлических втулок с градиентной субмикронной и нанокристаллическим состоянием материала/В.А. Голенков, С.Ю. Радченко, Д.О. Дорохов; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «ОрелГТУ». № 2008146754/02; заявл. 26.11.2008; опубл. 20.05.2010, Бюл. № 14.
13. Пат. 2462327 РФ, МПК В21Н1/22. Способ получения металлических втулок с градиентно-упрочнённой структурой / В.А. Голенков, С.Ю. Радченко, И.М. Грядун (RU). №2010153917/02; Заявлено 27.12.2010; Опубл. 27.09.2012, Бюл. №27.
14. Голенков, В.А. Математическое моделирование упрочняющей валькования штамповки [Текст] / В.А. Голенков, С.Ю. Радченко, Д.О. Дорохов // *Известия ОрелГТУ*. Серия «Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии», № 4/276(575). – Орел: ОрелГТУ. – 2009. – С.54-58.
15. Дорохов, Д.О. Управляемое формирование механических свойств в изделиях методом комплексного локального деформирования [Текст] / Д.О. Дорохов // *Известия ОрелГТУ*. Серия «Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии». – Орел: ОрелГТУ, № 4(288). – Орел, ОрелГТУ – 2011г. – С 31-37

16. Голенков, В.А. К вопросу о повышении эксплуатационных характеристик полых осесимметричных деталей машин методами интенсивной пластической деформации / Голенков В.А., Радченко С.Ю., Дорохов Д.О., Грядунув И.М. // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. – 2012. – № 6. – С. 71-77.

17. Голенков, В.А. Создание градиентных наноструктур в осесимметричных изделиях [Текст] / В.А. Голенков С.Ю. Радченко, Д.О. Дорохов, И.М. Грядунув // *Наноинженерия*. – 2012. – № 5. – С. 18-22.

18. Радченко, С.Ю. Экспериментальное исследование упрочняющей обработки внутренней поверхности вкладышей подшипников скольжения в условиях комплексного локального нагружения очага деформации [Текст] / С.Ю. Радченко, Д.О. Дорохов, И.М. Грядунув // *Мир транспорта и технологических машин*. – 2013. – № 3 (42). – С. 67-76.

Голенков Вячеслав Александрович

«Государственный университет - учебно-научно-производственный комплекс», г. Орел
доктор технических наук, профессор, президент
E-mail: admin@ostu.ru
Тел. (4862) 432606

Радченко Сергей Юрьевич

«Государственный университет - учебно-научно-производственный комплекс», г. Орел
Доктор технических наук, проф., проректор
E-mail: sur@ostu.ru
Тел. (4862) 47-50-71

Дорохов Даниил Олегович

Мценский филиал «Государственный университет - учебно-научно-производственный комплекс», г. Мценск
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: ddostu@mail.ru
Тел. (4862) 47-50-71

Кисловский Александр Алексеевич

Мценский филиал «Государственный университет - учебно-научно-производственный комплекс», г. Мценск
Аспирант
E-mail: thethe99@mail.ru
Тел. (4862) 47-50-71

V.A. GOLENKOV, S.Yu. RADCHENKO, D.O. DOROKHOV, A.A. KISLOVSKY

**FORMULATION OPTIMITIZATSII GEOMETRY
TOOL IN LOCAL COMPLEX DEFORMATION**

Article formulate the problem of finding the optimum geometry tool for the process of integrated local deformation. Given one of the possible solutions of said perspective - building tool geometry on the basis of the catenoid.

Keywords: *complex local deformation; the contact area; catenary; catenoid.*

BIBLIOGRAPHY

1. Golenkov, V.A. Klassifikacija processov kompleksnogo lokal'nogo deformirovanija [Tekst] / V.A. Golenkov S.Ju. Radchenko, D.O. Dorohov, I.M. Grjadunov // *Fundamental'nye i prikladnye problemy tehniki i tehnologii*. 2010. – № 6. – S. 85-89.

2. Golenkov, V.A. Analiz vidov uprochnjajushhej obrabotki plasticheskim deformirovaniem [Tekst] / V.A. Golenkov S.Ju. Radchenko, D.O. Dorohov, I.M. Grjadunov // *Fundamental'nye i prikladnye problemy tehniki i tehnologii*. 2011. – № 1. – S. 59-62.

3. Golenkov, V.A. Primenenie kompleksnogo lokal'nogo nagruzhenija pri formirovanii gradientnyh mehanicheskikh svojstv [Tekst] / V.A. Golenkov, S.Ju. Radchenko, O.V. Dorofeev, D.O. Dorohov // *Zagotovitel'nye proizvodstva v mashinostroenii*. №10 – 2009. – S. 22-25

4. Golenkov, V.A. Naukoemkaja tehnologija obrabotki davleniem s kompleksnym lokal'nym nagruzheniem ochaga deformacii [Tekst] / V.A. Golenkov S.Ju. Radchenko, D.O. Dorohov // *Naukoemkie tehnologii v mashinostroenii*. 2011. – № 3. – S. 31-37.

5. Golenkov, V.A. Nauchnye osnovy uprochnenija kompleksnym lokal'nym deformirovaniem [Tekst] / V.A. Golenkov, S.Ju. Radchenko, D.O. Dorohov, G.P. Korotkij. – М.: ООО «Izdatel'stvo Mashinostroenie», Орел: Gosuniversitet-UNPK. – 2013. – 122 s.

6. Golenkov, V.A. Razrabotka konstrukcii jeksperimental'noj ustanovki dlja poluchenija izdelij s gra-dientnymi submikro- i nanostrukturnymi sostojanijami veshhestva na osnove valkovoj shtampovki [Tekst] / V.A. Golenkov, S.Ju.

Radchenko, D.O. Dorohov // *Izvestija OrelGTU. Serija: «Fundamental'nye i prikladnye pro-blemy tehniki i tehnologii»* – 2008-2/270(545). S.53-55.

7. Golenkov, V.A. Perspektivy primeneniya tehnologii «valkovaja shtampovka» dlja poluchenija gradi-entnyh submikro- i nanostrukturnyh materialov [Tekst] / V.A. Golenkov, S.Ju. Radchenko, D.O. Dorohov. // *Iz-vestija TulGU. Tehnicheskie nauki. Vyp. 2.* – Tula: Izd-vo TulGU, – 2008. – S.123-128.

8. Golenkov, V.A. Formirovanie gradientnyh submikro- i nanostrukturnyh sostojanij kompleksnym lokal'nym nagruzheniem ochaga deformacii [Tekst] / V.A. Golenkov, S.Ju. Radchenko, D.O. Dorohov // *Uprochnja-jushhie tehnologii i pokrytija.* – 2009. – №3. – S. 54-56.

9. Golenkov, V.A. Sozdanie gradientnyh struktur na osnove metoda valkovoj shtampovki [Tekst] / V.A. Golenkov, S.Ju. Radchenko, O.V. Dorofeev, D.O. Dorohov // *Izvestija OrelGTU. Serija «Fundamental'nye i pri-kladnye problemy tehniki i tehnologii», № 3/275(561).* – Orel: OrelGTU. – 2009. – S.42-46.

10. Pat. 2340423 RF, B 24 B 39/04. Sposob poluchenija metallicheskih vtulok/V.A. Golenkov, V.G. Malin, S.Ju. Radchenko, G.P. Korotkij, D.O. Dorohov; zajavitel' i patentoobladatel' GOU VPO «OrelGTU». № 2007110990/02; zajavl. 26.03.2007; opubl. 10.12.2008, Bjul. № 13.

11. Pat. 2387514 RF, B21D 51/02. Sposob poluchenija metallicheskih vtulok s gradientnoj submikro- i nanokristallicheskoj strukturoj/V.A. Golenkov, S.Ju. Radchenko, D.O. Dorohov; zajavitel' i patentoobladatel' GOU VPO «OrelGTU». № 2008146756/02; zajavl. 26.11.2008; opubl. 27.04.2010, Bjul. № 12.

12. Pat. 2389580 RF, B21D 51/02. Sposob poluchenija metallicheskih vtulok s gradientnoj submikro- i nanokristallicheskim sostojaniem materiala/V.A. Golenkov, S.Ju. Radchenko, D.O. Dorohov; zajavitel' i patentoobladatel' GOU VPO «OrelGTU». № 2008146754/02; zajavl. 26.11.2008; opubl. 20.05.2010, Bjul. № 14.

13. Pat. 2462327 RF, MPK B21H1/22. Sposob poluchenija metallicheskih vtulok s gradientno-uprochnjonnoj strukturoj / V.A. Golenkov, S.Ju. Radchenko, I.M. Grjadunov (RU). №2010153917/02; Zajavleno 27.12.2010; Opubl. 27.09.2012, Bjul. №27.

14. Golenkov, V.A. Matematicheskoe modelirovanie uprochnjajushhej valkovoj shtampovki [Tekst] / V.A. Golenkov, S.Ju. Radchenko, D.O. Dorohov // *Izvestija OrelGTU. Serija «Fundamental'nye i prikladnye pro-blemy tehniki i tehnologii», № 4/276(575).* – Orel: OrelGTU. – 2009. – S.54-58.

15. Dorohov, D.O. Upravljaemoe formirovanie mehanicheskikh svojstv v izdelijah metodom kompleksnogo lokal'nogo deformirovanija [Tekst] / D.O. Dorohov // *Izvestija OrelGTU. Serija «Fundamental'nye i pri-kladnye problemy tehniki i tehnologii».* – Orel: OrelGTU, № 4(288). – Orel, OrelGTU – 2011g. – S 31-37

16. Golenkov, V.A. K voprosu o povyshenii jekspluacionnyh harakteristik polyh osesimmetrichnyh detalej mashin metodami intensivnoj plasticheskoj deformacii/ Golenkov V.A., Radchenko S.Ju., Dorohov D.O., Grjadunov I.M. // *Fundamental'nye i prikladnye problemy tehniki i tehnologii.* – 2012. – № 6. – S. 71-77.

17. Golenkov, V.A. Sozdanie gradientnyh nanostruktur v osesimmetrichnyh izdelijah [Tekst] / V.A. Golenkov S.Ju. Radchenko, D.O. Dorohov, I.M. Grjadunov // *Nanoinzheneriya.* – 2012. – № 5. – S. 18-22.

18. Radchenko, S.Ju. Jeksperimental'noe issledovanie uprochnjajushhej obrabotki vnutrennej poverhno-sti vkladyshej podshipnikov skol'zhenija v uslovijah kompleksnogo lokal'nogo nagruzhenija ochaga deformacii [Tekst] / S.Ju. Radchenko, D.O. Dorohov, I.M. Grjadunov // *Mir transporta i tehnologicheskikh mashin.* – 2013. – № 3 (42). – S. 67-76.

Golenkov Vyacheslav Alexandrovich

«State University –Education-Scientific-Production Complex», Orel
Doctor of technical science. professor, president,
E-mail: admin@ostu.ru

Radchenko Sergey Yurevich

«State University –Education-Scientific-Production Complex», Orel
Doctor of technical science. professor, prorector,
E-mail: sur@ostu.ru

Dorokhov Daniel Olegovich

Federal State Budget financed Educational Institution of Higher Education “State university - educational - scientific – production complex” Mtsensk Branch, Mtsensk
Candidate of technical science, docent
E-mail: ddostu@mail.ru

Kislovsky Alexander Alekseevich

Federal State Budget financed Educational Institution of Higher Education “State university - educational - scientific – production complex” Mtsensk Branch, Mtsensk
post-graduate student
E-mail: thethe99@mail.ru

МАШИНЫ, АППАРАТЫ, ТЕХНОЛОГИИ ЛЕГКОЙ И ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

УДК 664.61

А.А. ТИМОШЕНКО

АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ВЫПЕЧКОЙ ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ В КОНВЕЙЕРНЫХ ГАЗОВЫХ ПЕЧАХ

В статье рассмотрены основные процессы, протекающие при изготовлении сахарного печенья, обнаружены недостатки в процессе его выпечки и рассмотрены варианты их устранения.

Ключевые слова: автоматизация, выпечка, печь, управление, газ, конвейер, печенье.

Технологический процесс производства большинства сортов печенья состоит из следующих стадий: подготовка сырья, обработка и формование теста в соответствии с рецептурой, выпечка в соответствии с технологией, охлаждение, расфасовка, упаковка. Один из наиболее ответственных этапов изготовления печенья — это его выпечка в печах. Печи классифицируют по виду используемого источника энергии и способу передачи ее продукту. При этом конструкция печи обеспечивает подвод необходимого теплового потока к тестовым заготовкам в течение всего процесса выпечки, отвод пара, а также быстрое и точное регулирование температуры. [3]

В данной статье приведен анализ проблем, возникающих при выпечке печенья в конвейерных газовых печах (далее - КГП) и управлении выпечкой, решение которых может увеличить эффективность или технико-экономические показатели техпроцесса выпечки печенья.

Технологический процесс производства сахарного печенья состоит из следующих стадий и операций: подготовка сырья и полуфабрикатов; приготовление рецептурной смеси при периодическом замесе или эмульсии при непрерывном замесе теста; приготовление теста; формование теста; выпечка; охлаждение; упаковка [3].

В действующих производствах (например, в ООО «Воплощение», г.Орел) процесс выпечки сахарного печенья требует вмешательства специалиста в случае, когда на выпечку подается сырье, отличное по параметрам от сырья, на выпечку которого настроена та или иная печь, а это случается часто. Современные печи производства ОАО «Шебекинский машиностроительный завод» Г4-ХПН-3,0-45-0 и Г4-ХП-2,1-25 не имеют программного управления температурой в своих зонах и напор тепла, подаваемый в зоны печи, а так же отвод водяных паров из этих приходится регулировать вручную, что может делать только очень опытный специалист, подчас незаменимый для данного производства.

Как известно из [5], температура в камере печи является одним из факторов, влияющих на качество выпечки печенья и, в частности, на его влажность ω . Кроме того, температура в зоне печи зависит от объема подаваемого в зону газа в единицу времени, объема зоны печи. Возмущающими воздействиями для зоны с установившейся температурой являются появление в ней выпекаемых тестовых заготовок из предыдущих зон, а так же изменение напора подаваемого ко сгоранию в зону газа. Начальная температура этих тестовых заготовок отличается

Качество печенья оценивают по ГОСТ 24901-89 и осуществляют по следующим параметрам: органолептическим (форме, поверхности, цвету, вкусу, запаху, виду на изломе, намакаемости) и физико-химическим (массовым долям сахара и жира, влажности) [4].

Определяющим качественным параметром печенья является его влажность (для сахарного печенья она должна быть от 3,0% - 4,5% и не более 10%). Не существует методов по определению ее непосредственно в процессе выпечки, однако ее на практике достаточно точно определяют в лабораторных условиях [6].

$$\omega = \frac{(m_0 - m_1) \cdot 100}{m_0}; \quad (1)$$

где ω — влажность навески печенья.

m_0 — масса взвешиваемой заготовки до высушивания;

m_1 — масса взвешиваемой заготовки после высушивания;

То есть при измерении влажности в КГП, например, между зонами, мы можем говорить только об относительном изменении влажности, так как нам неизвестна начальная влажность тестовой заготовки, подаваемая к выпеканию. С целью корректировки влажности до действительных значений предлагается вводить поправочный коэффициент W , который при расчетах будет представлять собой отношение относительной влажности к реальной, определенное экспериментально для конкретно взятой печи.

Известны три метода управления влажностью выпекаемых в КГП изделий.

Метод Тинякова. В нем управляющим воздействием является изменение скорости движения конвейера в зависимости от влажности выпекаемого изделия при постоянной температуре [2].

$$\dot{Y}(t) = Cx(t) + Du(t); \quad (2)$$

$$\dot{X}(t) = \sum_{i=0}^l A_i x(t - \tau_i) + \sum_{j=0}^r B_j u(t - \tau); \quad (3)$$

$$x(t) = \square_x(t); t_0 - \tau_i \leq t \leq t_0; \quad (4)$$

$$U(t) = \square_u(t); t_0 - \tau_j \leq t \leq t_0. \quad (5)$$

где τ_i, τ_j — время запаздывания для $x(t)$ и $u(t)$;

$U(t)$ — вектор;

$Y(t)$ — вектор входных координат;

$X(t)$ — вектор промежуточных переменных (переменных состояния);

$\square_x(t), \square_u(t)$ — начальные функции;

A_i, B_j, C, D — постоянные матрицы соответствующих размерностей.

Метод Пирматова. В нем управляющим воздействием являются изменение температуры теплоносителя, входящего в слой высушиваемых изделий, а так же перепады давления газов, регулируемые локальными контурами за счет изменения положения шиберов воздуха и поворота лопаток направляющего аппарата дымососа [1]. Формула регулятора состояния имеет вид:

$$u(t) = u_1(t) + u_2(t) + u_3(t) + u_{\text{ком}}(t) + u_{\text{уст}}(e). \quad (6)$$

где $u_1(t)$ — реакция регулятора на отклонение координаты выхода от ее заданного значения;

$u_2(t)$ — реакция на отклонение координаты x_2 (скорость изменения выхода объекта) от желаемого значения скорости изменения задания;

$u_3(t)$ — реакция на отклонение координаты x_3 (ускорение изменения выхода объекта) от желаемого значения скорости изменения задания;

$u_{\text{ком}}(t)$ — компенсация возмущений;

$u_{\text{уст}}(t)$ — значение управления в установившемся режиме

Третий метод управления заключается в непосредственном управлении влажностью выпекаемого печенья. Не имеется возможности применять его, так как при современном развитии не удовлетворяются следующие требования к измерителю влажности в КГП:

- необходимо мгновенно измерять влажность выпекаемого изделия в динамике;

- необходимо иметь датчик веса, способный перемещаться в печи синхронно с конвейером и позволяющий оперативно получать информацию о массе тестовой заготовки. Так же этот датчик должен распознавать тестовую заготовку и не «промахиваться» при взвешивании;

- неизвестна частота измерения веса тестовых заготовок, достаточная для удовлетворительной работы системы управления влажностью выпекаемых изделий;

Недостатки первых двух применимых на практике способов – низкая точность, недостаточная для применения при выпечке печенья [6]. Недостаток третьего заключается в том, что таким методом нельзя оперативно определять влажность печенья на разных стадиях выпечки.

Так как влажность печенья после выпечки можно рассмотреть как зависимость от температуры в зонах КГП, то конечную влажность печенья можно рассмотреть как функцию уменьшения начальной влажности тестовой заготовки в зависимости от уменьшения влажностей этой заготовки в каждой из зон КГП или участков зон КГП в зависимости от массы заготовки в этих зонах или участках зон КГП.

$$\omega = \omega_0 - \sum_{\Gamma}^n \Delta m_n. \quad (7)$$

где ω – влажность тестовой заготовки;

ω_0 – влажность тестовой заготовки;

Δm_n – изменения массы тестовой заготовки с момента предыдущего взвешивания.

На основании этого соотношения в качестве устранения вышеописанных недостатков КГП нами предлагается следить за расходом газа путем наблюдения за влажностью печенья ω , которую можно управлять с помощью клапанов подачи горячего воздуха (1 на Рис.1) в зону печи и клапана отвода паров упека (6) из зоны на основании данных, полученных с весового датчика (8), на котором находится контрольная тестовая заготовка(4), которая движется вместе с весовым датчиком по транспортеру (5) синхронно с конвейером (2), на котором расположены все остальные выпекаемые тестовые заготовки партии (3). Данные о весе контрольной тестовой заготовки 4 поступают на вход микроконтроллера (7), анализируются и на их основании принимается решение об управлении клапанами подачи тепла (1) и отвода паров упека (6).

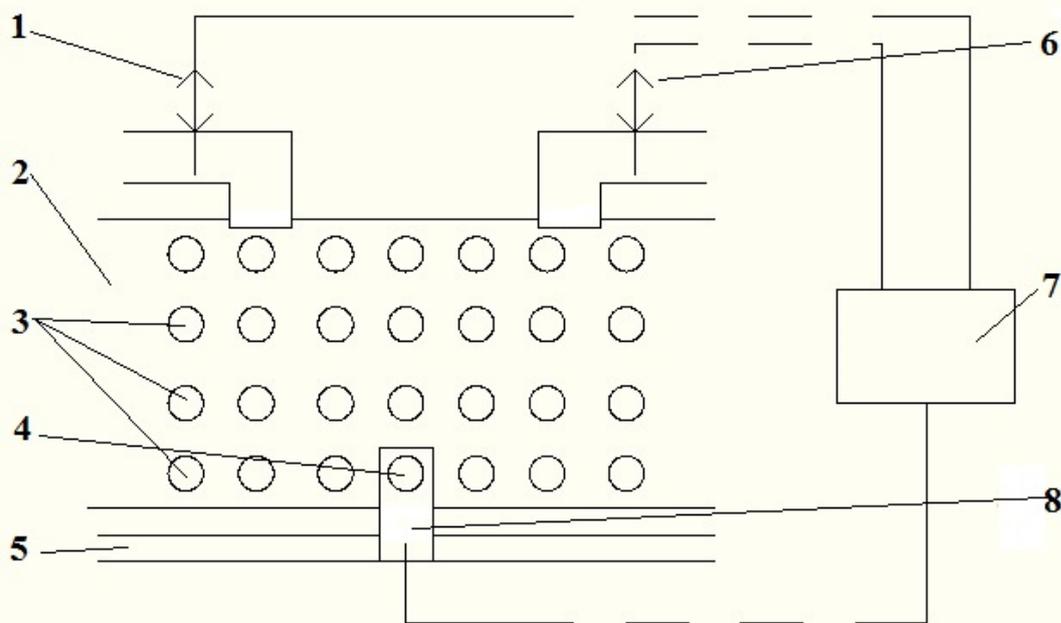


Рисунок 1 – схема управления температурой в зоне печи на основании данных о влажности ω выпекаемого изделия

Для дальнейшей работы над поставленной проблемой нами предполагается решить следующие задачи:

- автоматизация процесса выпечки на основании данных о влажности выпекаемых изделий:

- определение конструктивных особенностей аппарата измерения веса тестовых заготовок в процессе выпечки для различных типов конвейера;
- определение частоты взвешиваний тестовых заготовок, достаточное для адекватной работы системы управления влажностью выпекаемых изделий;
 - алгоритм управление влажностью выпекаемых тестовых заготовок;
 - создание системы управления влажностью выпекаемых в печи изделий на протяжении всего процесса выпечки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пирматов, Д.С. Автоматизация процесса обжига окатышей на основе наблюдателя состояния. Автореферат на соискание ученой степени к.т.н. по специальности 05.13.06. – Старый Оскол, 2013.
2. Тиняков, С.Е. Синтез алгоритмов управления сушкой капиллярно-пористых материалов с прогнозируемой моделью финальной влажности и регулируемым транспортным запаздыванием. Автореферат на соискание ученой степени к.т.н. по специальности 05.13.06. – ОрелГТУ, 2006
3. Ауэрман, Л.Я. Технология хлебопекарного производства / Л.Я. Ауэрман. - М.: Пищевая промышленность, 1972. - 512 с.
4. Шепелева, В.Ф. Товароведение и экспертиза кондитерских изделий / В.Ф. Шепелева, Н.А. Печенежская. – М.: ИКЦ «Март», 2004. – 208 с.
5. Драгилев, А.И. Оборудование для производства мучных и кондитерских изделий / А.И. Драгилев. – М.: Агропромиздат, 1989, стр.211 - система управления ШБ-2П
6. Ребрин, Ю.И. Управление качеством: учебное пособие / Ю.И. Ребрин. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2004.

Тимошенко Андрей Александрович

Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс

Аспирант, ассистент кафедры «Электронно-вычислительная техника и информационная безопасность»

302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29

Тел: 8-953-612-95-96

E-mail: bizzna@yandex.ru

A.A. TIMOSHENKO

AUTOMATION OF CONTROL PASTRIES BAKERY PRODUCTS IN PIPELINE GAS FURNACES

In the article the main processes involved in the manufacture of sugar cookies are described and the deficiencies in the process of baking. Several options of elimination of defects are also explored.

Keywords: *bake, stove, management, gas, pipeline, cookies.*

BIBLIOGRAPHY

1. Pirmatov, D.S. Avtomatizacija processa obzhiga okatyshej na osnove nabljudatelja sostojanija. Avtoreferat na soiskanie uchenoj stepeni k.t.n. po special'nosti 05.13.06. – Staryj Oskol, 2013.
2. Tinjakov, S.E. Sintez algoritmov upravljenija sushkoj kapilljarno-poristyh materialov s prognoziruemoj model'ju final'noj vlazhnosti i reguliruemym transportnym zapazdyvanijem. Avtoreferat na soiskanie uchenoj stepeni k.t.n. po special'nosti 05.13.06. – OrelGTU, 2006
3. Auerman, L.Ja. Tehnologija hlebopekarnogo proizvodstva / L.Ja. Auerman. - M.: Pishhevaja promyshlennost', 1972. - 512 s.
4. Shepeleva, V.F. Tovarovedenie i jekspertiza konditerskih izdelij / V.F. Shepeleva, N.A. Pechenezhskaja. – M.: IKC «Mart», 2004. – 208 s.
5. A.I. Dragilev Oborudovanie dlja proizvodstva muchnyh i konditerskih izdelij / A.I. Dragilev. – M.: Agropromizdat, 1989, str.211 - sistema upravljenija ShB-2P
6. Rebrin Ju.I. Upravlenie kachestvom: uchebnoe posobie / Ju.I. Rebrin. – Taganrog: Izd-vo TRTU, 2004.

Tymoshenko Andrey Aleksandrovich

State University - educational-scientific-industrial complex

Postgraduate student, assistant of the chair "computer facilities and information safety"

302020, Orel, Naugorskoe shosse, 29

Tel: 8-953-612-95-96

E-mail: bizzna@yandex.ru

ИННОВАЦИИ И КАДРЫ В МАШИНОСТРОЕНИИ

УДК 339.545: [338.45:62]

Е.Ю. СТЕПАНОВА

ЭКСПОРТНЫЕ ОГРАНИЧЕНИЯ США И ЕС КАК СТИМУЛ К РАЗВИТИЮ НАУКОЕМКИХ И ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ СЕКТОРОВ ЭКОНОМИКИ

В статье рассматривается состояние электронно-компонентной базы и станкостроения России. Выявлены причины зависимости их от импорта. Установлено влияние экспортного контроля США на развитие высоких технологий и станкостроение в России. Показана необходимость создания отечественного производства станков с ЧПУ и электронно-компонентной базы.

Ключевые слова: экспортный контроль США, санкции, высокие технологии, машиностроение, станкостроение, микроэлектроника, промышленная политика, модернизация, технологическое перевооружение, кадры

В последнее время в СМИ постоянно встречается информация о санкциях Госдепартамента США, которые в том числе включают запрет или ограничение поставок в Россию продукции двойного или военного назначения, причиной введения которых стали события в Крыму и Украине. Готовится уже «третья волна» санкций со стороны США и Евросоюза.

Однако это не первые ограничения экспорта наукоемкой и высокотехнологичной продукции в Россию. Практически год назад американцы запретили поставку чипов, являющихся электронной компонентной базой для российских космических аппаратов, в том числе для спутника «Гео-ИК-2», который был предназначен для сугубо гражданских целей - геодезических измерений высокой точности, уточнения геофизических параметров Земли и обновления ее модели [1]. Он был объявлен в одностороннем порядке военным, и все поставки прекратились. В тот раз поводом введения санкций стали события, связанные с Э. Сноуденом и Сирией.

О серьезности возникшей проблемы могут сказать следующие цифры: в отечественных космических аппаратах, в том числе и спутниках «Глонасс-М» применяются 75-80% западных электронных компонентов. Это почти полная технологическая зависимость от импорта. Роскосмосом был найден выход через приобретение аналогичных чипов у европейских партнеров, но потребовалось много времени, сил и средств для внесения ряда изменений и согласования новых параметров. Представим теперь, что подобные ограничения на поставку вводят в свою очередь страны ЕС - цикл вновь повторяется.

В 2008-2010 гг. ОАО «Главкосмос» попадало под действие ограничений США уже за нарушение правил экспортного контроля, что существенно осложнило условия его работы.

Российский ближнемагистральный гражданский пассажирский самолет «Sukhoi Superjet 100-95» также на 60-70% состоит из западных компонентов. Но, что хуже, такая же картина наблюдается и в оборонно-промышленном комплексе: электронно-компонентная база в отечественной высокотехнологичной продукции на 70% представляет собой импорт [2]. Этот «кран» может быть перекрытым в любое время. Кроме того, стоит помнить, что микроэлектронная база полностью обновляется каждые 3-5 лет. От этого импортозависимость только усугубляется.

ОАО "Ситроникс" совместно с ОАО "Роснано" в 2012 году запустили производство интегральных схем с топологическим размером 90 нм на «Микроне» (г. Зеленоград), что является шагом вперед по сравнению с бывшими 180 нм. Но сегодняшнее мировое состояние микроэлектроники - 45 нм, а фабрика чипов TSMC (Тайвань) [3] выпускает микрокомпоненты по топологии 22 нм! Не за горами технологии, обеспечивающие топологию 10 - 5 нм.

Проблема перехода с одного топологического размера на меньший, например, 90, 65, 42, 24 нм заключается в гигантских затратах на создание такого производства. Каждый шаг при этом приводит к увеличению стоимости фабрики до 3-х раз, которая составляет несколько миллиардов долларов. Известно, что рентабельность любой фабрики начинается от 30 тысяч пластин в месяц («Микрон») - 3,5 тыс. шт. в месяц). Сразу возникает мысль о заказе чипов необходимого дизайна или даже покупке их производства в Юго-Восточной Азии, где сосредоточены все фабрики чипов. Однако здесь вступает в действие система экспортного контроля США, которая полностью перекрывает эти возможности, тем более в условиях санкций, так как во всем мире все технологии на этих фабриках - американские. Даже упомянутое ранее создание производства на 90 нм предприятием «Микрон» согласовывалось с соответствующими структурами США [4].

Ясно, что отечественные предприятия при таком незначительном объеме производства электронных компонентов могут работать только при государственной финансовой поддержке.

Для повышения эффективности такого производства необходимо интегрировать все заказы по разным отраслям и ведомствам, чтобы повысить серийность и снизить себестоимость изготовления изделий. На практике сложность такого объединения обусловлена разной ведомственной подчиненностью, уровнем секретности, горизонтом планирования и многими другими факторами.

В 2014 году в связи с событиями в Крыму США и ряд других стран вводят новые точечные санкции против России [5], в первую очередь относящиеся к обороне и энергетике: программному обеспечению, техническому оборудованию, огнестрельному оружию, некоторым видам химикатов, лазерным технологиям.

Для преодоления и снижения зависимости от импорта с Запада электронных компонентов для высокотехнологичной продукции делаются определенные шаги, например, в рамках ФЦП «Развитие электронной компонентной базы и радиоэлектроники на 2008-2015 годы». Результат выполнения программы пока не очень оптимистичен – приведенный ранее процент западных заимствований говорит сам за себя. К 2015 году по этой программе планируется достичь уровня технологии 45 нм, что, несомненно, сократит, но не ликвидирует отставание отечественной электроники от мировых показателей. Но даже этот результат в серийном производстве в существующей ситуации, на наш взгляд, может считаться успешным.

Поэтому время разработки отечественной элементной электронной базы назрело. Ограничения и санкции, по мнению руководителей страны, должны стать серьезным стимулом и катализатором развития производства импортозамещения.

Полезен будет для нас и китайский опыт, когда давний запрет США на поставки в КНР электронной компонентной базы вынудил ее к созданию в стране собственного производства. И теперь Китай на 98% обеспечивают свою космическую промышленность компонентами собственного производства. Меньшее количество отказов их космических аппаратов по сравнению с российскими, особенно в последние годы, хотя и косвенно, но говорит о высоком качестве продукции. То есть при желании преодолеть технологическое отставание можно и крайне необходимо.

Из истории известно, что за время существования КНР в отношении ее неоднократно принимались дискриминационные меры экспортного контроля США, запрещающие, например, продажу республике 47 видов высокотехнологичных товаров [6]. В результате мобилизации научного и технического потенциала Китай создал у себя импортозамещающие производства.

Производить все самостоятельно, что выпускается в мире, невозможно. Но стратегически важную для страны продукцию, ее национальной безопасности и суверенитета просто необходимо изготавливать у себя.

Но даже в самое благоприятное время, в условиях отсутствия санкций и большой дружбы и научно-технического сотрудничества между странами, существует громадный перечень товаров и услуг, подпадающих под действие правил экспортного контроля США [4]:

- все товары и услуги, страной происхождения которых являются США, независимо от их местонахождения,
- компоненты, материалы, программное обеспечение или другие товары, страной происхождения которых являются США,
- собранные за границей в изделие иностранного производства, в котором превышен установленный максимум компонентов американского производства,
- определенные продукты иностранного производства, напрямую полученные от использования американских технологий или программного обеспечения,
- определенные товары, произведенные на любом предприятии или с помощью основного оборудования этого предприятия, расположенного за пределами США, если это предприятие или оборудование созданы благодаря прямому использованию американских технологий, либо программного обеспечения». Лицензия на закупки может быть выдана, но с большим количеством установленных ограничителей для потребителя.

За выполнением правил и требований экспортного контроля следит могущественная организация – Бюро промышленности и безопасности (Bureau of Industry and Security, BIS), которая имеет разветвленную структуру (рисунок 1) и является структурным подразделением Министерства торговли США, насчитывающего в целом десятки тысяч человек [7].



Рисунок 1 – Схема организации экспортного контроля США

Бюро промышленности и безопасности имеет возможность накладывать ограничения на экспорт товаров из США, имеющих двойное назначение, через обязательное получение лицензии, его запрете для определенных стран, контролировать использование продукции США в странах-импортерах и даже географическое место эксплуатации. Оно должно обеспечивать нераспространение оружия массового поражения, средств их доставки террористам и определенным странам-изгоям. Своими действиями Бюро должно обеспечивать военное и технологическое превосходство страны, конкурентоспособность и лидерство в мире американской промышленности и экономики в целом. Достаточно часто может применяться так называемая «презумпция отказа»: какие бы лицензии не запросили, автоматически следует отказ. Парадоксально, что нормы, разработанные для одной страны, распространяются на все страны мира.

Свежим примером являются события, связанные с отечественной IT-компанией «Т-Платформы»[8]. После того, как она добилась больших успехов в создании суперкомпьютеров, завоевав 50% рынка в России и порядка 1% мирового, 8 марта 2013 года попала в «Список организаций и лиц, действующих вопреки национальной безопасности и внешнеполити-

ческим интересам США». Причина – сокращение доли иностранных компаний, работающих в этой области в нашей стране, в том числе американских, с 90 до 25%. Были введены экспортные ограничения, распространяющиеся как на центральный офис в Москве, так и на региональные отделения в Германии и Тайване. Бюро промышленности и безопасности в своем решении отметило следующее «Бюро имеет основания полагать, что компания «Т-Платформы» экспортировала товары двойного назначения без необходимой лицензии и что деятельность компании связана с разработкой компьютерных систем для военных целей и с производством компьютеров для ядерных исследований»[8].

По официальным данным с сайта компании программные и аппаратные решения «Т-Платформы» применяются для проведения фундаментальных и прикладных исследований в наукоемких областях: математике, физике, химии, биотехнологии, являясь технологической базой для решения ресурсоемких задач в авиа- и судостроении, нефти - и газоразведке, автомобильной промышленности и машиностроении, видеоиндустрии и др.

Ситуация повторилась, как со спутником. Так как элементная база полностью находится под американским контролем, то возможности приобретения где бы то ни было электронных компонентов нового поколения закрыты. Отсюда следует вывод: рынок суперкомпьютеров должен опять перейти под контроль США.

Только после подачи апелляции в августе 2013 года с обоснованием, что компания выполняет все требования экспортного контроля США, и вмешательства дипломатического корпуса страны BIS в январе 2014 года приняло решение об удалении имени компании «Т-Платформы» из списка организаций, подвергающихся экспортным ограничениям. Во время рассмотрения апелляции, а это почти год, компания не закупала комплектующие материалы, остановила выполнение ряда проектов, снизила темпы развития и продаж, понесла существенные экономические и имиджевые потери.

Тут уместно напомнить, что правила торговли изделиями двойного назначения (а современная микроэлектроника практически вся соответствует этому определению) подпадают также под действие международных так называемых Вассенаарских соглашений по контролю за экспортом обычных вооружений и высоких технологий (товаров и технологий «двойного применения»). Россия также является их участником. Согласно этим соглашениям каждое государство само определяет, что из подобных товаров и технологий оно готово продавать, кому, когда и сколько. Россия также использует механизм экспортного контроля, и он рассматривается как один из ключевых элементов ее национальной безопасности.

Поэтому США вводит ограничения абсолютно легально на основе этих соглашений. Но обладание в большинстве секторов экономики подавляющим технологическим преимуществом, дает им возможность самим диктовать, определять, исходя из экономических или политических интересов, в какой мере и кого можно допустить до тех или иных высоких технологий, товаров или услуг. Этот факт также говорит о необходимости развития импортозамещения в «чувствительных» зонах отечественной промышленности.

Попытки компаний обойти ограничения экспортного контроля и санкций жестко пресекаются. Они подвергаются большим многомиллионным штрафам, судебному преследованию, вплоть до разорения и больших тюремных сроков.

Современное станкостроение России - базовая отрасль машиностроения, фундамент его модернизации также находится в поле зрения экспортного контроля США и ЕС. Практически все современные станки и в первую очередь станки с ЧПУ относятся к продукции двойного назначения, так как без них невозможно изготовление многих видов как гражданской, так и военной техники. На эту продукцию полностью распространяются правила Вассенаарского соглашения об их нераспространении. Такие станки нельзя купить на свободном рынке. Их поставка связана с лицензированием, ограничениями или полностью невозможна.

Список двойных технологий включает [9]:

- фрезерные и шлифовальные станки для 5-ти координатной обработки всех типов;
- высокоточные станки с ЧПУ: токарные с возможностью интерполяции по трем линейным и одной вращательной координатам; расточные, шлифовальные с интерполяцией по трем или более координатам;

- оборудование для гидроструйной, электронно-лучевой и лазерной обработки с двумя или более вращательными координатами;
- технологические роботы с адаптивным управлением.

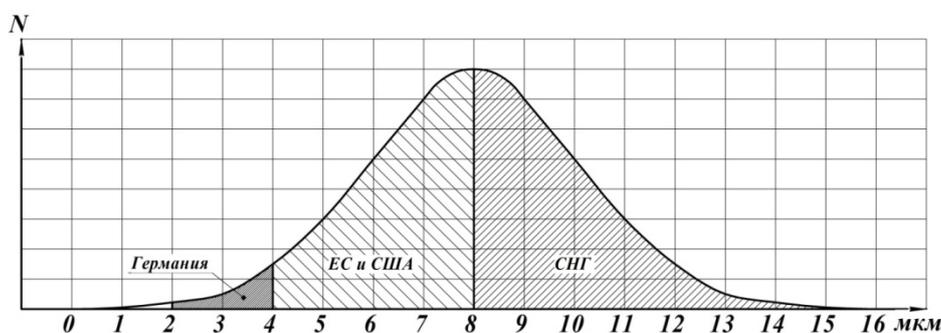
Не секрет, что за последние 20 с лишним лет в России были обанкрочены многие ведущие предприятия как машиностроения в целом, так и станкостроения, в частности. Разрушены или устарели инфраструктура и оборудование предприятий, утеряны многие технологии, а самое главное – возникли проблемы нехватки как высококвалифицированных инженерно-технических, так и рабочих кадров, в том числе и в оборонно-промышленном комплексе страны [10-12]. Отечественные предприятия станкостроения в этой связи не смогли удовлетворить растущие потребности промышленности в станках. В результате большая часть этих потребностей покрывается за счет импорта, доля которого составила в 2012 году 92% от объема предложения (1157000 шт.) В денежном выражении это составило 2,5 млрд. долларов. Доля российского производства – менее 1% (10000 шт.)! Доля импорта Китая в Россию составляла в 2012 году – 45%, Германии – 13%, Италия -10%, Тайвань – 7% [13].

К сожалению, закупки станков, как правило, проводились бессистемно, вне рамок какой либо внятной промышленной политики. Закупались преимущественно единичное универсальное оборудование, станки с системами ЧПУ до 4-х управляемых координат. Для справки: ведущие мировые станкостроительные фирмы выпускают уже станки с системами ЧПУ, количество управляемых осей в которых достигает 64 [14]. Но станки такого уровня никто нам не продаст.

Кстати, Китай уже научился изготавливать сам многокоординатные станки, что также явилось результатом длительного прессинга экспортного контроля США, и начал их экспортировать в Германию!

Таким образом, латая дыры в станочном парке новыми импортными станками вчерашнего технического уровня, автоматически закладывается будущее технологическое отставание и разрыв на порядок в производительности труда.

Очень интересно посмотреть с другой стороны, какие станки мы используем у себя, как они диагностируются у производителя и при закупках в России (рисунок 2) [15].



**Рисунок 2 – Станки для развитых и развивающихся стран:
график по точности обработки круговой интерполяции на станках по ISO 230-4,
поставляемых в разные страны (измеряется 17 параметров)**

Из этого рисунка следует, что среднестатистический станок имеет погрешность порядка 8 мкм и, по словам В.В. Сметана, вице-президента по стратегическому развитию ГК ФИНВАЛ, производители станков, например, Германии, после их диагностики придерживаются негласного правила: лучшие станки с точностью интерполяции 2-4 мкм оставляют для себя, 4-8 мкм - для развитых стран-партнеров, для развивающихся стран, в том числе и нам – все, что за этими пределами. Подобной диагностики у нас в стране при закупке не производится. В определенной степени и этот факт добавляет лепту в технологическое отставание отечественной продукции от зарубежных аналогов.

Очередные шаги по развитию станкостроения России предусмотрены в новой редакции подпрограммы «Развитие отечественного станкостроения и инструментальной промыш-

ленности», одобренной 15 апреля 2014 года. Подпрограмма является важнейшей частью Государственной программы «Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности на период до 2020 года», от которой Правительство РФ ожидает изменение облика российской промышленности. Реализация первых проектов подпрограммы должна начаться осенью этого года.

Большие надежды по воплощению программы в жизнь возлагаются на МГТУ «СТАНКИН», который многие годы находился в лидерах борьбы за возрождение отечественного станкостроения. В рамках соглашения о стратегическом сотрудничестве от 31 декабря 2013 года между ОАО «Станкопромом» (ГК Ростех) и МГТУ «Станкин» создан федеральный инжиниринговый центр «Станкоинжиниринг». Предполагается, что центр будет использовать материальный, технический, научный и кадровый потенциалы обеих организаций. ОАО «Станкопром» представляет собой интегрированную структуру, которая является системным интегратором российской станкостроительной отрасли, объединяет практически все сохранившиеся станкостроительные организации страны, а также государственные производственные, инструментальные, научные и коммерческие организации. В структуру холдинга входят 18 предприятий, включая головную организацию, и такие как ОАО «ВНИИАЛМАЗ», ОАО «ВНИИИНСТРУМЕНТ», ЗАО «Сатурн-Инструментальный завод», ООО «Савеловский машиностроительный завод» и др. 100% акций минус 1 ОАО «Станкопрома» принадлежит ОАО «Объединенная промышленная корпорация «Оборонпром», которая в свою очередь входит в структуру ГК «Ростех». Последняя представляет собой яркий пример интегрированной многоуровневой структуры - 663 организации, входящих в 22 компании прямого управления и 13 холдингов.

Перед «Станкоинжинирингом» стоит задача разработки отраслевых стандартов, базовых решений и требований к выбору оборудования и программного обеспечения для потребностей всех базовых отраслей отечественной промышленности, а также разработка и организация серийного производства конкурентоспособных средств машиностроительного производства, превосходящих по своим техническим характеристикам и показателям лучшие зарубежные аналоги [16].

Определенный опыт у университета есть. Так ранее, в 2008 году, в МГТУ «СТАНКИН» был создан Государственный инжиниринговый центр, главной целью которого являлось – долгосрочное обеспечение технологической независимости и конкурентоспособности российского машиностроения. Центр включает около двух десятков лабораторий, оснащенных новейшим технологическим, научным и измерительным оборудованием.

В развитие этого направления, в июне 2014 года в Станкине был открыт международный российско-швейцарский центр компетенций в области многокоординатной технологий микрообработки со сверхвысокой точностью, который должен стать, по словам ректора университета С.Н. Григорьева, базовой площадкой для сопровождения программ техперевооружения высокотехнологичных предприятий, а также повышения квалификации специалистов предприятий машиностроения [17].

Выводы:

Снизить зависимость технологического перевооружения предприятий стратегически важных и приоритетных для экономики страны отраслей: оборонно-промышленной, энергомашиностроительной, судостроительной, авиационной и космической, от ограничений экспортного контроля и санкций западных стран можно лишь через развитие собственного станкостроения и радиоэлектроники.

Без государственной поддержки этих отраслей выполнить программы модернизации отраслей страны невозможно.

Подготовка кадров для высокотехнологичных отраслей является государственным приоритетом.

Время коренного изменения отношения к развитию этих отраслей наступило.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. США запретили поставку чипов для российских спутников. Режим доступа: <http://izvestia.ru/news/567232>. - Дата обращения: 11.03.2014.
2. <http://www.vpk-news/articles/20238>. - Дата обращения: 14.05.2014.
3. Lenta.ru: Наука и техника: Оружие: «Все передовые армии уходят в ночь». – Режим доступа: <http://lenta.ru/articles/2013/12/03/electronic>. – Дата обращения: 12.03.2013.
4. Фадеев В. Русскому хайтеку указали на место //Эксперт. – 2013. - №3 (845). – Режим доступа: <http://expert.ru/expert/2013/13/russkomu-hajteku-ukazali-na-mesto>. - Дата обращения: 30.03.2013.
5. Санкции как оружие: США запретили продавать России лазеры и взрывчатку. – Режим доступа: <http://www.asks.ru/news/3691>. - Дата обращения: 27.03.2014.
6. Почему США так «скупы» в экспорте высокотехнологичных товаров в Китай? //Газета «Женьминь жибао» он лайн. Режим доступа: <http://Russian.people.com.cn/95181\7140668>. - Дата обращения 14.05.2014.
7. Сайт ООО «Лаборатория “Вычислительная механика” (CompMechLab®). – Режим доступа: http://www.fea.ru/FEA_news_2783.html. - Дата обращения: 14.05.2014.
8. <http://www.tpl.ru/about-company/press-releases>. - Дата обращения 27.03.2014.
9. Григорьев, С.Н. Кадровое обеспечение российского машиностроения /С.Н. Григорьев //Вестник МГТУ «Станкин». – 2009. – № 1 (5). – С. 5-8.
10. Степанова, Е.Ю. Развитие машиностроения и новые возможности в условиях глобального экономического кризиса / Е.Ю. Степанова / I междунар. науч.-техн. конф. «Совершенствование существующих и создание новых технологий в машиностроении и авиастроении»: Сб. тр. (1-3 июня 2009 года, г. Ростов-на-Дону). – Ростов н/Д: Изд-во ЮНЦ РАН, 2009. – С. 109-117.
11. Степанова, Е.Ю. Проблемы и тенденции в машиностроительном комплексе России и мировой финансовый кризис / Е.Ю. Степанова // Известия ОрелГТУ. Серия «Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии». – 2009. - №2-3/274 (560). – С. 143-148.
12. Степанова, Е.Ю. Проблемы подготовки инженерно-технических кадров для интегрированных структур оборонно-промышленного комплекса /Е.Ю. Степанова //Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2014. - №1 (303). – С. 94-100.
13. Анализ рынка станков для обработки материалов России в 2008-2012 гг., прогноз на 2013 - 2017 гг. - <http://research.coolidea.ru/index.php?parent=rubricator&child=getresearch&id=15241>. Дата обращения: 30.07.2013.
14. Современные тенденции развития систем ЧПУ //Стружка. – 2011. - № 1-2. – Режим доступа: http://stanoks.com/index.php?option=com_content&view=article&id=1318:2013-06-14-06-44-20&catid=49:articles&Itemid=192. – Дата обращения: 27.03.2014.
15. Сметана В.В. Станкостроение в России: новые тренды. – Режим доступа: http://www.youtube.com/watch?feature=player_embedded&v=mVojXTZo_TU. Дата обращения 14.04.2014.
16. Перегрузка отечественного станкостроения стартует осенью. – Режим доступа: http://www.mashportal.ru/machinery_news-35094.aspx. – Дата обращения 20.05.2014.
17. Официальный сайт МГТУ «Станкин». - <http://www.stankin.ru>.

Степанова Елена Юрьевна

Госуниверситет – УНПК, г. Орел
Кандидат экономических наук, доцент
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 40
Тел.: 9066601144
E-mail: eco-nauka@ya.ru

E.Yu. STEPANOVA

EXPORT RESTRICTIONS OF THE USA AND EC AS INCENTIVE TO THE DEVELOPMENT OF THE KNOWLEDGE-INTENSIVE AND HI-TECH SECTORS OF ECONOMY

In the article the condition of electronic and the component base and machine-tool construction of Russia is considered, the reasons of their dependence on the importance are being established. Influence of export control of the USA on the development of high technologies and machine-tool construction in Russia are established. The need of the creation of a domestic production of CNC (computer numerical control) devices and electronic and component base are shown.

Keywords: *U.S. export controls, sanctions, high technology, machine-building, machine tool industry, microelectronics, industrial policy, modernization, technological reequiptment, personnel*

BIBLIOGRAPHY

1. SShA zapretili postavku chipov dlja rossijskih sputnikov. Rezhim dostupa: <http://izvestia.ru/news/567232>. - Data obrashhenija: 11.03.2014.
2. <http://www.vpk-news/articles/20238>. - Data obrashhenija: 14.05.2014.
3. Lenta.ru: Nauka i tehnika: Oruzhie: «Vse peredovye armii uhodjat v noč'». – Rezhim dostupa: <http://lenta.ru/articles/2013/12/03/electronic>. – Data obrashhenija: 12.03.2013.
4. Fadeev V. Russkomu hajteku ukazali na mesto //Jekspert. – 2013. - №3 (845). – Rezhim dostupa: <http://expert.ru/expert/2013/13/russkomu-hajteku-ukazali-na-mesto>. - Data obrashhenija: 30.03.2013.
5. Sankcii kak oruzhie: SShA zapretili prodat' Rossii lazery i vzryvchatku. – Rezhim dostupa: <http://www.asks.ru/news/3691>. - Data obrashhenija: 27.03.2014.
6. Pochemu SShA tak «skupy» v jeksperte vysokotehnologičnyh tovarov v Kitaj? //Gazeta «Zhen'min' zhibao» on lajn. Rezhim dostupa: <http://Russian.people.com.cn/95181\7140668>. - Data obrashhenija 14.05.2014.
7. Sajt OOO «Laboratorija “Vychislitel'naja mehanika” (CompMechLab®). – Rezhim dostupa: http://www.fea.ru/FEA_news_2783.html. - Data obrashhenija: 14.05.2014.
8. <http://www.tpl.ru/about-company/press-releases>. - Data obrashhenija 27.03.2014.
9. Grigor'ev, S.N. Kadrovoe obespechenie rossijskogo mashinostroenija /S.N. Grigor'ev //Vestnik MGTU «Stankin». – 2009. – № 1 (5). – S. 5-8.
10. Stepanova, E.Ju. Razvitie mashinostroenija i novye vozmožnosti v uslovijah global'nogo jekonomičeskogo krizisa /E.Ju. Stepanova /I mezhdunar. nauch.-tehn. konf. «Sovershenstvovanie sushhestvujushhij i sozdanie novyh tehnologij v mashinostroenii i aviaostroenii»: Sb. tr. (1-3 ijunja 2009 goda, g. Rostov-na-Donu). – Rostov n/D: Izd-vo JuNC RAN, 2009. – S. 109-117.
11. Stepanova, E.Ju. Problemy i tendencii v mashinostroitel'nom komplekse Rossii i mirovoj finansovyj krizis / E.Ju. Stepanova // Izvestija OrelGTU. Serija «Fundamental'nye i prikladnye problemy tehniki i tehnologii». – 2009. - №2-3/274 (560). – S. 143-148.
12. Stepanova, E.Ju. Problemy podgotovki inženerno-tehnicheskijh kadrov dlja integrirovannyh struktur oboronno-promyšlennogo kompleksa /E.Ju. Stepanova //Fundamental'nye i prikladnye problemy tehniki i tehnologii. – 2014. - №1 (303). – S. 94-100.
13. Analiz rynka stankov dlja obrabotki materialov Rossii v 2008-2012 gg., prognoz na 2013 - 2017 gg. - <http://research.coolidea.ru/index.php?parent=rubricator&child=getresearch&id=15241>. Data obrashhenija: 30.07.2013.
14. Sovremennye tendencii razvitija sistem ChPU //Struzhka. – 2011. - № 1-2. – Rezhim dostupa: http://stanoks.com/index.php?option=com_content&view=article&id=1318:2013-06-14-06-44-20&catid=49:articles&Itemid=192. – Data obrashhenija: 27.03.2014.
15. Smetana V.V. Stankostroenie v Rossii: novye trendy. – Rezhim dostupa: http://www.youtube.com/watch?feature=player_embedded&v=mVojXTZo_TU. Data obrashhenija 14.04.2014.
16. Perezagruzka otechestvennogo stankostroenija startuet osen'ju. – Rezhim dostupa: http://www.mashportal.ru/machinery_news-35094.aspx. – Data obrashhenija 20.05.2014.
17. Oficial'nyj sajt MGTU «Stankin». - <http://www.stankin.ru>.

Stepanova Elena Yurievna

State University-ESPC

Candidate of Economic Sciences, Associate Professor

302020, Orel, Naugorskoe highway, 40

Tel. 9066601144

E-mail: eco-nauka@ya.ru

УДК 001.83

М.И. АБАШИН, Е.В. ВИНОКУРОВА, А.Л. ГАЛИНОВСКИЙ, В.Б. ТИМОФЕЕВ

АНАЛИЗ ПРИОРИТЕТНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО И ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО СОТРУДНИЧЕСТВА МЕЖДУ РОССИЕЙ И КИТАЕМ

Статья рассматривает проблему разработки актуализированного перечня перспективных направлений научных исследований и тематик для совместной работы по ним в рамках сотрудничества университетов России и Китая. Наличие существующих и вынесенных на рассмотрение федеральных перечней приоритетных технологий, а также существующая достаточно многочисленная тематика уже совместно реализуемая российскими и китайскими университетами затрудняет решение данной проблемы. Отдельной задачей является оценка направлений перспективных исследований, востребованных китайской стороной. Сложность получения такой информации от первоисточников, т.е. китайских партнеров требует проведения независимого аналитического исследования по приоритетным для КНР темам научных исследований. Для понимания внутренней ситуации в статье проводится анализ развития экономики, политики в области развития высокотехнологичных производств, особенности поддержки машиностроительной и других отраслей в КНР. Сделаны выводы, что наиболее перспективными для совместных исследований являются те области науки и техники, где отсутствуют или в недостаточной степени присутствуют западные инвестиции, где не велик объем привлечения западных специалистов и компаний. К таким перспективным областям относится ракетостроение и космонавтика, авиастроение, атомная энергетика тяжелое машиностроение, управление полетом и др.

Ключевые слова: приоритетные технологии, Россия, Китай, международное сотрудничество, научные исследования

В настоящее время имеется целая серия исследований, посвященных вопросам развития научно-образовательной сферы КНР и РФ [1-5]. На протяжении последних лет подготовлены и защищены десятки диссертаций, как российскими, так и китайскими учеными. Очевидно, что изучение процессов взаимодействия России и Китая, анализ научно-технического потенциала обеих стран имеют важное значение для плодотворного продолжения сотрудничества в приоритетных направлениях науки и техники, являются актуальным и значимым. Тематика имеющихся направлений исследований достаточно разнообразна, среди прочих следует отметить следующие тематические направления:

- совместные исследования в области изучения структуры, содержания и технологии политехнического образования в Китае;
- исследование исторических аспектов становления и развития системы инженерного образования в Китае, изучение опыта и традиций подготовки инженерных кадров в Китае;
- выявление факторов, влияющих на изменение содержания и технологий преподавания инженерно-технических дисциплин;
- оценка влияния процессов глобализации, в том числе вхождения Китая в Шанхайскую организацию сотрудничества, на социальные, гуманитарные и образовательные институты;
- анализ опыта Китая в сохранении многовековых исторических, социально-культурных, педагогических традиций в системе подготовки кадров в условиях глобализации мировой экономики.
- изучение опыта китайских вузов по реализации технологий дистанционного и открытого образования, в том числе лабораторий удаленного доступа, интерактивных мультимедийных учебных курсов и др.
- изучение опыта китайских вузов по отбору, адресной поддержке участников образовательного процесса в системе довузовского, высшего и послевузовского

профессионального образования, прежде всего талантливой, научно-творческой молодежи, ведущего профессорско-преподавательского состава учебных заведений.

– исследование опыта Китая в области интеграции системы технического образования, промышленных предприятий и научно-исследовательских институтов, формировании сквозных тематик научных исследований. Анализ системы финансирования научных исследований университетов Китая через структуру государственных целевых программ, систему грантов и др.

– роль и место русской эмиграции в становлении системы образования в Манчжурии.

– выявление и структурно-статистический анализ факторов, позволивших Китаю выйти на мировой уровень предоставления образовательных услуг.

Наряду с этим в настоящее время отсутствуют исследования, в полной мере охватывающие вопросы перспектив развития тех или иных наукоемких направлений машиностроения, создание обобщенного перечня приоритетных и критических технологий, тем совместных Россия – Китай исследований. Для этого потребовалась разработка общего методического плана для проведения системного анализа данных вопросов (рис. 1).

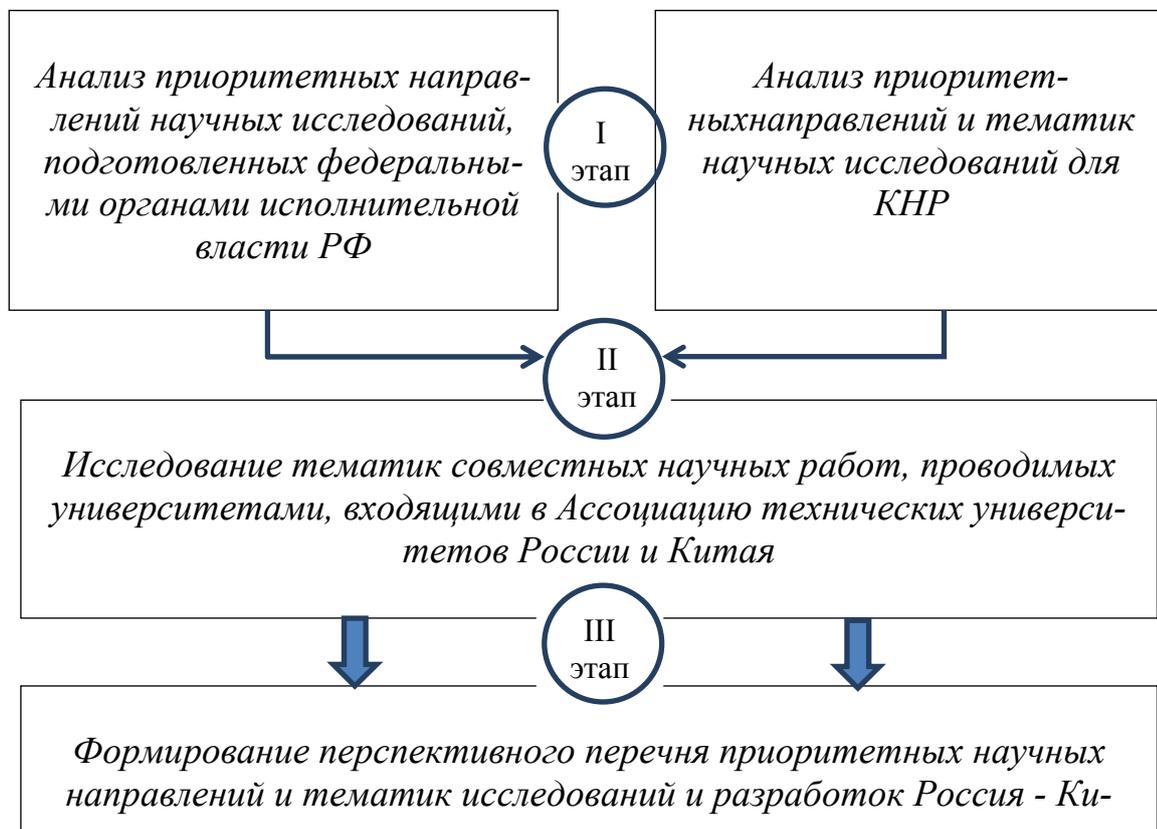


Рисунок 1 - Поэтапный план проведения исследований по анализу приоритетных научных направлений и тематик для России и Китая

На первом этапе планируется проанализировать перечни приоритетных и критических технологий, сформированные в последний период времени: приоритетные направления развития науки, технологий и техники в РФ и перечня критических технологий РФ, предложения по приоритетным направлениям развития сферы исследований и разработок государственной программы Российской Федерации «Развитие науки и технологий» на 2013–2020 годы, приоритетные научные задачи для федеральных центров коллективного пользования научным оборудованием. Интерес представляют претерпевшие изменения в

этих перечнях, а также их разделы с указанием технологических возможностей и вероятного технического облика важнейших инновационных продуктов.

Второй этап исследования представляет собой анализ данных, собранных от университетов, входящих в Ассоциацию технических университетов России и Китая. Все участвующие стороны ассоциации имеют тот или иной уровень интеграции и взаимодействия по определенным научным и методическим направлениям. Этот перечень тем наряду с закрепленными в качестве приоритетных в перечнях федеральных органов исполнительной власти служит основой для формирования перспективного перечня приоритетных научных направлений и тематик исследований и разработок по программе сотрудничества «Россия – Китай».

Аналитические исследования приоритетных направлений научно-технического развития КНР будем проводить на основе анализа основных этапов формирования базы наукоемких и высокотехнологичных производств, изучения основных направлений проводимой Китаем политики в сфере построения новой экономики и развития отдельных отраслей наукоемких технологий. На протяжении последнего десятилетия Правительство КНР сосредоточило свое внимание на решение вопросов повышения конкурентоспособности национальной экономики, качества жизни своих граждан, национальную безопасность страны. При этом руководство КНР подчеркивает, что эти направления в значительной степени определяются прогрессом науки и использованием новых технологий, которые должны позволять актуализировать производственные процессы и повышать их эффективность. Примером того, что КНР ориентируется на развитие наукоемких производств, является сокращение объемов поставок на внешний рынок редкоземельных материалов, используемых при производстве наукоемкой техники различного назначения, в том числе в радиоэлектронике, приборостроении, атомной технике, машиностроении, химической промышленности, в металлургии и др. Государство прогнозирует рост этого сегмента рынка и увеличение объемов производства наукоемкой продукции, требующей этот материальный ресурс – редкоземельные материалы.

Так, в частности, лантан, церий, неодим и празеодим входят в состав высокотехнологичных стекол специального назначения, например пропускающих инфракрасные и поглощающих ультрафиолетовые лучи. Соединения редкоземельных элементов используют так же для создания лазерных и других оптически активных элементов в оптоэлектронике. Диспрозий необходим для создания гибридных автомобильных двигателей.

На сегодняшний день экономика Китая является одной из наиболее динамично развивающихся, а процесс формирования базы современных наукоемких и высокотехнологичных производств является приоритетным направлением проводимой государством политики. В течение последних десятилетий наблюдается устойчивая тенденция увеличения доли высокотехнологичной продукции в общем объеме производимой продукции КНР. С началом проведения экономической реформы развитие современных технологий стало приоритетным направлением, что в значительной степени способствовало экономическому росту в новом тысячелетии.

Быстрое развитие Китая в области наукоемких и высокотехнологичных производств было достигнуто в значительной степени за счет инвестиционного сотрудничества с крупнейшими мировыми производителями высокотехнологичной продукции. Однако этот процесс был выверенным, тщательно планировался, поддерживался, направлялся и контролировался руководством КНР при реализации дорожных карт. Таким образом, актуализация и повышение внимания к опыту Китая в решении проблемы изменения подходов в организации планирования и управления процессами проведения научных исследований, распределении средств государственного бюджета, выделяемых на проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок (НИОКР), восстановление и модернизация устаревшей производственной базы, является актуальной задачей имеющей практическое значение для отечественной экономики. В качестве наиболее значимых сегментов рынка высокотехнологичной продукции следует выделить производства персональных компьютеров (ПК),

периферии и электронных компонентов, ракетно-космические технологии, судостроение, станкостроение, энергомашиностроение и общее машиностроение. При этом некоторые отрасли, такие как информационно-коммуникационные технологии, опережают среднемировые показатели или находятся на их уровне. Надо отметить, что доля высокотехнологичной продукции в экспорте КНР постоянно растет, также увеличивается объем ее производств. При этом продукция компаний с иностранным капиталом по-прежнему составляет большую часть от общего объема экспортируемой КНР высокотехнологичной продукции. На сегодняшний день более 450 из 500 крупнейших в мире компаний инвестировали в Китай: Microsoft, General Electric, Sony, Exxon-Mobile, Royal Dutch Shell, General Motors, Toyota, Volkswagen, Boeing, Matsushita, Siemens, Toshiba, Intel, Kodak, Hewlett-Packard и IBM. Надо отметить, что достигнутые результаты в области производства высокотехнологичной продукции во многом связаны с большими объемами привлеченных инвестиций от ведущих мировых компаний.

В этой связи, важное значение приобретает исследование проблем формирования приоритетных направлений научно-технического сотрудничества между Россией и Китаем. При этом нужно подчеркнуть, что у наших стран имеется большой опыт сотрудничества в этой области и продолжительная история. С момента своего образования КНР уделяла повышенное внимание вопросам развития науки и техники и немалую роль в это процессе играл СССР. В период 1953-1957 гг. СССР безвозмездно передал Китаю значительное число современных промышленных технологий, оказал помощь в строительстве 156 промышленных проектов на территории КНР. В этот период Китай выстроил систему научно-исследовательских центров, построил сеть машиностроительных, энергомашиностроительных и других предприятий, которые по сей день успешно функционируют и являются основой китайской экономики.

Важность науки и техники как ключевого фактора развития экономики государства была сформулирована китайским правительством в общей программе Народного Политического Консультативного Совета Китая (НПКСК), в которой говорилось о необходимости концентрации усилий на развитии естественных наук с целью стимулирования роста промышленности, сельского хозяйства, а также национальной обороны [6].

Новый этап преобразования и развития экономики КНР начался с середины 80-х гг. Приоритетными стали задачи сокращения числа функций центрального правительства при планировании развития наукоемких отраслей промышленности, коммерциализации новых технологий и их внедрения на практике. Правительство разрабатывает и запускает ряд программ направленных на развитие и стимулирование научно-технических исследований. Во многом их целью является повышение конкурентоспособности машиностроительной и наукоемкой продукции, повышение эффективности производственных процессов и качества производимой продукции. Среди таких программ отметим программы: «Овладение научно-техническими вершинами», «863» [7] и «973», «Искра» и «Факел», а также серия планов «Золотые проекты». По итогам реализации этих программ к середине 90-х гг. на многих крупных государственных предприятиях были организованы центры развития технологий (зон технико-экономического развития). Опыт Китая по созданию и эффективному управлению такими центрами является уникальным и одним из самых успешных в мировой практике. Следует ожидать, что зоны развития технологий будут продолжать играть активную роль в оптимизации и реструктуризации экономики КНР. Таким образом, Китай, начав с полного копирования советской экономической системы, со временем плавно трансформировал ее в сообщество мощных инжиниринговых компаний, которые действуют по всему миру, конкурируя с западными компаниями на мировом рынке. Список крупнейших международных инжиниринговых компаний в последние годы значительно пополнился представителями Китая. По итогам 2013 года в рейтинге 250 крупнейших компаний-контрактеров по объему прибыли вошли 55 компаний из Китая.

Сегодня Китай видит ряд проблем для сохранения темпов развития своей экономики – это, прежде всего, проблемы разрушения окружающей среды, нехватка энергетических ре-

сурсов и недостаточное кадровое обеспечение соответствующего высокого уровня квалификации. Решить их возможно только за счет внедрения передовых технологий и инновационных процессов, разработанных на основе использования серьезного научного потенциала, в том числе мирового уровня. Зарубежные компании высокотехнологичного сектора играют значимую роль и вносят заметный вклад в технологическое развитие Китая. Во многом их достижения и стандарты выступают ориентиром для внутреннего развития различных отраслей промышленности.

Кроме того, государство создает различные типы льготных режимов, направленных на стимулирование процесса развития определенных отраслей экономики. Так, например, китайские строительные компании, работающие за рубежом, получают серьезную поддержку своего правительства: им предоставляются льготные кредиты и налоговые льготы, что позволяет значительно снижать стоимость своих услуг. В то же время внутренний рынок Китая остается для зарубежных компаний одним из наиболее закрытых. Причиной являются преференции для национальных компаний, заложенные в существующей модели экономики КНР, а также нехватка объективной информации об инфраструктуре корпоративного управления [8] в соответствующих юрисдикциях и практике корпоративного управления в конкретных компаниях.

Для решения проблем кадрового обеспечения осуществляется подготовка специалистов в области высоких технологий с применением новых моделей и методик подготовки специалистов [9]. В качестве приоритетов рассматривается создание системы непрерывного образования, позволяющего гибко реагировать на изменения, происходящие в научной, производственной и социальной сферах.

Подготовка кадров осуществляется не только в КНР, но и за рубежом, что позволяет осуществлять заимствование зарубежных достижений в области науки и техники. Этому способствует и привлечение на временной основе специалистов мирового уровня по реализации конкретных проектов: заработные платы таким специалистам устанавливаются в соответствии с уровнем мирового рынка труда, который во много раз превышает оплату труда руководства самих корпораций.

В заключении надо отметить, что поиск приоритетных направлений проведения совместных научных исследований может быть ограничен теми направлениями, по которым в КНР отсутствуют достаточные иностранные инвестиции. Очевидно, что направления деятельности указанных выше международных корпораций, действующих, например, в сфере IT технологий, автомобилестроения, компьютерной техники не следует серьезно рассматривать для российско-китайского научно-технического сотрудничества. Преимущество следует отдавать таким областям как космические исследования, энергомашиностроение, атомная энергетика, авиа и двигателестроение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Цуй, Хунхай Культурная трансформация системы китайского образования в условиях глобализации [Текст] / Хунхай Цуй. - Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата философских наук. Чита, 2006. - 17 с.
2. Вэй, Син Адаптация китайских студентов к межкультурному общению в образовательном процессе российского вуза [Текст] / Син Вэй. - Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. пед. наук. Воронеж, 2003. - 18 с.
3. Цао, Ян Этнопедагогические традиции и их использование в образовательной практике Китая [Текст] / Ян Цао. - Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. пед. наук. Москва, 2005. - 18 с.
4. Хэ, Сяоган Становление и развитие системы высшего профессионально-технического образования в Китае (1980-е - начало 2000 гг.) [Текст] / Сяоган Хэ. - Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. пед. наук. - Москва, 2004. - 24 с.
5. Потапова, И.В. Русская система образования в Манчжурии [Текст] / И.В. Потапова. Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. истор. наук. Хабаровск, 2006.-15 с.
6. Официальный сайт центрального телевидения Китая. [Электронный ресурс]. [2014]. URL: <http://russian.cctv.com/20100227/102450.shtml> (дата обращения: 17.05.2014)

7. Портал china.org.cn . [Электронный ресурс]. [2014]. URL: http://www.china.org.cn/opinion/2013-09/13/content_30017716.htm (дата обращения: 17.05.2014).

8. Степанова, Е.Ю. Проблемы корпоративного управления в Китае и России: сравнительный анализ [Текст] / Е.Ю. Степанова // Интеграция экономики в систему мирохозяйственных связей: Сб научн. тр. XIV Международной научно-практической конференции. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. – С. 68-70.

9. Барсуков, Г.В. Генерирование новых технических идей, как элемент инновационно-исследовательской деятельности научно-педагогических работников в вузе [Текст] / Г.В. Барсуков, Е.М. Родионова, Е.Ю. Степанова // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. - № 6. – 2011. – С. 85 – 92.

Абашин Михаил Иванович

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, г. Москва
Инженер кафедры «Технологии ракетно-космического машиностроения»
Тел. 8(916)752-42-69
E-mail: texhelp@list.ru

Винокурова Евгения Вячеславовна

ФГОУ ВПО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана»
Директор научно-методического центра «Инженерное образование»
Тел: (499) 263-62-12
E-mail: mgtu@rambler.ru

Галиновский Андрей Леонидович

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, г. Москва
Кандидат технических наук, доктор педагогических наук, профессор кафедры «Технологии ракетно-космического машиностроения»
Тел. +7(916)1580064, Тел. +7(499)1610061
E-mail: galcomputer@mail.ru

Тимофеев Виктор Борисович

Научно-методический центр Инженерное образование МГТУ им. Н.Э. Баумана
начальник отдела "Международного академического развития", доцент
Тел. +7(916)1580064, Тел. +7(499)1610061
E-mail: galcomputer@mail.ru

M.I. ABASHIN, E.V. VINOKUROVA, A.L. GALINOVSKII, V.B. TIMOFEEV

**ANALYSIS OF PRIORITIES SCIENCE AND TECHNOLOGY
AND EDUCATION COOPERATION BETWEEN RUSSIA AND CHINA**

The article considers the problem of developing an updated list of promising research areas and topics for joint work on them in the framework of cooperation between Russia and China universities. If existing and submitted for consideration of federal lists of priority technologies, and there is a fairly large subject is jointly implemented by the Russian and Chinese universities complicates the solution of the problem. A separate task is to estimate the directions of promising research sought by the Chinese side. The difficulty of obtaining such information from primary sources, ie Chinese partners requires an independent analytical study on the priority for China research topics. To understand the internal situation in the article analyzes the development of the economy, development policies high-tech industries, especially support engineering and other industries in China. Concluded that the most promising collaborative research are areas of science and technology, where there are no or insufficiently present Western investments where there is great scope to attract Western experts and companies. These promising areas include rocket design and astronautics, aeronautics, nuclear power, heavy engineering, flight control, etc.

Keywords: priority technology, Russia, China, international cooperation, research

BIBLIOGRAPHY

1. Cuj, Hunhaj Kul'turnaja transformacija sistemy kitajskogo obrazovanija v uslovi-jah globalizacii [Tekst] / Hunhaj Cuj. - Avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj ste-peni kandidata filosofskih nauk. Chita, 2006. - 17 s.

2. Vjej, Sin Adaptacija kitajskih studentov k mezhkul'turnomu obshheniju v obrazova-tel'nom processe rossijskogo vuza [Tekst] / Sin Vjej. - Avtoreferat dissertacii na soiska-nie uchenoj stepeni kand. ped. nauk. Voronezh, 2003. - 18 s.

3. Cao, Jan Jetnopedagogicheske tradicii i ih ispol'zovanie v obrazovatel'noj prak-tike Kitaja [Tekst] / Jan Cao. - Avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni kand. ped. nauk. Moskva, 2005. - 18 s.

4. Hje, Sjaogan Stanovlenie i razvitie sistemy vysshego professional'no-tehnicheskogo obrazovanija v Kitae (1980-e - nachalo 2000 gg.) [Tekst] / Sjaogan Hje. - Avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni kand. ped. nauk.- Moskva, 2004. - 24 s.

5. Potapova, I.V. Russkaja sistema obrazovanija v Manchzhurii [Tekst] / I.V. Potapova. Avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni kand. istor. nauk. Habarovsk, 2006.-15 s.

6. Oficial'nyj sajt central'nogo televidenija Kitaja. [Jelektronnyj resurs]. [2014]. URL: <http://russian.cctv.com/20100227/102450.shtml> (data obrashhenija: 17.05.2014)

7. Portal china.org.cn . [Jelektronnyj resurs]. [2014]. URL: http://www.china.org.cn/opinion/2013-09/13/content_30017716.htm (data obrashhenija: 17.05.2014).

8. Stepanova, E.Ju. Problemy korporativnogo upravlenija v Kitae i Rossii: sravni-tel'nyj analiz [Tekst] / E.Ju. Stepanova //Integracija jekonomiki v sistemu mirohozjajst-vennyh svjazej: Sb nauchn. tr. XIV Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. – SPb.: Izd-vo Politehn. un-ta, 2009. – S. 68-70.

9. Barsukov, G.V. Generirovanie novyh tehniceskikh idej, kak jelement innovacionno-issledovatel'skoj dejatel'nosti nauchno-pedagogicheskikh rabotnikov v vuze [Tekst] / G.V. Barsukov, E.M. Rodionova, E.Ju. Stepanova // Fundamental'nye i prikladnye problemy tehniki i tehnologii. - № 6. – 2011. – S. 85 – 92.

Abashin Mikhail Ivanovich

Moscow State Technical University, those them. NE Bauman, Moscow

Engineer of the Department "Rocket and Space Technology of mechanical engineering"

Tel. 8 (916) 752-42-69

E-mail: texhelp@list.ru

Vinokurova Evgenia Vyacheslavovna

Director of scientific and methodological center "Engineering Education" FSEIHPE "Moscow

State Technical University named after NE Bauman "

Tel: (499) 263-62-12

E-mail: mgtu@rambler.ru

Galinovskii Andrey Leonidovich

Moscow State Technical University. NE Bauman, Moscow

Ph.D., Ph.D., professor of "Rocket and Space Technology Engineering"

Tel. +7 (916) 1580064

Tel. +7 (499) 1610061

E-mail: galcomputer@mail.ru

Timofeev Viktor Borisovich

Scientific-methodological center for Engineering education MSTU n.a. AD Bauman

the head of the Department of International academic development", Professor

Phone +7(916)1580064, Phone +7(499)1610061

E-mail: galcomputer@mail.ru

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ **И БИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ**

УДК 629.7.054.44: 629.7.05.067

Е.С. СОЛДАТКИНА, В.М. СОЛДАТКИН

ВИХРЕВАЯ СИСТЕМА ВОЗДУШНЫХ СИГНАЛОВ ДОЗВУКОВОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Раскрываются особенности построения и алгоритмы обработки информации вихревого датчика аэродинамического угла и истинной воздушной скорости дозвукового самолета, обеспечивающего дополнительно измерение других высотно-скоростных параметров полета.

Ключевые слова: самолет, аэродинамические углы, истинная воздушная скорость, измерение, вихревой датчик, дополнительное измерение, высотно-скоростные параметры.

При решении задач пилотирования и обеспечения безопасности полета самолета широко используется информация о величине и составляющих вектора истинной воздушной скорости, аэродинамических углах атаки и скольжения, барометрической высоте и приборной скорости, определяющих динамику движения самолета относительно окружающей воздушной среды [1].

Несмотря на достигнутые успехи, современные средства измерения указанных высотно-скоростных параметров полета самолета не всегда удовлетворяют возрастающим требованиям по диапазону рабочих скоростей, точности и надежности работы в реальных условиях эксплуатации, получения интегрированной первичной информации с помощью одного датчика. Например, широко используемые на различных классах самолетов флюгерные датчики аэродинамических углов из-за наличия в набегающем воздушном потоке подвижного элемента в виде свободно ориентирующегося флюгера критичны к аэродинамическим возмущениям потока и нагружению подвижной системы, из-за малости устанавливающего момента флюгера при скоростях полета менее 100 км/ч – имеют значительные погрешности [2]. При измерении истинной воздушной скорости самолета используется аэродинамический метод, для реализации которого с помощью приемника воздушных давлений и приемника температуры воспринимаются полное и статическое давления и температура набегающего воздушного потока. Значения указанных первичных информативных параметров преобразуются в электрические сигналы, которые обрабатываются в соответствии с известным алгоритмом в вычислителе, где определяется величина истинной воздушной скорости. При этом восприятие, передача, преобразование и обработка амплитудных информативных сигналов связаны с появлением методических и инструментальных погрешностей измерения [3].

Принципиальная возможность достижения меньших потерь информации при выделении, преобразовании и обработке частотно-временных первичных информативных сигналов, а также естественная возможность получения выходных сигналов непосредственно в цифровой форме определяют перспективность комбинированного вихревого датчика аэродинамического угла и истинной воздушной скорости [4].

На рисунке 1 представлена функциональная схема вихревого датчика аэродинамического угла и истинной воздушной скорости [4, 5].

Датчик включает два идентичных тела торможения 1, выполненные в виде клиновидных пирамид, на поверхности которых размещены приемники 2 для забора пульсаций давлений вблизи тел. При обтекании клинообразных пирамид набегающим воздушным потоком, скорость и направление которого определяется вектором \vec{V} , равным по величине и обратным по знаку вектору \vec{V}_B истинной воздушной скорости самолета, на их поверхности происходит периодический срыв вихрей, который порождает периодические импульсы давлений вблизи обтекаемых тел и распространяются вдоль от тела, образуя так называемые вихревые

дорожки Кармана [6]. Частота f периодического образования и срыва вихрей зависит от скорости V набегающего воздушного потока характерного режима l основания клиновидных пирамид, и углового положения φ основания клинообразных пирамид относительно направления набегающего воздушного потока. При этом при измерении аэродинамического угла α основания клиновидных пирамид будут находиться к направлению набегающего воздушного потока под разными углами $\varphi_1 = \varphi_0 + \alpha$ и $\varphi_2 = \varphi_0 - \alpha$. Частоты f_1 и f_2 вихреобразования за клиновидными пирамидами также будут разными [5].

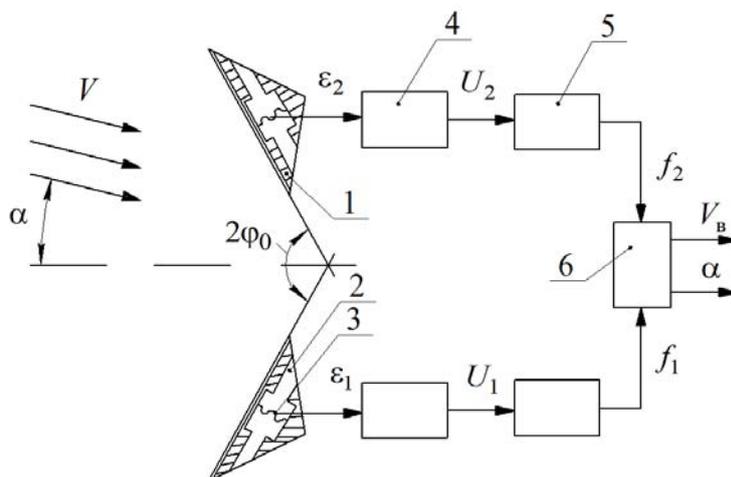


Рисунок 1 – Функциональная схема вихревого датчика аэродинамического угла и истинной воздушной скорости

Приемники 2 связаны с преобразователями давлений или перепада давлений 3, частоты выходных сигналов ε_1 и ε_2 которых равны частотам f_1 и f_2 соответствующих вихревых дорожек Кармана. Электроизмерительные схемы 4, обрабатывая сигналы ε_1 и ε_2 , формируют выходные электрические сигналы U_1 и U_2 . Последние с помощью триггеров Шмидта 5 преобразуются в последовательности импульсов с частотами f_1 и f_2 , которые поступают в устройство обработки 6, на выходе которого формируются выходные сигналы α и V_B по измеряемым аэродинамическому углу и истинной воздушной скорости, в соответствии с соотношениями:

$$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{f_2 - f_1}{f_1 + f_2}, \quad (1)$$

$$V_B = \frac{1}{\sqrt{2}Sh} \frac{f_1 f_2}{\sqrt{f_1^2 + f_2^2}}, \quad (2)$$

где Sh – число Струхалия клиновидной пирамиды.

Таким образом, измеряя частоты f_1 и f_2 вихреобразования, например, по частотам пульсаций давлений за клиновидными пирамидами, по зависимостям (1) и (2), в каналах вихревого датчика определяются аэродинамический угол и истинная воздушная скорость самолета.

Как показано в работе [5], диапазон рабочих скоростей вихревого датчика аэродинамического угла и истинной воздушной скорости ограничен дозвуковыми скоростями полета (30...1200 км/ч), диапазон измерения аэродинамического угла находится в интервале $[-15^\circ \dots +35^\circ]$.

Как показывает анализ [7, 8], среднеквадратические погрешности вихревого датчика по каналу истинной воздушной скорости не превышает значения $\sigma_{\Delta V} = 3,7$ км/ч, по каналу аэродинамического угла – $\sigma_{\Delta \alpha} = 0,15^\circ$.

При реализации вихревого датчика аэродинамического угла и истинной воздушной скорости клиновидные пирамиды предлагается расположить на одной оси друг над другом. С целью обеспечения измерения в трехмерном набегающем воздушном потоке и устранения влияния другого аэродинамического угла – угла скольжения β вектора истинной воздушной скорости самолета предлагается перпендикулярно общей оси клиновидных пирамид установить струевыпрямители, выполненные в виде тонких плоских дисков, расположенных на верхних и нижних основаниях клиновидных пирамид, например, как показано на рисунке 2.

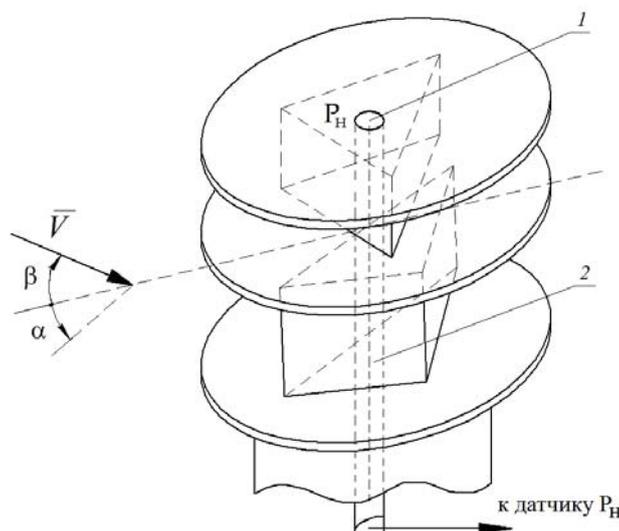


Рисунок 2 – Приемник потока вихревого датчика аэродинамического угла и воздушной скорости со струевыпрямителями

Таким образом, по сравнению с традиционными средствами измерения аэродинамических углов и истинной воздушной скорости, основанными на использовании амплитудно-модулированных первичных информативных сигналов, например в виде распределения давления по поверхности, обтекаемой набегающим воздушным потоком, вихревой датчик аэродинамического угла и истинной воздушной скорости имеет ряд существенных преимуществ:

- Позволяет одновременно получать информации по двум измеряемым параметрам вектора истинной воздушной скорости самолета в цифровой форме.
- На точность измерения аэродинамического угла и воздушной скорости не влияет изменение характера обтекания клиновидных пирамид при различных скоростях набегающего воздушного потока, так как нарушение подобия обтекания, изменяющее распределение давлений по поверхности тел, не приводит к изменению их характерного размера l и частот вихреобразования, несущих информацию об измеряемых параметрах.
- В формулы для определения частот вихрей не входит сжимаемость воздуха, а отношение частот не зависит от скорости набегающего воздушного потока, а при одинаковой форме тел и от числа Струхала. Следовательно, полученные тарировочные зависимости не нарушаются в широком диапазоне скоростей полета, что весьма важно.
- Смещение точки отрыва пограничного слоя при изменении аэродинамического угла и скорости набегающего воздушного потока также не приводят к снижению точности измерения, так как забор информации о частоте вихрей осуществляется в зоне срыва потока за клиновидным телом.
- В вихревом датчике необходимо измерять не амплитуду давлений или перепадов давлений, а частоту их пульсаций и, следовательно, погрешности, свойственные амплитудным измерениям (дрейф нуля, изменение чувствительности, нестабильность и т.п.) не будут оказывать заметного влияния на точность измерения аэродинамического угла и истинной воздушной скорости.
- Отсутствие подвижных элементов в зоне набегающего воздушного и в вихревом датчике в целом обеспечивают высокую надежность его работы в условиях реальной эксплу-

атации.

В целях расширения функциональных возможностей вихревого датчика аэродинамического угла и истинной воздушной скорости и получения первичной информации о всех высотно-скоростных параметрах самолета с помощью одного интегрированного многофункционального датчика предлагается на наружной поверхности верхнего струевыпрямителя (рис. 2) расположить отверстие – приемник 1 для восприятия статического давления P_H набегающего воздушного потока, которое по пневмоканалу 2 подается на вход датчика абсолютного давления, выходной сигнал которого будет пропорционален воспринимаемому статическому давлению P_H на высоте полета H .

Тогда по давлению P_H в соответствии со стандартными зависимостями, соответствующими ГОСТ 4401-81 [9], определяется текущая абсолютная барометрическая высота полета по формулам [10]:

а) при $2000 \text{ м} < H < 11000 \text{ м}$

$$H = \frac{T_0}{\tau} \left[1 - \left(\frac{P_H}{P_0} \right)^{\tau R} \right]; \quad (3)$$

б) при $11000 \text{ м} \leq H < 15000 \text{ м}$

$$H = H_{11} + RT_{11} \ln \frac{P_{11}}{P_H}, \quad (4)$$

где $T_0 = 288,15 \text{ К}$ – средняя абсолютная температура на уровне моря;

$P_0 = 101325 \text{ Па} = 760 \text{ мм.рт.ст.}$ – среднее абсолютное давление на уровне моря;

$\tau = 0,0065 \text{ К/м}$ – температурный градиент, определяющий изменение абсолютной температуры воздуха T_H при измерении высоты;

$R = 29,27125 \text{ м/К}$ – газовая постоянная;

T_H, P_H – абсолютные температура и давление на текущей высоте H ;

$T_{11} = 216,65 \text{ К}$ – абсолютная температура на высоте $H_{11} = 11000 \text{ м}$;

$P_{11} = 22632 \text{ Па} = 169,754 \text{ мм.рт.ст.}$ – абсолютное давление воздуха на высоте $H_{11} = 11000 \text{ м}$.

Используя ГОСТ 5212-74 [11], истинную воздушную скорость V_B самолета, измеренную вихревым датчиком, можно представить в виде

$$V_B = \sqrt{2gRT_H \left(\frac{k}{k-1} \right) \left[\left(\frac{P_{\text{дин}}}{P_H} + 1 \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]} = \sqrt{2gRT_H \left(\frac{k}{k-1} \right) \left[\left(\frac{P_{\text{II}}}{P_H} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]}, \quad (5)$$

где $g = 9,80665 \text{ м/с}^2$ – ускорение силы тяжести;

$k = 1,4$ – показатель адиабаты для воздуха;

$P_{\text{дин}} = \frac{\rho_H V_B^2}{2}$ – скоростной напор (динамическое давление) набегающего воздушного потока;

$P_{\text{II}} = P_H + P_{\text{дин}}$ – полное давление набегающего воздушного потока;

ρ_H – плотность воздуха на высоте полета H , которую можно представить как [12]

$$\rho_H = \rho_0 \frac{P_H T_H}{P_0 T_0}, \quad (6)$$

где $\rho_0 = 0,125 \text{ Нс/м}^4$ – плотность воздуха на высоте $H = 0$.

Если в выражение (5) подставить значения параметров, измеряемых вихревым датчи-

ком, то получим соотношение вида

$$V_B^2 = 2gR \left(\frac{k}{k-1} \right) T_H \left[\left(1 + \frac{\rho_0}{2P_0 T_0} T_H V_B^2 \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right], \quad (7)$$

которое устанавливает неявную, но однозначную связь измеряемых вихревым датчиком истинной воздушной скорости V_B и статического давления P_H с абсолютной температурой T_H на высоте полета H .

Определяя из соотношения (7) абсолютную температуру T_H , по зависимости (6) можно вычислить плотность воздуха ρ_H на данной высоте H .

Тогда в соответствии с ГОСТ 5212-74 [11] можно определить (вычислить) приборную скорость полета – истинную воздушную скорость, приведенную к нормальным условиям на уровне $H = 0$ по формуле

$$\begin{aligned} V_{\text{ПР}} &= \sqrt{2gRT_0 \left(\frac{k}{k-1} \right) \left[\left(1 + \frac{\rho_0}{2P_0 T_0} T_0 V_B^2 \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]} = \\ &= \sqrt{2gRT_0 \left(\frac{k}{k-1} \right) \left[\left(1 + \frac{\rho_0}{2P_0} V_B^2 \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]}. \end{aligned} \quad (8)$$

При необходимости можно вычислить число Маха – Маевского, характеризующее отношение истинной воздушной скорости к скорости звука α на данной высоте H . При дозвуковой скорости полета уравнение для определения числа Маха – Маевского имеет вид:

$$M = \frac{V_B}{\alpha} = \sqrt{\frac{2}{k-1} \left[\left(1 + \frac{\rho_0 T_H}{2P_0 T_0} V_B^2 \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]}. \quad (9)$$

Следует отметить, что для исключения влияния угла скольжения на работу канала угла атаки на самолете используют два вихревых датчика, устанавливаемые на правом и левом сторонах фюзеляжа, при этом показания выходных сигналов по углу атаки обоих датчиков усредняются, снижая случайную составляющую погрешности измерения угла атаки самолета.

Аналогично усредняются и выходные сигналы по другим высотно-скоростным параметрам, уменьшая случайную погрешность их измерения.

Таким образом, восприятие с помощью вихревого датчика аэродинамического угла и истинной воздушной скорости абсолютного давления на данной высоте позволяет вычислить все высотно-скоростные параметры полета самолета по информации, воспринимаемой одним многофункциональным датчиком. При этом указанные выше достоинства вихревого датчика аэродинамического угла и истинной воздушной скорости распространяются и на каналы измерения высотно-скоростных параметров, что определяет перспективы разработки и применения построенной на его основе вихревой системы воздушных сигналов на дозвуковых самолетах различного класса и назначения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев, Н.В. Системы измерения воздушных сигналов нового поколения / Н.В. Алексеев, Е.С. Вожаев, В.Г. Кравцов и др. // Авиакосмическое приборостроение. – 2003. – № 8. – С. 31-36.
2. Солдаткин, В.М. Методы и средства измерения аэродинамических углов летательных аппаратов / В.М. Солдаткин. – Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та. – 2001. – 448 с.

3. Браславский, Д.А. Авиационные приборы и автоматы: учебник для авиационных вузов / Д.А. Браславский, С.С. Логунов, Д.С. Пельпор. – М.: Машиностроение. – 1978. – 432 с.
4. Патент РФ на полезную модель № 127473, МПК G01P 5/00. Вихревой датчик аэродинамического угла и истинной воздушной скорости / Солдаткин В.М., Солдаткина Е.С. Заявл. 16.07.2012, заявка № 2012130110/28. Оpubл. 24.04.2013. – Бюл. № 12.
5. Солдаткин, В.М. Вихревой датчик аэродинамического угла и истинной воздушной скорости / В.М. Солдаткин, Е.С. Солдаткина // Известия вузов. Авиационная техника. – 2012. – № 4. – С. 56-59.
6. Блохинцев, Д.И. Акустика неоднородной движущейся среды / Д.И. Блохинцев. – М.: Гостехиздат. – 1946. – 168 с.
7. Солдаткина, Е.С. Анализ метрологических характеристик вихревого датчика аэродинамического угла и истинной воздушной скорости / Е.С. Солдаткина // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2013. – № 2. – С. 111-117.
8. Солдаткина, Е.С. Системотехническое проектирование вихревого датчика аэродинамического угла и истинной воздушной скорости / Е.С. Солдаткина // Известия вузов. Авиационная техника. – 2013. – № 3. – С. 57-61.
9. ГОСТ 4401-81. Атмосфера стандартная. Параметры. – М.: Изд-во Стандартов. – 1981. – 179 с.
10. Браславский, Д.А. Авиационные приборы и автоматы / Д.А. Браславский, С.С. Логунов, Д.С. Пельпор – М.: Машиностроение. – 1970. – 432 с.
11. ГОСТ 5212-74. Таблицы аэродинамическая. Динамические давления и температуры торможения воздуха для скорости полета от 10 до 4000 км/ч. Параметры. – М.: Изд-во Стандартов. – 1974. – 239 с.
12. Залманзон, Л.А. Проточные элементы пневматических приборов контроля и управления / Л.А. Залманзон. – М.: Изд-во АН СССР. – 1961. – 247 с.

Статья публикуется по рекомендации VI Международной научно-технической конференции «Информационные технологии в науке, образовании и производстве»

Солдаткина Елена Сергеевна

Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева – КАИ (КНИТУ–КАИ), Казань

Студентка кафедры «Приборы и информационно-измерительные системы» (ПИИС)

420102, г. Казань, ул. Серова, д.22/24 – 155

Телефон: 237-58-62

E-mail: nikitin.rf@mail.ru

Солдаткин Владимир Михайлович

Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева – КАИ (КНИТУ–КАИ), Казань

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Приборы и информационно-измерительные системы» (ПИИС)

420079, г. Казань, ул. Приволжская, 171А

Телефон: 290-81-48

E-mail: haibulova.piis@kstu-kai.ru

E.S. SOLDATKINA, V.M. SOLDATKIN

VORTEX SYSTEM OF AIR SIGNALS SUBSONIC AIRCRAFT

Special features of construction and algorithms of information processing vortex sensor aerodynamic angle and true air speed subsonic aircraft, providing additionally measurement of other high-speed parameters of the flight are considered.

Keywords: aircraft, aerodynamic angles, true air speed, measurement, vortex sensor, additional measurement, high-speed parameters.

BIBLIOGRAPHY

1. Alekseev, N.V. Sistemy izmerenija vozdushnyh signalov novogo pokolenija / N.V. Alekseev, E.S. Vozhdaev, V.G. Kravcov i dr. // Aviakosmicheskoe priborostroenie. – 2003. – № 8. – S. 31-36.
2. Soldatkin, V.M. Metody i sredstva izmerenija ajerodinamicheskikh uglov letatel'nyh apparatov / V.M. Soldatkin. – Kazan': Izd-vo Kazan. gos. tehn. un-ta. – 2001. – 448 s.
3. Braslavskij, D.A. Aviacionnye pribory i avtomaty: uchebnik dlja aviacionnyh vuzov / D.A. Bra-slavskij,

S.S. Logunov, D.S. Pel'por. – M.: Mashinostroenie. – 1978. – 432 s.

4. Patent RF na poleznuju model' № 127473, MPK G01P 5/00. Vihrevoj datchik ajerodinamicheskogo ugla i istinnoj vozdušnoj skorosti / Soldatkin V.M., Soldatkina E.S. Zjavl. 16.07.2012, zjavka № 2012130110/28. Opubl. 24.04.2013. – Bjul. № 12.

5. Soldatkin, V.M. Vihrevoj datchik ajerodinamicheskogo ugla i istinnoj vozdušnoj skorosti / V.M. Soldatkin, E.S. Soldatkina // Izvestija vuzov. Aviacionnaja tehnika. – 2012. – № 4. – S. 56-59.

6. Blohincev, D.I. Akustika neodnorodnoj dvizhushhejsja srede / D.I. Blohincev. – M.: Gostehizdat. – 1946. – 168 s.

7. Soldatkina, E.S. Analiz metrologicheskikh harakteristik vihrevogo datchika ajerodinamicheskogo ugla i istinnoj vozdušnoj skorosti / E.S. Soldatkina // Fundamental'nye i prikladnye problemy tehniki i tehnologii. – 2013. – № 2. – S. 111-117.

8. Soldatkina, E.S. Sistemotekhnicheskoe proektirovanie vihrevogo datchika ajerodinamicheskogo ugla i istinnoj vozdušnoj skorosti / E.S. Soldatkina // Izvestija vuzov. Aviacionnaja tehnika. – 2013. – № 3. – S.57-61.

9. GOST 4401-81. Atmosfera standartnaja. Parametry. – M.: Izd-vo Standartov. – 1981. – 179 s.

10. Braslavskij, D.A. Aviacionnye pribory i avtomaty / D.A. Braslavskij, S.S. Logunov, D.S. Pel'-por – M.: Mashinostroenie. – 1970. – 432 s.

11. GOST 5212-74. Tablicy ajerodinamicheskaja. Dinamicheskie davlenija i temperatury tormozhenija vozduha dlja skorosti poleta ot 10 do 4000 km/ch. Parametry. – M.: Izd-vo Standartov. – 1974. – 239 s.

12. Zalmanzon, L.A. Protochnye jelementy pnevmaticheskikh priborov kontrolja i upravlenija / L.A. Zalmanzon. – M.: Izd-vo AN SSSR. – 1961. – 247 s.

Soldatkina Elena Sergeevna

Kazan national research technical university named after A.N.Tupolev – KAI (KNRTU-KAI)

Student of department “Devices and information-measurement systems” (DIMS)

Serova 22/24 - 155, Kazan, 420102

Ph.number 237-58-62

E-mail: nikitin.rf@mail.ru

Soldatkin Vladimir Mihailovich

Kazan national research technical university named after A.N.Tupolev – KAI (KNRTU-KAI)

Doctor of technical science, professor, head of department “Devices and information-measurement systems” (DIMS)

Privolzhskaya 171A, Kazan, 420079

Ph.number 290-81-48

E-mail: nikitin.rf@mail.ru

А.В. НИКИТИН

БОРТОВАЯ СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВЕТРА НА СТАРТОВЫХ И ВЗЛЕТНО-ПОСАДОЧНЫХ РЕЖИМАХ ВЕРТОЛЕТА

Рассмотрена конструктивная схема неподвижного датчика ветра и алгоритмы обработки информации бортовой системы измерения скорости и угла направления ветра относительно продольной оси вертолета на стоянке, взлетно-посадочных и полетных режимах.

Ключевые слова: вертолет, скорость и направление ветра, измерение, стоянка, взлет, посадка, бортовая система, неподвижный датчик, алгоритмы обработки информации.

Для предотвращения авиационных происшествий на стартовых и взлетно-посадочных режимах вертолета, при решении полетных и специальных задач необходима информация о величине и положении вектора ветра относительно продольной оси вертолета [1-3].

Измерение параметров вектора ветра на стоянке, при рулении и маневрировании по земной поверхности, при взлете, посадке и на режиме висения известными средствами [4, 5] ограничивается значительными аэродинамическими возмущениями, вносимыми вихревой колонной несущего винта, что определяет необходимость создания бортовых систем, максимально учитывающих специфику аэродинамики и динамики движения вертолета на всех этапах полета.

Учитывая специфику аэродинамики вертолета на стоянке и взлетно-посадочных режимах, предложено для определения параметров вектора ветра использовать информацию аэродинамического поля вихревой колонны несущего винта, а ее восприятие осуществить с помощью неподвижного комбинированного аэрометрического приемника – датчика ветра (рис. 1) [6].

Датчик ветра содержит неподвижный многоканальный аэрометрический приемник 1, выполненный в виде двух разнесенных по высоте экранирующих дисков 2 и 3, между внутренними профилированными поверхностями которых в азимутальной плоскости под одинаковыми углами расположены трубки полного давления 4 для забора давлений P_i , определяющих величину W и горизонтальный угол направления ψ вектора ветра W на стояночном режиме до запуска силовой установки несущего винта. На внутренних поверхностях экранирующих дисков 2 и 3 расположены кольцевые каналы 6 для забора дросселированного статического давления $P_{ст.д}$ при наличии ветра. На внутренних профилированных поверхностях экранирующих дисков 2 и 3 расположены отверстия для забора давлений $P_{\alpha i}$ и $P_{\alpha i-1}$, определяющих угол ветра в вертикальной плоскости.

Для восприятия аэрометрической информации на режиме маневрирования по земле и на взлетно-посадочных (полетных) режимах при вращении несущего винта вертолета, когда неподвижный датчик ветра находится в створе вихревой колонны несущего винта, на наружной поверхности экранирующего диска 3 установлен дополнительный аэрометрический приемник 7 в виде полусферы с диаметром, равным диаметру верхнего экранирующего диска. На поверхности полусферы на оси симметрии расположено отверстие, являющееся приемником полного давления $P_{п\sum}$ результирующего воздушного потока вихревой колонны, определяемой вектором скорости V_{\sum} . В плоскости, параллельной плоскости симметрии вертолета, под углом φ_{01} к оси симметрии, симметрично расположены отверстия, являющиеся приемниками давлений P_1 и P_2 . В плоскости, перпендикулярной плоскости симметрии вертолета, под углом φ_{02} к оси симметрии, расположены отверстия, являющиеся приемниками давлений P_3 и P_4 . Перпендикулярно оси симметрии сферического приемника, на его поверхности по окружности расположены отверстия, являющиеся приемниками статического давления $P_{ст\sum}$ результирующего набегающего воздушного потока колонны.

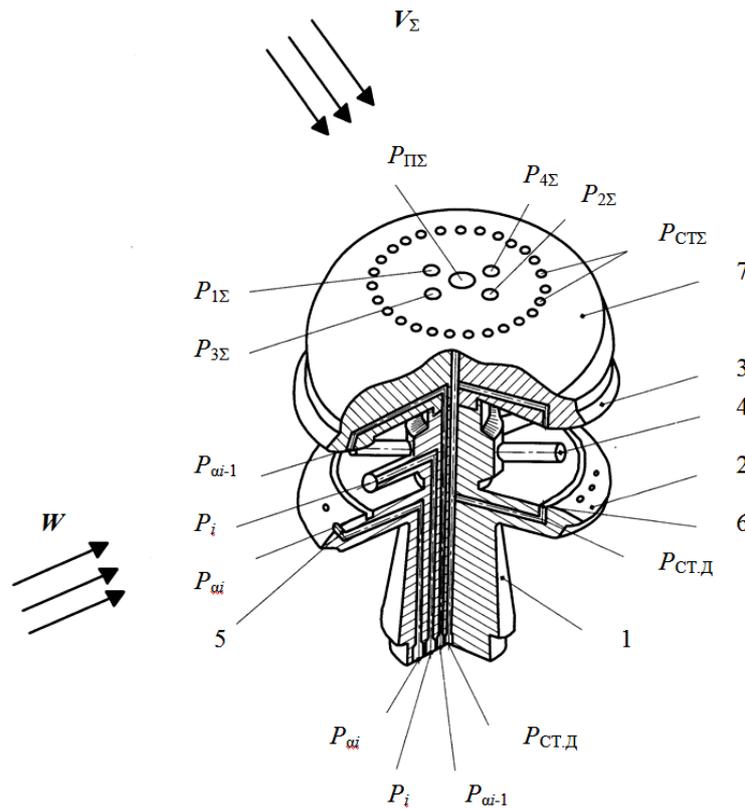


Рисунок 1 – Конструктивная схема датчика ветра на основе неподвижного комбинированного аэрометрического приемника

При рулении и маневрировании по земле и на взлетно-посадочных (полетных) режимах, за меру величин составляющих вектора скорости ветра W и вектора истинной воздушной скорости V_B вертолета принимается угловое положение воздушного потока вихревой колонны, определяемое углами скоса $\alpha_{BK} = 90^\circ - \varphi_1$ и $\beta_{BK} = 90^\circ - \varphi_2$, которые регистрируются ортогонально расположенными приемниками давлений P_1 и P_2 , P_3 и P_4 .

Давления P_1 и P_2 , P_3 и P_4 , $P_{\Pi\Sigma}$ и $P_{СТ\Sigma}$ воспринимаемые дополнительным аэрометрическим приемником, подключены ко входам пневмоэлектрических преобразователей 4 (рис. 2), выходы которых через последовательно соединенные мультиплексор 5 и аналого-цифровой преобразователь 6 подключены к микропроцессору 7. На вход мультиплексора 5 через электроизмерительную схему 8 также подключены выходы приемника температуры торможения $T_{Т\Sigma}$ результирующего набегающего воздушного потока вихревой колонны несущего винта и выходы пневмоэлектрических преобразователей 4, на входы которых подаются давления P_i , $P_{\alpha i}$, $P_{\alpha i-1}$, $P_{СТ.д}$ воспринимаемые неподвижным, многоканальным, проточным аэрометрическим приемником 1.

Выход микропроцессора является выходом аэрометрического канала по величине W и направлению ψ (или продольной W_x и боковой W_z составляющим вектора скорости ветра W); истинной воздушной скорости V_B , углам атаки α и скольжения β , барометрической высоте H , составляющим V_x , V_y , V_z вектора V_B истинной воздушной скорости в осях связанной системы координат, приборной воздушной скорости $V_{пр}$.

На стоянке величина W и угол направления ψ , а следовательно, продольная W_x и боковая W_z составляющие вектора скорости ветра W , а также статическое давление P_{H_0} определяются по давлениям P_i и $P_{СТ.д}$, воспринимаемым посредством трубок полного давления 4 и кольцевого приемника 6 дросселированного статического давления неподвижного

многоканального проточного аэрометрического приемника 1 (рис. 1).

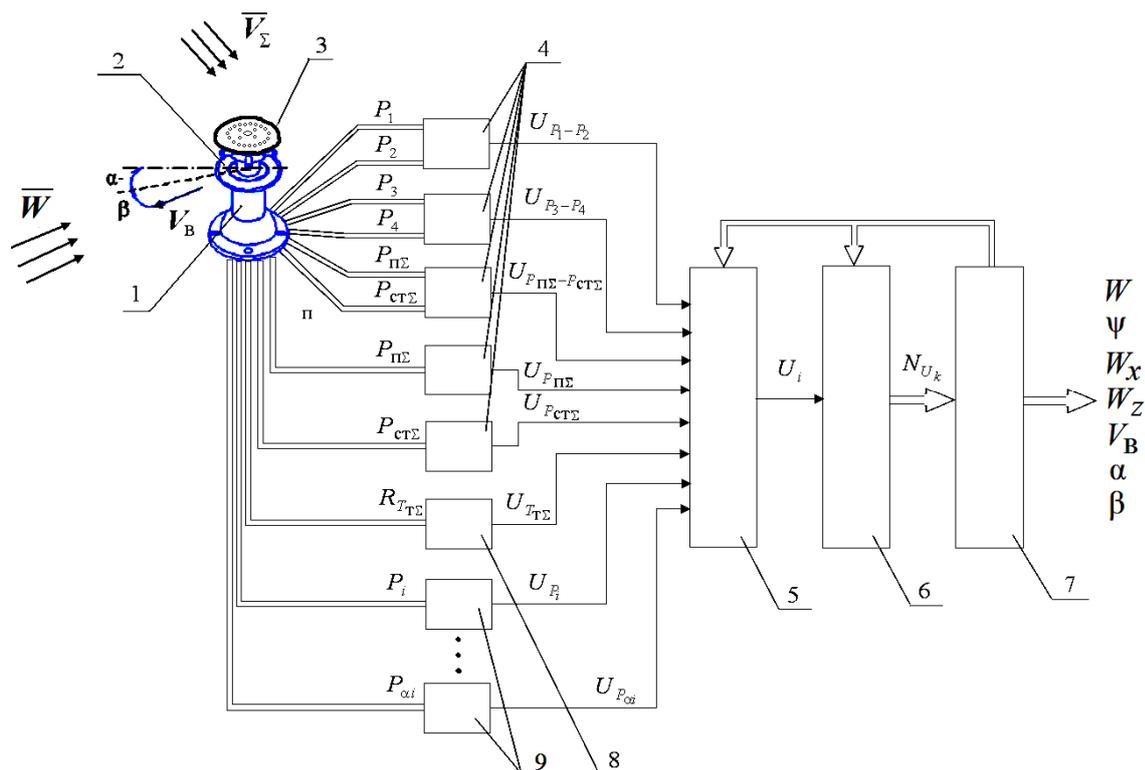


Рисунок 2 – Функциональная схема системы измерения параметров вектора ветра

Как показано в работах [6, 7], угловые характеристики трубок полного давления (рис. 3) симметричны относительно оси трубок. При этом угловые характеристики трубок полного давления с номерами $i-1$ и $i+1$ имеют точку пересечения, угловая координата которой совпадает с координатой максимума угловой характеристики i -трубки полного давления. Пересекающиеся ветви угловых характеристик $i-1$ и $i+1$ трубок полного давления имеют участки достаточно большой угловой протяженностью, в пределах которой воспринимаемые давления P_{i-1} , P_i и P_{i+1} зависят от угла направления ψ ветра, набегающего на неподвижный многоканальный проточный аэрометрический приемник.

Указанные особенности угловых характеристик неподвижного многоканального проточного аэрометрического приемника позволяют использовать следующий алгоритм обработки первичных информативных сигналов P_i для определения параметров вектора ветра W на стоянке вертолета [7].

На первом этапе обработки массива давлений P_i определяется номер i -й трубки полного давления, в пределах которой локализовано направление вектора скорости ветра W . За такую i -ю трубку полного давления, как следует из рисунка 3, принимается трубка, в которой значение измеренного давления P_i является наибольшей из всех трубок полного давления (номера трубок полного давления обозначаются $i = 0, 1, 2, 3, \dots, n$). При этом принимается, что ось трубки полного давления под номером $i = 0$ совпадает с началом исходной системы координат отсчета угла направления ψ вектора скорости ветра W .

По определенному номеру i -й трубки полного давления, в которой давление P_i наибольшее, определяется первое приближение ψ_{mi} угловой координаты направления вектора скорости ветра W в соответствии с соотношением $\psi_{mi} = \frac{360}{n}i$, где n – количество расположенных под одинаковым углом трубок полного давления (как правило, $n = 6$ или $n = 8$).

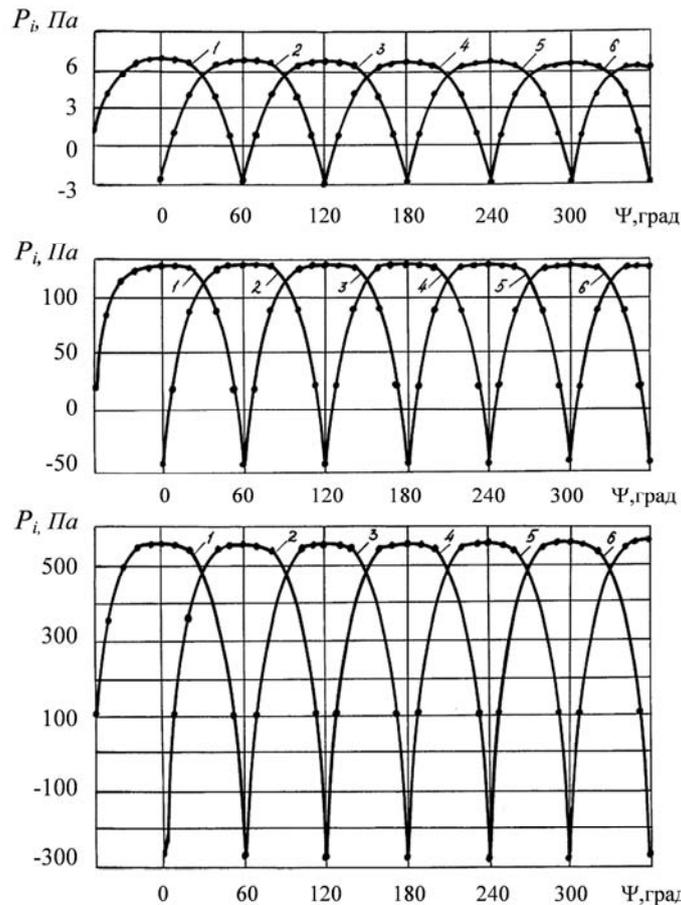


Рисунок 3 – Угловые характеристики неподвижного многоканального проточного аэрометрического приемника

На втором этапе обработки массива давлений P_i проводится предварительная оценка положения ψ вектора скорости ветра W . С этой целью сравниваются между собой давления P_{i-1} и P_{i+1} и проверяется какое из неравенств выполняется

$$P_{i-1} > P_{i+1} \text{ или } P_{i-1} < P_{i+1},$$

где P_{i-1} и P_{i+1} – давления, измеренные в трубках полного давления, смежных с i -ой трубкой.

В случае выполнения первого неравенства вектор скорости ветра W находится слева от i -й трубки полного давления, при выполнении второго условия – справа от i -ой трубки. Указанным положениям соответствуют знаки «плюс» или «минус» отклонения $\Delta\psi$ действительного положения ψ вектора скорости ветра от его первого приближения ψ_{mi} .

Для определения точного значения угловой координаты ψ вектора скорости ветра осуществляется преобразование реальной угловой характеристики трубок полного давления в другую систему координат путем введения безразмерной угловой координаты θ , начало которой совпадает с точкой пересечения смежных ветвей угловых характеристик $i-1$ и $i+1$ трубок полного давления, как показано на рисунке 4.

Сущность такого преобразования координат сводится к замене углового отклонения $\Delta\psi$ угловой характеристики i -ой трубки полного давления от реального направления ψ вектора скорости ветра W на безразмерную координату θ , изменение которой определяется выбором шага t_0 введенной координатной сетки. Угловое положение θ i -й трубки полного давления относительно направления ψ вектора скорости ветра W в новой системе координат определяется из решения одного из уравнений:

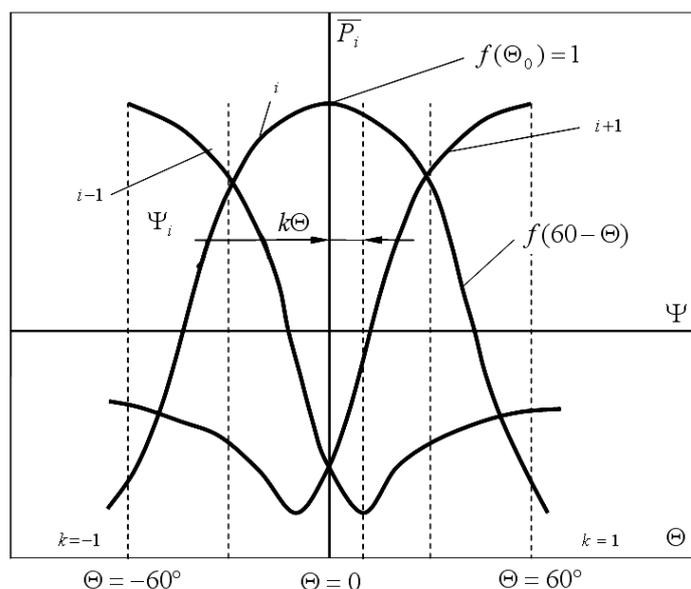


Рисунок 4 – Графическая интерпретация преобразования угловых координат трубок полного давления

$$\bar{P}_i = \frac{P_{i+1}}{P_i} = \frac{f(\theta)}{f(-\theta)} \quad \text{или} \quad \bar{P}_i = \frac{P_{i-1}}{P_i} = \frac{f(-\theta)}{f(\theta)}, \quad (1)$$

где $f(\theta)$ и $f(-\theta)$ – аппроксимирующие полиномы степени k , вычисленные по результатам предварительной градуировки неподвижного многоканального проточного аэрометрического приемника и описывающие соответственно правую и левую части угловой характеристики смежных $i-1$ и $i+1$ трубок полного давления в введенной системе координат.

Тогда второе приближение угловой координаты ψ вектора скорости ветра W в исходной системе координат будет определяться выражением

$$\psi = \psi_{mi} \pm (\theta_{\max} - \theta_x)t_0, \quad (2)$$

где t_0 – координатный шаг сплайн-функции, реализующей аппроксимирующий полином $P_i = f(\theta)$ в безразмерной системе координат, например при $n = 6$ $t_0 = 60^\circ$.

Для определения модуля (величины) W вектора скорости ветра по полученному значению θ безразмерного углового положения i -ой трубки полного давления вычисляется значение давления $P_{i \max}$, соответствующее совпадению направления вектора скорости ветра с осью i -ой трубки полного давления. Это вычисление проводится в соответствии со следующими зависимостями:

$$P_{i \max} = \begin{cases} P_i \frac{f(\theta_{\max})}{f(-\theta_x)} & \text{при } P_{i-1} > P_{i+1}; \\ P_i \frac{f(-\theta_{\max})}{f(-\theta_x)} & \text{при } P_{i-1} < P_{i+1}. \end{cases} \quad (3)$$

По полученному значению $P_{i \max}$ определяется численное значение величины W скорости ветра с использованием выражения вида

$$W = \sqrt{\frac{2}{\rho_{H_0}} (P_{i \max} - P_{H_0})} = \sqrt{\frac{2P_0 T_0}{P_{H_0} T_{H_0} \rho_0} (P_{i \max} - P_{H_0})}, \quad (4)$$

где $\rho_{H_0} = \rho_0 \frac{P_{H_0} T_{H_0}}{T_0 P_0}$ – плотность воздуха на высоте стоянки H_0 ;

P_{H_0} и T_{H_0} – статическое давление и абсолютная температура на высоте стоянки H_0 ;

$P_0 = 760$ мм.рт.ст. = 101325 Па;

$T_0 = 288,15$ К;

$\rho_0 = 1,225$ кг/м³ – статическое давление, абсолютная температура и плотность воздуха на

высоте $H=0$ стандартной атмосферы.

Статическое давление P_{H_0} и абсолютная температура T_{H_0} на высоте стоянки H_0 вертолета определяются по статическому давлению $P_{ст.д.}$, воспринимаемому неподвижным проточным аэрометрическим приемником 1 (рис. 1), и по показаниям приемника температуры торможения T_T .

При работе двигательной установки и раскрутки трансмиссии, при рулении и маневрировании по земной поверхности, на взлетно-посадочных режимах, при снижении и на режиме висения для определения параметров вектора ветра W и вектора истинной воздушной скорости V_B вертолета предлагается использовать информацию аэродинамического поля вихревой колонны несущего винта. В качестве информативного параметра аэродинамического поля вихревой колонны несущего винта вертолета используется вектор скорости V_Σ в виде геометрической суммы стационарных составляющих вектора скорости V воздушного потока, формируемого движением вертолета относительно окружающей среды или вектором скорости ветра W , и вектора скорости V_i индуктивного воздушного потока, создаваемого несущим винтом вертолета, т.е. $V_\Sigma = V + V_i$. За меру величин составляющих вектора скорости ветра W и вектора истинной воздушной скорости V_B вертолета принимается угловое положение вектора скорости V_Σ результирующего воздушного потока вихревой колонны несущего винта, относительно неподвижного датчика ветра, которое регистрируется ортогонально расположенным приемникам давлений P_1 и P_2 , P_3 и P_4 на поверхности полусферического приемника.

Величину V_Σ скорости результирующего набегающего воздушного потока можно определить по полному $P_{п\Sigma}$ и статическому $P_{ст\Sigma}$ давлениям и температуре $T_{т\Sigma}$ заторможенного результирующего воздушного потока, воспринимаемой приемником температуры торможения, используя зависимость [8]:

$$V_\Sigma = 44,826 \sqrt{\frac{T_{т\Sigma} \left[\left(\frac{P_{п\Sigma}}{P_{ст\Sigma}} \right)^{0,2857143} - 1 \right]}{\left(\frac{P_{п\Sigma}}{P_{ст\Sigma}} \right)^{0,2857143}}}, \quad (5)$$

где параметры, входящие в формулу (5) имеют размерности в единицах системы СИ.

Для конкретного места установки неподвижного датчика ветра на фюзеляже вертолета составляющие V_{ix} , V_{iy} , V_{iz} вектора индуктивного потока V_i в связанной системе координат можно описать уравнениями вида [8]:

$$V_{ix} = k_{ix}|V_{i0}|; \quad V_{iy} = k_{iy}|V_{i0}|; \quad V_{iz} = k_{iz}|V_{i0}|, \quad (6)$$

где k_{ix} , k_{iy} , k_{iz} – безразмерные коэффициенты, зависящие от величины (модуля) вектора скорости V , угла атаки α , угла скольжения β и других параметров полета вертолета, определяемые по результатам летных испытаний системы на вертолете;

$$|V_{i0}| = \sqrt{\frac{Gn_y}{2\chi\rho_H F}} \text{ – модуль вектора скорости } V_i \text{ индуктивного потока на режиме висения}$$

($V = 0$);

G – текущий вес вертолета;

n_y – нормальная перегрузка;

$$\rho_H = \frac{P_H T_H}{T_0 P_0} \rho_0 \text{ – плотность воздуха на высоте полета } H;$$

P_H и T_H – статическое давление и температура на высоте H ;

F – площадь, ометаемая несущим винтом вертолета;

χ – коэффициент заполнения несущего винта.

Поскольку неподвижный датчик ветра расположен на фюзеляже на определенном радиусе-векторе R от центра масс вертолета, то при вращении вертолета относительно центра

масс имеет место кинематическое искажение вектора скорости V невозмущенного воздушно-го потока, набегающего на приемник, которое определяется уравнением вида

$$V_k = V + \omega \times R(x, y, z), \quad (7)$$

где V_k – кинематически искаженный вектор скорости набегающего воздушного потока в месте установки многофункционального аэрометрического приемника;

$\omega (\omega_x, \omega_y, \omega_z)$ – вектор угловой скорости вращения вертолета относительно центра масс;

$\omega_x, \omega_y, \omega_z$ – угловые скорости вращения вертолета относительно осей связанной системы координат;

x, y, z – координаты места установки многофункционального аэрометрического приемника в связанной системе координат, центр которой находится в центре масс вертолета.

Проекции вектора V_k на оси связанной системы координат определяются как

$$V_{kx} = V_x + (\omega_y z - \omega_x y); \quad V_{ky} = V_y + (\omega_z x - \omega_x z); \quad V_{kz} = V_z + (\omega_x y - \omega_y x). \quad (8)$$

По давлениям P_1, P_2 и P_3, P_4 , воспринимаемым отверстиями, расположенными на верхней поверхности полусферического приемника (рис. 1), используя известные соотношения [9], можно вычислить углы φ_1 и φ_2 , определяющие положение вектора скорости V_Σ результирующего набегающего воздушного потока вихревой колонны несущего винта вертолета относительно осей приемника:

$$\varphi_1 = \frac{1}{2} \arcsin \left(\frac{4}{9 \sin 2\varphi_{01}} \frac{P_1 - P_2}{P_{\text{п}\Sigma} - P_{\text{ст}\Sigma}} \right); \quad \varphi_2 = \frac{1}{2} \arcsin \left(\frac{4}{9 \sin 2\varphi_{02}} \frac{P_3 - P_4}{P_{\text{п}\Sigma} - P_{\text{ст}\Sigma}} \right). \quad (9)$$

Тогда по давлениям P_1 и P_2, P_3 и $P_4, P_{\text{п}\Sigma}$ и $P_{\text{ст}\Sigma}$ и по температуре торможения $T_{\text{т}\Sigma}$, после их преобразования в электрические сигналы с помощью пневмоэлектрических преобразователей 4 и 8 и ввода через мультиплексор 5 и аналого-цифровой преобразователь 6 в микропроцессор 7 (рис. 2), параметры вектора истинной воздушной скорости вертолета при рулении и маневрировании по земной поверхности и на взлетно-посадочных режимах вычисляются в соответствии с уравнениями вида:

$$\begin{aligned} V_x &= V_\Sigma \cos \left[90^\circ - \frac{1}{2} \arcsin \left(\frac{4}{9 \sin 2\varphi_{01}} \frac{P_1 - P_2}{P_{\text{п}\Sigma} - P_{\text{ст}\Sigma}} \right) \right] \times \\ &\times \cos \left[90^\circ - \frac{1}{2} \arcsin \left(\frac{4}{9 \sin 2\varphi_{02}} \frac{P_3 - P_4}{P_{\text{п}\Sigma} - P_{\text{ст}\Sigma}} \right) \right] - K_{ix} |V_{i0}| - (\omega_y z - \omega_x y); \\ V_y &= V_\Sigma \sin \left[90^\circ - \frac{1}{2} \arcsin \left(\frac{4}{9 \sin 2\varphi_{01}} \frac{P_1 - P_2}{P_{\text{п}\Sigma} - P_{\text{ст}\Sigma}} \right) \right] \times \\ &\times \cos \left[90^\circ - \frac{1}{2} \arcsin \left(\frac{4}{9 \sin 2\varphi_{02}} \frac{P_3 - P_4}{P_{\text{п}\Sigma} - P_{\text{ст}\Sigma}} \right) \right] - K_{iy} |V_{i0}| - (\omega_z x - \omega_x z); \\ V_z &= V_\Sigma \sin \left[90^\circ - \frac{1}{2} \arcsin \left(\frac{4}{9 \sin 2\varphi_{02}} \frac{P_3 - P_4}{P_{\text{п}\Sigma} - P_{\text{ст}\Sigma}} \right) \right] - K_{iz} |V_{i0}| - (\omega_x y - \omega_y x); \\ V_B &= \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2}; \quad \alpha = \arctg \frac{V_y}{V_x}; \quad \beta = \arcsin \frac{V_z}{\sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2}} = \arcsin \frac{V_z}{V_B}. \end{aligned} \quad (10)$$

При наличии на вертолете приемника спутниковой навигационной системы можно определить скорость V_p движения вертолета по земной поверхности, в соответствии с которой вычисляется скорость ветра $W = V_b \pm V_p$ при рулении и маневрировании вертолета по земле. Направление ψ вектора ветра W будет определяться значением угла скольжения $\beta = \psi$.

Используя информацию о величине V_n и углу сноса ψ_c вектора путевой скорости V_n вертолета от доплеровского измерителя скорости и угла сноса и информацию о составляющих вектора истинной воздушной скорости, можно определить величину W и направление ψ

вектора скорости ветра W или продольную W_x и боковую W_z составляющие вектора ветра на взлетно-посадочных режимах:

$$\Psi = \beta + \psi_c; \quad W_x = V_x - V_n \cos \psi; \quad W_z = V_z - V_n \sin \psi; \quad W = \sqrt{W_x^2 + W_z^2}. \quad (11)$$

Таким образом, рассмотренные принципы построения, конструктивная и функциональные схемы и алгоритмы обработки первичных информативных сигналов являются реальной основой для разработки бортовой системы измерения параметров вектора ветра на стоянке, взлетно-посадочных и полетных режимах вертолета.

Предлагаемая бортовая система измерения параметров вектора ветра решает задачу информационного обеспечения экипажа вертолета на стоянке, при рулении и маневрировании по земной поверхности, на взлетно-посадочных и полетных режимах. Использование системы позволит повысить эффективность применения и безопасность эксплуатации вертолетов различного класса и назначения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соколов, Ю.Г. Применение вертолетов с авианесущих кораблей / Ю.Г. Соколов. – М.: Воениздат. – 1989. – 180 с.
2. Ерусалимский, М.А. Экипажам вертолетов – информационную поддержку / М.А. Ерусалимский, В.Н. Егоров // Авиасоюз. – 2011. – № 2 (35). – С. 24-25.
3. Нормы летной годности гражданских вертолетов, НЛГВ. – М.: ЦАГИ. – 1987. – 350 с.
4. Тихомиров, А.А. Ультразвуковые анемометры и термометры для измерения пульсаций скорости и температуры воздушных потоков. Обзор / А.А. Тихомиров // Оптика атмосферы и океана. – 2011. – Т. 23. – № 7. – С. 585-600.
5. Азбукин, А.А. Автоматические метеостанции АМК-03 и их модификации / А.А. Азбукин, Л.Я. Богусевич, А.А. Кобров, В.А. Корольков, А.А. Тихомиров, В.Д. Шелевой // Датчики и системы. – 2012. – № 3. – С. 42-52.
6. Никитин, А.В. Алгоритмы работы каналов бортовой системы измерения параметров вектора ветра на стоянке и взлетно-посадочных режимах Никитин А.В. // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2013. – № 2. – С. 124-134.
7. Солдаткин, В.М. Методы и средства измерения аэродинамических углов летательных аппаратов / В.М. Солдаткин. – Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та. – 2001. – 448 с.
8. Солдаткин, В.В. Система воздушных сигналов вертолета на основе неподвижного аэрометрического приемника и информации аэродинамического поля вихревой колонны несущего винта: монография / В.В. Солдаткин. – Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та. – 2012. – 284 с.
9. Петунин, А.Н. Методы и техника измерения параметров газового потока / А.Н. Петунин. – М.: Машиностроение. – 1972. – 332 с.

Статья публикуется по рекомендации VI Международной научно-технической конференции «Информационные технологии в науке, образовании и производстве»

Никитин Александр Владимирович

Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева – КАИ (КНИТУ–КАИ).

Ассистент кафедры «Приборы и информационно-измерительные системы» (ПИИС)

420079, г.Казань, ул.Летняя, д.4

тел. 8-987-220-50-20

E-mail: nikitin.rf@mail.ru

A.V. NIKITIN

ON-BOARD SYSTEM OF MEASUREMENT OF WIND ON THE LAUNCH AND TAKE-OFF AND LANDING MODES HELICOPTER

Constructive scheme of stationary wind sensor's and algorithms of information processing measurements of velocity and angle direction the wind onboard system's relative to the longitudinal axis of the helicopter in the parking lot, take-off and landing and flight modes are considered.

Keywords: *helicopter, speed and direction of wind, measurement, parking, takeoff, landing, onboard system, stationary sensor, algorithms of information processing.*

BIBLIOGRAPHY

1. Sokolov, Ju.G. Primenenie vertoletov s avianesushhih korablej / Ju.G. Sokolov. – M.: Voenizdat. – 1989. – 180 s.
2. Erusalimskij, M.A. Jekipazham vertoletov – informacionnuju podderzhku / M.A. Erusalimskij, V.N. Egorov // Aviasojuz. – 2011. – № 2 (35). – S. 24-25.
3. Normy letnoj godnosti grazhdanskih vertoletov, NLGV. – M.: CAGI. – 1987. – 350 s.
4. Tihomirov, A.A. Ul'trozvukovye anemometry i termometry dlja izmerenija pul'sacij skorosti i temperatury vozdušnyh potokov. Obzor / A.A. Tihomirov // Optika atmosfery i okeana. – 2011. – T. 23. – № 7. – S. 585-600.
5. Azbukin, A.A. Avtomaticheskie meteostancii AMK-03 i ih modifikacii / A.A. Azbukin, L.Ja. Bo-gushevich, A.A. Kobrov, V.A. Korol'kov, A.A. Tihomirov, V.D. Shelevoj // Datchiki i sistemy. – 2012. – № 3. – S. 42-52.
6. Nikitin, A.V. Algoritmy raboty kanalov bortovoj sistemy izmerenija parametrov vektora vetra na stojanke i vzletno-posadochnyh rezhimah Nikitin A.V. // Fundamental'nye i prikladnye problemy tehniki i tehnologii. – 2013. – № 2. – S. 124-134.
7. Soldatkin V.M. Metody i sredstva izmerenija ajerodinamicheskikh uglov letatel'nyh apparatov. – Kazan': Izd-vo Kazan. gos. tehn. un-ta. – 2001. – 448 s.
8. Soldatkin V.V. Sistema vozdušnyh signalov vertoletov na osnove nepodvizhnogo ajerometriceskogo priemnika i informacii ajerodinamicheskogo polja vihrevoj kolonny nesushhego vinta: Monografija. – Kazan': Izd-vo Kazan. gos. tehn. un-ta. – 2012. – 284 s.
9. Petunin A.N. Metody i tehnika izmerenija parametrov gazovogo potoka. – M.: Mashinostroenie. – 1972. – 332 s.

Nikitin Aleksandr Vladimirovich

Kazan national research technical university named after A.N.Tupolev – KAI (KNRTU-KAI)
Assistant of department “Devices and information-measurement systems” (DIMS)
Letnyaya 4, Kazan, 420079
Ph.number 8-987-220-50-20
E-mail: nikitin.rf@mail.ru

В.Я. РАСПОПОВ

СИЛОВЫЕ ГИРОСКОПИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ В СИСТЕМАХ СТАБИЛИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ АСПЕКТ

В статье рассмотрены основные особенности гироскопических силовых управляющих комплексов космических аппаратов, как объектов изучения в разделе «Непосредственные гиросtabilизаторы» учебной дисциплины «Теория гироскопических систем». Изложено основное содержание предметной области объектов изучения, как важнейших компонентов комплексов для решения задач космических информационных технологий.

Ключевые слова: гиросtabilизатор; гиродин; космический аппарат; спутник; демпфирование; управление.

1. Определения и терминология

Силовые гироскопические комплексы (СГК) в составе космических аппаратов (КА) решают задачи их стабилизации и управления угловым положением, обеспечивая решение задач космических информационных технологий: телекоммуникации, зондирование Земли и космического пространства, высокоточная ориентация для обеспечения дальней космической связи с помощью узконаправленных параболических антенн и др. [1, 7].

Наиболее простыми СГК являются двигатели-маховики для стабилизации скорости вращения КА, принцип работы которых базируется на законе сохранения момента количества движения [5]. Если, например, КА начал вращение в определенном направлении вокруг оси, совпадающей с осью вращения маховика, достаточно увеличить скорость вращения маховика в ту же сторону, чтобы он «принял вращение на себя» и нежелательное вращение КА прекратится.

СГК, называемые также гиродинами, являются одно- или двухосными гиросtabilизаторами (ГС), способными создавать достаточно большой гироскопический момент, который передается через опоры ГС на КА, оказывая на него силовое воздействие.

В космической промышленности США двухосные СГК называют гироскопами с управляющим моментом (CMG – control moment gyroscope).

В работе [7] отмечается, что первые публикации в открытой печати, посвященные применению гироскопической стабилизации для управления угловым положением спутников, в англоязычной литературе датированы 1957-1959 гг. Дальнейшее исследование вопросов о применении ГС на орбитальных космических аппаратах было выполнено в лаборатории приборов Массачусетского технологического института (США) в 1959 г. Примерно в это же время начались отечественные разработки в этом направлении, которые активно развиваются в наше время [2, 3, 9, 10, 11, 12] и др.

2. Объекты применения и технические характеристики СГК

Космические аппараты (спутники) имеют большой диапазон по массе, в зависимости от которой их можно называть [6]: пикоспутники (0,1-1,0) кг, наноспутники (1-10) кг, микроспутники (10-100) кг, миниспутники (100-500) кг, малые спутники (500-1000) кг, средние спутники (1000-1500) кг, большие спутники – масса больше 1500 кг.

В настоящее время в околоземном пространстве и за его пределами находятся многочисленные КА и целые группировки, образующие например, навигационные системы *GLONASS*, *NAVSTAR*, *GALILEO* и др. Относительно низкая цена пико- и наноспутников позволяет создавать сетевые космические системы, внутри которых они могут обмениваться информацией и придавать системе более высокий уровень организации, придающий ей свойство эргадичности.

Одна из первых орбитальных космических станций (ОКС), на которой отработывались новые космические технологии, в том числе применение *CMG*, была станция

«Скайлэб» (США). Она была выведена на орбиту 14.05.1973 г. и прекратила существование 9.07.1979 г. На станции работали три экспедиции астронавтов. В системе ориентации ОКС (погрешность до трех угловых минут) применялся инерциальный измеритель линии горизонта, в качестве исполнительных органов – три СМГ (гиродины), а для гашения кинетических моментов СМГ (режим разгрузки) применялись микродвигатели с тягой 680 Н, работавшие на сжатом азоте. Режим разгрузки нужен тогда, когда КА закручивается в одну сторону и ротор гироскопа, чтобы взять вращение «на себя» может выйти за допустимую для него скорость вращения. Каждый СМГ имел массу 110 кг, а ротор достигал скорости вращения 9000 об/мин.

Уникальным по многим техническим решениям (бесплатформенная инерциальная навигационная система; звездные датчики; многомашинный вычислительный комплекс; СГК с тремя гиродинами, масса каждого из которых около 300 кг, а скорость вращения ротора около 9000 об/мин) и беспрецедентной длительности полета была ОКС «МИР», которая работала с 15.03.1986 г. по 26.09.2001 г.

В работе [2] отмечается, что на ОКС «МИР» проходил опытную эксплуатацию гиродин с магнитными опорами ротора, который имел массу 40 кг при диаметре 400 мм. При скорости вращения 10000 об/мин он достигал кинетического момента 1000 Нмс. Гиродин развивал управляющий момент 200 Нм, а его масса вместе с электроникой – 165 кг.

Более чем 50-летний опыт разработки СГК для малых КА имеет ФГУП «НИИ командных приборов» (г. С-Петербург). Технические характеристики СГК приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Технические характеристики СГК

Характеристики	СГК - 100	СГК - 30	СГК - 3
Кинетический момент, Нмс	60; 100	30	3
Максимальный управляющий момент, Нм	100	30	1
Диапазон изменений скорости поворота подвеса, град/с	$\pm 57,3$	$\pm 57,3$	± 21
Масса с блоком электроники, кг	25,6	16,5	4.5

В настоящее время гиродины СГК имеют отработанную конструкцию: ротор изготавливается из специально обработанной высокопрочной стали, шарикоподшипниковые узлы имеют подпитку маслом, вакуумированный корпус выполняется из алюминиевых сплавов, в качестве двигателей вращения подвеса применяются низкоскоростные бесконтактные двигатели постоянного тока или переменного с управляющими обмотками с широкодиапазонной системой управления скоростного поворота подвеса гироскопа.

СГК в составе КА, как объекты изучения, по сравнению с известными применениями двух- и трехстепенных гироскопов в составе гиросtabilизаторов [8] требуют более детального изучения по следующим причинам:

– КА расширяют представления о применениях гироскопических технологий с отличными от земных условиями эксплуатации;

– совокупность КА-СГК требует при изучении системного подхода из-за явно выраженного силового взаимодействия гиродина и КА;

– технологии изготовления гиродина требуют применения специальных процедур: вакуумирование больших объемов корпусов гиродина с последующим контролем уровня вакуума, статическая и динамическая балансировка роторов больших размеров с высокой точностью, применение способов обработки специальных материалов со строгим метрологическим контролем и др.;

– высокие точности угловой ориентации КА требуют применения специального стендового оборудования, позволяющего оценивать не только параметры гиродина, но и его работу в составе КА;

– применяемая элементная база (гиродвигатели, моментные датчики, датчики углов, как правило энкодеры, элементы электроники) требуют высокой точности вырабатываемых параметров и надежности, обеспечиваемой в значительной степени за счет резервирования.

3. Предметная область

Предметная область изучаемых СГК включает:

- кинематические схемы одноосных гироскопов с одним и двумя двухстепенными гироскопами и кинематические схемы двухосных двухгироскопных гироскопов на трехстепенных гироскопах [1, 3, 4, 7, 10, 11, 12];
- математические модели прецессионной теории гироскопов для изученных кинематических схем, включая пассивный и активный режимы работы;
- измерительную цепь, отображающую взаимодействие всех элементов, участвующих в формировании управляющего воздействия со стороны СГК на КА;
- математическую модель одноосного СГК на двухстепенном гироскопе с учетом упругости подшипниковых узлов подвеса гироскопа с учетом особенности формирования возмущающих моментов по осям подвеса гироскопа и управляющего воздействия на КА.

На рисунке 1 приведена функциональная схема измерительной цепи СГК, иллюстрирующая формирование угла φ разворота подвеса гироскопа в ответ на управляющий сигнал, пропорциональный заданному углу φ_3 .

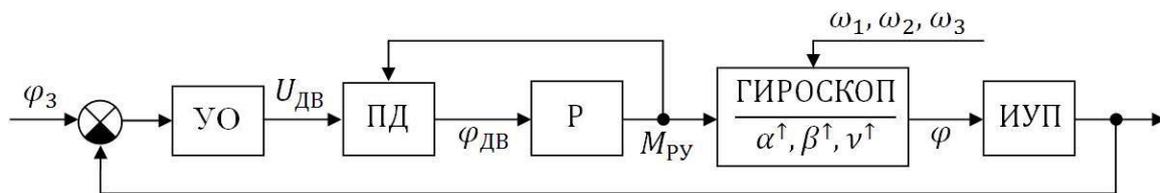


Рисунок 1 – Функциональная схема измерительной цепи СГК
(УО – устройство преобразования угла в напряжение управления ПД;
ПД – прецессионный двигатель; Р – редуктор; ИУП – измеритель
углового положения оси подвеса гироскопа)

Устройство преобразования состоит из последовательно включенных цифрового интегратора, устройства сравнения заданного и текущего кода углового положения оси подвеса гироскопа на выходе ИУП, корректирующего фильтра, широтно-импульсного модулятора и коммутатора.

На рисунке 2 приведена обобщенная кинематическая схема гироскопа с прецессионным двигателем и редуктором с учетом упругой связи между ними и конечной жесткости подшипниковых узлов подвеса гироскопа [3].

Математическая модель, на основании которой изучается динамика СГК, составлена относительно угловых координат φ (см. рис.1), v , α , β , которые последовательно определяют положение элементов гироскопа и связанных с ними систем координат относительно опорной системы координат: $ZXY \rightarrow z_{п} x_{п} y_{п} \rightarrow z_{к} x_{к} y_{к} \rightarrow z_{в} x_{в} y_{в} \rightarrow z_{р} x_{р} y_{р}$. Учет конечных жесткостей редуктора C_1 , люфтовывбирающей пружины C_2 и подшипниковых узлов $C_{пр}$, $C_{пк}$ позволяет выполнить оценку их влияния на частотные характеристики СГК, а также определить допустимую скорость вращения подвеса гироскопа для обеспечения программируемого разворота КА на угол φ_3 (рис.1) с максимально возможной скоростью вращения $\dot{\varphi}$ подвеса

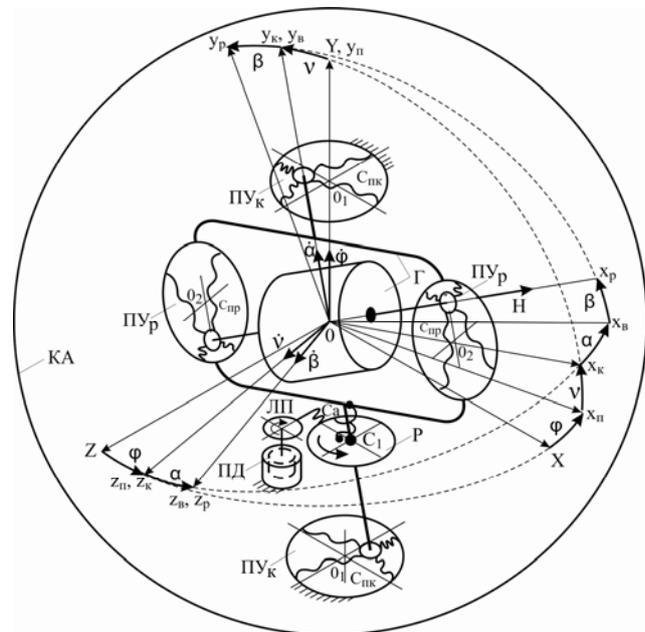


Рисунок 2 – Обобщенная кинематическая схема одноосного СГК на двухстепенном гироскопе
(КА – космический аппарат; Г – гироскоп; ПУ_к, ПУ_р – подшипниковые узлы подвеса кожуха и ротора; ПД – прецессионный двигатель; Р – редуктор; ЛП – люфтовывбирающая пружина)

гироскопа. В качестве примера на рисунке 3 приведены графики, иллюстрирующие качественный характер переходных процессов по скорости вращения подвеса гироскопа [3].

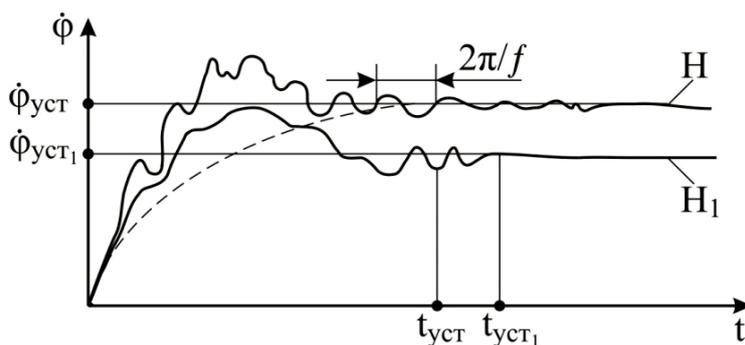


Рисунок 3 – Переходные процессы по скорости вращения подвеса гироскопа ($H < H_1$)

При изучении динамики разгона подвеса гироскопа устанавливаются важные закономерности:

- чем меньше кинетический момент гироскопа H , тем больше значение $\dot{\varphi}_{уст}$ может быть достигнуто при одном и том же моменте прецессионного двигателя;
- время переходного процесса $t_{уст}$ при увеличении H несколько увеличивается, также как и частота собственных колебаний;
- уменьшение жесткости $c_{пр}$ по сравнению с номинальной приводит к уменьшению допустимой максимальной скорости вращения подвеса гироскопа.

Математические модели двухосных двухгироскопных (на трехстепенных гироскопах) СГК позволяют получить аналогичные результаты, кроме того, изучить влияние перекрестных связей между каналами управления КА по двум координатам.

Заключение

Результатом изучения учебного материала по важнейшей компоненте космических информационных технологий – СГК должно быть освоение основных кинематических схем и режимов работы СГК и математического обоснования определения основных характеристик СГК: максимальный управляющий момент, диапазон и точность регулирования управляющего момента, точность получения информации об угловом положении вектора кинетического момента гироскопа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бровкин, А.Г. Бортовые системы управления космическими аппаратами: учеб. пособие / А.Г. Бровкин, Б.Г. Бурдыгов, С.В. Гордийко и др. под ред. А.С. Сырова. – М.: Изд-во МАИ-ПРИНТ. – 2010. – 304 с.
2. Верещагин, В.П. Опыт эксплуатации силовых гироскопов-гиродинов на орбитальном комплексе «МИР» / В.П. Верещагин, Д.М. Вейнберг, С.А. Стома // Труды ВНИИЭМ. – 1997. – Т. 97. – С. 5-12.
3. Сорокин, А.В. Гиросиловая система ориентации космического аппарата «Ресурс -ДК» / А.В. Сорокин и др. // Сборник материалов XIV С. Петербургской международной конференции по интегрированным навигационным системам. – С.-Петербург: ГНЦ РФ «ЦНИИ «Электроприбор». – 2002. – С. 268-274.
4. Ефимов А.В. Руководство к практическому занятию на тему «Изучение силового гироскопического комплекса»: рукопись. – С.-Петербург.: Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского. – 2003. – 45 с.
5. Ишлинский, А.Ю. Лекции по теории гироскопов / А.Ю. Ишлинский, В.И. Борзов, Н.П. Степаненко. – М.: Изд-во Московского университета. – 1983. – 244 с.
6. Лукьяненко, В. Международные тенденции создания и эксплуатации малых космических аппаратов / В. Лукьяненко // Международная конференция – выставка. «Малые спутники: новые технологии, миниатюризация, области эффективного применения в 21 веке». – Королев: 2003. – кн. 1. – С. 332-342.
7. Проблемы ориентации искусственных спутников Земли: Монография / под ред. С.Ф. Сингера. – М.: Изд-во «Наука». – 1966. – 451 с.
8. Распопов, В.Я. Гироскопы в системах гироскопической стабилизации / В.Я. Распопов, Д.М. Малютин, Ю.В. Иванов // Справочник. Инженерный журнал. Приложение. – 2009. – № 7. – С. 52-58.
9. Сомов, Е.И. Динамика прецессионного гиросилового управления космическими аппаратами землеобзора / Е.И. Сомов // Гироскопия и навигация. – 2002. – № 4(439) – С. 123-124.

10. Силовое гироскопическое устройство. Патент РФ. № 1839791. Заявка 1562914/25, 4.04.1973.
11. Силовое гироскопическое устройство для управления ориентацией космических аппаратов. Патент РФ. № 1839792. Заявка 1543336/28, 27.12.1971.
12. Гиросtabilizator. Патент РФ. № 1839899. Заявка 3053780/28, 22.11.1988.

Статья публикуется по рекомендации VI Международной научно-технической конференции «Информационные технологии в науке, образовании и производстве»

Распопов Владимир Яковлевич

Тульский государственный университет г. Тула
Доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Приборы управления»
Тел. +7(4812)35-19-59
E-mail: tgupu@yandex.ru

V.YA. RASPOPOV

**POWER GYROSCOPIC COMPLEXES IN THE SYSTEMS OF THE
STABILIZATION AND CONTROL OF THE SPACECRAFTS.
THE EDUCATIONAL ASPECT**

The main features of the gyroscopic power controlling complexes of the spacecrafts as the objects of the research in the part "Direct gyrostabilizer" of the academic subject "The theory of the gyroscopic systems" are considered in the article. The main summary of the object domain of the objects of the research, which are considered to be the most important components of the complexes for the solving of the problems of the space information technologies, is given.

Keywords: gyrostabilizer, gyrodyn, spacecraft, satellite, damping, controlling.

BIBLIOGRAPHY

1. Brovkin, A.G. Bortovye sistemy upravlenija kosmicheskimi apparatami: ucheb. posobie / A.G. Brovkin, B.G. Burdygov, S.V. Gordijko i dr. pod red. A.S. Syrova. – M.: Izd-vo MAI-PRINT. – 2010. – 304 s.
2. Vereshhagin, V.P. Opyt jekspluatacii silovyh giroskopov-girodinov na orbital'nom komplekse «MIR» / V.P. Vereshhagin, D.M. Vejnberg, S.A. Stoma // Trudy VNIIJeM. – 1997. – T. 97. – S. 5-12.
3. Sorokin, A.V. Girosilovaja sistema orientacii kosmicheskogo apparata «Resurs -DK» / A.V. Sorokin i dr. // Sbornik materialov XIV S. Peterburgskoj mezhdunarodnoj konferencii po integrirovannym navigacionnym sistemam. – S.-Peterburg: GNC RF «CNII «Jelektropribor». – 2002. – S. 268-274.
4. Efimov A.V. Rukovodstvo k prakticheskomu zanjatiju na temu «Izuchenie silovogo giroskopicheskogo kompleksa»: rukopis'. – S.-Peterburg.: Voenno-kosmicheskaja akademija im. A.F. Mozhajskogo. – 2003. – 45 s.
5. Ishlinskij, A.Ju. Lekcii po teorii giroskopov / A.Ju. Ishlinskij, V.I. Borzov, N.P. Stepanenko. – M.: Izd-vo Moskovskogo universiteta. – 1983. – 244 s.
6. Luk'janenko, V. Mezhdunarodnye tendencii sozdanija i jekspluatacii malyh kosmicheskikh apparatov / V. Luk'janenko // Mezhdunarodnaja konferencija – vystavka. «Malye sputniki: novye tehnologii, miniatjurizacija, oblasti jeffektivnogo primenenija v 21 veke». – Korolev: 2003. – kn. 1. – S. 332-342.
7. Problemy orientacii iskusstvennyh sputnikov Zemli: Monografija / pod red. S.F. Singera. – M.: Izd-vo «Nauka». – 1966. – 451 s.
8. Raspopov, V.Ja. Giroskopy v sistemah giroskopicheskoi stabilizacii / V.Ja. Raspopov, D.M. Maljutin, Ju.V. Ivanov // Spravochnik. Inzhenernyj zhurnal. Prilozhenie. – 2009. – № 7. – S. 52-58.
9. Somov, E.I. Dinamika precezionnogo girosilovogo upravlenija kosmicheskimi apparatami zemleobzora / E.I. Somov // Giroskopija i navigacija. – 2002. – № 4(439) – S. 123-124.
10. Silovoe giroskopicheskoe ustrojstvo. Patent RF. № 1839791. Zajavka 1562914/25, 4.04.1973.
11. Silovoe giroskopicheskoe ustrojstvo dlja upravlenija orientaciej kosmicheskikh apparatov. Patent RF. № 1839792. Zajavka 1543336/28, 27.12.1971.
12. Girostabilizator. Patent RF. № 1839899. Zajavka 3053780/28, 22.11.1988.

Raspopov Vladimir Yakovlevich

Tula state University, Tula
Doctor of technical science, professor, head of department "Control devices"
Tel. +7(4812)35-19-59
E-mail: tgupu@yandex.ru

И.Н. НОВИКОВА, А.В. ДУНАЕВ, А.И. КРУПАТКИН

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ХОЛОДОВОЙ ПРЕССОРНОЙ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ПРОБЫ НА ИЗМЕНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ МИКРОЦИРКУЛЯТОРНО-ТКАНЕВЫХ СИСТЕМ

В данной работе представлены результаты оценки изменений параметров микроциркуляторно-тканевых систем (МТС) организма человека при проведении холодовой прессорной функциональной пробы. Описана методика проведения экспериментов, приведены результаты измерений и расчётов комплексных параметров тканевого дыхания условно-здоровых добровольцев. В статье проведён анализ полученных данных, позволяющий их использовать для оценки резервных возможностей МТС организма при лечении ряда заболеваний с нарушением системы микроциркуляции крови.

Ключевые слова: *неинвазивная диагностика, лазерная доплеровская флоуметрия, оптическая тканевая оксиметрия, пульсоксиметрия, микроциркуляторно-тканевые системы, холодовая прессорная проба, тканевое дыхание.*

Актуальной проблемой в медицинской практике при диагностике различных заболеваний является исследование микроциркуляторно-тканевых систем (МТС) организма человека, их основных параметров, функций и процессов, протекающих в них. МТС являются структурно-функциональной единицей всех органов, основная функция которых заключается в обеспечении тканевого дыхания, которое включает в себя газообмен кислорода с кровью и совокупность окислительно-восстановительных реакций с цитохромной системой митохондрий для образования АТФ. Основными параметрами, характеризующими тканевое дыхание, являются экстракция и скорость потребления кислорода [1].

Для комплексной диагностики микроциркуляторно-тканевых систем организма человека в настоящее время применяют различные неинвазивные оптические технологии, такие как [2]: лазерная доплеровская флоуметрия (ЛДФ) [3], оптическая тканевая оксиметрия (ОТО) [4] и пульсоксиметрия [5]. Метод ЛДФ основан на оптическом зондировании ткани и анализе отраженного и рассеянного излучения от движущихся эритроцитов. Важной особенностью данного метода является возможность получения *in vivo* всего спектра ритмических процессов в микрососудах от пульсовых ритмов до циркадных, которые играют большую роль в функционировании системы микроциркуляции крови. Метод ОТО, основанный на спектрофотометрическом анализе различных фракций гемоглобина, позволяет *in vivo* оценивать динамику транспорта и величину сатурации крови кислородом в микрососудах. Метод пульсоксиметрии основан на способности гемоглобина, связанного (HbO_2) и не связанного с кислородом (Hb), абсорбировать свет различной длины волны и позволяет *in vivo* определить процентное содержание (сатурацию) оксигемоглобина в артериальной крови. Совместное применение данных методов позволяет комплексно оценить параметры микроциркуляторно-тканевых систем организма человека [6].

Для выявления скрытых нарушений гемодинамики и оценки возможных реакций МТС на внешнее воздействие широкое применение получили различные функциональные пробы такие, как окклюзионная проба, оценивающая величину кровотока в отсутствии артериального притока и резервные возможности микроциркуляторного русла по приросту кровотока во время реактивной постокклюзионной гиперемии [7, 8], дыхательная, позволяющая оценить реактивность сосудистой стенки вследствие активации симпатического звена автономной нервной системы, которая приводит к спазму приносящих микрососудов и временному снижению кровотока [9], постуральная, оценивающая веноартериолярную реакцию в микроциркуляторном русле [10], тепловая [11] и др. Особый интерес при исследовании микроциркуляторно-тканевых систем представляет холодовая прессорная проба (ХПП), осуществляемая в форме полного погружения кистей в ёмкость с холодной водой [3]. ХПП создает условия для выявления особенностей микроциркуляции крови и её нарушений уже на

ранних этапах. Таким образом, целью данной статьи явилась оценка влияния холодной прессорной пробы на изменение параметров микроциркуляторно-тканевых систем организма человека.

Экспериментальные исследования выполнялись с использованием лазерного анализатора микроциркуляции крови для врача общей практики «ЛАКК-ОП» (ООО НПП «ЛАЗМА», г. Москва), представленного на рисунке 1а. Лазерный анализатор предназначен для исследования состояния биологической ткани путём одновременного использования методов лазерной доплеровской флоуметрии с лазером на длину волны 1064 нм, оптической тканевой оксиметрии с лазерами на длины волн 530 нм и 630 нм и пульсоксиметрии. Расположение оптических датчиков во время проведения исследований представлено на рисунке 1б. Для частотного анализа ритмов (эндотелиальные, нейрогенные, миогенные, дыхательные и сердечные [12]) ЛДФ- и ОТО-грамм применялась программа LDF3 (версия 3.0.2.388).



а)



б)

Рисунок 1 – Внешний вид лазерного анализатора микроциркуляции крови для врача общей практики «ЛАКК-ОП» (а) и расположение оптических датчиков на пальцах рук добровольца во время проведения исследований (б)

В один день проводился только один эксперимент с ХПП, который включал в себя регистрацию 6-ти базовых (фоновых) тестов (БТ) длительностью по 5 мин каждый: 2 БТ регистрировались до начала проведения ХПП, а 4 БТ – после её окончания [13]. Время экспозиции (охлаждения рук) составляло 5 мин. Для получения достоверной диагностической информации запись БТ выполнялась через каждые 5 мин. Температура воды при проведении ХПП составляла порядка $14,8 \pm 0,2$ °С. Для контроля температуры воды и кожи добровольцев использовался бесконтактный электронный термометр «Sensitec NB-401» («Sensitec», Нидерланды).

Выполнены серии тестовых экспериментов (n=18), в которых приняли участие 3 условно здоровых добровольца женского пола (средний возраст – $21,3 \pm 0,5$ года). Измерения проводились на коже с артерио-венозными анастомозами (АВА) ладонная поверхность дистальной фаланги 3-го пальца кисти правой руки в одно и то же время, чтобы исключить циркадные ритмы кровотока, в условиях физического и психического покоя через 2 часа после приема пищи с предварительной адаптацией испытуемых к температуре помещения 20-23 °С в положении сидя, правое предплечье на столе на уровне сердца. Таким образом, всего было зарегистрировано 108 БТ по 5 мин каждый.

В процессе проведения экспериментальных исследований производилась регистрация основных параметров микроциркуляторно-тканевых систем, а именно, показателя микроциркуляции крови (I_m), тканевой сатурации (S_tO_2), уровня объёмного кровенаполнения ткани (V_b), сатурации артериальной крови (S_aO_2).

На рисунке 2 представлены примеры регистрации ЛДФ- и ОТО-грамм и их амплитудно-частотные спектры до и после проведения холодовой прессорной пробы и, как видно, данный функциональный тест вызывает значительное изменение основных измеряемых параметров МТС.

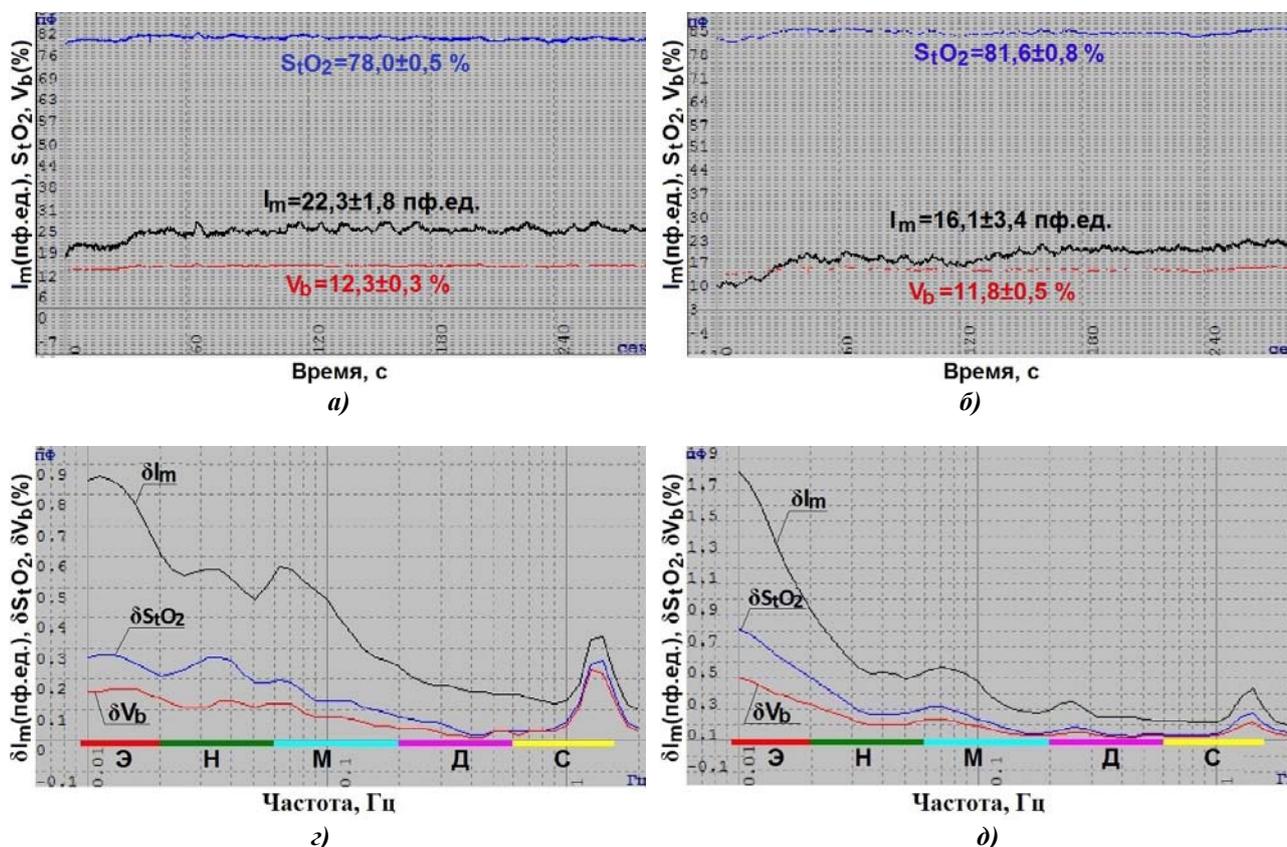


Рисунок 2 – Примеры регистрации ЛДФ- и ОТО-грамм и их амплитудно-частотные спектры до (а, в) и после (б, д) проведения ХПП

Э – эндотелиальные, Н – нейрогенные, М – миогенные, Д – дыхательные, С – сердечные ритмы

По методике [1, 14], основанной на анализе амплитуд колебаний S_tO_2 -грамм, определяется показатель экстракции кислорода (OE):

$$OE = (S_aO_2 - S_vO_2) / S_aO_2, \quad (1)$$

где S_vO_2 – сатурация венозной крови.

В большинстве случаев для области с АВА сатурация венозной крови рассчитывается следующим образом:

$$S_vO_2 = SO_2 / (A_c / A_b), \quad (2)$$

где A_c, A_b – максимальные амплитуды колебаний сердечных и дыхательных ритмов ($A_c / A_b > 1$).

Для области с АВА, $A_c / A_b \leq 1$ при этом $S_vO_2 = SO_2$.

В случае резонансных колебаний в активных диапазонах частот осцилляции эндотелиального и симпатического генеза для исследуемой области $S_vO_2 = 0$, тогда показатель извлечения кислорода:

$$OE = S_aO_2 / S_aO_2 = 1. \quad (3)$$

В случае резонанса осцилляций в общем миогенном или дыхательном диапазонах для области с АВА:

$$S_vO_2 = SO_2 / BI_{AVA}, \quad (4)$$

где BI_{AVA} – показатель шунтирования:

$$BI_{AVA} = 1 + (A_n / A_m), \quad (5)$$

где A_n, A_m – амплитуды колебаний микрокровотока в нейрогенном и миогенном диапазонах.

В случае доминирования осцилляций эндотелиального ритма при расчете показателя шунтирования амплитуда нейрогенного ритма (A_n) заменялась на амплитуду эндотелиального ритма (A_e) [3].

Скорость потребления кислорода (OC), рассчитывалась на основании анализа колебаний I_m -грамм и рассчитанного ранее значения венозной сатурации [1]:

$$OC = NB \times (S_a O_2 - S_v O_2), \quad (6)$$

где NB – доля нутритивного кровотока в общем микрокровотоке [1]:

$$NB = M / BI, \quad (7)$$

где M – среднее значение перфузии;

BI – показатель шунтирования, рассчитываемый в свою очередь по формуле:

$$BI = BI1 + BI2. \quad (8)$$

Составляющая $BI1$ для области кожи с АВА:

$$BI1 = BI_{AVA}. \quad (9)$$

$BI2$ рассчитывается по следующей формуле:

$$BI2 = A_{pass} / A_m, \quad (10)$$

где A_{pass} – максимальная амплитуда колебаний в пассивном диапазоне частот (сердечные или дыхательные ритмы).

Коэффициент $BI2$ учитывается, если $BI2 \geq 1$ [1].

Для оценки микрососудистого тонуса определены величины эндотелиального (ET), нейрогенного (NT) и миогенного (MT) тонуса [3].

$$ET = \sigma / A_e, \quad (11)$$

где σ – среднеквадратическое отклонение показателя микроциркуляции крови (I_m);

A_e – наибольшее значение амплитуды колебаний перфузии в эндотелиальном диапазоне.

$$NT = \sigma / A_n, \quad (12)$$

где A_n – наибольшее значение амплитуды колебаний перфузии в нейрогенном диапазоне.

$$MT = \sigma / A_m, \quad (13)$$

где A_m – наибольшее значение амплитуды колебаний перфузии в миогенном диапазоне.

На основании измеренных параметров производился расчет комплексных параметров МТС организма человека. Индекс относительной перфузионной сатурации кислорода в микрокровотоке рассчитывается следующим образом [15]:

$$S_m = S_t O_2 / I_m. \quad (14)$$

Индексы удельного потребления кислорода в ткани согласно двум различным подходам рассчитываются следующим образом [16]:

$$U_1 = S_a O_2 / S_t O_2, \quad (15)$$

$$U_2 = (S_a O_2 - S_t O_2) / V_b. \quad (16)$$

Индекс удельного потребления кислорода в ткани (с учётом нутритивного кровотока) определяется следующим образом [6]:

$$I = (S_aO_2 / S_tO_2) \times NB. \quad (17)$$

Примеры типовых зависимостей индивидуальных параметров МТС добровольцев в процессе проведения ХПП представлены на рисунке 3.

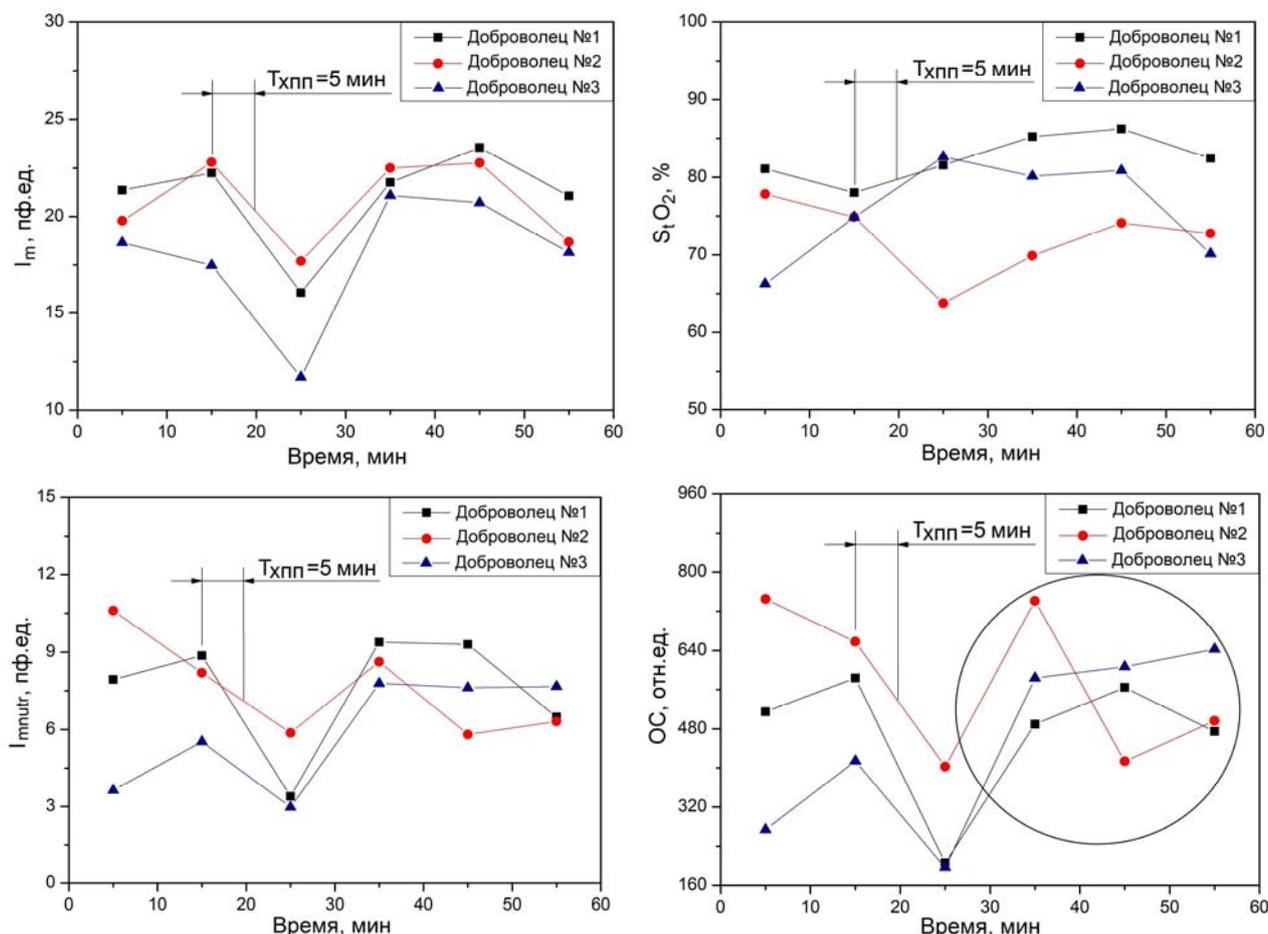


Рисунок 3 – Примеры типовых зависимостей индивидуальных параметров МТС добровольцев в процессе проведения ХПП

Анализ представленных зависимостей показывает, что отклик параметров микроциркуляторно-тканевых систем на ХПП у добровольцев различен. Так, у добровольца №3 после проведения ХПП восстановление скорости потребления кислорода происходит достаточно быстро, причем через 5 минут значение данного показателя почти в 2 раза превосходит исходный уровень, в то время как у добровольцев №1 и №2 данный процесс занимает более длительное время, а величина скорости потребления кислорода не превосходит исходных значений. После ХПП у добровольца №2 наблюдается возрастание, а затем значительное понижение скорости потребления кислорода, что может свидетельствовать о колебательном характере переходного процесса у данного добровольца, анализ которого является важным при оценке резервных возможностей микроциркуляторно-тканевых систем.

Результаты статистической обработки всех полученных экспериментальных данных представлены в таблице 1. При помощи критерия Манна-Уитни [17] оценено различие значений анализируемых параметров до и сразу после проведения ХПП.

Таблица 1 – Итоговая таблица результатов экспериментов

№ п/п	Параметр	№ БТ					
		До ХПП		После ХПП			
		1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6	7	8
1	$T_r, ^\circ\text{C}$	32,9±4,1	34,5±3,1	16,8±1,2*	25,6±4,3	28,8±3,7	31,8±3,3
2	$I_m, \text{пф.ед.}$	19,9±3,4	21,7±2,6	15,4±3,0*	18,9±3,3	18,2±2,7	18,3±3,5
3	$StO_2, \%$	76,8±7,3	76,6±7,1	75,0±7,7	77,6±7,1	80,1±8,8	76,1±8,8
4	$Vb, \%$	9,0±1,8	9,0±1,7	8,4±1,8	8,2±1,5	8,4±1,5	8,2±1,5
5	$SaO_2, \%$	98,8±3	98,9±0,3	98,9±0,2	98,9±0,2	98,9±0,3	99,0
6	$BI, \text{отн.ед.}$	2,9±1,0	2,7±0,5	5,0±1,8*	3,3±0,9	3,7±1,7	3,9±1,9
7	$SvO_2, \%$	29,0±14,7	25,8±12,1	35,4±12,3*	28,1±12,5	27,0±10,1	24,0±8,8
8	$ET, \text{отн.ед.}$	2,0±0,8	2,1±0,5	2,3±0,8	2,0±0,5	1,9±0,6	2,1±0,8
9	$NT, \text{отн.ед.}$	2,1±0,6	2,6±1,4	4,6±3,0*	2,9±1,3	2,7±1,2	2,1±0,5
10	$MT, \text{отн.ед.}$	2,8±0,7	3,2±1,4	7,0±2,7*	4,1±1,5	4,2±2,6	4,5±2,6
11	$Imnutr, \text{пф.ед.}$	7,6±2,7	8,5±2,2	3,4±1,2*	6,3±2,2	5,8±2,3	5,6±2,4
12	$Sm, \text{отн.ед.}$	4,0±0,7	3,6±0,5	5,0±1,0*	4,2±0,9	4,5±0,7	4,4±1,3
13	$UI, \text{отн.ед.}$	1,30±0,12	1,30±0,11	1,33±0,14	1,29±0,12	1,25±0,15	1,32±0,16
14	$U_2, \text{отн.ед.}$	2,6±1,0	2,6±0,9	3,1±1,6	2,7±1,7	2,3±1,2	3,0±1,5
15	$I, \text{пф.ед.}$	9,9±3,5	11,1±1,8	4,6±1,8*	8,1±3,1	7,3±2,9	7,3±3,0
16	$OE, \text{отн.ед.}$	0,71±0,15	0,74±0,13	0,64±0,19	0,72±0,13	0,73±0,10	0,76±0,07
17	$OC, \text{отн.ед.}$	532,9± 206,0	620,4± 165,4	219,5± 90,0*	456,4± 200,5	429,4± 201,7	430,0± 207,3

Анализ полученных данных показывает, что при проведении ХПП происходит уменьшение температуры в области исследования, вследствие чего происходит констрикция мышечно содержащих сосудов (артерий, артериол) [3], что приводит к снижению величины общей перфузии (21,7±2,6 пф.ед. и 15,4±3,0 пф.ед.). Данная функциональная проба вызывает раздражение холодовых рецепторов ткани, в результате чего активируются колебания кровотока симпатического диапазона. вследствие реакции холодовой вазодилатации, вызванной охлаждением рук, эндотелий ткани начинает выделять оксид азота, что приводит к росту амплитуды колебаний эндотелиальных ритмов [18]. Увеличение амплитуд низкочастотных колебаний приводит к увеличению показателя шунтирования (2,7±0,5 отн.ед. и 5,0±1,8 отн.ед.) и уровня венозной сатурации (25,8±12,1 % и 35,4±12,3 %). Уменьшение вазомоций приводило к росту миогенного тонуса (3,2±1,4 отн.ед. и 7,0±2,7 отн.ед.). Таким образом, большая часть кровотока движется по шунтам, что приводит к уменьшению нутритивного кровотока (8,5±2,2 пф.ед. и 3,4±1,2 пф.ед.). В результате ХПП происходит изменение и комплексных параметров, таких как индекс относительной перфузионной сатурации кислорода в микрокровотоке (3,6±0,5 отн.ед. и 5,0±1,0 отн.ед.) и индекс удельного потребления кислорода в ткани для области с АВА с учётом нутритивного кровотока (11,1±1,8 пф.ед. и 4,6±1,8 пф.ед.). Таким образом, уменьшение кровотока в нутритивном русле приводит к уменьшению скорости потребления кислорода (620,4±165,4 отн.ед. и 219,5±90,0 отн.ед.), в тоже время значимых изменений экстракции кислорода (количества фракций кислорода, удаляемых из артериальной крови путем диффузии в ткань) не происходит (0,74±0,13 отн.ед. и 0,64±0,19 отн.ед.).

На рисунке 4 представлены зависимости изменений параметров микроциркуляторно-тканевых систем исследованных добровольцев в процессе проведения ХПП.

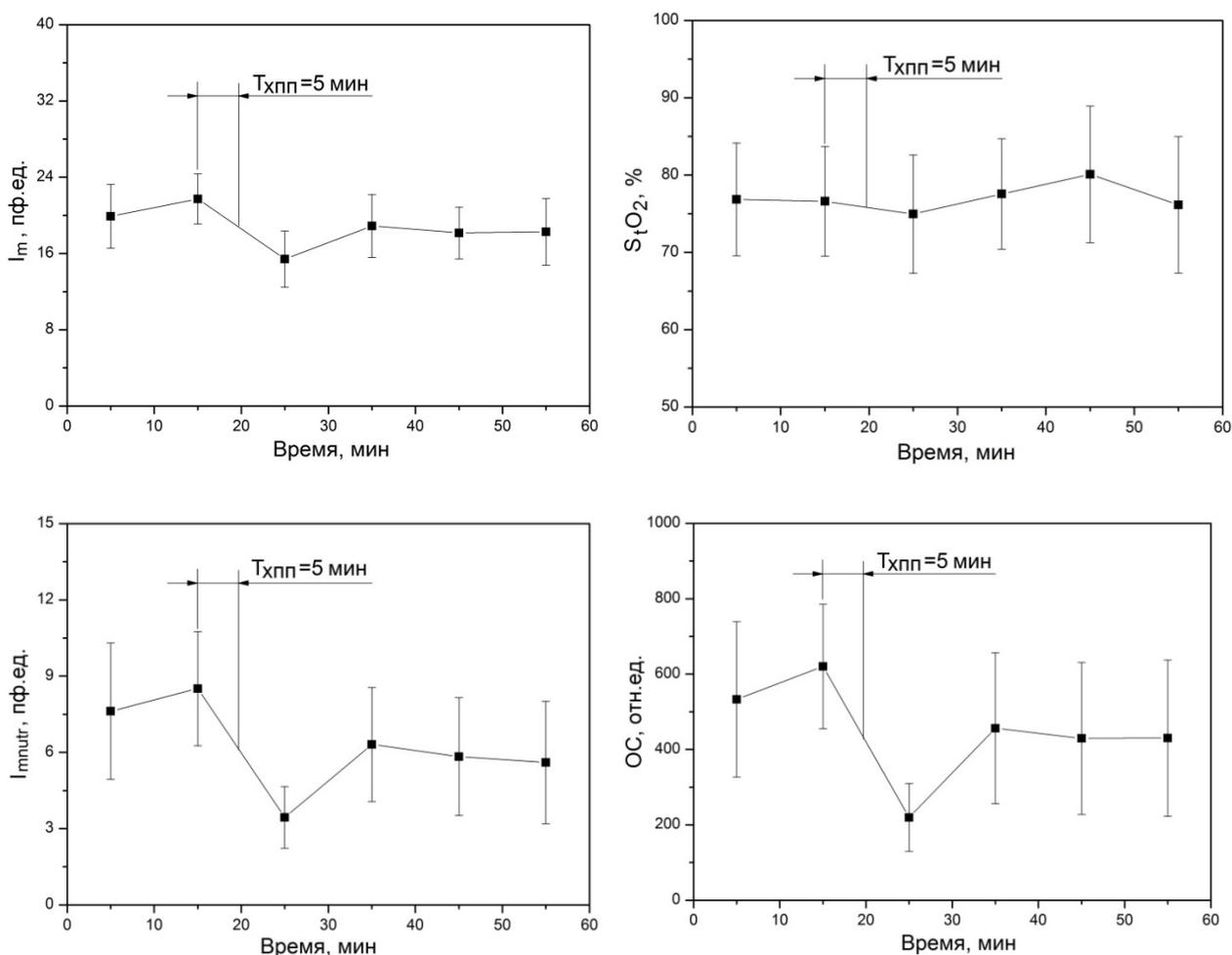


Рисунок 4 – Зависимости изменений параметров МТС исследованных добровольцев в процессе проведения ХПП

Как видно из представленных зависимостей, через 20-30 мин после проведения ХПП (БТ №5) колебания кровотока нормализуются, миогенный тонус прекапилляров уменьшается, амплитуды колебаний кровотока симпатического диапазона понижаются, происходит активация капиллярной перфузии ($18,2 \pm 2,7$ пф.ед.), в результате чего происходит уменьшение показателя шунтирования ($3,7 \pm 1,7$ отн.ед.), увеличение величины нутритивного кровотока ($5,8 \pm 2,3$ пф.ед.) и, как следствие – возрастание скорости потребления кислорода ($429,4 \pm 201,7$ отн.ед.).

Таким образом, охлаждение рук и массивное раздражение терморецепторов при выполнении ХПП вызывают мощную симпатическую активацию, что приводит к констрикции (сужению) мышечно-содержащих сосудов, к которым относятся артерии, артериолы АВА. После окончания проведения ХПП происходит увеличение локальной температуры кожи и дилатация (расширение) сосудов, так называемая реакция холодной вазодилатации, в результате которой происходит потеря способности сокращаться, сосуды расширяются и превращаются в пассивное сосудистое ложе [3]. Кровь начинает поступать в большом объеме, а это приводит к тому, что стенки сосудов нагреваются и их способность к сокращению восстанавливается (реакция вазоконстрикции). Таким образом, циклическое возрастание кровотока сменяется последующим снижением, а затем вновь происходит повышение кровотока и т.д., продолжительность полного цикла колебаний кровотока обычно составляет 15-30 мин [19].

Анализ полученных данных показал, что при выполнении холодной прессорной пробы происходит изменение основных параметров микроциркуляторно-тканевых систем, которые оказывают влияние на обеспечение тканевого дыхания. Таким образом, предлагаемая методика проведения ХПП является информативной при исследовании основных компонентов МТС, их резервных и адаптивных возможностей при оценке патогенеза различных забо-

леваний, связанных с развитием трофических нарушений (сахарный диабет, атеросклероз, синдром Рейно, вибрационная болезнь, склеродермия). Этот факт позволяет сделать вывод о возможности и целесообразности её дальнейшей апробации на пациентах с нарушением системы микроциркуляции крови в условиях клиники.

Работа выполнена в рамках базовой части государственного задания Минобрнауки №2014/264 ФГБОУ ВПО «Государственный университет-УНПК» с использованием оборудования регионального центра коллективного пользования контрольно-измерительным оборудованием ФГБОУ ВПО «Государственный университет-УНПК».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крупаткин, А.И. Неинвазивная оценка тканевого дыхания у человека с использованием вейвлет-анализа колебаний сатурации крови кислородом и кровотока в микрососудах кожи // Физиология человека, 2012. – Т. 38. – №4. – с. 67 – 73.
2. Тучин, В.В. Оптическая медицинская диагностика: в 2 т. – М.: Физматлит, 2007. Т. 1. 559 с.
3. Крупаткин, А.И. Функциональная диагностика состояния микроциркуляторно-тканевых систем: колебания, информация, нелинейность: руководство для врачей / А.И. Крупаткин, В.В. Сидоров. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2013. – 496 с.
4. Рогаткин, Д.А. Физические основы оптической оксиметрии. Лекция // Медицинская физика, №2, 2012. – с. 97-114.
5. Шурыгин, И.А. Мониторинг дыхания: пульсоксиметрия, капнография, оксиметрия. – СПб.: «Невский Диалект»; М.: «Издательство БИНОМ», 2000. – 301 с.
6. Дунаев, А.В. Анализ физиологического разброса параметров микроциркуляторно-тканевых систем / А.В. Дунаев, И.Н. Новикова, А.И. Жеребцова и др. // Биотехносфера, 2013. – №5. – С.44-53.
7. Пат. 2474379 Российская Федерация, МПК А61В5/01, А61В8/06. Способ диагностики функционального состояния системы микроциркуляции крови при вибрационной болезни / А.В. Дунаев, Е.А. Жеребцов, А.И. Егорова и др., заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО "Государственный университет - УНПК". – 2011118035/14. заявл. 04.05.11, Оpubл. 10.02.13, Бюл. № 4. – 10 с. :ил.
8. Усанов, Д.А. Оценка функционального состояния кровеносных сосудов по анализу температурно реакции на окклюзионную пробу/ Д.А. Усанов, А.В. Скрипаль, А.А. Протопопов // Саратовский научно-медицинский журнал. – 2009. – Т.5, №4. – С.554-558.
9. Станкевич, А.В. Функциональные пробы в оценке резервных возможностей кровотока у спортсменов / А.В. Станкевич, А.А. Ахапкина, И.А. Тихомирова // Ярославский педагогический вестник. – 2013. - №4. – Т.III. – С.190-194.
10. Азизов, Г.А. Функциональные пробы в оценке степени нарушений микроциркуляции при заболеваниях сосудов нижних конечностей // Региональное кровообращение и микроциркуляция. – 2006. - № 1(17). – С. 37-43.
11. Прокофьева, Т.В. Тепловая проба у больных стабильной стенокардией напряжения III функционального класса в процессе стационарного лечения при ЛДФ-тестировании / Т.В. Прокофьева, М.К. Яценко, Л.П. Воронина, Е.А. Полунина // Фундаментальные исследования. – 2007. – № 12 – С. 91-92
12. Stefanovska, A. Wavelet Analysis of Oscillations in Peripheral Blood Circulation Measured by Doppler Technique / A. Stefanovska, M. Bracic, H.D. Kvernmo // IEEE Trans. Biomed. Eng., № 10, vol. 46, 1999, pp. 1230-1239.
13. Новикова, И.Н. Исследование тканевого дыхания при холодной прессорной физиологической пробе // Труды III Всероссийского конгресса молодых ученых. – СПб: Университет ИТМО, 2014. – С. 235-237.
14. Dunaev, A.V. Investigating tissue respiration and skin microhaemocirculation under adaptive changes and the synchronization of blood flow and oxygen saturation rhythms / A.V. Dunaev, V.V. Sidorov, A.I. Krupatkin, et al. // Physiological Measurement, № 35(4), 2014, pp. 607-621.
15. Крупаткин, А.И. Клинико-диагностические показатели при комплексном исследовании микрогемодинамики и транспорта кислорода в системе микроциркуляции / А.И. Крупаткин, Д.А. Рогаткин, В.В. Сидоров // Материалы VI Межд. Конф. «Гемореология и микроциркуляция» – Ярославль, ЯГПУ им. Ушинского, 2007. – С.106.
16. Dunaev, A.V. Laser reflectance oximetry and Doppler flowmetry in assessment of complex physiological parameters of cutaneous blood microcirculation / A.V. Dunaev, V.V. Sidorov, N.A. Stewart, et al. // Proc. SPIE, vol. 8572, 2013, 857205 XI.
17. Юнкеров, В.И. Математико-статистическая обработка данных медицинских исследований / В.И. Юнкеров, С.Г. Григорьев. – СПб.: ВМедА, 2002. – 266 с.
18. Звездин, М.С. Ответная реакция сосудов кожи на дистантное холодное воздействие / М.С. Звездин, В.В. Ачкасова // Региональное кровообращение и микроциркуляция. – 2006. – Т. 5, №3 (19). – С. 63-67.
19. Холодовая вазодилатация. Сохранение тепла подкожной жировой клетчаткой. – Режим доступа: <http://meduniver.com/Medical/Physiology/1706.html>

Новикова Ирина Николаевна

ФГБОУ ВПО «Государственный университет – УНПК», г. Орел, Россия

Аспирант кафедры «Приборостроение, метрология и сертификация», инженер-исследователь научно-образовательного центра «Биомедицинская инженерия»

E-mail: i.n_novikova@mail.ru

Тел.: +7-961-627-87-27

Дунаев Андрей Валерьевич

ФГБОУ ВПО «Государственный университет-УНПК», г. Орёл, Россия

Ведущий научный сотрудник научно-образовательного центра «Биомедицинская инженерия», кандидат технических наук, доцент кафедры «Приборостроение, метрология и сертификация»

E-mail: dunaev@bmescenter.ru

Тел.: +7-4862-41-98-76

Крупаткин Александр Ильич

ФГУ «ЦИТО им. Н.Н. Приорова», г. Москва, Россия

Ведущий научный сотрудник отделения функциональной диагностики, доктор медицинских наук, профессор

E-mail: aikrup@mail.ru

I.N. NOVIKOVA, A.V. DUNAEV, A.I. KRUPATKIN

ESTIMATING THE INFLUENCE OF THE COLD PRESSOR FUNCTIONAL TEST ON THE CHANGE OF PARAMETERS OF MICROCIRCULATORY-TISSUE SYSTEMS

This paper presents evaluation results of the parameter changes of microcirculatory-tissue systems (MTS) of the human body during cold pressor functional tests. Described is the methodology for conducting experiments, alongside results of measurements and calculations of complex parameters of tissue respiration on healthy volunteers. The article analyzes the data, allowing it to be used to assess the reserve capacity of organism MTS in treating a number of diseases with impaired microcirculation of blood.

Keywords: *non-invasive diagnostics, laser Doppler flowmetry, tissue reflectance oximetry, microcirculatory-tissue system, cold pressor test, pulse oximetry, tissue respiration*

BIBLIOGRAPHY

1. Krupatkin, A.I. Neinvazivnaja ocenka tkanevogo dyhanija u cheloveka s ispol'zovaniem vejjvlet-analiza kolebanij saturacii krovi kislorodom i krovotoka v mikrososudah kozhi // Fiziologija cheloveka, 2012. – T. 38. – №4. – s. 67 – 73.
2. Tuchin, V.V. Opticheskaja medicinskaja diagnostika: v 2 t. – M.: Fizmatlit, 2007. T. 1. 559 s.
3. Krupatkin, A.I. Funkcional'naja diagnostika sostojanija mikrocirkuljatorno-tkanevyh sistem: ko-lebanija, informacija, nelinejnost': rukovodstvo dlja vrachej / A.I. Krupatkin, V.V. Sidorov. – M.: Knizhnyj dom «LIBROKOM», 2013. – 496 s.
4. Rogatkin, D.A. Fizicheskie osnovy opticheskoy oksimetrii. Lekcija // Medicinskaja fizika, №2, 2012. – s. 97-114.
5. Shurygin, I.A. Monitoring dyhanija: pul'soksimetrija, kapnografija, oksimetrija. – SPb.: «Nevskij Dialekt»; M.: «Izdatel'stvo BINOM», 2000. – 301 s.
6. Dunaev, A.V. Analiz fiziologicheskogo razbrosa parametrov mikrocirkuljatorno-tkanevyh sistem / A.V. Dunaev, I.N. Novikova, A.I. Zherebcova i dr. // Biotehnosfera, 2013. – №5. – S.44-53.
7. Pat. 2474379 Rossijskaja Federacija, MPK A61B5/01, A61B8/06. Sposob diagnostiki funkcional'nogo sostojanija sistemy mikrocirkuljacii krovi pri vibracionnoj bolezni / A.V. Dunaev, E.A. Zherebcov, A.I. Egorova i dr., zajavitel' i patentoobladatel' FGOU VPO "Gosuniversitet - UNPK". – 2011118035/14. zajavl. 04.05.11, Opubl. 10.02.13, Bjul. № 4. – 10 s. :il.
8. Usanov, D.A. Ocenka funkcional'nogo sostojanija krovenosnyh sosudov po analizu temperaturno re-akcii na okkljuzionnuju probu/ D.A. Usanov, A.V. Skripal', A.A. Protopopov // Saratovskij nauchno-meditsinskij zhurnal. – 2009. – T.5, №4. – S.554-558.
9. Stankevich, A.V. Funkcional'nye proby v ocenke rezervnyh vozmozhnostej krovotoka u sportsmenov / A.V. Stankevich, A.A. Ahapkina, I.A. Tihomirova // Jaroslavskij pedagogicheskij vestnik. – 2013. - №4. – T.III. – C.190-194.

10. Azizov, G.A. Funkcional'nye proby v ocenke stepeni narushenij mikrocirkuljacii pri zaboлева-nijah sosudov nizhnih konechnostej // Regional'noe krovoobrashhenie i mikrocirkuljacija. – 2006. - № 1(17). – S. 37-43.
11. Prokof'eva, T.V. Teplovaja proba u bol'nyh stabil'noj stenokardiej naprjazhenija III funkcion-al'nogo klassa v processe stacionarnogo lechenija pri LDF-testirovanii / T.V. Prokof'eva, M.K. Jacenko, L.P. Voronina, E.A. Polunina // Fundamental'nye issledovanija. – 2007. – № 12 – S. 91-92
12. Stefanovska, A. Wavelet Analysis of Oscillations in Peripheral Blood Circulation Measured by Doppler Technique / A. Stefanovska, M. Bracic, H.D. Kvernmo // IEEE Trans. Biomed. Eng., № 10, vol. 46, 1999, pp. 1230-1239.
13. Novikova, I.N. Issledovanie tkanevogo dyhanija pri holodovoj pressornoj fiziologicheskoj pro-be // Trudy III Vserossijskogo kongressa molodyh uchenyh. – SPb: Universitet ITMO, 2014. – S. 235-237.
14. Dunaev, A.V. Investigating tissue respiration and skin microhaemocirculation under adaptive changes and the synchronization of blood flow and oxygen saturation rhythms / A.V. Dunaev, V.V. Sidorov, A.I. Krupatkin, et al. // Physiological Measurement, № 35(4), 2014, pp. 607-621.
15. Krupatkin, A.I. Kliniko-diagnosticheskie pokazateli pri kompleksnom issledovanii mikro-gemo-dinamiki i transporta kisloroda v sisteme mikrocirkuljacii / A.I. Krupatkin, D.A. Rogatkin, V.V. Sidorov // Materialy VI Mezhd. Konf. «Gemoreologija i mikrocirkuljacija» – Jaroslavl', JaGPU im. Ushinskogo, 2007. – С.106.
16. Dunaev, A.V. Laser reflectance oximetry and Doppler flowmetry in assessment of complex physiological parameters of cutaneous blood microcirculation / A.V. Dunaev, V.V. Sidorov, N.A. Stewart, et al. // Proc. SPIE, vol. 8572, 2013, 857205 XI.
17. Junkerov, V.I. Matematiko-statisticheskaja obrabotka dannyh medicinskih issledovanij / V.I. Junkerov, S.G. Grigor'ev. – SPb.: VMedA, 2002. – 266 s.
18. Zvezdin, M.S. Otvetnaja reakcija sosudov kozhi na distantnoe holodovoe vozdejstvie / M.S. Zvezdin, V.V. Achkasova // Regionarnoe krovoobrashhenie i mikrocirkuljacija. – 2006. – T. 5, №3 (19). – S. 63-67.
19. Holodovaja vazodilatacija. Sohranenie tepla podkozhnoj zhirovoj kletchatkoj. – Rezhim dostupa: <http://meduniver.com/Medical/Physiology/1706.html>

Novikova Irina Nikolaevna

FSEI HPE "state University - unpk", , Orel, Russia

Postgraduate student of the Department "Instrument making, Metrology and certification", engineer-researcher of the scientific-educational center "Biomedical engineering"

E-mail: i.n_novikova@mail.ru

Phone: +7-961-627-87-27

Dunaev Andrey Valer'evich

FSEI HPE "state University-unpk", , Orel, Russia

Leading research worker of the scientific-educational centre "bioengineering", candidate of technical Sciences, Professor of the Department of Instrumentation, Metrology and certification"

E-mail: dunaev@bmecenter.ru

Phone: +7-4862-41-98-76

Krupatkin Alexander Ilyich

The Federal state institution "Central Institute of traumatology it. N.N. Priorov", , Moscow, Russia

Leading researcher of the Department of functional diagnostics, MD, Professor

E-mail: aikrup@mail.ru

П.Н. ШКАТОВ, К.В. МЯКУШЕВ

ОБОБЩЕННАЯ ОЦЕНКА ГЛУБИНЫ ПРОНИКНОВЕНИЯ ВИХРЕВЫХ ТОКОВ ПРИ ВИХРЕТОКОВОМ КОНТРОЛЕ

Работа посвящена исследованию глубины проникновения вихревых токов при их возбуждении реальными конструкциями вихретоковых преобразователей. Даны определения, характеризующие глубину проникновения вихревых токов в общем случае, приведены зависимости, показывающую зависимость глубины проникновения от различных параметров.

Ключевые слова: вихретоковый контроль, глубина проникновения, вихревые токи.

Введение

Распределение вихревых токов в контролируемом объекте в значительной степени определяет эффективность контроля соответствующих параметров. Из-за скин-эффекта вихревые токи имеют максимальную плотность на поверхности объекта контроля (ОК) со стороны сканируемой вихретоковым преобразователем (ВТП) поверхности.

Для количественной оценки неравномерности распределения вихревых токов по толщине ОК применяется такой параметр, как глубина проникновения вихревых токов. Глубина проникновения вихревых токов определяет выбор частоты возбуждающего тока при измерении толщины покрытий [1], выявлении дефектов, развивающихся с тыльной относительно сканируемой поверхности в немагнитных [2] и ферромагнитных [3-4] объектах. В теории вихретокового контроля под глубиной проникновения понимается расстояние $\delta_{\text{п}}$ от поверхности над которой размещен источник электромагнитного поля (возбуждающая обмотка) до слоя, в котором плотность J вихревых токов в e раз меньше, чем на поверхности [5].

Обычно, величину $\delta_{\text{п}}$ оценивают по формуле:

$$\delta_{\text{п}} = \sqrt{\frac{2}{\mu_a \omega \sigma}}, \quad (1)$$

где $\mu_a = \mu_0 \mu$ – абсолютная магнитная проницаемость металла;

$\omega = 2\pi f$ – круговая частота изменения возбуждающего тока;

σ – удельная электрическая проводимость металла.

Формула (1) справедлива для идеализированного случая возбуждения вихревых токов в проводящем полупространстве плоской однородной электромагнитной волной, когда в любой точке плоскости гармонически изменяющиеся во времени векторы напряженности магнитного и электрического полей \underline{H} и \underline{E} ортогональны друг другу, направлению распространения и параллельны плоскости поверхности. При этом амплитуда и фаза \underline{H} и \underline{E} постоянны в любой точке над поверхностью, а амплитуда плотности создаваемых плоской волной вихревых токов изменяется по мере удаления от поверхности металла по экспоненциальному закону [6].

Оценка глубины проникновения по обобщенной формуле

В реальных ВТП возбуждающее электромагнитное поле создается катушками индуктивности и существенно отличается от плоской волны. Глубину проникновения вихревых токов, в этом случае, целесообразно определять по более общей формуле [6], не предполагающей экспоненциального изменения плотности вихревых токов:

$$\delta = \frac{1}{J_0} \int_0^T J(y) dy, \quad (2)$$

где J_0 – плотность тока на поверхности металла;

y – координата, ортогональная поверхности металла;

T – толщина металла в соответствующем сечении (рис. 1).

Физический смысл глубины проникновения δ , определяемой выражением (2) заключается в следующем [7,8]: в слое δ будет сосредоточен весь ток, возбужденный в соответствующем сечении металла, при плотности J во всем этом слое равной плотности вихревого тока $J_0=J_{\max}$ на поверхности (рис. 1.).

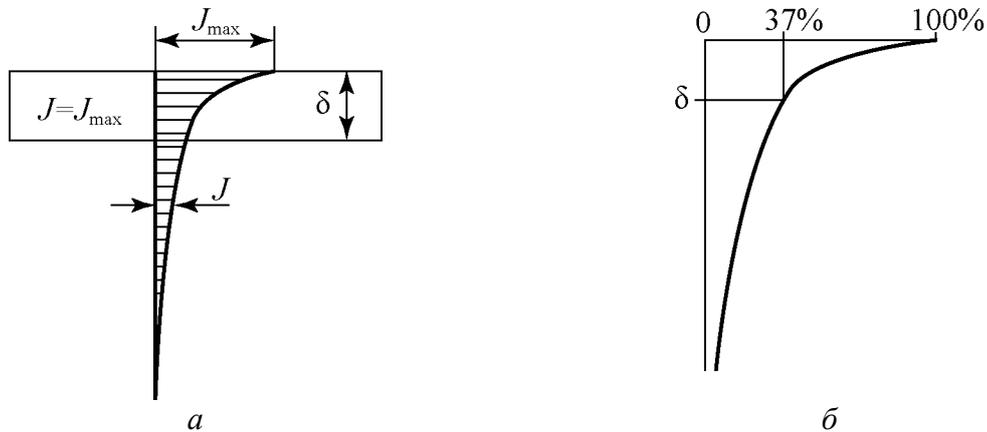


Рисунок 1 – Распределение плотности J вихревого тока, созданного в сечении толстой металлической пластины
 а – общий случай; б – плоская волна

Величина $\delta_{\text{пв}}$, вычисленная по формуле (1), и δ , вычисленная по формуле (2), при экспоненциальном законе изменения J совпадают.

Пример использования обобщенной формулы

Изменение плотности вихревого тока только по одной координате имеет место в проходных ВТП с однородным возбуждающим полем, создаваемым соленоидальной возбуждающей катушкой индуктивности. При возбуждении вихревых токов накладными ВТП, а также проходными ВТП с короткими возбуждающими катушками плотность тока J , при наличии осевой симметрии, изменяется по двум координатам, т.е. $J = J(r,z)$. Следовательно, глубина проникновения вихревых токов становится функцией как z , так и r .

В связи с этим целесообразно ввести интегральную оценку распределения плотности тока не только вглубь металла, но и по ортогональной к оси возбуждающей катушки (радиальной) координате.

Реальную глубину проникновения δ удобно нормировать по глубине проникновения плоской волны $\delta_{\text{пв}}$.

Соответствующие зависимости целесообразно получить путем математического моделирования. Приведенные на рисунке 2 результаты расчетов показывают, что глубина проникновения δ вихревых токов, созданных током круглого витка, приближается к глубине проникновения плоской волны при увеличении зазора $Z_{\text{в}}$ между витком и металлом. Величина отношения $\delta/\delta_{\text{пв}}$ под витком увеличивается, также, с ростом величины β , например, за счет увеличения частоты тока f .

Приведенные зависимости показывают, что относительная глубина проникновения $\delta/\delta_{\text{пв}}$ всегда меньше 1 в зоне максимальной плотности вихревого тока, т.е. под витком. Вместе с тем, с увеличением расстояния от зоны с максимальной плотностью тока относительная глубина проникновения вихревых токов растет, а затем снижается, образуя экстремум.

На этом эффекте основана технология вихретокового контроля с использованием «дальнего поля»: реакция вихревых токов регистрируется в зоне, смещенной от участка с максимальной плотностью тока. При этом выбирается компромисс между глубиной проникновения вихревых токов и их плотностью. Технология «дальнего поля» позволяет получить информацию об ОК с большей глубины, чем при традиционном подходе.

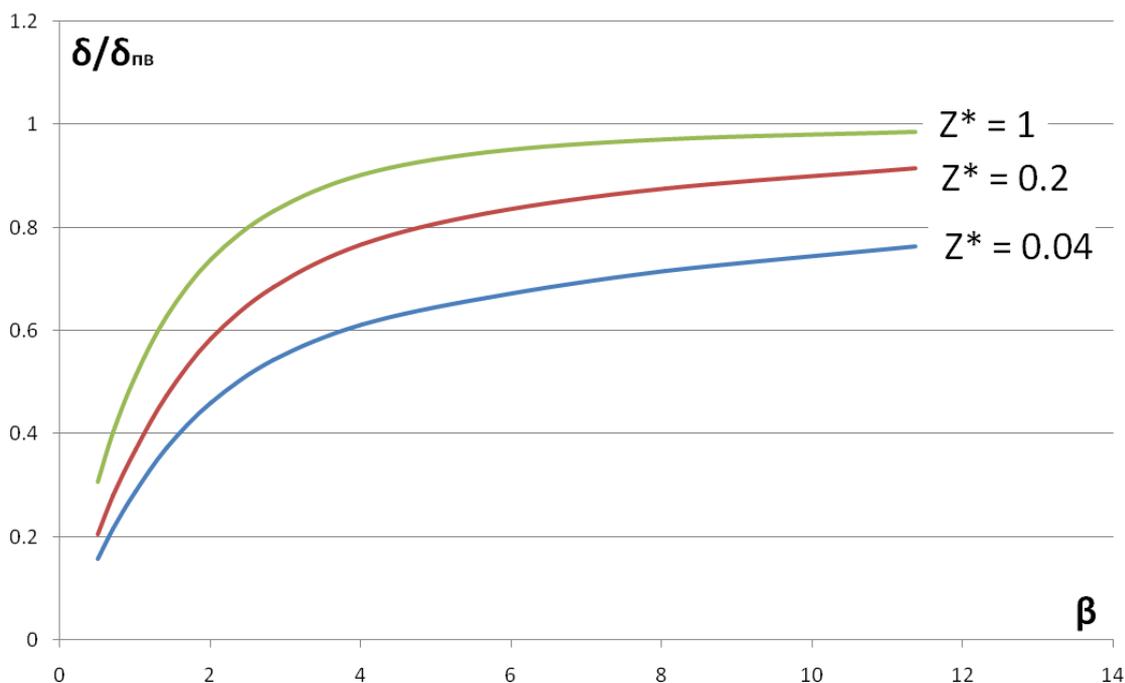


Рисунок 2 – Изменение нормированной глубины проникновения δ/δ_{pb} в толстой немагнитной пластине под витком с током при изменении обобщенного параметра β для различных значений относительного зазора Z^*

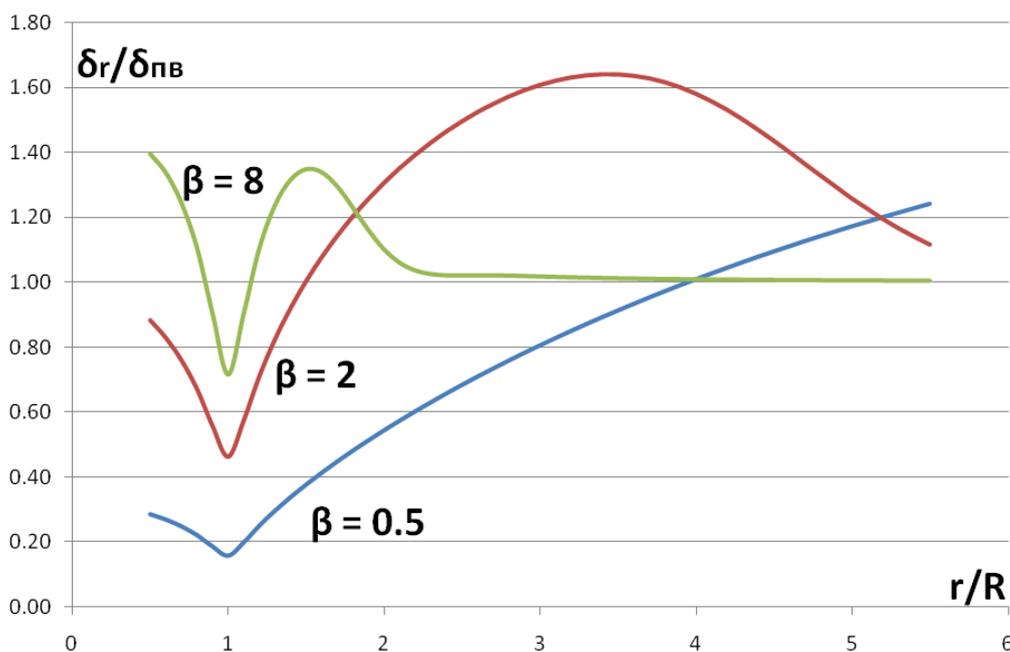


Рисунок 3 – Изменение нормированной глубины проникновения δ/δ_{pb} в толстой немагнитной пластине под витком с током при изменении нормированного расстояния r/R , от оси витка для различных значений обобщенного параметра β

Оценка достоверности численных расчетов

Для расчета зависимостей, изображенных на рисунках 2-3 использовался метод конечных элементов. Задача решалась в осесимметричной постановке, причем, размер конечных элементов в зоне распределения вихревых токов был выбран исходя из условия получения гладких зависимостей, несмотря на дискретность полученных результатов в объеме модели. Такой подход автоматически обеспечивал минимальную и достаточную для излагаемого материала погрешность результатов. Тем не менее, для верификации модели были проведены расчеты конфигурации, имеющей сравнительно простое теоретическое решение. Известно [5], что распределение вихревых токов по глубине в бесконечно длинном ферромаг-

нитном электропроводящем цилиндре, помещенном в бесконечно длинный соленоид описывается формулой:

$$j = \underline{k}H_0 \frac{I_1(\underline{k}r)}{I_0(\underline{k}R)},$$

где $\underline{k} = \sqrt{-j\omega\sigma\mu_a}$;

H_0 – значение напряженности магнитного поля на поверхности цилиндра;

I_0 и I_1 – модифицированные функции Бесселя первого рода соответственно нулевого и первого порядков.

Сравнение результатов численного и теоретического расчетов для действительной и мнимой компонент плотности тока приведены на рисунке 4. По горизонтальной оси отложено значение радиальной координаты в относительных величинах, а по вертикальной – значение одной из комплексных компонент вектора плотности тока, приведенные к модулю максимального значения плотности тока на поверхности J_{\max} . Погрешность расчета компонент плотности тока в любой точке зоны проникновения поля в проводник не превысила 0,005 %, что говорит о достоверности полученных результатов и верном выборе размеров элементов. Заметим, что оптимизации размера элемента в данном случае не требовалось и для практических задач такая дискретизация расчетной зоны является избыточной.

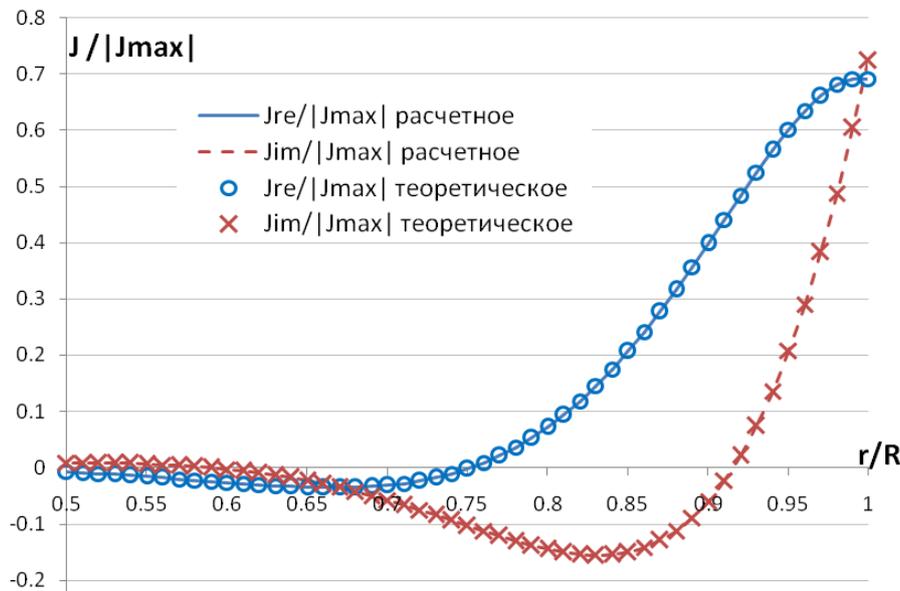


Рисунок 4 – Наложение результатов численного и теоретического расчетов распределения плотности вихревых токов в длинном цилиндре, помещенном в длинный соленоид

Следует отметить, что обобщенную оценку глубины проникновения целесообразно применять не только к вихревым токам, но и для количественной характеристики распределения электрического тока в электрических методах контроля [9].

Выводы:

1. Используемая в настоящее время в теории и практике вихретокового контроля оценка глубины проникновения вихревых токов по глубине проникновения плоской волны, не отражает ряд важных особенностей для реальных конструкций вихретоковых преобразователей.
2. Целесообразно пользоваться обобщенной формулой, определяющей глубину проникновения при произвольном законе изменения плотности вихревых токов.
3. Достоверные результаты по изменению глубины проникновения вихревых токов для различных контролируемых объектов и конструкций вихретоковых преобразователей с приемлемой для практики погрешностью могут быть получены методом конечных элементов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шкатов, П.Н. Применение вихревых токов для контроля сверхпроводников на основе соединения Nb₃Sn для ИТЭР при их производстве / П.Н. Шкатов, Е.А. Дергунова, С.М. Балаев, В.И. Тронза, Д.К. Фигуровский, А.Е. Воробьева // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии.* – № 4(282). – 2010. – С. 120-125.
2. Шкатов, П.Н. Исследование новых возможностей вихретоковой дефектоскопии при использовании магнитной жидкости / П.Н. Шкатов, И.В. Мостяев // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии.* – № 6. – 2013. – С. 15-20.
3. Клюев, С.В. Исследование возможности оценки коррозионного состояния толстостенных ферромагнитных объектов вихретоко-магнитным методом / С.В. Клюев, П.Н. Шкатов // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии.* – № 1. – 2010. – С. 17-22.
4. Shkatov, P.N. Combining eddy-current and magnetic methods for the defectoscopy of ferromagnetic materials / P.N. Shkatov // *Nondestructive Testing and Evaluation.* – Vol. 28. – Issue 2. – 2013. – p. 155-165.
5. Неразрушающий контроль: Справочник: В 8 т. Под. общ. ред. В.В. Клюева. Т.2.: В 2 кн. – Вихретоковый контроль. Книга 2 / Ю.К. Федосенко, В.Г. Герасимов, А.Д. Покровский, Ю.Я. Останин.– М.: Машиностроение, 2003.–688 с.
6. Канер, Э.А. Аномальное проникновение электромагнитного поля в металл и радиочастотные размерные эффекты / Э.А. Канер, В.Ф. Гантмахер. // *Успехи физических наук.* – 1968. – Т. 94. – Вып. 2.– С. 193-241.
7. Никольский, В.В. Теория электромагнитного поля / В.В. Никольский. – М.: Высшая школа. – 1964. – 384 с.
8. Федосенко, Ю.К. Вихретоковый контроль / Ю.К. Федосенко, П.Н. Шкатов, А.Г. Ефимов. – М.: Издательский дом «Спектр». – 2011. – 240 с.
9. Неразрушающий контроль: Справочник в 8 томах. Т. 5. / Под ред. В.В. Клюева. – Т. 5: В 2 кн. Кн. 2: Электрический контроль / К.В. Подмастерьев, Ф.Р. Соснин, С.Ф. Кондорф, Т.И. Ногачева, Е.В. Пахолкин, Л.А. Бондарева, В.Ф. Мужичкий. – М.: Машиностроение, 2004. – 697 с.

Шкатов Петр Николаевич

ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет приборостроения и информатики», г. Москва

Доктор технических наук., профессор

Тел. (499) 268-76-94

E-mail: petr_shkatov@mail.ru

Мякушев Константин Викторович

ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет приборостроения и информатики», г. Москва

Кандидат технических наук., докторант

Тел. (499) 268-76-94

E-mail: myakushev.k@yandex.ru

P.N. SHKATOV, K.V. MYAKUSHEV

OVERALL ASSESSMENT OF THE PENETRATION DEPTH EDDY CURRENTS IN THE EDDY-CURRENT CONTROL

The work is devoted to research of the penetration depth eddy currents when initiated the real structures of eddy current probes. Provides definitions characterizing the penetration depth of the eddy currents in the General case, the relationships are presented, showing the dependence of the penetration depth from various parameters.

Keywords: eddy current testing, the depth of penetration, eddy currents.

BIBLIOGRAPHY

1. Shkatov, P.N. Primenenie vihrevykh tokov dlja kontrolja sverhprovodnikov na osnove soedinenija Nb₃Sn dlja ITJeR pri ih proizvodstve / P.N. Shkatov, E.A. Dergunova, S.M. Balaev, V.I. Tronza, D.K. Figurovskij, A.E. Vorob'eva // *Fundamental'nye i prikladnye problemy tehniki i tehnologii.* – № 4(282). – 2010. – S. 120-125.
2. Shkatov, P.N. Issledovanie novyh vozmozhnostej vihretokovoj defektoskopii pri ispol'zovanii magnitnoj zhidkosti / P.N. Shkatov, I.V. Mostjaev // *Fundamental'nye i prikladnye problemy tehniki i teh-nologii.* – № 6. – 2013. – S. 15-20.

3. Kljuev, S.V. Issledovanie vozmozhnosti ocenki korrozionnogo sostojanija tolstostennyh ferromag-nitnyh ob#ektov vihretoko-magnitnym metodom / S.V. Kljuev, P.N. Shkatov // Fundamental'nye i prikladnye problemy tehniki i tehnologii. – № 1. – 2010. – S. 17-22.
4. Shkatov, P.N. Combining eddy-current and magnetic methods for the defectoscopy of ferromagnetic materials / P.N. Shkatov // Nondestructive Testing and Evaluation. – Vol. 28. – Issue 2. – 2013. – p. 155-165.
5. Nerazrushajushhij kontrol': Spravochnik: V 8 t. Pod. obshh. red. V.V. Kljueva. T.2.: V 2 kn. – Vihreto-kovyj kontrol'. Kniga 2 / Ju.K. Fedosenko, V.G. Gerasimov, A.D. Pokrovskij, Ju.Ja. Ostanin.– M.: Mashino-stroenie, 2003.– 688 s.
6. Kaner, Je.A. Anomal'noe proniknovenie jelektromagnitnogo polja v metall i radiochastotnye razmer-nye jef-fekty / Je.A. Kaner, V.F. Gantmaher. // Uspehi fizicheskikh nauk. – 1968. – T. 94. – Vyp. 2.– S. 193-241.
7. Nikol'skij, V.V. Teorija jelektromagnitnogo polja / V.V. Nikol'skij. – M.: Vysshaja shkola. – 1964. – 384 s.
8. Fedosenko, Ju.K. Vihretokovyj kontrol' / Ju.K. Fedosenko, P.N. Shkatov, A.G. Efimov. – M.: Izda-tel'skij dom «Spektr». – 2011. – 240 s.
9. Nerazrushajushhij kontrol': Spravochnik v 8 tomah. T. 5. / Pod red. V.V. Kljueva. – T. 5: V 2 kn. Kn. 2: Jel-ektricheskij kontrol' / K.V. Podmaster'ev, F.R. Sosnin, S.F. Kondorf, T.I. Nogacheva, E.V. Paholkin, L.A. Bondareva, V.F. Muzhickij. – M.: Mashinostroenie, 2004. – 697 s.

Skatov Petr Nikolaevich

Moscow State University of Instrument and Computer Science, Moscow
Doctor of technical Sciences, professor
Tel.: (499) 268-76-94
E-mail: petr_shkatov@mail.ru

Myakushev Konstantin Viktorovich

Moscow State University of Instrument and Computer Science, Moscow
Candidate of technical Sciences, doctoral student
Tel.: (499) 268-76-94
E-mail: myakushev.k@yandex.ru

ИСПЫТАНИЯ, КОНТРОЛЬ, ДИАГНОСТИКА **И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ**

УДК 681.5

Д.И. ПЕТРЕШИН, О.Н. ФЕДОНИН, А.В. ХАНДОЖКО, А.Н. ПРОКОФЬЕВ

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ С ЧПУ ДЛЯ РАСШИРЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СТАНКОВ

Одним способов технического перевооружения промышленности является модернизация. В большинстве случаев простой технологического оборудования связаны с отказами их систем управления. Модернизация системы управления позволяет расширить возможности станков с ЧПУ в части обеспечения требуемых параметров качества поверхностного слоя, реализовав адаптивную систему управления процессом механической обработки.

Ключевые слова: модернизация, системы управления, адаптивное управление, механическая обработка.

В большинстве случаев простой технологического оборудования связан с отказом его СУ. Приобретение нового оборудования оснащенного современной СУ многим предприятиям и особенно учебным заведениям, в сложившейся экономической ситуации, не под силу. Поэтому выходом из сложившейся ситуации может быть предложена модернизация существующего оборудования путем полной замены СУ и некоторых узлов станка, которые морально и физически устарели.

В ФГБОУ ВПО «БГТУ» проведены работы по модернизации систем управления группы металлорежущих станков с УЧПУ. Для восстановления работоспособности станков были использованы УЧПУ серии NC-200, NC 201M и NC 110. УЧПУ серии NC представляет собой промышленный компьютер и набор периферийных модулей, которые обеспечивают его связь с технологическим оборудованием [1]. Данные УЧПУ предназначены для комплектования токарно-револьверных, фрезерных и многоцелевых металлорежущих станков.

Для согласования УЧПУ серии NC с металлорежущими станками необходимо выполнить аппаратную и программную адаптацию ее с управляемым оборудованием.

Аппаратная адаптация УЧПУ к металлорежущим станкам заключается в анализе базовых электрических принципиальных схем и кинематических схем станков, в разработке схем подключения УЧПУ к станку, в переработке схемы электроавтоматики станков и в разводке соединительных кабелей. Связь УЧПУ с периферийными устройствами осуществляется через внешние релейные модули.

Программная адаптация состоит из двух этапов. Первый этап – это написание файлов характеристики. Второй этап – написание программы логики станка.

Файлы характеристики содержат параметры и характеристики, значения которых определяют конфигурацию УЧПУ под конкретный управляемый станок. С помощью этих файлов УЧПУ получает необходимую информацию для функционирования программного обеспечения, управляющего технологическим оборудованием. Все файлы характеристики читаются и интерпретируются программным обеспечением УЧПУ при включении.

Программа логики станка (ПЛС) является промежуточным звеном между базовым программным обеспечением и управляемым металлорежущим станком. ПЛС создается с помощью встроенного языка PLC. PLC – это программное средство для реализации логики станка между системой ЧПУ и управляемым металлорежущим станком и предназначено для:

- инициализации сигналов для включения/выключения управляемого оборудования;
- обработки сигналов протокола, который определяет выполнение различных режимов работы УЧПУ;

- обеспечения работы устройств безопасности станка;
- выполнения вспомогательных функций M, S, T, индексной оси, оси от точки к точке; выполнения протоколов обмена информацией.

Модернизация системы управления металлорежущего станка позволяет расширить их функциональные возможности. Наличие в УЧПУ класса PCNC развитого интерфейса связи с внешним оборудованием позволяет реализовать адаптивную систему управления (АдСУ) процессом механической обработки [2], что расширяет функциональные возможности металлорежущего станка с ЧПУ в части обеспечения требуемых параметров качества поверхностного слоя.

Большинство современных устройств числового программного управления (УЧПУ) класса PCNC не имеют режима адаптивного управления параметрами качества поверхностного слоя во время механической обработки. Для функционирования АдСУ необходимо получить информацию от датчиков, измеряющих выходные параметры процесса резания, произвести ее обработку и сформировать управляющее воздействие. Поэтому возникает проблема ввода аналогового сигнала от датчиков в УЧПУ, анализа полученной информации и выработке на основе анализа управляющего воздействия. Данная проблема может быть решена, если использовать внешнюю ПЭВМ. Ее задача заключается в обработке принятой информации и формирование управляющего воздействия.

Для связи УЧПУ с ПЭВМ необходимо использовать контроллер сопряжения (КС). КС предназначен для организации обмена информацией между датчиками силы резания и температуры и ПЭВМ, а также ПЭВМ с УЧПУ. Вычисленная величина поправки (подачи, скорости резания и глубины резания) передается от ПЭВМ контроллеру и далее в УЧПУ. В качестве УЧПУ рассматривается устройство NC-201M.

Для организации обмена информацией между датчиками силы резания и температуры и ПЭВМ необходимо учитывать, то, что от датчиков информация поступает в аналоговом виде, а в ПЭВМ необходимо вводить информацию в цифровом виде через имеющиеся стандартные порты ввода-вывода (COM, LPT, USB). Поэтому в состав КС должны входить элементы, преобразующие аналоговый сигнал, поступающий с датчиков, в цифровой вид и передающие его в ПЭВМ через стандартные порты ввода-вывода. Связь КС с ПЭВМ осуществляется через стандартный последовательный интерфейс связи RS-232.

Наличие модуля ввода-вывода дискретных сигналов в УЧПУ NC-201M, а также возможности программируемой логики станка позволяет настроить УЧПУ таким образом, что можно изменять условия обработки (подачу, скорость резания) в автоматическом режиме работы УЧПУ за счет внешнего программного управления корректорами подач и частоты вращения шпинделя. Подача и частота вращения шпинделя могут изменяться в диапазоне от 0% до 127% от первоначально установленных значений (первоначально установленным значениям соответствует 100%) с дискретностью 1%. Поэтому связь УЧПУ с внешним оборудованием, в том числе и управляющей ПЭВМ, осуществляется через модуль дискретного ввода-вывода сигналов. Для обмена информацией между ПЭВМ и УЧПУ в контроллере необходимо предусмотреть преобразование последовательного цифрового кода, поступающего от ПЭВМ по последовательному интерфейсу связи RS-232, в параллельный код соответствующего уровня напряжения (входное напряжение логического нуля – 0-7 В; входное напряжение логической единицы – 15-30 В).

Для реализации связи и обмена информацией между ПЭВМ и УЧПУ, а также для управления процессом механической обработки от ПЭВМ необходимо использовать КС, который обеспечивал бы: прием аналоговой информации от первичных преобразователей, установленных на технологическом оборудовании, и преобразование в цифровой вид для передачи в ПЭВМ; передачу информации от первичных преобразователей в ПЭВМ; прием управляющей информации от ПЭВМ и передача ее в УЧПУ; связь между ПЭВМ и КС должна осуществляться по каналу RS-232; связь между КС и УЧПУ через модуль дискретного ввода-вывода сигналов.

На основе сформулированных свойств, которыми должен обладать КС, предлагается следующая структурная схема КС рисунок 1 [3].



Рисунок 1 – Структурная схема модуля сопряжения

Основой КС является микроконтроллер (МК). Он управляет процессом получения информации от датчиков силы резания и температуры, передачей этой информации в ПЭВМ и выдачей управляющего воздействия от ПЭВМ в УЧПУ.

Во входной части КС имеются коммутатор каналов и аналого-цифровой преобразователь (АЦП). Коммутатор каналов управляется МК, и предназначен для поочередного подключения датчиков силы и температуры к входу АЦП. В КС используется один 12 разрядный АЦП со временем преобразования 3,8 мкс.

Выходная информация от КС к УЧПУ передается через буферный регистр и блок опторазвязки. Буферный регистр предназначен для хранения выводимой информации в УЧПУ. В состав буферного регистра входит два регистра разрядностью 8 бит. Каждый из регистров предназначен для хранения информации о величине поправки подачи и скорости резания. Блок опторазвязки реализован на диодно-транзисторной оптопаре.

Для согласования уровней напряжения интерфейса RS-232 между ПЭВМ и КС используется преобразователь уровня.

Для более полного понимания алгоритма и взаимодействия между элементами АдСУ выполним детализацию информационных потоков. В АдСУ можно выделить следующие информационные потоки:

- между датчиками (силы резания Pz и температуры в зоне резания) и контроллером сопряжения;
- между ПЭВМ и контроллером сопряжения;
- между контроллером сопряжения и УЧПУ;
- между контроллером сопряжения и приводом перемещения датчика NCDT1700-2.

- Информационные потоки между датчиками Pz тангенциальной составляющей силы резания и T термо-ЭДС, измеряющим температуру в зоне резания и КС представлены на рисунке 2.

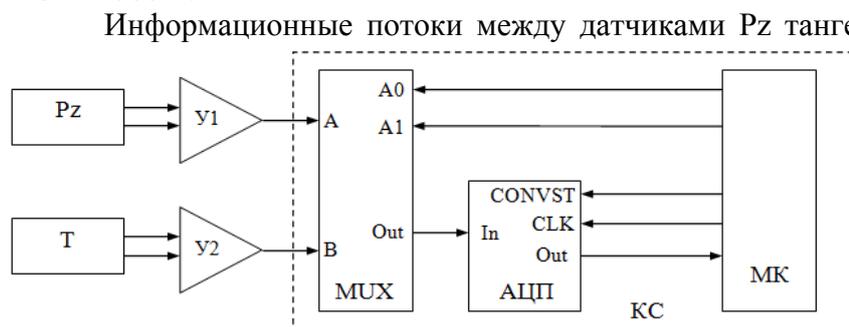


Рисунок 2 – Информационные потоки между датчиками и КС

Так как к КС подключаются два датчика Pz и T одновременно, то после его включения программно устанавливается подключение канала А (тензоусилитель (У1)) мультиплексора (MUX) к АЦП. Подключение необходимого канала к АЦП осуществляется путем задания кода от МК на информационных входах A0 и A1 мультиплексора каналов. После оцифровки сигнала, полученного с тензоусилителя, и его отправки в ПЭВМ к АЦП подключается канал В мультиплексора - усилитель термо-ЭДС (У2). После оцифровки сигнала, полученного с усилителя термо-ЭДС, и его отправки в ПЭВМ к АЦП снова подключается тензоусилитель. В таблице 1 представлено соответствие подаваемого кода на информационные входы мультиплексора каналов и выбранного канала.

Таблица 1 – Соответствие подаваемого кода и выбранного канала

Информационные входы мультиплексора каналов		Подключаемый канал
A1	A0	
0	0	канал А – тензоусилитель
0	1	канал В – усилитель термо-ЭДС

Организация функциональных связей и информационных потоков между ПЭВМ и КС, между КС и УЧПУ и между КС и приводом датчика NCDT1700-2 представлена на рисунке 3.

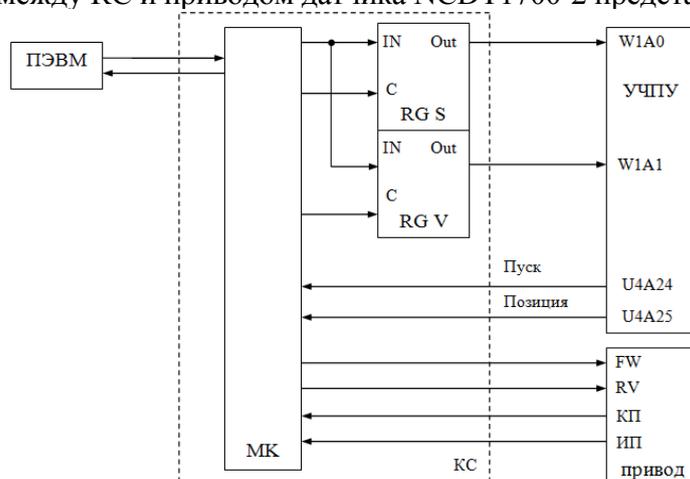


Рисунок 3 – Информационные потоки между ПЭВМ и КС, между КС и УЧПУ и между КС и приводом датчика NCDT1700-2

*RG S и RG V – регистры, хранящие величину коррекции подачи и частоты вращения шпинделя;
W1A0 и W1A1 – входные сигналы УЧПУ байтов коррекции подачи и частоты вращения шпинделя;
U4A24 и U4A25 – выходные дискретные сигналы УЧПУ; FW – вперед; RV – назад;
ИП – исходное положение; КП – конечное положение*

Для обеспечения управления периферийными устройствами (УЧПУ, привод датчика NCDT 1700-2 и АЦП контроллера сопряжения) от ПЭВМ в КС через последовательный интерфейс RS-232 передается соответствующая управляющая информация. Так как байт является минимально возможным количеством информации передаваемой по последовательному порту, а для управления величиной подачи и частотой вращения шпинделя необходим один байт информации, то управляющая информация имеет размер один байт таблица 2.

В ПЭВМ от КС необходимо передавать информацию об измеренных силе резания R_z и температуре резания, а также информацию о режиме работы УЧПУ. Так как для передачи оцифрованного сигнала датчиков от КС в ПЭВМ необходимо два байта (разрядность АЦП - 12), поэтому для унификации размера передаваемой информации в качестве формата передаваемых данных используются также два байта таблица 3.

Таблица 2 – Формат передаваемой информации от ПЭВМ в КС

Разряды байта								№	Назначение	
								x		
								0x	«Диагностика»	
								01	0x	
								02	0x	«Работ»/«Обучение»
								03	0x	Пуск привода NCDT
								04	0x	Запуск АЦП
								05	0x	Стоп АЦП
										Коррекция подачи F
										Коррекция ЧВШ S

Примечание: x – «1» или «0» в зависимости от величины коррекции.

Таблица 3 – Формат передаваемой информации от КС в ПЭВМ

Старший байт						Младший байт						Н ex	Назначение
5	4	3	2	1	0								
												0 x2000	«Стоп» от УЧПУ
												0 x2001	«Пуск» от УЧПУ
												0 x2002	Позиция измерения
													Данные «Тензо»
													Данные «Термо»

Примечание: x – «1» или «0» в зависимости от кода АЦП после оцифровки измеренного значения.

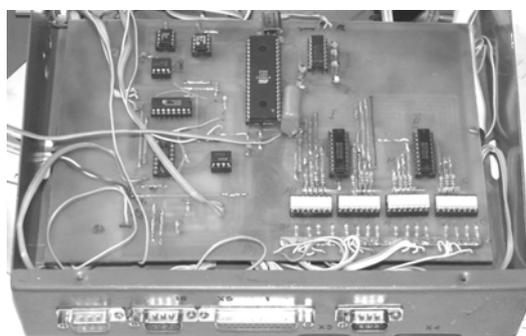


Рисунок 4 – Внешний вид реализованного КС

На основании рассмотренных информационных потоков, циркулирующих между элементами АдСУ были разработаны соответствующие алгоритмы работы и программное обеспечение для КС, УЧПУ и ПЭВМ [4, 5].

Разработанный КС (рис. 4) предназначен для работы с УЧПУ типа NC200, NC201, NC201M, NC220, NC210, NC110, NC310 [1].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Устройство числового программного управления серии NC201M. Руководство по эксплуатации. - СПб.: Балт-Систем, 2008. – 80 с.
2. Инженерия поверхности деталей / Колл. авт.; под ред. Суслова А.Г. М.: Машиностроение. 2008. – 320 с.
3. Патент РФ на полезную модель № 2009149561/22 (073204) МПК В23Q15/007 (2006.01) Контроллер сопряжения ПЭВМ с УЧПУ класса PCNC / А.Г. Суслов, Д.И. Петрешин.
4. Петрешин, Д.И. Структура программного обеспечения самообучающейся адаптивной технологической системы / Д.И. Петрешин // Вестник БГТУ. – 2009. -№ 4. - С. 95-99.
5. Петрешин, Д.И. Алгоритмическое обеспечение самообучающейся адаптивной технологической системы / Д.И. Петрешин // Обработка металлов. – 2006. – № 1. – С. 12-15.

Петрешин Дмитрий Иванович

ФГБОУ ВПО «Брянский государственный технический университет», г. Брянск
 Доктор технических наук, зав. кафедрой «Автоматизированные технологические системы»
 Россия, 241035, г. Брянск, бульвар 50-летия Октября, 7
 E-mail: atsys@tu-bryansk.ru

Федонин Олег Николаевич

ФГБОУ ВПО «Брянский государственный технический университет»
 Ректор, доктор технических наук, профессор
 Россия, 241035, Брянск, бульвар 50 лет Октября, 7
 Тел.: +7 (4832) 56-09-05
 E-mail: fedonin@tu-bryansk.ru; rector@tu-bryansk.ru

Хандожко Александр Владимирович

ФГБОУ ВПО “Брянский государственный технический университет”
Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой “металлорежущие машины и инструменты”
Россия, 241035, Брянск, бульвар 50 лет Октября, 7
Тел.: +7(4832) 58-82-89
E-mail: msi@tu-bryansk.ru

Прокофьев Александр Николаевич

ФГБОУ ВПО “Брянский государственный технический университет”
Доктор технических наук, профессор, первый проректор-проректор по учебной работе, профессор кафедры “Технология машиностроения”
Россия, 241035, Брянск, бульвар 50 лет Октября, 7
Тел.: +7(4832) 56-25-09,
E-mail: pan@tu-bryansk.ru.

D.I. PETRESHIN, O.N. FEDONIN, A.V. HANDOZHKO, A.N. PROKOFIEV

**MODERNIZATION OF CONTROL SYSTEMS CNC MACHINE
TOOLS TO EXTEND THE FUNCTIONALITY OF MACHINE TOOLS**

One way is the technical upgrading of industry modernization. In most cases, the process equipment downtime associated with failures of their control systems. Modernization of control system to extend the capabilities of CNC machines in terms of ensuring the required quality parameters of the surface layer by implementing adaptive control of machining processes.

Keywords: modernization, control systems, adaptive control, machining.

BIBLIOGRAPHY

1. Ustrojstvo chislovogo programmnoho upravlenija serii NC201M. Rukovodstvo po jekspluatacii. - SPb.: Balt-Sistem, 2008. – 80 s.
2. Inzhenerija poverhnosti detalej / Koll. avt.; pod red. Suslova A.G. M.: Mashinostroenie. 2008. – 320 s.
3. Patent RF na poleznuju model' № 2009149561/22 (073204) MPK B23Q15/007 (2006.01) Kontroller so-prjazhenija PJeVM s UChPU klassa PCNC / A.G. Suslov, D.I. Petreshin.
4. Petreshin, D.I. Struktura programmnoho obespechenija samoobuchajushhejsja adaptivnoj tehnologicheskoj sistemy / D.I. Petreshin // Vestnik BGTU. – 2009. -№ 4. - S. 95-99.
5. Petreshin, D.I. Algoritmicheskoe obespechenie samoobuchajushhejsja adaptivnoj tehnologicheskoy si-stemy / D.I. Petreshin // Obrabotka metallov. – 2006. – № 1. – S. 12-15.

Petreshin Dmitri Ivanovich

VPO "Bryansk State Technical University", Bryansk
Ph.D., Head. Department "Automated technological systems"
Russia, 241035, Bryansk, Boulevard 50 years of October 7
E-mail: atsys@tu-bryansk.ru

Fedonin Oleg Nikolaevich

State Educational Institution of Higher Education “Bryansk State Technical University”
Rector, Doctor of Engineering, Professor
Russia, 241035, Bryansk, Boulevard 50 years of October 7
Tel.: +7 (4832) 56-09-05
E-mail: fedonin@tu-bryansk.ru; rector@tu-bryansk.ru

Handozhko Alexander Vladimirovich

State Educational Institution of Higher Education “Bryansk State Technical University”
Doctor of Engineering, Professor, Head of the Chair “Metal-Cutting Machine and Instruments”
Russia, 241035, Bryansk, Boulevard 50 years of October 7
Tel.: +7(4832) 58-82-89
E-mail: msi@tu-bryansk.ru

Prokofiev Alexander Nikolaevich

State Educational Institution of Higher Education “Bryansk State Technical University”
Doctor of Engineering, Professor, First Pro-Rector for Academic Affairs, Professor of “Mechanical Engineering”
Russia, 241035, Bryansk, Boulevard 50 years of October 7
Tel.: +7(4832) 56-25-09,
E-mail: pan@tu-bryansk.ru.

КОНТРОЛЬ ВЛАЖНОСТИ КАПИЛЛЯРНО-ПОРИСТЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ВАКУУМНОЙ ОБРАБОТКЕ

В статье рассмотрены особенности применения вакуумной обработки при производстве строительных материалов. Показано, что многие процессы вакуумной обработки связаны с сушкой материалов, поэтому необходим контроль влажности. Приведены результаты анализа известных методов измерения влажности, используемых при сушке капиллярно-пористых материалов. Дано краткое описание предложенного авторами метода контроля влажности на примере вакуумной сушки древесины. Приведены алгоритм измерения и функциональная схема контрольно-измерительной системы, обеспечивающей реализацию предложенного метода.

Ключевые слова: контроль влажности, сушка в вакууме.

Сегодня в строительной индустрии успешно применяют как традиционные, так и современные композиционные материалы, многие из которых имеют капиллярно-пористую структуру, например, древесина, бетон, бетонополимеры и др. В процессе производства материалов в их микро- и макрокапиллярах накапливается влага, которая негативным образом влияет на их механические свойства, транспортабельность, долговечность, и т.п. Так, предел прочности на сжатие бетона с увеличением влажности снижается в результате действия расклинивающих сил. Согласно проведённым испытаниям [1], отмеченный предел прочности бетона В-4 при влажности 0 % составляет 5,58 МПа, а при влажности 100 % – 4,5 МПа. Бетонополимеры получают путём пропитки бетона мономерами (стирол, метилметакрилат). Процессу полной пропитки материала препятствуют содержащиеся в его порах и капиллярах влага и воздух. Поэтому бетон сначала подвергается сушке и вакуумированию. При вакуумной обработке из свежееуложенной бетонной смеси в короткий срок удаляется значительное количество воздуха и часть свободной воды, а их место занимают твёрдые частицы, в результате чего повышается плотность, прочность, ускоряется твердение и улучшаются другие важные технико-экономические показатели бетона [2].

В деревообрабатывающей промышленности также приходится считаться с капиллярно-пористым строением древесины. С увеличением её влажности увеличивается удельный вес, снижаются механические характеристики, появляется возможность поражения грибковыми заболеваниями, приводящими в лучшем случае к изменению цвета, в худшем – к гниению и сокращению сроков службы готовых изделий. В промышленности используется древесина двух уровней влажности: транспортной 18÷22 % и эксплуатационной. Эксплуатационная влажность определяется равновесной влажностью той среды, в которой будет применяться древесина, поэтому она колеблется в относительно широком диапазоне от 6 до 15 %. Однако свежесрубленная древесина имеет влажность 50÷120 % в зависимости от породы, поэтому для получения требуемых эксплуатационных характеристик она также как и бетон подвергается сушке. Из множества известных способов удаления влаги особую значимость имеют те, в которых процесс сушки протекает в насыщенной парогазовой среде низкого давления, что обеспечивает малый перепад влажности по толщине сортамента, а, следовательно, и малые внутренние напряжения в нём [3]. Для получения такого эффекта в рабочей камере создаётся вакуум (остаточное давление 8÷10 кПа), при этом температура кипения воды снижается до 45 °С. В этом случае имеет место низкотемпературный режим сушки, при котором древесина сохраняет целостность микроструктуры, а значит и физические свойства.

Технологический процесс сушки любого материала не возможен без контроля его влажности. Для измерения влажности твёрдых материалов применяются, в основном, три метода: метод высушивания, кондуктометрический и диэлькометрический. При реализации первого метода вначале определяется масса влажного контрольного образца, затем его подвергают сушке. После достижения образцом равновесной влажности снова определяют его массу, которая условно принимается за массу в абсолютно сухом состоянии. Искомую влажность рассчитывают по формуле:

$$W = \frac{m_H - m_D}{m_D} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где m_H – начальная масса контрольного образца;

m_D – масса образца в абсолютно сухом состоянии [4].

Второй метод предполагает измерение электропроводности материала σ , с определением влажности по экспериментально полученным кривым $\sigma = f(W)$. При определении влажности диэлькометрическим методом измеряются диэлектрические параметры материала – вещественная или мнимая составляющие диэлектрической проницаемости, либо тангенс угла диэлектрических потерь. Влажность также определяется по эмпирическим кривым.

Достоинство рассмотренных выше методов заключается в их простоте. Вместе с тем, они имеют также и ряд недостатков, к которым следует отнести большую продолжительность сушки контрольного образца до 2 и более часов, в зависимости от материала. Монтаж кондуктометрических и диэлькометрических датчиков также требует дополнительных затрат времени. Более существенным недостатком, с точки зрения автоматизации процесса обработки материала, является невозможность полностью исключить человеческий фактор из процедуры измерения влажности.

Известны методы и системы, не требующие личного участия человека в процессе измерения. Например, в [5] предложен метод, основывающийся на прогнозировании конечной массы загружаемого сырого материала. Измерительная система устраняет необходимость отбора образцов до начала процесса сушки, их последующего высушивания и взвешивания с целью определения массы абсолютно сухого материала. Последняя определяется в процессе сушки по результатам анализа характера изменения во времени массы материала. Для этого в начальный период сушки проводятся три-четыре измерения, после чего рассчитываются коэффициенты аппроксимирующего полинома, устанавливающего зависимость массы материала от времени. Далее составляется уравнение скорости сушки для определения времени сушки и конечной массы материала. Влажность рассчитывается по формуле (1) с учётом равновесной влажности. Существенным недостатком данного метода является большая продолжительность временных интервалов между 3-4 контрольными измерениями текущей массы высушиваемого образца, продолжительностью от 1 до 10 часов в зависимости от материала.

Как уже было показано, для повышения качества строительные капиллярно-пористые материалы подвергаются сушке и другим видам обработки с применением вакуума, для создания которого, помимо всего прочего, необходима герметичная камера. Если камера и другое вакуумное оборудование обеспечивают герметичность, то можно реализовать предлагаемый метод измерения влажности.

Перед началом вакуумирования в камере объемом V находится воздух массой m , при атмосферном давлении ($p_1 = p_{атм}$). После откачки части воздуха массой $m_{уд}$ в камере установится остаточное давление p_2 и останется некоторая часть воздуха, поэтому справедливо равенство:

$$m = m_{ост} + m_{уд}, \quad (2)$$

где $m_{ост}$ – остаточная масса воздуха.

Между остаточной массой и конечным давлением есть взаимосвязь. Для установления её вида сделаем допущение о том, что воздух является идеальным газом. Это в достаточной степени соответствует действительности при относительно высоких температурах и низких давлениях в рабочей камере. Во многих случаях нагрев материала осуществляется конвективным способом, который невозможен в вакууме, так как воздух перестаёт играть роль теплоносителя. Поэтому сначала осуществляется нагрев материала до необходимой температуры T_1 , и только потом из камеры откачивается воздух. За время вакуумирования из-за наличия теплопотерь температура может незначительно снизиться до величины T_2 . С учетом сделанных замечаний, уравнения состояния идеального газа до и после стадии вакуумирования примут вид:

$$P_1 V = \frac{m}{M} R T_1, \quad (3)$$

$$P_2 V = \frac{m_{ост}}{M} R T_2, \quad (4)$$

где M – молярная масса воздуха;

R – универсальная газовая постоянная, $R = 8,31 \cdot 10^3$ Дж/(К·моль).

Выполнив разделение постоянных и переменных величин, получим:

$$\frac{P_1}{T_1 m} = \frac{R}{M V}, \quad (5)$$

$$\frac{P_2}{m_{ост} T_2} = \frac{R}{M V}. \quad (6)$$

С учётом (2) приравняем левые части равенств (5) и (6):

$$\frac{P_1}{(m_{ост} + m_{юз}) T_1} = \frac{P_2}{m_{ост} T_2}.$$

Из последней формулы получена зависимость:

$$m_{ост} = \frac{T_1 P_2 m_{юз}}{T_2 P_1 - T_1 P_2}. \quad (7)$$

Для учета неидеальности свойств воздуха и других его параметров (влажности) можно использовать уравнения состояния атмосферы [6].

Найденная масса остаточного воздуха позволяет вычислить объём загруженного материала по формуле:

$$V_M = V - \frac{m_{ост}}{\rho_в(P_2, T_2, d)}, \quad (8)$$

где $\rho_в(P_2, T_2, d)$ – плотность воздуха.

Эмпирические уравнения зависимости плотности воздуха от давления, температуры и влажности приведены в [5].

Сушка любого капиллярно-пористого материала сопровождается, как правило, уменьшением его объёма (усушка или усадка). Зависимости коэффициента усушки от влажности для каждого материала индивидуален. Ограничимся рассмотрением этой зависимости для случая сушки древесины.

Известно, что в древесине влага содержится в свободной и связанной формах. Удаление свободной влаги, содержащейся преимущественно в межклеточном пространстве, не приводит к изменению исходных размеров. Удаление же связанной влаги, находящейся в клеточных стенках, вызывает уменьшение их толщины и, как следствие, усушку. Предел влажности, при котором начинается удаление связанной влаги, называется пределом насыщения клеточных стенок, он приблизительно равен 30 %, поэтому при влажности выше этого предела древесина имеет максимальный объём V_{max} . Максимальная объёмная усушка вычисляется по формуле:

$$y_{max} = \frac{V_{max} - V_0}{V_{max}} \cdot 100\%, \quad (9)$$

где V_0 – объём древесины в абсолютно сухом состоянии.

Установлено, что между усушкой древесины и убылью связанной влаги существует прямая пропорциональная связь, в связи с этим коэффициент усушки k_y на 1 % влажности с точностью до 0,01 % древесины вычисляются по формуле [5]:

$$k_y = \frac{y_{max}}{30}. \quad (10)$$

Из (10) с учётом (9) получена зависимость между максимальным и минимальным объёмами:

$$V_0 = V_{max} / (1 + 0,3k_y). \quad (11)$$

Так как в формуле (1) $m_0 = \rho_0 V_0$, то с учётом (11) можно записать:

$$W = \frac{m_H - \frac{\rho_0 V_{max}}{(1 + 0,3k_y)}}{\frac{\rho_0 V_{max}}{(1 + 0,3k_y)}} \cdot 100\%. \quad (12)$$

Расчёт влажности по формуле (12) справедлив в том случае, если начальная влажность древесины, загружаемой в камеру, выше предела насыщения. В противном случае объём материала не равен максимальному, что можно учесть следующим образом:

$$W = \frac{m_H - \frac{\rho_0 V}{(1 + Wk_y)}}{\frac{\rho_0 V}{(1 + Wk_y)}} \cdot 100\% \quad (13)$$

Формула (13) представляет собой квадратное уравнение относительно переменной W , решение которого имеет вид:

$$W = \frac{(\rho_0 V - k_y m_H + \rho_0 V k_y)}{2(\rho_0 V k_y - m_H k_y^2)} + \frac{\sqrt{(\rho_0 V - k_y m_H + \rho_0 V k_y)^2 + 4(\rho_0 V k_y - m_H k_y^2)(\rho_0 V - m_H)}}{2(\rho_0 V k_y - m_H k_y^2)} \quad (14)$$

Второй корень уравнения, имеющий отрицательное значение не принимается во внимание.

Таким образом, по измеренному значению массы удалённого воздуха ещё до начала процесса сушки можно определить влажность загруженного в рабочую камеру материала. Операция измерения совмещается со стадией вакуумирования, что сокращает общую продолжительность технологического процесса обработки.

Рассмотрим возможность практической реализации предложенного метода. Функциональная схема системы контроля влажности представлена на рисунке 1. Блок-схема алгоритма процесса измерения влажности материала приведена на рисунке 2.

В герметичную рабочую камеру 1 загружается материал 2 (древесина), подлежащий вакуумной обработке. Далее задаются параметры свойств древесины: начальная влажность W_H , плотность в абсолютно сухом состоянии ρ_0 , коэффициент усушки k_y , а так же регламентируемая технологическим режимом величина остаточного давления P_2 . При этом не обязательно знать точное значение начальной влажности, достаточно знать, содержится ли в ней свободная влага или нет. Перед стадией вакуумирования с помощью преобразователя температуры 6 и датчика давления 5 измеряются начальные значения давления P_1 и температуры T_1 в камере. Затем включается вакуумный насос 3, и в процессе откачки воздуха с помощью массового расходомера 10 измеряется его масса $m_{уд}$. При достижении требуемого давления P_2 вакуумный насос отключается, клапан 4 закрывается. После этого измеряется температура T_2 и влажность воздуха d оставшегося в камере.

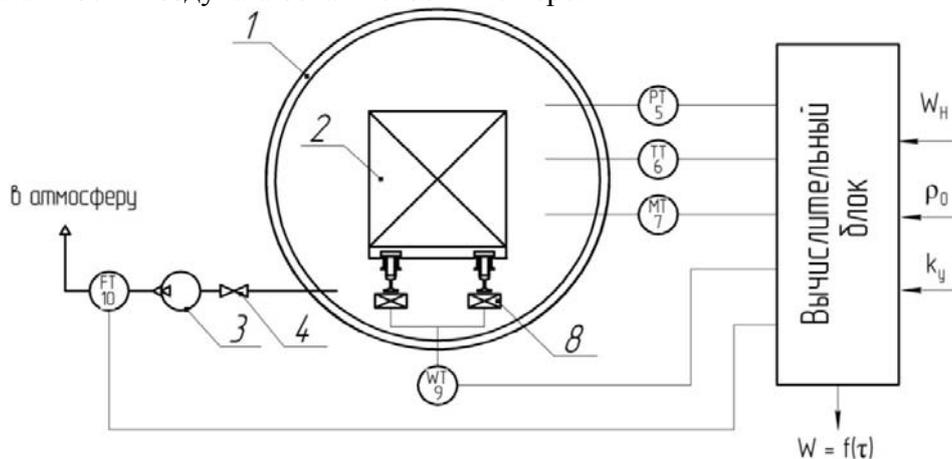


Рисунок 1 – Функциональная схема системы контроля влажности

1 – герметичная камера; 2 – обрабатываемый материал; 3 – вакуумный насос; 4 – клапан; 5 – датчик давления; 6 – преобразователь температуры; 7 – электрический психрометр; 8 – тензометрические датчики веса; 9 – преобразователь веса; 10 – массовый расходомер

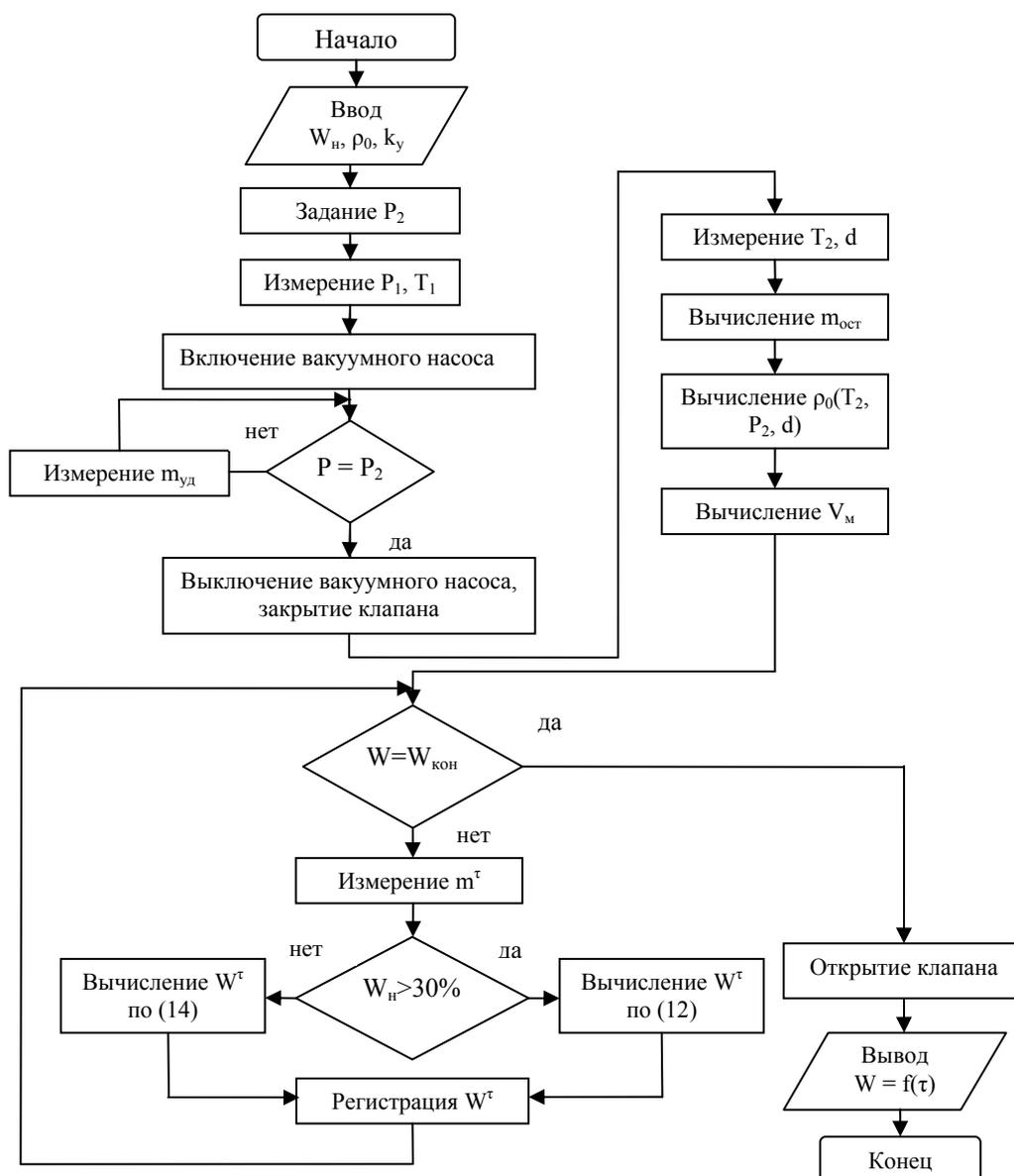


Рисунок 2 – Блок-схема алгоритма измерения влажности

воздуха и удалённой его массе определяется объём загруженного материала. В процессе сушки тензометрическими датчиками веса 8 и преобразователем веса 9 непрерывно или через некоторый интервал времени измеряется масса m^{τ} древесины. В зависимости от начальной влажности по формуле (12) или (14) вычисляется и регистрируется значение текущей влажности W^{τ} . При достижении конечной влажности $W_{\text{кон}}$ путём открытия клапана 4 давление в камере выравнивается с атмосферным. По вычисленным значениям влажности в разные моменты времени τ строятся зависимости $W = f(\tau)$.

Таким образом, предложенный метод контроля влажности, так же как и метод, описанный в [3], основан на принципе прогнозирования конечной массы материала. Отличие методов заключается в том, что согласно предложенному авторами методу масса древесины в абсолютно сухом состоянии ρ_0 определяется перед началом процесса сушки путем измерения начального и прогнозирования конечного объёма материала с помощью коэффициента усушки (усадки). Предложенный метод не требует больших временных затрат на его реализацию, по сравнению с другими рассмотренными выше методами. Метод позволит усовершенствовать автоматизированную систему управления вакуумной обработкой сушки капиллярно-пористых материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бурмин, А.В. Влияние влажности бетона на точность определения его прочности / А.В. Бурмин // Вестник ТГСАУ. – 2007. – № 4. – С. 135–138. – Библиогр.: с. 138.
2. Таращанский, Е.Г. Вакуумированный бетон в дорожном строительстве / А.В. Таращанский. – М.: Дориздат, 1952. – 66 с.
3. Качанов, А.Н. Техничко-экономический анализ способов сушки древесины / А.Н. Качанов, В.Г. Сальников, М.Н. Чукумов // В сб.: Проблемы энергетики Казахстана. Алматы: Изд-во «Гылым». – 1994. – С. 60–61. – Библиогр.: с. 61.
4. Богданов, Е.С. Справочник по сушке древесины / Е.С. Богданов, В.А. Козлов, В.Б. Кунтыш, В.И. Мелехов. – под редакцией Е.С. Богданова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Лесн. пром-сть, 1990. – 304 с.
5. Пат. 2037755 Российская Федерация, Устройство для определения влажности пиломатериалов / Лыготчикова А.Я.; Шибина А.Г.; Горбая А.Р.; Буранова Г.И.; патентообладатель Лыготчиков Александр Яковлевич; заявл. 13.05.1993; опубл. 19.06.1995.
6. Трухин, В.И. Общая и экологическая геофизика / В.И. Трухин, К.В. Показеев, В.Е. Куницын. – М.: Физмалит, 2005. – 576 с.

Качанов Александр Николаевич

ФГБОУ ВПО «Госунiversитет – УНПК», г. Орёл

Доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Электрооборудование и энергосбережение»,

E-mail: kan@ostu.ru

Коренков Дмитрий Андреевич

ФГБОУ ВПО «Госунiversитет – УНПК», г. Орёл

аспирант

E-mail: dimas.corenkov@yandex.ru

A.N. KACHANOV, D.A. KORENKOV

CONTROL OF MOISTURE CONTENT OF THE CAPILLARY AND POROUS CONSTRUCTION MATERIALS AT VACUUM PROCESSING

In article features of application of vacuum processing at production of construction materials are considered. It is shown that many processes of vacuum processing are connected with drying of materials therefore humidity control is necessary. Results of the analysis of known methods of measurement of the humidity, capillary and porous materials used at drying are given. The short description of the control method of humidity offered by authors on the example of vacuum drying of wood is given. The algorithm of measurement and function chart of the control and measuring system providing realization of the offered method are given.

Keywords: humidity control, drying in vacuum.

BIBLIOGRAPHY

1. Burmin, A.V. Vlijanie vlazhnosti betona na tochnost' opredelenija ego prochnosti / A.V. Burmin // Vestnik TGS AU. – 2007. – № 4. – S. 135–138. – Bibliogr.: s. 138.
2. Tarashhanskij, E.G. Vakuumirovannyj beton v dorozhnom stroitel'stve / A.V. Tarashhanskij. – M.: Dorizdat, 1952. – 66 s.
3. Kachanov, A.N. Tehniko-jekonomicheskij analiz sposobov sushki drevesiny / A.N. Kachanov, V.G. Sal'nikov, M.N. Chukumov // V sb.: Problemy jenergetiki Kazahstana. Almaty: Izd-vo «Gylym». – 1994. – S. 60–61. – Bibliogr.: s. 61.
4. Bogdanov, E.S. Spravochnik po sushke drevesiny / E.S. Bogdanov, V.A. Kozlov, V.B. Kuntys h, V.I. Melehov. – pod redakciej E.S. Bogdanova. – 4-e izd., pererab. i dop. – M.: Lesn. prom-st', 1990. – 304 s.
5. Pat. 2037755 Rossijskaja Federacija, Ustrojstvo dlja opredelenija vlazhnosti pilomaterialov [Tekst] / L'gotchikova A.Ja.; Shibina A.G.; Gorbaja A.R.; Buranova G.I.; patentoobladatel' L'gotchikov Aleksandr Jakovlevich; zajavl. 13.05.1993; opubl. 19.06.1995.
6. Truhin, V.I. Obshhaja i jekologicheskaja geofizika / V.I. Truhin, K.V. Pokazeev, V.E. Kunicyn. – M.: Fizmalit, 2005. – 576 s.

Kachanov Aleksandr Nikolaevich

«State university – education science production complex for scientific work» (Oryol)

Doctor of Engineering, professor, head of the department "Electric equipment and energy saving"

E-mail: kan@ostu.ru

Korenkov Dmitriy Andreevich

«State university – education science production complex for scientific work» (Oryol)

graduate student

E-mail: dimas.corenkov@yandex.ru

Уважаемые авторы!
Просим Вас ознакомиться с основными требованиями
к оформлению научных статей.

- Объем материала, предлагаемого к публикации, измеряется страницами текста на листах формата А4 и содержит от 3 до 7 страниц; все страницы рукописи должны иметь сплошную нумерацию.
- Статья предоставляется в 1 экземпляре на бумажном носителе и в электронном виде (по электронной почте или на любом электронном носителе).
- В одном сборнике может быть опубликована только **одна** статья **одного** автора, включая соавторство.
- Статьи должны быть набраны шрифтом Times New Roman, размер 12 pt с одинарным интервалом, текст выравнивается по ширине; абзацный отступ – 1,25 см, правое поле – 2 см, левое поле – 2 см, поля внизу иверху – 2 см.
- Название статьи, а также фамилии и инициалы авторов обязательно дублируются на английском языке.
- К статье прилагается перечень ключевых слов на русском и английском языке.
- Сведения об авторах приводятся в такой последовательности: Фамилия, имя, отчество; учреждение или организация, ученая степень, ученое звание, должность, адрес, телефон, электронная почта.
- В тексте статьи желательно:
 - не применять обороты разговорной речи, техницизмы, профессионализмы;
 - не применять для одного и того же понятия различные научно-технические термины, близкие по смыслу (синонимы), а также иностранные слова и термины при наличии равнозначных слов и терминов в русском языке;
 - не применять произвольные словообразования;
 - не применять сокращения слов, кроме установленных правилами русской орфографии, соответствующими государственными стандартами.
- Сокращения и аббревиатуры должны расшифровываться по месту первого упоминания (вхождения) в тексте статьи.
- **Формулы** следует набирать в редакторе формул Microsoft Equation 3.0. **Формулы, внедренные как изображение, не допускаются!**
- **Рисунки** и другие иллюстрации (чертежи, графики, схемы, диаграммы, фотоснимки) следует располагать непосредственно после текста, в котором они упоминаются впервые.
- Подписи к рисункам (полужирный шрифт курсивного начертания 10 pt) выравниваются по центру страницы, в конце подписи точка не ставится:

Рисунок 1 – Текст подписи

С полной версией требований к оформлению научных статей Вы можете ознакомиться на сайте www.gu-unprk.ru.

Плата с аспирантов за опубликование статей не взимается.

Право использования произведений предоставлено авторами на основании п. 2 ст. 1286 Четвертой части Гражданского Кодекса Российской Федерации.

Адрес учредителя

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Государственный университет - учебно-научно-производственный комплекс»
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
Тел. (4862) 42-00-24
Факс (4862) 41-66-84
www.gu-unpk.ru
E-mail: unpk@ostu.ru

Адрес редакции

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Государственный университет - учебно-научно-производственный комплекс»
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
(4862) 41-98-48, 55-55-24, 41-98-03, 55-05-81
www.gu-unpk.ru
E-mail: met_lit@ostu.ru

Материалы статей печатаются в авторской редакции

Право использования произведений предоставлено авторами на основании
п. 2 ст. 1286 Четвертой части Гражданского Кодекса Российской Федерации

Технический редактор Григорьева О.Ю.
Компьютерная верстка Григорьева О.Ю.

Подписано в печать 14.04.2014 г.
Формат 60x88 1/8. Усл. печ. л. 10.
Тираж 600 экз.
Заказ № _____

Отпечатано с готового оригинал-макета на полиграфической базе
ФГБОУ ВПО «Государственный университет - УНПК»
302030, г. Орел, ул. Московская, 65.