

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ
ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ДОМ «АКАДЕМИЯ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ»
THE RUSSIAN ACADEMY OF NATURAL HISTORY
PUBLISHING HOUSE «ACADEMY OF NATURAL HISTORY»

НАУЧНОЕ ОБОЗРЕНИЕ. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

№ 2

SCIENTIFIC REVIEW. TECHNICAL SCIENCES

2016

Учредитель:
Издательский дом
«Академия Естествознания»,
440026, Россия, г. Пенза,
ул. Лермонтова, д. 3

Founding:
Publishing House
«Academy Of Natural History»
440026, Russia, Penza,
3 Lermontova str.

Адрес редакции
440026, Россия, г. Пенза,
ул. Лермонтова, д. 3
Тел. +7 (499) 704-1341
Факс +7 (8452) 477-677
e-mail: edition@rae.ru

Edition address
440026, Russia, Penza,
3 Lermontova str.
Tel. +7 (499) 704-1341
Fax +7 (8452) 477-677
e-mail: edition@rae.ru

Подписано в печать 01.03.2015
Формат 60x90 1/8

Типография ИД
Издательский дом
«Академия Естествознания»,
440026, Россия, г. Пенза,
ул. Лермонтова, д. 3

Signed in print 01.03.2015
Format 60x90 8.1

Typography
Publishing House
«Academy Of Natural History»
440026, Russia, Penza,
3 Lermontova str.

Технический редактор Лукашова Н.В.
Корректор Андреев А.М.

Тираж 1000 экз.
Заказ НО 2016/2

Журнал «НАУЧНОЕ ОБОЗРЕНИЕ» выходил с 1894 по 1903 год в издательстве П.П. Сойкина. Главным редактором журнала был Михаил Михайлович Филиппов. В журнале публиковались работы Ленина, Плеханова, Циолковского, Менделеева, Бехтерева, Лесгафта и др.

Journal «Scientific Review» published from 1894 to 1903. P.P. Soykin was the publisher. Mikhail Filippov was the Editor in Chief. The journal published works of Lenin, Plekhanov, Tsiolkovsky, Mendeleev, Bekhterev, Lesgaft etc.



М.М. Филиппов (M.M. Philippov)

С 2014 года издание журнала возобновлено
Академией Естествознания

**From 2014 edition of the journal resumed by
Academy of Natural History**

Главный редактор: М.Ю. Ледванов
Editor in Chief: M.Yu. Ledvanov

Редакционная коллегия (**Editorial Board**)
А.Н. Курзанов (**A.N. Kurzanov**)
Н.Ю. Стукова (**N.Yu. Stukova**)
М.Н. Бизенкова (**M.N. Bizenkova**)
Н.Е. Старчи́кова (**N.E. Starchikova**)
Т.В. Шнуровозова (**T.V. Shnurovozova**)

НАУЧНОЕ ОБОЗРЕНИЕ. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

SCIENTIFIC REVIEW. TECHNICAL SCIENCES

www.science-education.ru

2016 г.



***В журнале представлены научные обзоры,
литературные обзоры диссертаций,
статьи проблемного и научно-практического
характера по техническим наукам***

The issue contains scientific reviews, literary dissertation reviews, problem and practical scientific articles, based on technical sciences

СОДЕРЖАНИЕ

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В РАЗВИТИИ СОВРЕМЕННОГО ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЩЕСТВА <i>Баракова А.Ш., Жусупбекова Ш.Е., Жакипова Ш.А., Тастанова А.С., Исатаева Г.Б.</i>	5
ИННОВАЦИОННЫЙ СПОСОБ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ МЕХАНОАКТИВАЦИИ В МАГНИТООЖИЖЕННОМ СЛОЕ ФЕРРОТЕЛ. ОБЗОРНАЯ ИНФОРМАЦИЯ <i>Беззубцева М.М., Волков В.С., Котов А.В.</i>	8
ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩЕГО ДВУХКАНАЛЬНОГО РЕГУЛЯТОРА ПОДАЧИ ЭЛЕКТРОДА-ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ СТАНКОВ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ПРОШИВКИ МИКРООТВЕРСТИЙ. ЧАСТЬ 1. РАЗРАБОТКА МАЛОИНЕРЦИОННОГО СЛЕДЯЩЕГО РЕГУЛЯТОРА ПОДАЧИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ УПРАВЛЕНИЯ <i>Бойко А.Ф., Блинова Т.А., Сюсюка Е.Н.</i>	14
ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩЕГО ДВУХКАНАЛЬНОГО РЕГУЛЯТОРА ПОДАЧИ ЭЛЕКТРОДА-ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ СТАНКОВ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ПРОШИВКИ МИКРООТВЕРСТИЙ. ЧАСТЬ 2. МОДЕРНИЗАЦИЯ РЕГУЛЯТОРА ПОДАЧИ С РАЗРАБОТКОЙ ДВУХКАНАЛЬНОЙ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОДАЧЕЙ И ВИБРАЦИЕЙ ЭЛЕКТРОДА-ИНСТРУМЕНТА <i>Бойко А.Ф., Блинова Т.А., Сюсюка Е.Н.</i>	18
МОДЕЛЬ БЛАНКА ОРГАНИЗАЦИИ КОМПЬЮТЕРНОЙ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ДВИГАТЕЛЯ СОВЕРШАЮЩЕГО ЦИКЛ КАРНО <i>Дасибеков А.Д., Кабылбеков К.А.</i>	22
ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТХОДОВ ФЛОТАЦИИ УГЛЯ В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ <i>Ибраева О.Т., Ибраев И.К., Жаксыбаева Г.Ш.</i>	26
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАБОТЫ ЕС-ДВИГАТЕЛЕЙ <i>Игошин В.А., Аминов Б.А.</i>	32
ВЛИЯНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ РАЗЛИЧНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СЛОЕВ НА ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДИОДОВ ШОТКИ НА ОСНОВЕ КРЕМНИЯ <i>Пашаев И.Г.</i>	41
ПРОБЛЕМЫ СИНТЕЗА БИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ <i>Попечителей Е.П.</i>	54
ПОДКЛЮЧЕНИЕ К ЧЕЛОВЕКУ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ В БИОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ <i>Попечителей Е.П.</i>	63
БЕЗАЛЬТЕРНАТИВНЫЙ МЕТОД УТИЛИЗАЦИИ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ <i>Шантарин В.Д.</i>	71
АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ <i>Шевко Д.Г.</i>	75

CONTENTS

INFORMATION TECHNOLOGIES IN DEVELOPMENT OF MODERN INFORMATION SOCIETY <i>Barakova A.Sh., Zhusipbekova Sh.E., Zhakipova Sh.A., Tastanova A.S., Isataeva G.B.</i>	5
THE INNOVATIVE METHOD OF ELECTROMAGNETIC MECHANOACTIVATION IN THE MAGNETIC LIQUEFIED LAYER OF FERROELEMENTS. A BRIEF REVIEW <i>Bezzubceva M.M., Volrov V.C., Kotov A.V.</i>	8
RESEARCH AND DEVELOPMENT OF DUAL HIGH-SPEED FLOW ADJUSTER TOOL ELECTRODE EDM MACHINES FOR FIRMWARE PINHOLES. SECTION 1. DEVELOPMENT LOW-INERTIA CONTINUOUS FLOW CONTROL USING CONTROL LOGIC <i>Boyko A.F., Blinova T.A., Syusyuka E.N.</i>	14
RESEARCH AND DEVELOPMENT OF DUAL HIGH-SPEED FLOW ADJUSTER TOOL ELECTRODE EDM MACHINES FOR FIRMWARE PINHOLES. SECTION 2. MODERNIZATION OF CONTROL SUPPLY DEVELOPMENT OF DUAL-CHANNEL ADAPTIVE CONTROL SYSTEM FOR FILING AND VIBRATE TOOLS <i>Boyko A.F., Blinova T.A., Syusyuka E.N.</i>	18
MODEL OF THE FORM OF THE ORGANIZATION OF COMPUTER LABORATORY OPERATION ON EXAMINATION OF THE DRIVE MAKING THE CARNOT CYCLE <i>Dasibekov A.D., Kabyrbekov K.A.</i>	22
DIRECTIONS USE OF WASTE COAL FLOTATION IN METALLURGICAL PRODUCTION <i>Ibraeva O.T., Ibraev I.K., Zhaksybaeva G.Sh.</i>	26
COMPARATIVE ANALYSIS OF EC-MOTORS <i>Igoshin V.A., Aminov B.A.</i>	32
EFFECT OF MICROSTRUCTURE OF DIFFERENT METAL LAYERS ON THE ELECTRICAL PROPERTIES OF SCHOTTKY DIODES BASED ON SILICON <i>Pashaev I.G.</i>	41
SYNTHESIS PROBLEM BIOTECHNICAL SYSTEMS <i>Popechitelev E.P.</i>	54
CONNECTING TO THE PERSON TECHNICAL MEANS BIOENGINEERING SYSTEM <i>Popechitelev E.P.</i>	63
THERE IS NO ALTERNATIVE METHODS OF DISPOSAL OF CARBONACEOUS WASTES <i>Shantarin V. D.</i>	71
ADAPTIVE CONTROL UNDER UNCERTAINTY <i>Shevko D.G.</i>	75

УДК 004

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В РАЗВИТИИ
СОВРЕМЕННОГО ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЩЕСТВА****¹Баракова А.Ш., ¹Жусипбекова Ш.Е., ¹Жакипова Ш.А.,
²Тастанова А.С., ³Исатаева Г.Б.**¹*Казахский национальный медицинский университет имени С.Ж. Асфендиярова, Алматы,
e-mail: Balia_79@mail.ru*²*Медицинский Университет, Астана*³*Шымкентский филиал Алмаатинского государственного экономического университета,
Шымкент*

В данной статье раскрываются методологические и методические вопросы проектирования информационных технологий производственных систем, дается характеристика процессов новых технологий, технология проектирования информационных систем.

Ключевые слова; сеть, интернет, информация, информационные технологии, информационное общество.

**INFORMATION TECHNOLOGIES IN DEVELOPMENT
OF MODERN INFORMATION SOCIETY****¹Barakova A.Sh., ¹Zhusipbekova Sh.E., ¹Zhakupova Sh.A.,
²Tastanova A.S., ³Isataeva G.B.**¹*Kazakh National Medical University named after S.Zh. Asfendiyarov, Almaty,
e-mail: Balia_79@mail.ru*²*Medical University, Astana*³*Shymkent Almaty branch of State Economic University, Shymkent*

This article describes the methodological and methodical questions of designing of information technology production systems, describes the process of new technology, the technology of designing information systems.

Keywords; network, internet, information, information technology, information society.

В самом начале нашей истории для передачи информации использовался язык жестов, затем появилась устная речь. Информация должна быть полной и точной, чтобы человек мог точно ориентироваться в окружающем мире. Получение полной и точной информации о технике, обществе и о природе задача науки. Процесс научного познания начался после изобретения книгопечатания. Современный человек живет, взаимодействуя с «морем информации». Получает определенную информацию с помощью органов чувств. Хранит в памяти. С помощью мышления анализирует ее. И обменивается с другими людьми информацией.

Понятие «Информационное общество» было введено в научный оборот в 1960-х годах. В зарождающемся информационном обществе в ресурс превратилась сама информация. Существует такая поговорка: «Кто владеет информацией, тот владеет всем» и это надо помнить.

В современном информационном обществе главным ресурсом является информация. Процессы с ней базируются на информационных и коммуникационных технологиях. Информационные и коммуникацион-

ные технологии – это методы, устройств и производственных процессов, используемых обществом для сбора, хранения, обработки и распространения информации.

На компьютерах в основном, до недавнего времени обрабатывалась числовая и текстовая информация. Но потому как большую часть информации человек получает с помощью изображения и звука, компьютеры начали работать с изображением и звуком. И более важным является изображение. Есть даже пословица: «Лучше один раз увидеть, чем сто раз услышать».

Работа систем управления устройствами связана с процессами приема, хранения, обработки и передачи информации. В современном мире системы управления встроены практически во всю технику, транспортные средства, станки с программным управлением и многое другое. Системы управления могут привести технику в действие по заданной программе. Например, системы программного управления определяют выбор режимов стирки в стиральной машине, обработки детали на станке.

В некоторых случаях главную роль в процессе управления выполняет человек, в

других управление осуществляет встроенный в устройство микропроцессор.

Электронно-вычислительные машины (ЭВМ) проникли во многие сферы деятельности человека. Это может позволить переложить обработку информации на электронные устройства, которые способны долго работать и оперативно со скоростью, превышающей скорость человеческой обработки информации во много раз.

Для длительного хранения информации, её накопления и передачи используются носители информации. Носители информации могут быть различными:

- бумага, на которой хранятся тексты и изображения;
- магнитная лента, на которой хранится звуковая информация;
- фото- и киноплёнки, на которых хранится графическая информация;
- микросхемы памяти, магнитные и лазерные диски, на которых хранятся программы и данные в компьютере, и так далее [3, с. 58].

Сравнивая информационную вместимость традиционных информационных носителей – книг и современные компьютерные носители, разница очевидна.

Глобальные компьютерные сети сейчас не только средство быстрого обмена информацией, но огромное, и очень мобильное хранилище информации.

Информационные технологии (ИТ) – это всё, что связано с обработкой, хранением и передачей информации. Это краткое определение информационных технологий, есть более полное определение:

Информационные технологии (ИТ) – это множество взаимосвязанных научных и технических областей знания, которые изучают и применяют на практике методы создания, обработки, хранения, защиты и передачи информации с помощью вычислительной техники [2, с. 10].

Информационное общество – это общество, в котором большинство работающих занято производством, хранением, переработкой, продажей и обменом информацией [6]. В информационном обществе все зависит от информированности и от способности хорошо использовать имеющуюся информацию. И это касается как коллективов людей, так и отдельных личностей. Перед тем как что-либо предпринять, нужно провести работу по сбору, переработке, анализу информации. И найти наиболее подхо-

дящее решение. Может потребоваться обработка больших объемов информации, и это порой окажется не под силу человеку без использования специальных машин. Компьютеры во всех сферах человеческой деятельности: ускоряют обработку информации в производственной и социальной сфере; помогают в принятии наиболее правильных, лучших одним словом – оптимальных решений; избавляют человека от скучной и рутинной работы.

Многим людям на сегодняшний день невозможно представить свою жизнь без компьютера, да еще и подключенного к интернету. Существуют разные оценки этому. Одни поддерживают развитие виртуального мира – Интернета, а другие предупреждают о неизвестных последствиях. Но эти произошедшие в жизни изменения, повлияли и очень изменили жизнь человечества. Огромное множество полезной информации можно найти в интернете, практически не затрачивая на это времени. Сегодняшнее время – время огромных потоков информации, которую необходимо обрабатывать и хранить, эти вопросы решают компьютеры. Сидя за компьютером сегодня можно получить абсолютно любую информацию. Однако все хорошее имеет и так называемые обратные стороны – плохое. Глобальная сеть общедоступна. И у всякого имеется такая возможность, как залезть, или же влезть в чужую информационную систему. Сейчас в виду этого развивается законодательство, которой должно будет следить авторством информации, стоять на страже собственника информации.

Информационные технологии – процесс, использующий совокупность средств и методов сбора, обработки и передачи данных для получения информации нового качества о состоянии объекта, процесса или явления [2, с. 26].

Информационные технологии сейчас проникают во все сферы производственной деятельности и делают возможным строить эффективную систему управления, обеспечивающее дальнейшее увеличение выполняемых работ, сокращения сроков, и также повышение качества работ. В переводе с греческого, технология означает мастерство, умение, искусство (это все процессы). Под процессом понимается совокупность определенных действий, направленных на достижение какой-либо цели. Процесс определяется выбранным человеком путем,

т. е. стратегией и реализовываться с помощью различного набора средств и методов. Основным технологическим средством процесса переработки информации является персональный компьютер, который отчетливо повлиял на концепцию построения технологических процессов и их использования, и на качество информации в результате. Информационная технология это процесс, который состоит из регламентированных правил выполнения операций, действий над данными, которые хранятся на компьютерах. Главная цель в информационных технологиях – получение нужной, необходимой человеку, т. е. пользователю информации путем направленных действий по переработке информации. Информационная система является средой, составляющие элементы которой это компьютеры, программные продукты, компьютерные сети, базы данных, технические средства связи и т. д. Основная цель информационной системы состоит в следующем это организация хранения и передачи информации.

В XXI веке образованный человек – это человек, хорошо владеющий информационными технологиями. Ведь сейчас все в большей степени деятельность людей зависит от их информированности, и способности эффективно использовать информацию [5]. Современный специалист любого профиля в информационных потоках должен уметь получать, обрабатывать и использовать информацию с помощью компьютеров и других средств. Основную роль в скором времени будет играть система распространения, хранения и обработки информации. Техника, благодаря которой многим людям стало гораздо легче – современные информационные технологии.

В обществе огромную роль на сегодняшний день играют системы распространения, хранения и обработки информации, основанные на работе компьютера. Существуют межрегиональные и международные системы связи, позволяющие обмениваться информацией на больших расстояниях и территориях. Выросло и постоянно растет количество профессионально занятых людей сбором информации, ее переработкой и хранением. Чисто теоретически любой человек или же любая фирма являются потребителями информации. Поэтому по-прежнему являются беспредельными возможности информационного рынка, хотя здесь довольно жесткая конкуренция.

Таким образом, роль информационных технологий для современного человека весьма велика, потому как сейчас все больше и больше самых разных процессов в жизни человека происходит не без участия в них информационных технологий. И многие работодатели сегодня требуют от будущих потенциальных работников – новых кадров знание устройства ПК и умение пользования информационной средой.

Список литературы

1. Гейн А.Г., Сенокосов А.И., Юерман Н.А. Информатика за 11 класс. 6-е изд. – М.: Просвещение, 2005.
2. Михеева Е.В. Информационные технологии в профессиональной деятельности. – М.: Академия, 2012.
3. Михеева Е.В., Титова О.И. Информатика. – М.: Академия, 2012.
4. Угринович Н.Д. Информатика за 10 класс. 5-е изд. – М.: Бинوم, Лаборатория знаний, 2009.
5. Заключение. – [Электронный ресурс]. – URL: <http://xreferat.ru/33/3577-2-etapy-i-tendencii-razvitiya-vychislitelnoiy-tehniki-i-informacionnyh-tehnologiiy.html>.
6. Информационное общество. – [Электронный ресурс]. – URL: http://angelkrug.ucoz.ru/index/osnovnyye_etapy_razvitiya_informacionnogo_obshhestva/0-58.

УДК 663.915

ИННОВАЦИОННЫЙ СПОСОБ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ МЕХАНОАКТИВАЦИИ В МАГНИТООЖИЖЕННОМ СЛОЕ ФЕРРОТЕЛ. ОБЗОРНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Беззубцева М.М., Волков В.С., Котов А.В.

*ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет»,
Санкт-Петербург, e-mail: mysnegana@mail.ru*

В статье представлена обзорная информация результатов исследований электромагнитного способа механоактивации. Способ основан на использовании энергии постоянного по знаку и регулируемого по величине электромагнитного поля, воздействующего на ферромагнитные размольные элементы, размещенные в рабочем объеме электромагнитных механоактиваторов (ЭММА) в смеси с обрабатываемым продуктом. Представлен краткий обзор физико-математических моделей силовых и энергетических характеристик ЭММА, основанных на развитии дипольной модели взаимодействия ферротел сферической формы в магнитоожигенном слое. Приведены технологические преимущества способа, обеспечивающие повышение энергоэффективности процессов механоактивации продукции различного целевого назначения при улучшении ее качества за счет выравнивания гранулометрического состава и возможности управления процессом при небольших затратах мощности.

Ключевые слова: магнитоожигенный слой, диспергирующее усилие, энергетика процесса, магнитное поле, размольные элементы.

THE INNOVATIVE METHOD OF ELECTROMAGNETIC MECHANOACTIVATION IN THE MAGNETIC LIQUEFIED LAYER OF FERROELEMENTS. A BRIEF REVIEW

Bezzubceva M.M., Volrov V.C., Kotov A.V.

St.-Peterburg agrarian university, St.-Peterburg, e-mail: mysnegana@mail.ru

The paper presents the research results on the electromagnetic method of mechanical activation. The method is based on the use of the energy of the electromagnetic field (constant in sign and controlled in magnitude) affecting ferromagnetic grinding elements placed in the working volume of the electromagnetic mechanoactivators (EMMA) and mixed with the treated product. The paper presents a brief review on physico-mathematical models for EMMA power and energy characteristics based on the development of the dipole model of interaction between spherical ferroelements in the magnetic liquefied layer. The paper presents the technological advantages of the method increasing energy efficiency of mechanical activation processes for different target products while improving the quality by means of granulometric composition aligning as well as the ways to manage the process at low power expenditure.

Keywords: magnetic liquefied layer, dispersing force, energy of process, magnetic field, grinding elements.

Физико-механические процессы механоактивации в магнитоожигенном слое ферротел

Электромагнитная механоактивация основана на нетрадиционном способе передачи механической энергии слою размольных элементов с использованием квазистационарного магнитного поля постоянного тока.

В основе механизма создания диспергирующего усилия лежит действие магнитных сил, притягивающих размольные элементы к поверхностям рабочих органов устройства и друг к другу с организацией их в различные структурные построения (рисунок 1,а). Кинетическая энергия движения сообщается мелющим телам в процессе непрерывного объемного передеформирования (рисунок 1,б) и разрушения (рисунок 1,в) их структурных построений при относи-

тельном смещении поверхностей рабочего объема устройства.

Целенаправленная периориентация размольных элементов с разностью скоростей в структурных группах сопровождается созданием многоточечных контактных взаимодействий между ними через прослойку обрабатываемого продукта. При силовом взаимодействии мелющие тела преобразуют кинетическую энергию своего движения в энергию разрушения материала и измельчают его статическим сжатием и ударно-истирающими нагрузками. Способ обеспечивает энергонапряженный характер диспергирующих сил, легко поддается автоматизации, требует малых затрат мощности, что соответствует требованиям организации процесса измельчения продуктов различного целевого назначения, в том числе и пищевого сельскохозяйственного сырья.

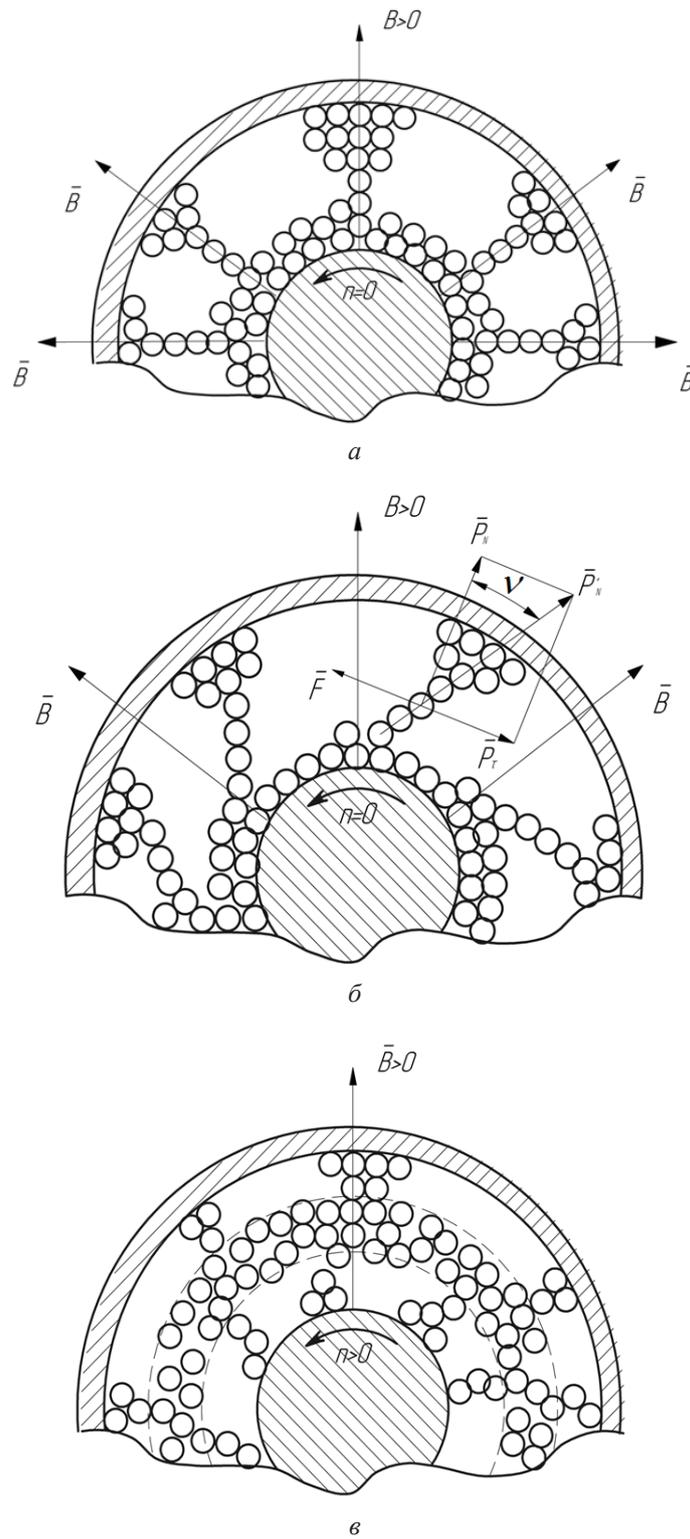


Рис. 1. Организация «слоя скольжения» в ЭММА:
 а – образование структурных построений из ферромагнитных элементов; б – силовое взаимодействие между ферромагнитными элементами; в – образование слоя скольжения.

B – индукция магнитного поля; n – частота вращения подвижного цилиндра,
 F – силы взаимодействия между ферромагнитными элементами;
 P_t – тангенциальное усилие сдвига; v – угол деформации структурных построений из ферроэлементов.

Обзорная информация по результатам теоретических и экспериментальных исследований электромагнитного способа механоактивации

Результаты теоретических и экспериментальных исследований подробно описаны в научных статьях и монографиях авторов. Для лучшего понимания изложенного далее материала результаты исследований представлены в форме выводов.

Разработано новое направление в области техники измельчения [1, 2, 3, 4], которое базируется на следующих основных выводах по результатам теоретических и экспериментальных исследований:

Разработан принципиально новый электромагнитный способ механоактивации [5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12]. Механизм формирования способа выявлен в результате исследований физико-механических процессов, происходящих под действием сил и моментов постоянного электромагнитного поля в слое магнитоактивных размольных элементов при относительном смещении поверхностей, ограничивающих объем обработки продукта. Установлено, что электромагнитный способ формирует энергонапряженный ударно-стирающий характер диспергирующих сил, легко подлежит автоматизации, требует малых затрат мощности, что полностью соответствует современным требованиям организации процесса измельчения материалов различного целевого назначения, в том числе и пищевого сырья сельскохозяйственного производства [1, 2, 4, 5, 10, 13, 14, 15, 16, 17, 18].

Создан новый тип технологического оборудования – электромагнитные механоактиваторы (ЭММА). Принцип действия и конструкции ЭММА защищены 32 авторскими свидетельствами и патентами на изобретения [19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50].

Сформулирована теория электромагнитного способа измельчения, основанная на развитии гипотезы Максвелла о дипольном взаимодействии ферромагнитных сферических тел в магнитном поле. Получены математические модели силовых взаимодействий между деформированным магнитным полем в объемах обработки продукта, размольными элементами и частицами измельчаемого материала. При моделировании учтена конфигурация мелющих тел и конструктивное оформление электромаг-

нитного способа измельчения. Разработаны физико-математические модели, описывающие энергетику процессов формирования диспергирующего усилия в слое ферромагнитных размольных элементов под действием постоянного электромагнитного поля, а также процессов измельчения продуктов ударно-стирающими нагрузками и статическим сжатием. Математические модели позволяют установить рациональные силовые и энергетические условия для измельчения материалов, оценить энергетические потоки, необходимые для создания диспергирующего усилия, определить эффективность управления проектируемых устройств. Адекватность научных положений и математических моделей реальным процессам подтверждена результатами испытаний электромагнитного способа измельчения на экспериментальных стендах, моделях, макетах, опытных и промышленных образцах ЭММА.

В результате исследований движения мелющих тел в постоянном электромагнитном поле при относительном смещении поверхностей рабочего объема, получена математическая модель, описывающая динамику рабочего процесса формирования диспергирующего усилия. На основании анализа решений дифференциальных уравнений Лагранжа II рода, составленных с учетом физических аспектов создания силовых контактов в слое ферротел, определены принципы конструктивной реализации электромагнитного способа измельчения. Теоретически обоснованы и количественно установлены оптимальные соотношения между электромагнитными и скоростными режимами работы ЭММА, при которых обеспечивается максимизация механических воздействий при минимальных затратах энергии на их формирование [51, 52, 53, 54, 55, 56].

На основании решений контактных задач теории упругости при силовом взаимодействии рабочих органов определены критерии развития, и прогнозирования выходных параметров процесса намолва выявлены и подтверждены экспериментом условия разрушения материалов электромагнитным способом без сопутствующего процессам измельчения изнашивания поверхностного слоя размольных элементов ЭММА [57, 58, 59].

Разработан и апробирован комплексный метод расчета силовых энергетических и

конструктивных параметров ЭММА. Метод основан на теории и математических моделях электромагнитного способа измельчения и содержит инженерный электротехнический и тепловой расчеты аппаратов. Расчет электромагнитной системы включает: описание строения и определение параметров электромагнитного поля в объемах обработки продукта; расчет магнитопровода и обмоток управления [60, 61]; анализ магнитного состояния системы и корректировку геометрических и конструктивных параметров устройства; определение диапазона регулирования силы тока, при котором обеспечивается эффективное управление физико-механическими процессами организации диспергирующего усилия и создаются заданные технологией обработки продукта силовые условия [11, 51, 54, 56, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68]. Инженерный метод расчета составлен на основании исследований тепловых процессов в слое ферротел с учетом механизма формирования способа и позволяет устанавливать температурный режим обработки продукта [67, 69, 70, 71, 72, 73, 74]. Для механоактиваторов большой мощности предложены варианты систем воздушного охлаждения с методологией их расчета и внедрения в конструктивные формы магнитопровода. Реализация методик при проектировании аппаратов типа ЭММА осуществлена на базе ПК [61, 75].

Установлена возможность использования ЭММА для интенсификации процесса измельчения какао продуктов, сахарного песка и их смесей в технологических линиях производства шоколадных изделий [1, 2, 3, 5, 13, 14, 15]. Разработана технология приготовления шоколада с использованием электромагнитного способа измельчения сырьевых материалов и полуфабрикатов. На основании метода факторного планирования эксперимента определены оптимальные режимы работы ЭММА, при которых достигается максимизация степени измельчения рецептурной смеси сахара и какао (97,2%) при высоких показателях однородности гранулометрического состава продукта ($b = 1,55$).

Выявлено, что внедрение в линии производства аппаратов типа ЭММА не нарушает технологических условий переработки какао бобов в готовую продукцию и позволяет:

– сократить технологические потери сельскохозяйственного сырья (сахара и ка-

као) с 1,8 до 1,2% и интенсифицировать классическую схему производства шоколадных масс путем совмещения стадий диспергирования;

– улучшить качество готовой продукции и сократить расход дорогостоящего импортного сырья – какао масла на 2,5% за счет повышения степени измельчения сырьевых материалов и полуфабрикатов до 97,2% и снижения массовой доли частиц размером менее 10 мкм в 1,8 раза;

– автоматизировать процесс измельчения с минимальными затратами мощности на управление и сократить энергоемкость процесса в 1,7 раза;

– заменить комплекс импортного измельчающего оборудования одним аппаратом отечественного производства.

В результате исследований кинетических закономерностей изменения гранулометрического состава продуктов помола в аппаратах типа ЭММА получено уравнение кинетики, удовлетворяющее граничным условиям процесса измельчения. Уравнение кинетики позволяет определять относительные затраты энергии на обработку продукта до стандартизованной степени измельчения и моделировать промышленное измельчение в лабораторных условиях [13, 14, 76].

Список литературы

1. Беззубцева М.М. Диспергирование сахарного песка в аппарате с постоянным магнитным полем. – М., 1990. – С. 79. – Деп. в АгроНИИТЭИПП 19.12.90, № 2348, № 4.
2. Беззубцева М.М. К вопросу измельчения продуктов различного целевого назначения // Интенсификация процессов пищевых производств. Управление, машины и аппараты: межвуз. сб. науч. тр. – Л.: ЛТИХП, 1987. – С. 59-64.
3. Беззубцева М.М. Электромагнитные измельчители для пищевого сельскохозяйственного сырья. Теория и технологические возможности: дис. ... д-ра тех. наук. – СПб., 1997. – 495 с.
4. Беззубцева М.М., Волков В.С., Платашенков И.С. Интенсификация технологических процессов переработки сельскохозяйственной продукции с использованием электромагнитных активаторов постоянного тока // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2008. – №9. – С. 190-192.
5. Беззубцева М.М. Способ измельчения шоколадных масс // Известия Вузов. Серия Пищевая технология. – 1993. – №5-6. – С. 32-34.
6. Беззубцева М.М. Физическая модель электромагнитного способа организации измельчающего усилия. – М., 1994. – С. 42. – Деп. в АгроНИИТЭИПП 28.04.94, № 2552 – пш, № 6.
7. Беззубцева М.М. Энергоэффективный способ электромагнитной механоактивации // Международный журнал экспериментального образования. – 2012. – №5. – С. 92-93.
8. Беззубцева М.М., Волков В.С. Прикладная теория электромагнитной механоактивации // Известия международной академии аграрного образования. – 2013. – Т.3, №16. – С. 93-96.

9. Беззубцева М.М., Волков В.С. Теоретические исследования электромагнитного способа механоактивации // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2012. – №5. – С. 72-74.
10. Беззубцева М.М., Волков В.С. Энергоэффективный способ измельчения материала с использованием методов криотехнологий // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2012. – № 7. – С. 105-106.
11. Беззубцева М.М., Пасынков В.Е., Родионов Ф.Ф. Теоретическое исследование электромагнитного способа измельчения материалов. – СПб.: СПбТИХП, 1993. – 49 с.
12. Лепилин В.Н., Беззубцева М.М. Диспергирование продукта в аппаратах с постоянным магнитным полем // Процессы и аппараты пищевых производств, их интенсификация и управление: межвуз. сб. науч. тр. – Л.: ЛТИХП, 1988. – С. 91-95.
13. Беззубцева М.М. Изменение гранулометрического состава твердой фазы полуфабрикатов шоколадного производства при их обработке в ЭМИПТ. – М., 1993. – С. 88. – Деп. в АгроНИИТЭИПП 27.01.93, № 2520, № 2-3.
14. Беззубцева М.М. Исследование гранулометрического состава твердой фазы шоколадных масс, обработанных в аппаратах с постоянным магнитным полем // Машины, агрегаты, процессы и аппараты пищевой технологии: межвуз. сб. науч. тр. – Л.: ЛТИХП, 1990. – С. 105-108.
15. Беззубцева М.М. Исследование процесса измельчения шоколадных масс на ЭМИПТ. – М., 1989. – Деп. в АгроНИИТЭИПП 11.08.89, № 2088, № 12.
16. Беззубцева М.М., Прибытков П.С. Интенсификация процесса измельчения цеолита для нужд кормопроизводства с использованием электромагнитных активаторов постоянного тока // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2008. – №9. – С. 192-194.
17. Беззубцева М.М., Симонов С.И. Интенсификация процесса измельчения полуфабрикатов шоколадного производства в аппаратах с постоянным магнитным полем. – СПб.: СПбТИХП, 1993. – 58 с.
18. Волков В.С. Разработка и исследование измельчающего оборудования, соответствующего современным требованиям // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2009. – № 17. – С. 223-227.
19. А.с. 1546050 (СССР). Установка для приготовления шоколадных масс / Беззубцева М.М., Пуговкин П.Р., Пуговкин А.П. – Опул. 1990, Бюл. № 8.
20. А.с. 1729383 (СССР). Электромеханическое устройство для обработки шоколадных масс / В.Н. Лепилин, М.М. Беззубцева, П.Р. Пуговкин. – Опул. в БИ, 1992, Бюл. № 16.
21. А.с. 1785635 (СССР). Электромеханическое устройство для обработки шоколадных масс / Беззубцева М.М., Лепилин В.Н. – Опул. 1992, Бюл. № 3.
22. Беззубцева М.М., Соколов А.В. Устройство для оценки степени загрязнения жидкостей примесями // Свидетельство на полезную модель. – 1999. – № 11343.
23. Беззубцева М.М. Электромагнитный измельчитель // Патент России. № 2045195. 1995. Бюл. № 24.
24. Беззубцева М.М. Электромеханическое устройство для обработки шоколадных масс // Патент России. № 2007095. 1994. Бюл. № 3.
25. Беззубцева М.М., Азаров Н.Н., Беззубцев А.Е. Устройство для производства шоколадных масс // Патент России. № 2033729. 1995. Бюл. № 24.
26. Беззубцева М.М., Беззубцев А.Е. Электромеханическое устройство для измельчения шоколадных масс // Патент России. № 2066958. 1996. Бюл. № 20.
27. Беззубцева М.М., Беззубцев А.Е. Электромеханическое устройство для обработки шоколадных масс // Патент России. № 2038023. 1995. Бюл. № 24.
28. Беззубцева М.М., Беззубцев А.Е., Азаров Н.Н. Электромеханическое устройство для обработки шоколадных масс // Патент России. № 2038024. 1995. Бюл. № 24.
29. Беззубцева М.М., Беззубцев А.Е., Азаров Н.Н., Азаров Ю.Н. Электромеханическое устройство для обработки шоколадных масс // Патент России. № 2007094. 1994. Бюл. № 3.
30. Беззубцева М.М., Беззубцев А.Е., Симонов С.И. Установка для производства шоколадных масс // Патент России. № 2031593. 1995. Бюл. № 24.
31. Беззубцева М.М., Лепилин В.Н. Установка для производства шоколадных масс // Патент России. № 2031592. 1995. Бюл. № 9.
32. Беззубцева М.М., Симонов С.И. Электромагнитный измельчитель // Свидетельство на полезную модель. № 771. 1995. Бюл. № 9.
33. Беззубцева М.М., Симонов С.И. Электромеханический активатор для обработки продуктов шоколадного производства // Свидетельство на полезную модель. № 769. 1995. Бюл. № 9.
34. Беззубцева М.М., Симонов С.И., Азаров Н.Н., Беззубцев А.Е. Электромеханическое устройство для измельчения и перемешивания пищевых продуктов // Патент России. № 2045194. 1995. Бюл. № 24.
35. Беззубцева М.М., Симонов С.И., Беззубцев А.Е. Устройство для перемешивания и измельчения какао-продуктов // Свидетельство на полезную модель. № 653. 1995. Бюл. № 8.
36. Беззубцева М.М., Симонов С.И., Беззубцев А.Е. Электромеханическое устройство для обработки продуктов шоколадного производства // Патент России. № 2040185. 1995. Бюл. № 24.
37. Беззубцева М.М., Симонов С.И., Беззубцев А.Е. Электромеханическое устройство для обработки шоколадных масс // Свидетельство на полезную модель. № 772. 1995. Бюл. № 9.
38. Беззубцева М.М., Симонов С.И., Беззубцев А.Е. Электромеханическое устройство для обработки шоколадных продуктов // Свидетельство на полезную модель. № 770. 1995. Бюл. № 9.
39. Волков В.С. Электромагнитный измельчитель // Патент России. № 84263. 2009.
40. Платашенков И.С. Устройство для измельчения и перемешивания продуктов // Патент России. № 78692. 2008.
41. Положительное решение на выдачу патента России от 05.04.93. по заявке 93017860 Электромагнитный измельчитель / Беззубцева М.М.
42. Положительное решение на выдачу патента России от 09.11.93. по заявке 93050194 Электромеханическое устройство для измельчения и перемешивания кондитерских масс / Беззубцева М.М., Симонов С.И., Беззубцев А.Е.
43. Положительное решение на выдачу патента России от 14.12.92. по заявке 92011900 Электромеханическое устройство для измельчения и перемешивания пищевых продуктов / Беззубцева М.М., Симонов С.И., Азаров Н.Н., Беззубцев А.Е.
44. Положительное решение на выдачу патента России от 16.11.92. по заявке 92007862 Электромеханическое устройство для обработки шоколадных масс / Беззубцева М.М., Беззубцев А.Е.
45. Положительное решение на выдачу патента России от 22.03.94. по заявке 94009806 Электромагнитное устройство для измельчения полуфабрикатов шоколадного производства / Беззубцева М.М., Симонов С.И., Беззубцев А.Е., Пасников В.Е.
46. Положительное решение на выдачу патента России от 26.04.93. по заявке 93021682 Электромеханическое устройство для обработки какао-продуктов / Беззубцева М.М., Симонов С.И., Беззубцев А.Е.

47. Положительное решение на выдачу патента России от 27.04.93. по заявке 93025336 Электромагнитное устройство для измельчения и перемешивания продуктов шоколадного производства / Беззубцева М.М.
48. Положительное решение на выдачу патента России от 28.12.92. по заявке 92016057 Устройство для обработки шоколадных масс / Беззубцева М.М., Беззубцев А.Е., Азаров Н.Н.
49. Прибытков П.С. Устройство для измельчения материалов // Патент России. № 86493. 2009.
50. Пуговкин П.Р., Беззубцева М.М. Электромеханическое устройство для обработки шоколадных масс / Патент России. № 1457881. 1989. Бюл. № 45.
51. Беззубцева М.М. Расчет критической скорости смещения рабочих поверхностей ЭМИПТ. – М., 1993. – С. 78. – Деп. в АгроНИИТЭИПП 27.01.93, № 2521, № 2-3.
52. Беззубцева М.М. Энергетика процесса взаимодействия рабочих органов в объемах обработки ЭМИПТ. – М., 1994. – С. 35. – Деп. в АгроНИИТЭИПП 25.02.94, № 2548-пщ, № 4.
53. Беззубцева М.М., Волков В.С. К вопросу расчета энергетика рабочего процесса в электромагнитных механоактиваторах (ЭММА) // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2012. – № 7. – С. 129-130.
54. Беззубцева М.М., Волков В.С. Обеспечение условий управления процессом измельчения продуктов в электромагнитных механоактиваторах (ЭММА) // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2012. – № 7. – С. 93-94.
55. Беззубцева М.М., Волков В.С., Платашников И.С. Расчет энергии при измельчении продукта электромагнитным способом (линейная теория) // Труды международной научно – практической конференции «Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве». – 2008. – Т.3. – С. 26-30.
56. Беззубцева М.М., Лепилин В.Н. Исследование строения магнитного поля в ЭМИПТ. – М., 1992. – С. 62. – Деп. в АгроНИИТЭИПП 25.05.92, № 2491, № 8.
57. Беззубцева М.М. Исследование процесса намола при измельчении продуктов электромагнитным способом // Тез. докл. международной науч.-тех. конф.: Холод и пищевые производства. – СПб.: СПбГАХИПТ, 1996. – С. 353.
58. Беззубцева М.М., Волков В.С. Критерии износа рабочих органов электромагнитных механоактиваторов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2012. – № 7. – С. 119-120.
59. Беззубцева М.М., Зубков В.С. Прогнозирование эффекта намола измельчающего оборудования // Современные наукоемкие технологии. – 2013. – №6. – С. 145-146.
60. Беззубцева М.М. Методика расчета магнитопровода измельчителя с постоянным магнитным полем // Процессы и аппараты пищевых производств, их интенсификация и управление: межвуз. сб. науч. тр. – Л.: ЛТИХП, 1988. – С. 95-98.
61. Беззубцева М.М., Волков В.С., Прибытков П.С. Расчет электромагнитного механоактиватора с применением программного комплекса ANSYS // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2009. – №15. – С. 150-154.
62. Беззубцева М.М. Метод расчета стационарного магнитного поля ЭМИПТ // Теоретические, экспериментальные исследования процессов, машин, агрегатов, автоматизации, управления и экономики пищевой технологии: межвуз. сб. науч. тр. – СПб.: СПбГАХИПТ, 1994. – С. 10-17.
63. Беззубцева М.М., Волков В.С. Исследование режимов работы электромагнитных механоактиваторов // Успехи современного естествознания. – 2012. – №8. – С. 109-110.
64. Беззубцева М.М., Волков В.С. Исследование строения магнитного поля электромагнитных механоактиваторов (ЭММА) // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2012. – № 12. – С. 90-91.
65. Беззубцева М.М., Волков В.С. Исследование физико-механических процессов в дисковом электромагнитном механоактиваторе (ЭДМА) // Международный журнал экспериментального образования. – 2012. – Т. 2012, № 12-1. – С. 116.
66. Беззубцева М.М., Волков В.С., Зубков В.В. Исследование аппаратов с магнитоожженным слоем // Фундаментальные исследования. – 2013. – №6-2. – С. 258-262.
67. Беззубцева М.М., Лепилин В.Н. Методика расчета ЭМИПТ с системой принудительного охлаждения // Интенсификация процессов пищевых производств, оборудование и его совершенствование: межвуз. сб. науч.тр. – Л.: ЛТИХП, 1992. – С. 62-66.
68. Беззубцева М.М., Лепилин В.Н. Теоретическое исследование физико-механических процессов в рабочем объеме ЭМИПТ // Тез. докл. Всесоюз. науч.-тех. конф.: Холод народному хозяйству. – Л.: ЛТИХП, 1991. – С. 353.
69. Беззубцева М.М. Экспериментальное исследование температурного поля ЭМИПТ и метод определения теплопроводности наполнителя рабочего объема // Процессы, аппараты и оборудование пищевой технологии: межвуз. сб. науч. тр. – СПб.: СПбГАХИПТ, 1993. – С. 77-82.
70. Беззубцева М.М., Волков В.С. К вопросу исследования тепловых режимов переработки продукции в дисковых электромагнитных механоактиваторах // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – №1, Ч.2. – С. 120-122.
71. Беззубцева М.М., Волков В.С., Обухов К.Н. Исследование тепловых режимов электромагнитных механоактиваторов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2013. – № 6. – С. 108.
72. Беззубцева М.М., Волков В.С., Платашников И.С. Метод расчета стационарного теплового поля электромагнитного криоизмельчителя (ЭМКИ) // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2009. – №13. – С. 118-122.
73. Беззубцева М.М., Лепилин В.Н. Система принудительного охлаждения ЭМИПТ // Интенсификация процессов пищевых производств, оборудование и его совершенствование: межвуз. сб. науч. тр. – Л.: ЛТИХП, 1992. – С. 59-62.
74. Беззубцева М.М., Мазин Д.А., Зубков В.В. Исследование тепловых характеристик аппаратов с магнитоожженным слоем // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2011. – №24. – С. 311-315.
75. Беззубцева М.М., Волков В.С. Компьютерное моделирование процесса электромагнитной механоактивации в дисковом электромагнитном механоактиваторе (ЭДМА) в программном комплексе ANSYS // Международный журнал экспериментального образования. – 2013. – №11, Ч.1. – С. 151-153.
76. Беззубцева М.М., Волков В.С. Исследование энергоэффективности дискового электромагнитного механоактиватора путем анализа кинетических и энергетических закономерностей // Фундаментальные исследования. – 2013. – №10, Ч.9. – С. 1899-1903.

УДК 621.81: 621.795: 621.9

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА
БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩЕГО ДВУХКАНАЛЬНОГО РЕГУЛЯТОРА
ПОДАЧИ ЭЛЕКТРОДА-ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ СТАНКОВ
ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ПРОШИВКИ МИКРООТВЕРСТИЙ.**

**ЧАСТЬ 1. РАЗРАБОТКА МАЛОИНЕРЦИОННОГО
СЛЕДЯЩЕГО РЕГУЛЯТОРА ПОДАЧИ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ УПРАВЛЕНИЯ**

¹Бойко А.Ф., ¹Блинова Т.А., ²Сюсюка Е.Н.

¹ФГБОУ ВПО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова»,
Белгород, e-mail: portfolio.bstu.ru

²Новороссийский филиал Белгородского государственного технологического университета
им. В.Г. Шухова, Новороссийск, e-mail: bgtu-nvrsk@mail.ru

В статье изложены результаты разработки и модернизации быстродействующего двухканального следящего регулятора подачи электрода-инструмента для станков электроэрозионной прошивки прецизионных микроотверстий диаметром 0,01–0,1 мм. Новый регулятор позволил снизить перебеги в 2–3 раза, повысить быстродействие регулятора, оптимизировать работу вибратора электрода-инструмента, повысить стабильность и производительность процесса обработки в 1,2–1,5 раза, снизить износ электрода-инструмента в 1,1–1,3 раза, увеличить предельную глубину прошиваемых отверстий до 30–35 диаметров.

Ключевые слова: регулятор подачи, следящая система, электроэрозионная прошивка, микроотверстие.

**RESEARCH AND DEVELOPMENT OF DUAL HIGH-SPEED FLOW ADJUSTER
TOOL ELECTRODE EDM MACHINES FOR FIRMWARE PINHOLES.
SECTION 1. DEVELOPMENT LOW-INERTIA CONTINUOUS FLOW
CONTROL USING CONTROL LOGIC**

¹Boyko A.F., ¹Blinova T.A., ²Syusyuka E.N.

¹Belgorod State Technological University V.G. Shukhov, Belgorod, e-mail: portfolio.bstu.ru

²Novorossiysk branch of the Belgorod State Technological University V.G. Shukhov, Novorossiysk,
e-mail: bgtu-nvrsk@mail.ru

The article presents the results of the development and upgrading of high-speed dual-channel servo controller supply tool electrode for EDM machines firmware precision micro-holes with a diameter of 0.01-0.1 mm. The new regulator has allowed decrease overrun by 2-3 times, increase the speed control, to optimize the vibrator tool electrode, improve the stability and performance of the processing of 1.2-1.5 times, reduce the wear of the electrode-tool 1,1-1, 3 times, increase the limiting depth sewn hole diameters up to 30-35.

Keywords: supply regulator, servo system, electro-piercing, pinhole.

Регулятор подачи электроэрозионного станка необходим для обеспечения непрерывности и устойчивости процесса обработки путем поддержания величины торцевого межэлектродного промежутка в требуемых пределах.

Так как по мере удаления материала с поверхности обрабатываемой детали и из-за износа электрода-инструмента происходит увеличение промежутка между электродами, то необходимо непрерывно производить сближение электродов, иначе через некоторое время из-за значительного увеличения промежутка процесс обработки прекратится.

Таким образом, регулятор подачи представляет собой автоматическое устройство управления подачей электрода-инструмента с обратной связью по положению инструмента относительно обрабатываемой дета-

ли, и, с точки зрения теории автоматического управления, является следящей системой управления объектом.

Следует учитывать, что величина межэлектродного промежутка составляет десятые, сотые и даже тысячные доли миллиметра, поэтому от регулятора требуются высокие быстродействие, чувствительность и стабильность заданной скорости перемещения (т.е. без рывков), что обеспечивается оптимальным выбором входного параметра объекта управления, наличием и свойствами усилителя следящей системы, отсутствием люфтов в узлах с подвижными элементами механизма подачи, малой инерционностью механической и электрической частей регулятора.

Скорость обработки не является постоянной величиной даже при прошивании од-

ного отверстия. Она зависит от состояния межэлектродного промежутка, концентрации в нем продуктов обработки, состояния баланса процессов производства и эвакуации эродированных частиц из межэлектродного промежутка. Именно поэтому с углублением электрода-инструмента в обрабатываемую деталь, когда условия самоэвакуации продуктов эрозии из рабочей зоны ухудшаются, скорость обработки и, соответственно, подача автоматически уменьшаются.

В электроэрозионных станках обычно применяют специальные системы автоматической подачи электрода, которые способны поддерживать величину межэлектродного промежутка, требуемую для нормального течения процесса эрозии, и быстро реагировать на всякие нарушения процесса электроэрозионной обработки.

Непосредственное использование величины межэлектродного промежутка в качестве параметра регулирования обычно не применяется, так как измерение его величины в процессе обработки практически неосуществимо. Поэтому в качестве параметров регулирования выбирают такие, которые косвенно отражают величину межэлектродного промежутка и изменяются вместе с изменением последнего. Такими параметрами являются напряжения на межэлектродном промежутке, либо ток, проходящий через него. Возможно применение и других параметров регулирования, например скорости внедрения электрода в обрабатываемую деталь (экстремальное регулирование). Однако из-за большой сложности такие схемы не получили распространения [2].

На рисунке 1 показана схема регулятора, в котором исполнительный механизм 1 перемещает электрод-инструмент к заготовке или от нее в зависимости от сигнала из межэлектродного промежутка 5.

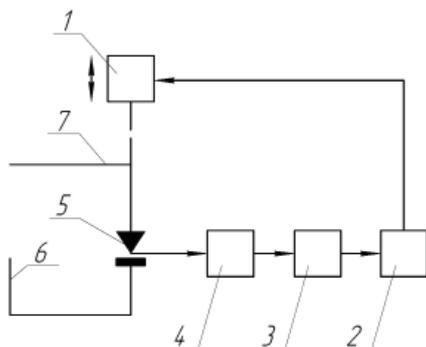


Рис. 1. Схема следящего регулятора подачи электроэрозионного станка

Сигнал о положении электрода-инструмента снимают измерительным преобразователем 4 и подают его в блок сравнения 3. В нем заранее устанавливают опорный сигнал, который является базой для сравнения. Если сигнал, поступающий от измерительного преобразователя 4, совпадает с опорным, то на исполнительный механизм не поступает каких-либо команд. Если сигнал с преобразователя 4 отличается от опорного, их разность передается в усилитель 2 и далее, с учетом знака, на исполнительный механизм 1, например обмотку управления реверсивного двигателя. Механизм 1 перемещает электрод-инструмент. Размер перемещения зависит от значения поступившего сигнала. Зажимы 6, 7 служат для подключения генератора импульсов.

В станках для электроэрозионной прошивки малых отверстий прошивочная головка с закрепленным в ней электродом-инструментом осуществляет плавное перемещение от регулятора подачи на подшипниках качения или в V-образных шариковых или роликовых направляющих, собираемых с малым натягом. Тем самым достигается отсутствие радиальных люфтов при малом сопротивлении движению.

Исполнительный механизм регулятора подачи таких станков имеет обычно электромеханический привод на базе реверсивных серводвигателей постоянного тока или шаговых электродвигателей или двигателей постоянного тока с широтно-импульсной системой управления. Последние два типа двигателей часто подсоединяют непосредственно к винтовой паре, являющейся конечным кинематическим звеном регулятора подачи, так как они имеют высокую дискретность вращательных движений, и возможность осуществления ползучих скоростей без рывков и с достаточным моментом на валу.

Приводы с серводвигателем обычно дополнительно имеют понижающий редуктор с минимальными кинематическими люфтами, что позволяет осуществлять стабильную следящую рабочую подачу на малых скоростях.

Для устранения мертвых ходов в винтовой паре применяют разрезную пружинную гайку или выборку их весом подвижной системы, что возможно

только при вертикальной подаче [3]. Сейчас используются также шарико-винтовые пары.

Все описанные исполнительные механизмы регуляторов подачи обладают одним существенным недостатком – большой инерционностью отвода и подвода электрода-инструмента в экстремальных условиях работы, т.е. в режимах короткого замыкания межэлектродного промежутка. Это не удовлетворяет условиям прошивки капиллярных отверстий. Исключение этого недостатка может существенно увеличить производительность электроэрозионной обработки капиллярных отверстий.

Для достижения высокой стабильности и производительности процесса электроэрозионной прошивки малых отверстий, когда используются импульсы малой энергии и малой длительности (0,05–0,5 мкс), а величины межэлектродного зазора составляет

3–6 мкм, потребовалось разработать нового малоинерционного регулятора подачи, обеспечивающего минимальное перерегулирование (перебег) приводов подачи в пределах 1–3 мкм. Известные регуляторы подачи, как было указано выше не обеспечивают этих требований и имеют значительные перебеги привода при переходе из режима холостого хода в рабочий режим из-за инерционности его движущихся частей, кроме того, многие из них содержат инерционный элемент на входе регулятора подачи – емкостный фильтр.

На первом этапе был разработан регулятор подачи (рис. 2), во многом лишенный указанных недостатков и имеющий оригинальный способ управления подачей. Регулятор работает следующим образом.

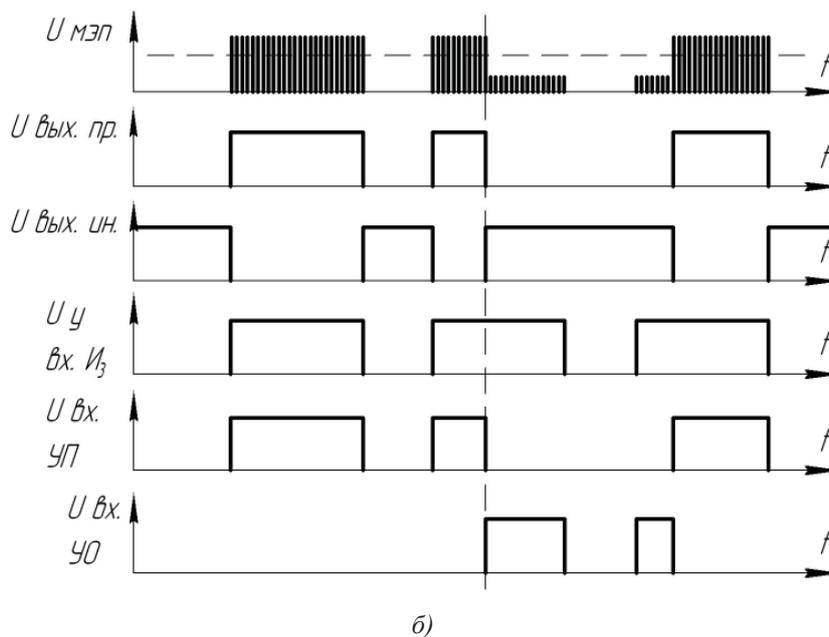
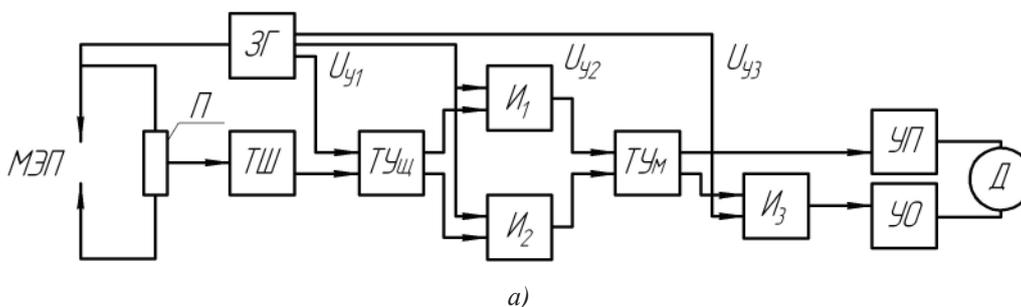


Рис. 2. Регулятор подачи электрода-инструмента для электроэрозионной прошивки микроотверстий (а. с. № 952503):
а) блок-схема регулятора подачи;
б) эпюры напряжений на элементах схемы регулятора подачи

С межэлектродного промежутка импульсы напряжения через потенциометр П подаются на вход триггера Шмитта ТШ. Уровень срабатывания триггера Шмитта устанавливается потенциометром несколько ниже уровня холостых импульсов напряжения на межэлектродном промежутке. Таким образом, триггер Шмитта срабатывает только при холостых импульсах напряжения. При этом управляющий триггер ТУщ устанавливается в положение «Подвод» электрода-инструмента и его прямой выход разрешает прохождение от задающего генератора ЗГ источника питания (транзисторного генератора импульсов) управляющих импульсов U_{y2} через схему совпадения I_1 на управляемый триггер ТУм, который устанавливается в положение «Подвод» и включает усилитель подвода УП. Двигатель Д привода начинает работать на подвод электрода-инструмента. При этом инверсный выход управляющего триггера ТУщ запрещает прохождение импульса управления U_{y2} через схему совпадения I_2 для установки управляемого триггера ТУм в состояние «Отвод». Импульсами управления U_{y1} управляющий триггер ТУщ после каждого импульса с межэлектродного промежутка устанавливается в исходное положение «Отвод». Если на межэлектродном промежутке появятся рабочие импульсы или импульсы короткого замыкания, то триггер Шмитта ТШ не срабатывает, управляющий триггер ТУщ остается в исходном положении «Отвод», его прямой выход блокирует схему совпадения I_1 , а инверсный выход разрешит прохождение управляющего импульса U_{y2} через схему совпадения I_2 на управляемый триггер ТУм, который устанавливается в положение «Отвод». При этом усилитель подвода УП отключается, а усилитель отвода УО включается через схему совпадения I_3 , которая управляющими импульсами U_{y3} от низкочастотного задающего генератора пачек импульсов блокирует в паузах между пачками прохождения управляющего импульса на отвод. Таким образом, среднее напряжение в цепи подвода оказывается строго пропорционально числу импульсов холостого хода, а среднее напряжение в цепи отвода – числу рабочих импульсов и импульсов короткого замыкания:

$$\frac{U_{\text{ср. подвода}}}{U_{\text{ср. отвода}}} = \frac{N_{\text{имп.хх}}}{N_{\text{раб.имп.}} + N_{\text{имп.кз}}}$$

Такой баланс управляющих напряжений регулятора подачи для электроэрозионной прошивки отверстий с применением в качестве источника питания транзисторного генератора коротких импульсов оказался оптимальным.

Таким образом, отличительные достоинства разработанного регулятора подачи заключается в следующем. Предложенная схема регулятора исключает необходимость применения сглаживающего фильтра на входе регулятора подачи и обеспечивает без задержки выработку управляющего сигнала на каждый импульс напряжения межэлектродного промежутка. Во-вторых, новый регулятор подачи обеспечивает только два состояния привода подачи: подвод (режим холостого хода) или отвод (рабочий режим или режим короткого замыкания), а состояние покоя исключается. Тем самым значительно уменьшается перерегулирование при переходе из режима холостого хода в рабочий режим, а именно: в момент появления первого рабочего импульса происходит изменение полярности напряжения на двигателе привода, что приводит к ускоренному динамическому торможению, в отличие от известного, в котором в подобной ситуации происходит лишь уменьшение напряжения на двигателе привода, вследствие чего ускоренное торможение электрода-инструмента не происходит, а имеет место перерегулировка (перебег).

Указанные отличительные достоинства нового регулятора подачи обеспечивают уменьшение перебегов до 1–3 мкм, что соответствует требованиям процесса электроэрозионной прошивки малых отверстий.

Разработанная электронная схема следящего регулятора подачи электрода-инструмента в отличие от известных обеспечивает динамическое торможение электро-двигателя привода при переходе из режима холостого хода в рабочий режим, что уменьшает перебеги с 3–6 мкм до 1–3 мкм и повышает стабильность процесса в целом [1].

Список литературы

1. А.с. 952503 СССР. Регулятор подачи электроэрозионной станка / А.Ф. Бойко, С.А. Шаповалов, В.М. Коробцов; заявл. 31.12.80; опубл. 23.08.82, Бюл. № 31.
2. Электроимпульсная обработка металлов / А.Л. Лившиц и др. – М.: Машиностроение, 1967. – 286 с.
3. Левинсон Е.М., Лев В.С. Электроэрозионное оборудование: – М.: Машиностроение, 1965. – 164 с.

УДК 621.9.048.4: 621.9.048.6

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА
БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩЕГО ДВУХКАНАЛЬНОГО РЕГУЛЯТОРА
ПОДАЧИ ЭЛЕКТРОДА-ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ СТАНКОВ
ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ПРОШИВКИ МИКРООТВЕРСТИЙ.
ЧАСТЬ 2. МОДЕРНИЗАЦИЯ РЕГУЛЯТОРА ПОДАЧИ
С РАЗРАБОТКОЙ ДВУХКАНАЛЬНОЙ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ
УПРАВЛЕНИЯ ПОДАЧЕЙ И ВИБРАЦИЕЙ ЭЛЕКТРОДА-ИНСТРУМЕНТА**

¹Бойко А.Ф., ¹Блинова Т.А., ²Сюсюка Е.Н.

¹*ФГБОУ ВПО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова»,
Белгород, e-mail: portfolio.bstu.ru*

²*Новороссийский филиал Белгородского государственного технологического университета
им. В.Г. Шухова, Новороссийск, e-mail: bgtu-nvrsk@mail.ru*

В процессе электроэрозионной обработки требуется непрерывно поддержание оптимального межэлектродного зазора. При электроэрозионной прошивке микроотверстий среднее значение зазора обеспечивается как с помощью электромеханического регулятора подачи с минимальным перерегулированием, так и посредством электромагнитного вибратора электрода-инструмента. Во второй части статьи изложена сущность оригинального способа и устройства автоматического управления вибрацией электрода-инструмента, работающего совместно с электромеханической следящей системой и обеспечивающего микрорегулирование межэлектродного зазора и, как следствие, повышение стабильности процесса обработки, увеличение предельной глубины прошиваемых отверстий и эффективности процесса в целом.

Ключевые слова: двухканальный регулятор подачи, исполнительный механизм, электроэрозионная прошивка, микроотверстие.

**RESEARCH AND DEVELOPMENT OF DUAL HIGH-SPEED FLOW ADJUSTER
TOOL ELECTRODE EDM MACHINES FOR FIRMWARE PINHOLES.
SECTION 2. MODERNIZATION OF CONTROL SUPPLY DEVELOPMENT
OF DUAL-CHANNEL ADAPTIVE CONTROL SYSTEM
FOR FILING AND VIBRATE TOOLS**

¹Boyko A.F., ¹Blinova T.A., ²Syusyuka E.N.

¹*Belgorod State Technological University V.G. Shukhov, Belgorod, e-mail: portfolio.bstu.ru*

²*Novorossiysk branch of the Belgorod State Technological University V.G. Shukhov, Novorossiysk,
e-mail: bgtu-nvrsk@mail.ru*

In the process of electrical discharge machining is required continuously maintain optimum electrode gap. When piercing pinholes spark gap mean value is provided as electromechanical via flow regulator with minimal overshoot, and by means of electromagnetic vibrator tool electrode. The second part is described and the nature of the original method of vibration control devices for automatic tool electrode working in conjunction with the electromechanical servo system and provides micromanagement electrode gap and as a result, stability of processing, increasing the depth limit broach and efficiency of the overall process.

Keywords: dual-supply regulator, actuator, electro firmware pinhole.

В первой части статьи были изложены результаты разработки малоинерционного следящего регулятора подачи электрода-инструмента с использованием логических схем управления и оригинальной структуры регулятора.

В дальнейшем следящий регулятор был преобразован в двухканальную адаптивную систему, управляющую не только подачей электрода-инструмента, но и его вибрацией, необходимой для стабилизации процесса электроэрозионной прошивки микроотверстий диаметром 0,01–0,1 мм. Результаты модернизации регулятора изложены во второй части статьи.

Если следящий регулятор подачи рассматривать как объект регулирования, то важнейшими его выходными параметрами являются:

– перебеги: величина неуправляемого перемещения электрода-инструмента при переходе из режима холостого хода в рабочий режим или режим короткого замыкания;

– чувствительность: минимальная величина изменения входного параметра (для исследуемого процесса чаще всего это напряжение на межэлектродном промежутке), при которой наступает соответствующая реакция привода регулятора подачи (подвод, отвод, останов).

Проблема чувствительности регулятора была решена с помощью электронных усилителей следящей системы.

Проблема перебоев более сложная и напрямую связана с быстродействием регулятора подачи. Причинами перебоев являются следующие факторы:

- инерционность следящей системы, в том числе ее электрической и механической частей;
- люфты в кинематических звеньях привода.

Одним из эффективных методов устранения инерционности электрической части регулятора является применение электронных импульсно-логических схем преобразования и управления подачей электрода-инструмента. Такой регулятор был разработан при создании нового оборудования для электроэрозионной обработки отверстий [1]. Однако оставалась проблема инерционности механической части регулятора подачи. В значительной мере проблема была решена путем создания двухканального регулятора подачи с адаптивным управлением, в котором так же решалась задача автоматического управления вибрацией электрода-инструмента [2]. Разработанное устройство было защищено патентом РФ №63274. Новый адаптивный двухканальный регулятор подачи выполнял следующие функции:

- осуществлял рабочую подачу в следящем режиме электрода-инструмента на расстояния до 40 мм посредством традиционного электромеханического привода;
- осуществлял быстрый отвод-подвод электрода-инструмента на малые расстояния (0,02–0,04 мм) при нарушении стабильности процесса с помощью электромагнитной системы вибратора;
- осуществлял автоматическое управление вибрацией электрода-инструмента в зависимости от состояния межэлектродного промежутка.

Достоинством разработанного регулятора подачи является то, что при стабильном протекании процесса прошивки микроотверстий, что характерно для малых глубин обработки, вибрация электрода-инструмента выключена, что является оптимальным технологическим решением, так как в этом случае она отрицательно влияет на производительность. При нарушении стабильности процесса, в том числе возникновении коротких замыканий в межэлектродном промежутке, осуществляется мгновен-

ный отвод электрода-инструмента на малое расстояние электромагнитной системой вибратора и включается вибрация, которая способствует ускорению процесса ликвидации короткого замыкания. При затяжном коротком замыкании отвод электрода-инструмента на большие расстояния осуществляет электромеханический привод.

На рисунке 1 представлена схема регулятора, на рисунке 2 – кинематическая схема исполнительного механизма.

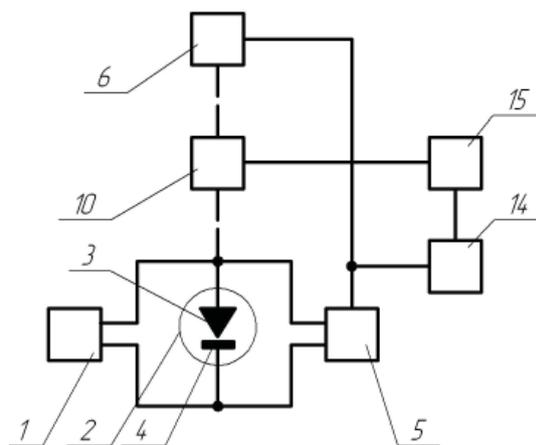


Рис. 1. Схема регулятора подачи

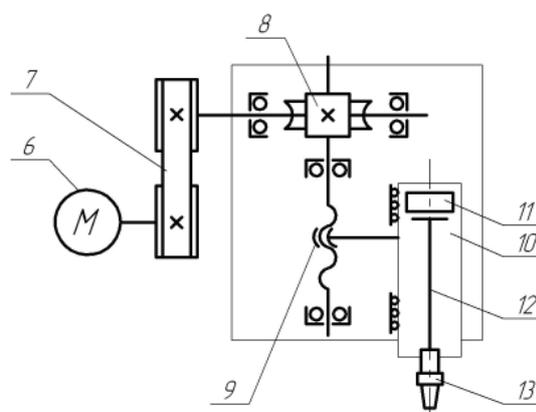


Рис. 2. Кинематическая схема исполнительного механизма

Наличие в регуляторе подачи электрода-инструмента вибратора, выполненного в виде электромагнитной катушки и якоря, с закрепленным на нем патроном, обеспечивает при включении вибрации мгновенный подъем электрода-инструмента, что повышает производительность, так как отвод электрода-инструмента исполнительным механизмом происходит значительно медленнее из-за большой инерционности исполнительного механизма, в том числе связанной с наличием зазоров в кинематических соединениях.

Адаптивный электромеханический регулятор подачи электрода-инструмента электроэрозионного станка (рис. 1) содержит транзисторный генератор импульсов 1, который питает технологическим током межэлектродный промежуток 2. Для осуществления подачи электрода-инструмента 3 к электроду-детали 4 импульсы напряжения с электродов 3, 4 подаются на усилитель 5 следящей системы, с выхода которого импульсы управляющего напряжения подаются на электродвигатель 6 исполнительного механизма.

Исполнительный механизм (рис. 2) состоит из электродвигателя 6, кинематически связанного через ременную передачу 7 и червячную передачу 8 с соединением винт-гайка. С гайкой 9 жестко соединен вибратор 10. Вибратор 10 состоит из электромагнитной катушки 11, якоря 12 и закрепленного на якоре патрона 13, в который устанавливается электрод-инструмент 3.

К выходу усилителя 5 следящей системы подключен также вход блока 14 автоматического управления вибрацией, который управляет работой генератора импульсов 15 вибратора, питающего электромагнитную катушку 11.

Адаптивный электромеханический регулятор подачи электрода-инструмента электроэрозионного станка работает следующим образом. Транзисторный генератор импульсов 1 постоянно питает технологическим током межэлектродный промежуток 2. При разомкнутом межэлектродном промежутке 2 (режим холостого хода) или стабильном процессе электроэрозионной обработки (рабочий ход) усилитель 5 следящей системы выдает управляющее напряжение на электропривод 6, полярность которого соответствует процессу подвода электрода-инструмента 3 к электроду-детали 4. Вращение вала электродвигателя 6 через ременную передачу 7, червячную передачу 8 и гайку 9 преобразуется в поступательное перемещение вибратора 10, с установленным в нем патроном 13 с электродом-инструментом 3.

Одновременно с выхода усилителя 5 следящей системы управляющее напряжение подается на вход блока 14 автоматического управления вибрацией. При управляющем напряжении усилителя 5 следящей системы, соответствующем режиму подвода электрода-инструмента 3, блок 14 управления вибрацией блокирует выход генератора импульсов 15 вибратора, и вибрация отсутствует.

При возникновении короткого замыкания в межэлектродном промежутке 2 полярность управляющего напряжения усилителя 5 следящей системы меняется на обратное, соответственно, блок 14 управления вибрацией разблокирует выход генератора импульсов 15 вибратора, начинается процесс вибрации, в котором участвуют якорь 12 вибратора, патрон 13 и электрод-инструмент 3. Одновременно, в момент включения вибратора 10 меняется среднее положение якоря 12 вибратора, он поднимается к катушке 11 вибратора и резко приподнимает вибрирующий электрод-инструмент 3. Зачастую этого оказывается достаточно, чтобы ликвидировать короткое замыкание в межэлектродном промежутке 2. При более длительном коротком замыкании дальнейший отвод электрода-инструмента 3 осуществляется электромеханическим приводом 6, через ременную передачу 7, червячную передачу 8, гайку 9, с закрепленным на ней вибратором 10.

Таким образом, адаптивный электромеханический регулятор подачи электрода-инструмента электроэрозионного станка включает вибрацию только в том случае, когда это необходимо, т.е. в момент короткого замыкания в межэлектродном промежутке, когда процесс не стабилен.

Модернизация регулятора подачи, установленного на станке 04ЭП10М сводится к добавлению блока 14 автоматического управления вибрацией к существующим элементам.

На рисунке 3 и рисунке 4 представлены электрическая схема блока автоматического управления вибрацией и фотография установленного блока на плату регулятора.

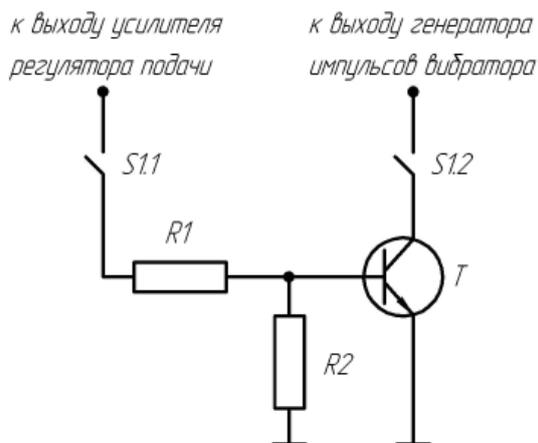


Рис. 3. Электрическая схема блока автоматического управления вибрацией



Рис. 4. Фотография установленного блока автоматического управления вибрацией на плату регулятора подачи

Транзисторный ключ T в открытом состоянии в этом случае выступает в роли блокиратора сигнала с выхода задающего генератора импульсов вибратора. Как только с усилителя регулятора подачи поступает сигнал на отвод электрода-инструмента, транзисторный ключ закрывается и разблокирует выход генератора импульсов вибратора. Включается вибрация. Переключатель S служит для отключения блока автоматического управления вибрацией.

Работа данного устройства была проверена на станке 04ЭП10М [3]. Данные по износу и производительности с модернизацией по отношению к износу и производительности без модернизации представлены в таблице.

Следовательно, данная модернизация имеет положительный эффект, и чем больше диаметр электрода-инструмента и глубина прошиваемого отверстия тем эффект

больше. При этом увеличение производительности составило 17–55%, снижение износа электрода-инструмента – 11–34%.

Последующая модернизация регулятора подачи и разработка двухканального адаптивного регулятора с электромеханическим и электромагнитным параллельно работающими приводами, а также автоматическим управлением вибрацией электрода-инструмента, позволила:

- повысить быстродействие регулятора;
- оптимизировать работу вибратора электрода-инструмента;
- повысить стабильность процесса особенно при прошивке глубоких микроотверстий;
- увеличить производительность электроэрозионной прошивки микроотверстий в 1,2–1,5 раза;
- снизить износ электрода-инструмента в 1,1–1,3 раза;
- увеличить предельную глубину прошиваемых отверстий до 30–35 диаметров;
- повысить точность обработки микроотверстий вследствие уменьшения износа электрода-инструмента.

Список литературы

1. А.с. 952503 СССР. Регулятор подачи электроэрозионного станка / А.Ф. Бойко, С.А. Шаповалов, В.М. Коробцов; заявл. 31.12.80; опубл. 23.08.82, Бюл. № 31.
2. Пат. 63274 РФ. Адаптивный электромеханический регулятор подачи электрода-инструмента электроэрозионного станка / Погонин А.А., Бойко А.Ф., Домашенко Б.В.; заявл. 25.12.06; опубл. 27.05.07. Бюл. №15.
3. Бойко А.Ф. Эффективная технология и оборудование для электроэрозионной прошивки прецизионных микроотверстий: монография. – Белгород: БГТУ, 2010. – 314 с.

Сравнительная таблица износа электрода-инструмента и производительности

№ п/п	Параметры обработки		Без модернизации		С модернизацией		Уменьшение износа электрода-инструмента, %	Увеличение производительности, %
	Диаметр электрода-инструмента, мкм	Глубина прошивки по индикатору, мкм	Износ электрода-инструмента, %	Производительность, мкм/сек	Износ электрода-инструмента, %	Производительность, мкм/сек		
1	20	1200	314	6,3	281	7,4	11	17
2	30	1600	137	4,8	91	5,8	34	21
3	50	2000	80	4,7	58	7,3	28	55

УДК 532.133, 371.62, 372.8.002

МОДЕЛЬ БЛАНКА ОРГАНИЗАЦИИ КОМПЬЮТЕРНОЙ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ДВИГАТЕЛЯ СОВЕРШАЮЩЕГО ЦИКЛ КАРНО

Дасибеков А.Д., Кабылбеков К.А.

*Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова, Шымкент,
e-mail: dasibekov.azhibek@mail.ru*

Предлагается модель бланка организации компьютерной лабораторной работы по исследованию двигателя совершающего цикл Карно, включающая краткие сведения из теории, ознакомительные задания с компьютерной моделью, задачи с последующей компьютерной проверкой ответов, неоднозначные задачи, экспериментальные, исследовательские и творческие задания. Задания даны с избытком. Обучающему необязательно все их выполнять, преподаватель может с учетом возможности ученика подобрать их или предложить другие подобные задания. Задачи с последующей компьютерной проверкой необходимо предварительно решать на бумаге и проверить ответы в компьютерном эксперименте. Предварительное решение задачи необходимо сдать вместе с бланком.

Ключевые слова: тепловой двигатель, холодильник, нагреватель, цикл Карно, коэффициент полезного действия.

MODEL OF THE FORM OF THE ORGANIZATION OF COMPUTER LABORATORY OPERATION ON EXAMINATION OF THE DRIVE MAKING THE CARNOT CYCLE

Dasibekov A.D., Kabylbekov K.A.

M. Auezov South-Kazakhstan State University, Shymkent, e-mail: dasibekov.azhibek@mail.ru

The model of the form of the organisation of computer laboratory work on research of work of the selector of the speed, providing short data from the theory, problems with the subsequent computer check, ambiguous problems, research and creative tasks is offered. Tasks are given much. Trained not necessarily all of them to carry out, the teacher can taking into account possibility of the pupil pick up them or offer other similar tasks. Problems with the subsequent computer check are necessary for solving preliminary on a paper and to check up answers in computer experiment. It is necessary to hand over the preliminary decision of a problem together with the form.

Keywords: the thermal drive, a cooler body, a calefactor, a Carnot cycle, efficiency.

Президент Республики Казахстан Н. Назарбаев в Послании народу Казахстана «Стратегия «Казахстан-2050» – новый политический курс состоявшегося государства», обозначив приоритеты в сфере образования сказал: «Нам предстоит произвести модернизацию методик преподавания и активно развивать он-лайн-системы образования, создавая региональные школьные центры. Мы должны интенсивно внедрять инновационные методы, решения и инструменты в отечественную систему образования, включая дистанционное обучение и обучение в режиме он-лайн, доступные для всех желающих» [1].

Для реализации поставленных задач кафедры «Теория и методика преподавания физики» ЮКГУ им. Ауэзова МОН РК с 2013 года внедрила в учебный процесс дисциплины «Информационные технологии в образовании», «Информационные технологии в преподавании физики» программы которых предусматривает освоение и использование современных информационных технологии в преподавании физики. Созда-

ны новые компьютерные модели, обучающие программы, базы данных и методика их использования в преподавании физики в школах, колледжах, лицеях и ВУЗ [2-14].

Одной из трудных задач внедрения этих результатов в учреждениях образования является недостаточное практическое умение преподавателей школ использования компьютерных моделей физических явлений для организации проведения лабораторных работ. От организации компьютерных лабораторных работ во многом зависит активность, мотивация и в конечном счете эффективность обучения. Мощным средством обучения физике, по мнению многих отечественных и зарубежных специалистов является продукция компании «Физикон» [15]. Используя этот ресурс, нами разработана модель бланка организации компьютерной лабораторной работы по исследованию работы двигателя, совершающего цикл Карно.

Тема работы: Исследование работы теплового двигателя совершающего цикл Карно.

Цель работы: Определение К.П.Д. теплового двигателя.

Класс.....ФИО.....

Краткие сведения из теории

Тепловыми двигателями называются устройства, в которых происходит превращение теплоты в работу. Рабочее вещество в любом тепловом двигателе последовательно приводится в тепловой контакт с горячими телами (нагреватели), получая от них некоторое количество теплоты Q_1 , и с холодными телами (холодильники), отдавая им количество теплоты $Q_2 < Q_1$, и периодически возвращается в первоначальное состояние. Такие процессы называют циклическими или круговыми.

Термодинамика утверждает, что невозможно всю теплоту Q_1 , полученную в круговом процессе от нагревателей, превратить в работу (2-ой закон термодинамики). Согласно закону сохранения энергии (1-ый закон термодинамики) работа, производимая двигателем есть: $A = Q_1 - Q_2$.

Коэффициентом полезного действия теплового двигателя называют отношение

$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} < 1$$

Цикл Карно представляет собой идеализированный круговой процесс, в котором рабочее вещество (идеальный газ) периодически приводится в тепловой контакт только с одним нагревателем и одним холодильником. Цикл Карно состоит из двух изотерм и двух адиабат. Французский инженер Карно доказал, что к.п.д. такого идеального теплового двигателя максимален при данных значениях и равен

$$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

Любой реальный тепловой двигатель, работающий с нагревателем температуры T_1 и холодильником температуры T_2 , не может иметь к.п.д, превышающий η_{\max} :

Цикл Карно идеальной тепловой машины на P, V – диаграмме обходится по часовой стрелке. Однако, он может быть проведен и в противоположном направлении (холодильный цикл). В этом случае система отбирает тепло от холодного тела и передает тепло горячему телу. Для того, чтобы такой процесс был возможен, над системой должна совершаться положительная работа

А. Холодильный цикл реализуется в холодильных машинах.

Контрольные вопросы для проверки готовности учащихся к выполнению работы

- Из каких процессов состоит цикл Карно? Ответы: ...
- Напишите формулу коэффициента полезного действия идеального теплового двигателя работающего по циклу Карно. Ответы: ...
- Какими величинами определяется работа идеального теплового двигателя за один цикл? Ответы: ...
- Как работает идеальная холодильная машина? Ответы: ...
- Можно ли построить двигатель не получающий энергию извне? Ответы: ...
- Можно ли превратить всю теплоту, полученную двигателем в работу? Ответы: ...
- От какого тела самопроизвольно передается тепло? Ответы: ...
- Как можно осуществить передачу тепла от холодного тела к теплomu? Ответы: ...
- Как можно повысить коэффициент полезного действия теплового двигателя? Ответы: ...
- Можно ли понизить температуру комнаты открыв дверь, работающего холодильника? Ответы: ...
- Можно ли добиться 100% коэффициент полезного действия путем снижения трения до нуля между всеми частями машины? Дайте пояснение. Ответы: ...
- Зависит ли коэффициент полезного действия идеального двигателя, совершающего цикл Карно от природы рабочего вещества? Ответы: ...

1. Ознакомительные задания с компьютерной моделью.

- 1.1. В каких пределах можно менять температуру нагревателя (рис.1.)? Ответы: ...
- 1.2. В каких пределах можно менять температуру холодильника? Ответы: ...
- 1.3. Каков объем идеального газа в камере? Ответы: ...
- 1.4. В каких пределах меняется давление при температуре нагревателя 600 К и температуре 270 К холодильника за один полный цикл? Ответы: ...
- 1.5. В каких пределах меняется объем рабочего вещества при температуре нагревателя 600 К и температуре 270 К холодильника за один полный цикл? Ответы: ...

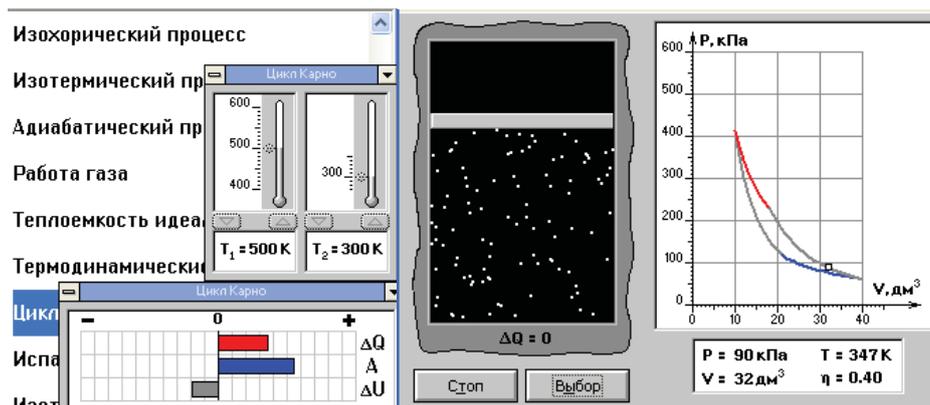


Рис. 1.

2. Задачи с последующей компьютерной проверкой.

Эти задачи необходимо сначала решить на бумаге и затем проверить ответы на компьютере. Решения задач предоставить вместе с бланком.

2.1. Определить коэффициент полезного действия идеального теплового двигателя при температуре нагревателя 600К и температуре холодильника 350К. Ответы: ...

2.2. Определить коэффициент полезного действия при температуре нагревателя 600К и температуре холодильника 300К. Ответы: ...

2.3. Определить коэффициент полезного действия при температуре нагревателя 600К и температуре холодильника 270К. Ответы: ...

2.4. Определить коэффициент полезного действия при температуре нагревателя 450К и температуре холодильника 300К. Ответы: ...

2.5. Определить коэффициент полезного действия при температуре нагревателя 350К и температуре холодильника 270К. Ответы: ...

3. Экспериментальные задания

3.1. При температуре нагревателя $T_1=450\text{К}$ рабочее вещество получает тепло от нагревателя $Q_1=500\text{ Дж}$ и отдает тепло холодильнику $Q_2=350\text{ Дж}$. Какая работа совершается за один цикл и каков коэффициент полезного действия? Ответы: ...

3.2. При температуре нагревателя $T_1=600\text{К}$ рабочее вещество получает тепло от нагревателя $Q_1=500\text{ Дж}$ и отдает тепло холодильнику $Q_2=300\text{ Дж}$. Какая работа совершается за один цикл и каков коэффициент полезного действия? Ответы: ...

3.3. При температуре нагревателя $T_1=600\text{К}$ рабочее вещество получает тепло от нагревателя $Q_1=500\text{ Дж}$ и отдает тепло холодильнику $Q_2=300\text{ Дж}$. Какая работа совершается за один цикл, какова температура холодильника и коэффициент полезного действия? Ответы: ...

3.4. Тепловой двигатель работающий по циклу Карно за каждый цикл получает от нагревателя при температуре $T_1=600\text{К}$ тепло $Q_1=600\text{ Дж}$ и отдает холодильнику тепло $Q_2=300\text{ Дж}$. Определите коэффициент полезного действия и температуру холодильника. Ответы: ...

3.5. Параметры рабочего вещества в начале цикла $P_1=416\text{ кПа}$, $T_1=500\text{К}$, $V_1=10\text{ дм}^3$. Определите количество вещества используемое в модели. Ответы: ...

4. Неоднозначные задачи.

4.1. Определите температуры нагревателя и холодильника тепловой машины работающей по циклу Карно с К.П.Д. а) 20%; б) 40%; в) 50% и г) 55%. Ответы: ...

5. Исследовательские задания.

5.1. Температура холодильника $T_2=270\text{К}$. Какой должна быть температура нагревателя теплового двигателя, работающего по циклу Карно при К.П.Д. 55%? Ответы: ...

5.2. Тепловая машина, работающая по циклу Карно, получает за каждый цикл от нагревателя 500 Дж тепла при температуре $T_1=450\text{К}$ и отдает холодильнику 350 Дж тепла. Определите температуру холодильника T_2 и К.П.Д тепловой машины. Ответы: ...

5.3. Тепловая машина, работающая по циклу Карно, получает за каждый цикл от нагревателя 500 Дж тепла при температуре $T_1=600\text{К}$ и отдает холодильнику 300 Дж тепла. Определите температуру холодильника T_2 и К.П.Д тепловой машины. Ответы: ...

6. Творческие задания.

В рамках данного задания ученику предлагается самостоятельно составить задания с учетом возможности компьютерной модели.

Количество выполненных заданий	Количество ошибок	Оценка

Примечание. Задания даны с избытком. Обучающемуся необязательно всех их выполнять. Преподаватель может их выбрать и подобрать ученику с учетом его возможности или предложить другие подобные задания. В заданиях предусматривающих задачи с последующей компьютерной проверкой ученик письменно решает задачи с предоставлением хода решения и полученного ответа. В конце урока ученик должен заполнить бланк, сдать преподавателю или отправить по электронной почте своему преподавателю.

Список литературы

1. Назарбаев Н.А. «Стратегия «Казахстан-2050»-новый политический курс состоявшегося государства». Послание народу Казахстана. Астана. – URL: www.bnews.kz. 14 декабря 2012 г.
2. Кабылбеков К.А., Байжанова А. Использование мультимедийных возможностей компьютерных систем для расширения демонстрационных ресурсов некоторых физических явлений: труды Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Томск, 2011. – С. 210-215.
3. Кабылбеков К.А., Саидахметов П.А., Арысбаева А.С. Оқушылардың өз бетінше атқаратын компьютерлік зертханалық жұмыс бланкісінің үлгісі // Известия НАН РК. Серия физико-математическая. – 2013. – №6. – С. 82-89.
4. Кабылбеков К.А., Саидахметов П.А., Байдуллаева Л.Е. Абдураимов Фотоэффект, комптонэффекті заңдылықтарын оқытуда компьютерлік үлгілерді қолданудың әдістемесі, компьютерлік зертханалық жұмыс атқаруға арналған бланкі үлгілері // Известия НАН РК. Серия физико-математическая. – 2013. – №6. – С. 114-121.
5. Кабылбеков К.А., Саидахметов П.А., Турганова Т.К., Нуруллаев М.А., Байдуллаева Л.Е. Жинағыш және шашыратқыш линзаларды үлгілеу тақырыбына сабақ өткізу үлгісі // Известия НАН РК. Серия физико-математическая. – 2014. – №2. – С. 286-294.
6. Кабылбеков К.А., Аширбаев Х.А., Саидахметов П.А., Рүстемова Қ.Ж., Байдуллаева Л.Е. Жарықтың дифракциясын зерттеуді ұйымдастыруға арналған компьютерлік зертханалық жұмыстың бланкі үлгісі // Известия НАН РК. Серия физико-математическая. – 2015. – №1. – С. 71-77.
7. Кабылбеков К.А., Аширбаев Х.А., Такибаева Г.А., Сапарбаева Э.М., Байдуллаева Л.Е., Адиева Ш.И. Зарядталған бөлшектердің магнит өрісінде қозғалысын және масс-спектрометр жұмысын зерттеуді ұйымдастыруға арналған компьютерлік зертханалық жұмыстың бланкі үлгісі // Известия НАН РК. Серия физико-математическая. – 2015. – №1. – С. 80-87.
8. Кабылбеков К.А., Аширбаев Х.А., Саидахметов П.А., Байгулова Н.З., Байдуллаева Л.Е. Ньютон сақиналарын зерттеуді ұйымдастыруға арналған компьютерлік зертханалық жұмыстың бланкі үлгісі // Известия НАН РК. Серия физико-математическая. – 2015. – №1. – С. 14-20.
9. Кабылбеков К.А., Аширбаев Х.А., Жумағалиева А.И. Модель бланка организации компьютерной лабораторной работы по исследованию поляризации света: материалы XI международной научно-практической конференции «БЪДЕЩИТЕ ИЗСЛЕДОВАНИЯ – 2015». Том 14. Математика. Физика. Современные технологии на информации. – София: «Бял ГРАД-БГ» ООД-96, 2015. – С. 53-60.
10. Кабылбеков К.А., Аширбаев Х.А., Дасибеков А.Д. Модель бланка организации компьютерной лабораторной работы по исследованию дифракции электронов: materials of the XI international scientific and practical conference. «Modern scientific potential». – 2015. – Volume 337 Physics. Chemistry and chemical technology. Sheffield. UK 2015. – P. 38-45.
11. Кабылбеков К.А. Организация выполнения компьютерных лабораторных работ по физике: учебное пособие. – Шымкент, 2015. – С. 77.
12. Кабылбеков К.А., Аширбаев Х.А., Арысбаева А.С., Джумағалиева А.И. Модели бланка организации компьютерных лабораторных работ при исследовании физических явлений // Современные наукоемкие технологии. 05.13.00 информатика, вычислительная техника и управление. – 2015. – №4. – С. 40-43.
13. Кабылбеков К.А., Аширбаев Х.А., Сабалахова А.П., Джумағалиева А.И. Модель бланка организации компьютерной лабораторной работы по исследованию явления интерференции света // Известия НАН РК. Серия физико-математическая. – 2015. – №3. – С. 131-136.
14. Кабылбеков К.А., Аширбаев Х.А., Сабалахова А.П., Джумағалиева А.И. Модель бланка организации компьютерной лабораторной работы по исследованию эффекта Доплера // Известия НАН РК. Серия физико-математическая. – 2015. – №3. – С. 155-160.
15. CD диск компании ОАО «Физикон». «Открытая физика 1.1». 2001.

УДК 669.012.001.001

**ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТХОДОВ ФЛОТАЦИИ
УГЛЯ В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ****¹Ибраева О.Т., ²Ибраев И.К., ³Жаксыбаева Г.Ш.**¹*Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова, Павлодар, e-mail: ibraevik@yandex.ru*²*Инновационный Евразийский Университет, Павлодар*³*Карагандинский государственный технический университет, Караганда*

В обзоре приведены существующие способы использования техногенных углеродсодержащих материалов, в т.ч. отходов флотации обогащения каменного угля для металлургического передела. Показано, что для использования отходов флотации для металлургического передела необходимо проведение дополнительных подготовительных операций – обезвоживание и окускование. Мировой производственный опыт показывает, что использование подавляющего числа всех видов вторичных ресурсов технически осуществимо и экономически выгодно, даже при условии их подготовки в тот или иной технологический процесс. Утилизация отходов флотации в металлургическом производстве в качестве топливных, углеродистых и шлакообразующих материалов может дать значительную экономию чугуна, извести, улучшить качество выплавляемой стали, снизить расход основных и вспомогательных материалов в различных производствах комбината.

Ключевые слова: отход флотации угля, углеминеральный брикет, обезвоживание, химическое обезвоживание, каменноугольная смола, связующее.

**DIRECTIONS USE OF WASTE COAL FLOTATION IN METALLURGICAL
PRODUCTION****Ibraeva O.T., Ibraev I.K., Zhaksybaeva G.Sh.**¹*Pavlodar State University. S. Toraigyrov, Pavlodar, e-mail: ibraevik@yandex.ru*²*Innovatsionny Eurasian University, Pavlodar*³*Karagandinsky State Technical University, Karaganda*

The review presents the existing methods the use of manmade carbon-containing materials, including waste flotation the beneficiation of coal for metallurgical redistribution. It is shown that the use of waste of flotation for metallurgical repartition needed more preparatory operations – dewatering and agglomeration. World industrial experience shows that the use of the vast number of all types of secondary resources is technically feasible and economically profitable, even with their training in a particular technological process. Utilization of flotation wastes in the production metallurgicheskomo as fuel, carbon and slag-forming materials can result in significant savings of iron, lime, to improve the quality of steel, reduce the consumption of basic and auxiliary materials in a variety of plant industries.

Keywords: flotation waste coal, briquette elementary, dehydration, chemical dehydration, coal tar pitch, binder.

В странах СНГ при обогащении углей для металлургического производства разработка технических решений, направленных на охрану окружающей среды, большей частью велась в сторону более полного и эффективного улавливания отходов обогащения углей, и мало учитывалось комплексное использование этих отходов, образующихся в результате внедрения природоохранных мероприятий.

Отходы флотации, вследствие отсутствия простых и экономически выгодных технологий подготовки их к утилизации, а также из-за нестабильности их химического и гранулометрического составов остаются невостребованными и сбрасываются в хвостохранилища. На металлургических предприятиях стран СНГ отходы флотации утилизируются незначительно. Так, например, в хвостохранилищах №2 и №3 АО «АрселорМиттал Темиртау» на сегодняшний

день в общей сложности накоплено более 40 млн. т отходов флотации.

В то же время мировой производственный опыт показывает, что использование подавляющего числа всех видов вторичных ресурсов технически осуществимо и экономически выгодно, даже при условии их подготовки в тот или иной технологический процесс.

Подготовка отходов флотации к утилизации заключается в их обезвоживании до необходимой влажности и брикетировании в целях удобства транспортировки на дальние расстояния и подачи в энергетические агрегаты.

Проведенный литературный поиск по существующим способам обезвоживания отходов показал, что наиболее рациональные технологии обезвоживания влажных мелкодисперсных отходов предусматривают в основном применение вакуум-фильтров, а

более глубокое обезвоживание достигается при использовании фильтр-прессов различных конструкций, однако это оборудование требует больших капиталовложений. Перспективными аппаратами для обезвоживания являются центрифуги, однако они не получают широкого применения в области охраны окружающей среды на металлургических заводах из-за многих технологических трудностей.

На многих заводах для обезвоживания применяют термическую сушку, сушку на воздухе или используют осушающие реагенты, в частности, обожженную известь. Способы обезвоживания мелкодисперсных отходов известьсодержащими материалами являются достаточно изученными и распространенными, и уже давно применяются на многих предприятиях, например, на заводе в Эймейдене фирмы “Estel NV NoshHoagovens” (Нидерланды) [1], Челябинском, Криворожском и Днепропетровском металлургических комбинатах [2-4], но для обезвоживания отходов флотации данные способы не применялись.

В большинстве случаев обезвоживание влажных отходов производится путем перемешивания их с известьсодержащими материалами на специальных площадках с помощью грейферного крана. Дальнейшее распространение этого метода ведется в поиске наиболее эффективного аппарата для смешивания [5].

В мировой практике уже определены основные перспективные потребители отходов флотации, составлены рекомендации по применению отходов в различных областях промышленности. Наибольшее распространение получили следующие направления утилизации отходов флотации: использование в строительной индустрии [6]; добавка высушенных отходов в тампонажные растворы при бурении газовых скважин [7, 26, 27]; применение в сельском хозяйстве [7, 8].

К числу перспективных направлений относится использование отходов флотации в качестве топливно-энергетического потенциала. Запас тепловой энергии отходов достаточен для обеспечения работы электростанции 20 МВт. Такие отходы можно сжигать в топочных устройствах, работающих по методу “кипящего слоя”. Благодаря снижению температурного уровня сжигания до 750-8500С, в топке (НТКС) значительно уменьшается образование и выброс

в атмосферу оксидов азота, а при подаче с топливом известняка – диоксида серы [9].

На АО “АрселорМиттал Темиртау” проведены исследования по утилизации отходов флотации на ТЭЦ-ПВС, которые показали возможность их использования в качестве частичного заменителя твердого топлива [10].

На ряде предприятий были проведены исследования по замене дефицитных видов топлива альтернативными более дешевыми углесодержащими материалами (тощими углями, отходами флотации и т.д.). Так, например, на АО “АрселорМиттал Темиртау” разработан оптимальный способ окомкования с использованием в качестве топлива смеси коксика и отощенного угля. С целью снижения себестоимости агломерата и улучшения его качества на каждый процент увеличения отощенного угля отношение высоты нижнего слоя к высоте верхнего слоя увеличивается на 0,07-0,10. Результаты исследований по использованию тощих углей при агломерации лисаковского обжиг-магнитного концентрата показали, что замена коксовой мелочи тощим углем в пределах от 0 до 100% практически не сказывается на показателях процесса спекания и качестве получаемого агломерата [11, 12]. В результате получена значительная экономия от снижения себестоимости топлива.

На АО «АрселорМиттал Темиртау» проведены опытно-промышленные исследования по замене части коксовой мелочи отходами флотации на аглофабрике № 2 и проведена экологическая оценка такой замены [13]. Установлено, что при двухслойном спекании ввод в шихту 5% отходов флотации приводит к увеличению вертикальной скорости спекания на 1,3 мм/мин, удельной производительности на 0,08 т/м ч, выхода годного агломерата – 0,1%, механической прочности на удар и истирание -1,7 и 0,2% соответственно. Дальнейшее увеличение доли отходов приводит к снижению высоты верхнего слоя на 1,5 мм на 1% отходов и выхода годного.

В фасонно-литейном цехе (ФЛЦ) АО «Миттал Стал Темиртау» были проведены опытно-промышленные испытания отходов флотации в качестве теплоизоляционной заправки стальных слитков взамен применяющейся асбестовой заправки [13]. Изучена возможность применения отходов флотации в целях улучшения экологической обстановки при разливке стали и разработана

рациональная технология утепления слитков. Проведен поиск рациональных режимов ввода отходов флотации на головную поверхность слитка, исключаяющие науглероживание жидкого металла в изложницах и не ухудшающие показатели по выходу годного, а также позволяющие эффективно использовать тепло слабоэкзотермической реакции горения для теплоизоляции зеркала металла.

Обзор литературных источников показал широкое распространение различных способов окускования пылевидных материалов. Наиболее эффективным и часто используемым является брикетирование.

Брикетирование представляет собой процесс механической переработки мелочи в брикеты, имеющие определенные геометрическую форму, размер и массу. В результате брикетирования улучшаются качественные и теплотехнические показатели материалов, повышается сохраняемость, уменьшаются потери топлива и затраты на их перевозку.

Процесс брикетирования в мировой практике является достаточно изученным, считается наиболее эффективным и используется на многих промышленных предприятиях. Широкое распространение производство брикетов получило в угольной промышленности Германии, Австралии, где производят до 400 тыс. т/год брикетов [14].

Процесс брикетирования основан на способности рыхлых сыпучих материалов уплотняться под давлением. При прессовании мелких частиц в результате взаимодействия соприкасающихся поверхностей происходит сначала их сцепление под действием молекулярных сил. Затем выжимается влага из первичных капилляров внутренних слоев заполняет промежутки между частицами, тем самым создавая дополнительные силы сцепления. Таким образом прочность получаемых брикетов из частиц различной крупности будет зависеть от содержания капиллярной влаги.

В настоящее время нет способа оценки брикетируемости угля с помощью одного какого-либо показателя. Поэтому для определения брикетируемости угля проводится комплексное исследование его химических, физических свойств, а затем проводятся лабораторные исследования на брикетируемость и испытание качества получаемых брикетов.

Различают два способа брикетирования: без связующих веществ при повышенном

давлении прессования (выше 80 МПа) и со связующим веществом при малых давлениях прессования (15-25 МПа).

Стандартная технологическая схема производства брикетов складывается из ряда последовательно протекающих основных операций: приема угля, подготовки его к сушке, сушки, охлаждения сушенки, прессования и погрузки брикетов [15].

Известно использование прессования для обезвоживания, например, флотоконцентрата. В одном устройстве объединены 2 процесса: удаление влаги и получение брикетов без применения связующего компонента [16].

Обзор литературных источников показал широкое распространение брикетирования при использовании в качестве связующего смолистых веществ. При брикетировании со связующими компонентами в качестве последних наибольшее применение получили каменноугольный пек, нефтебитум.

Наряду с этим ведутся активные поиски новых видов связующих веществ. Так для удешевления топливных брикетов в качестве вяжущего применяют белитовый шлак с содержанием оксида натрия 0,8-2,2 масс.%. Так же в качестве связующего при брикетировании углей предлагались побочные продукты целлюлознобумажной промышленности – лигносульфонаты [17].

Предлагалось связующее для получения брикетов, состоящее из равных количеств среднетемпературного каменноугольного пека и каменноугольной смолы. Нагрев угля, смешение его со связующим (6-8% от брикетируемой смеси) и дальнейшее прессование осуществляют при 30-40°C. Прочность таких брикетов на сжатие составляет 24 кг/см², прочность на сбрасывание – 83% [18].

С целью повышения механической прочности брикетов использовалось связующее, включающее каменноугольную смолу, среднетемпературный каменноугольный пек и сырой антрацен при следующем соотношении компонентов, масс. %: среднетемпературный пек 38-40, каменноугольная смола 46-49, сырой антрацен 12-14.

Для получения брикетов уголь при перемешивании нагревали до 30-40°C и вводили в него нагретое до 110-115°C связующее в количестве 7-10%. Смесь перемешивали в течение 5-6 мин, после чего выгружали из смесителя и без охлаждения массы прессовали на вальцовом прессе при давлении 250 кг/см². Полученные брикеты имели

прочность на сжатие 75-95 кг/см² и на сбрасывание 88-95% [19].

Известно компаунд-связующее, состоящее из смеси 60-90% окисленной тяжелой пиролизной смолы и 10-40% высокотемпературного каменноугольного пека с температурой размягчения 150⁰С. Но применение данного связующего предусматривает обязательное охлаждение прессуемой шихты и получаемых брикетов, что значительно удорожает их производство [20].

Предложен способ получения угольных брикетов, включающий смешение угольной мелочи со связующим, состоящим из битума и кубовых остатков синтетических жирных кислот. Для повышения прочности брикетов и упрощения технологии их получения в битум вводят 1,5-2,5% кубовых остатков жирных синтетических кислот и прессование ведут при 70-75⁰С. Прочность брикетов составляет 38 кг/см² [21].

Известен способ получения формованных изделий из угольных шламов, заключающийся в том, что подсушенный угольный шлам смешивают со связующим в виде остатков процессов крекинга или гидрокрекинга (6 – 10% по отношению к высушенному шламу) и полученную смесь формуют в топливные брикеты под давлением 300-500 кг/см². Недостатком этого способа является предварительная сушка шламов [22].

В целях снижения энергозатрат и упрощения технологии переработки угольных шламов высокой влажности предлагается предварительный нагрев (до температуры плавления) связующего компонента в виде остатков от вакуумной перегонки нефти (7% вес. от массы сухого угля). Во время интенсивного перемешивания к смеси подают противоточно-перегретый водяной пар температурой 250⁰С в количестве 1 т/час на 1 т мокрой угольной мелочи. Водяной пар вызывает нагревание угольной массы и испарение воды (до влажности 10%). Спустя 30 мин. смесь формуют под давлением 200 кг/см² [23].

В целях упрощения и удешевления переработки отходов обогащения угля предлагаются способы получения брикетов, которые могут быть использованы для производства керамики и заполнителей бетона, а также для сжигания в топках с кипящим слоем. Флотоотходы с зольностью 60-80%, крупностью 0,5-0 мм, влажностью 42% сгущают до содержания фракции до 0,1 мм 70-90 мас.%. Затем смешивают сгущенную

суспензию с сухими отходами обогащения угля фракции менее 10 мм и прессуют при 20-40 МПа в течение 10-20 с. Влажность прессуемых отходов снижается до 7,8-5,6%. Прочность колеблется в пределах 17,1-24 кг/брикет. Это практически сводит к минимуму дробление брикетов при транспортировке [23].

Существуют способы получения гранулированного материала сразу из двух видов отходов: кислых смолкок цеха ректификации и отходов флотации. Гранулирование проводится всеми известными методами. Полученные гранулы могут служить энергетическим топливом в топках ТЭЦ. Их прочность регулируется изменением соотношения твердой и жидкой фаз. Вязкопластической консистенции достигают смешивая сгущенную суспензию с продуктом их сушки – «ретуром», измельченным до < 2 мм. В исследованиях использовали шнековый смеситель-гранулятор. В зависимости от диаметра отверстий выходной решетки получали формующиеся «жгуты» различной толщины и однородными по плотности. По длине их вручную разрезают на гранулы. Влажность гранул, при которой обеспечивается их транспортировка на сушку без слипания, зависит от степени дисперсности отходов, количества и состава минеральных включений. Сушили гранулы в сушильном шкафу и в лабораторной сушилке кипящего слоя в фильтрующем режиме. Механическая прочность гранул колебалась в пределах от 30 до 50 Н для гранул диам. 8 мм.

Удержание гранул в фильтрующем потоке теплоносителя при 600⁰С более 2 минут приводило к их разложению и возгоранию. Таким образом гранулированные отходы флотации можно использовать в качестве топлива для топочных устройств низкотемпературного кипящего слоя. Получаемые же зольные остатки имеют химический состав, близкий к составу сырья, перерабатываемого строительной индустрией [24, 25].

Анализ литературных источников показал отсутствие какого-либо опыта использования отходов флотации на предприятиях черной металлургии.

Установлено, что утилизация обезвоженных хвостов флотации может проводиться аналогично существующим способам использования углеродсодержащих материалов. Поэтому была принята во внимание научно-техническая информация по

применению в металлургическом производстве тощих углей, близких по своим характеристикам к отходам флотации.

На Днепропетровском металлургическом комбинате в конвертерной плавке применены углеминеральные брикеты, в составе которых в разных соотношениях использовались отсева антрацита, известковая пыль, флотационный плавиловый шпат и смолистое связующее. Применение брикетов, состоящих из 50% антрацита, 50% известки и смолистого связующего 3-7%, позволило уменьшить расход известки на 5 кг/т стали и получить степень дефосфорации 94,7%. В целом применение углеминеральных брикетов позволяет повысить теплосодержание конвертерной плавки и улучшить шлакообразование [28].

На Западно-Сибирском металлургическом комбинате для изготовления углеродсодержащих брикетов применялись антрацит, угли, известковая пыль, шламы конвертерных цехов и в качестве связующего смолистое вещество.

При изучении брикетов на основе антрацита с добавками 10% известки зафиксировано уменьшение выноса мелкодисперсных частиц из конвертеров по сравнению с обычной плавкой, особенно при взаимодействии таких брикетов с жидким металлическим расплавом (в 2,7 раза). Такие брикеты не влияют на изменение интенсивности общего газовыделения и выделение отдельных газообразных компонентов и приводят к улучшению шлакообразования при ведении конвертерной плавки. Кроме того, использование в углеродсодержащих брикетах 10% известковой пыли вызывает минимальное увеличение содержания серы и снижение фосфора в металле [29].

На металлургическом заводе «Амурсталь» разработаны технологии использования карбонизатора на основе антрацита и тощего угля в сталеплавильном производстве. Применение карбонизатора в 330-т мартеновских печах позволило полностью заменить коксовую мелочь. В дуговых печах карбонизатор успешно использовался для вспенивания шлака по ходу плавки и науглероживания металла во время выпуска. Эффективным было использование карбонизатора и в качестве теплоизоляционной засыпки верхней части слитков при разливе стали в изложницы. Всесторонняя проверка показала возможность полной замены коксовой мелочи, применяющейся в метал-

лургическом производстве, угольным карбонизатором [30].

В сталеплавильном производстве, в частности в мартеновском переделе, угольные брикеты могут также использоваться в качестве углеродсодержащего компонента с целью экономии чугуна. При этом улучшается качество стали и снижается удельный расход чугуна [31].

Утилизация отходов флотации в металлургическом производстве в качестве топливных, углеродистых и шлакообразующих материалов может дать значительную экономию чугуна, известки, улучшить качество выплавляемой стали, снизить расход основных и вспомогательных материалов в различных производствах комбината. Реализация отходов флотации сторонними строительными организациями для производства строительных изделий позволит получить дополнительную прибыль. Замена природных материалов отходами флотации сохранит окружающую среду и снизит экологические платежи за ее загрязнение.

Список литературы

1. Иксанова Е.И. Подготовка к использованию железосодержащих шламов и пыли за рубежом // Бюлл. Черная металлургия. Черметинформация. – 1980. – № 13.
2. Прохоров В.Н. Использование отходов металлургического производства в аглодоменном переделе // Сталь. – 1983. – № 1. – С. 4-7.
3. Крижевский А.З., Мищенко И.М., Чиглинцев Н.А. и др. Улучшение качества агломерата при повышенном содержании в шихте железосодержащих отходов // Черная металлургия: Бюлл. ин-та «Черметинформация». – М., 1988. – Вып. 8. – С. 45-46.
4. Корж А.Т., Голубов А.Ф. Подготовка и использование железосодержащих шламов // Черная металлургия: Бюлл. ин-та «Черметинформация». – М., 1988. – Вып. 7. – С. 45-46.
5. Корж А.Т., Голубов А.Ф. Особенности технологии подсушки шламов известью // Черная металлургия: Бюлл. ин-та «Черметинформация». – М., 1991. – Вып. 5. – С. 49-50.
6. Яковенко А.М., Никитин И.Н. Внедрение исследовательских работ УХИНа в области утилизации отходов углеобогащения // Кокс и химия. – 1995. – № 3. – С. 25-27.
7. Варишиков В.Г., Горелов А.М., Папков Г.И. и др. Вторичные материальные ресурсы черной металлургии: справочник. – 1986. – Т. 2. – 344 с.
8. Трофимова В.Г., Устиновская С.А., Джакели Т.Н. и др. К вопросу комплексного использования отходов КХП // Научно-технический прогресс в металлургических и химических производствах. Вологодский политехнический институт, Череповецкий филиал. – Череповец, 1989. – С. 213-221.
9. Использование отходов УОФ Индии // Кокс и химия. – 1987. – № 3. – С. 61-64.
10. Разработка технологии подготовки отходов флотации КХП к использованию их на ТЭЦ-ПВС в качестве частичного заменителя топлива // Технической заключение. КарМК. – 1994. – 17 с.
11. Мусин Д.К., Калиева Р.С., Жандильдин Т.Е. Влияние использования тощих углей на показатели процесса спе-

- кания и качество агломерата. Хим.-металлург. ин-т АН КазССР. – Караганда, 1982. – 9 с.
12. Мысик А.Ф., Мирко В.А., Фролов Ю.А. и др. Способ производства агломерата // ВНИИ металлург. Теплотехники. КарМК. НИИ обогащ. и мех. обраб. полез. ископаемых Уралмеханобр. А. с. 954460, опубл.Б.И. – 1982. – № 32.
13. Ибраева О.Т., Торговец А.К., Ибраев И.К. Основные направления утилизации отходов флотации углей в металлургическом производстве: материалы Международной научно-практической конференции: «Качество образования: Менеджмент, кредитная система обучения, достижения, проблемы». – Экибастуз, 2006. – С. 272-275.
14. Тайц Е.М., Андреева И.А., Антонова Л.И. Окислованное топливо и адсорбенты на основе бурых углей. – М.: Недра, 1985. – С. 55.
15. Крохин В.Н. Брикетирование углей. – М.: Недра, 1984. – 224 с.
16. Панченко Н.И. и др. Обезвоживание флотоконцентрата прессованием // Кокс и химия. – 1989. – № 9. – С. 6.
17. Штем В.И. Способ изготовления топливных брикетов. А.с. 1818312 СССР, МКИ 5 С 10 L 5/12. № 4861598/04.
18. Ухмылова Г.С. Современное состояние и развитие процессов коксования уплотнительных шихт за рубежом // Обзор “Международная система научной и технической информации по черной металлургии”. – 1981. – Вып. 5. – С. 21-39.
19. Гриневиц И.А. и др. Связующее для получения угольных брикетов. А.с. 1114693 СССР МКИ 5 С 10 L 5/16. № 3478264/23-26.
20. Компануд-связующее на основе нефтяных и каменноугольных продуктов // Химия твердого топлива. – 1973. – № 5. – С. 117-120.
21. Юхименко А.В. Способ получения угольных брикетов. А.с. 696045 СССР, М. кл.2, С 10 L 5/16.
22. Рутковски М., Венцовска Я. Способ получения формованных изделий из угольных шламов. А.с.558934 ПНР. М. кл. 2 С 10 L 5/14. № 1621306/26.
23. Елишевич А.Т. и др. Способ переработки отходов обогащения угля. А. с. 1171510 СССР кл. С 10 L 5/48.
24. Соколова Е.М., Антонова Л.И. Получение и использование гранулированных отходов флотации углей // Кокс и химия. – 1988. – № 8. – С. 53.
25. Трофимова В.Г., Джакели Т.Н. и др. Возможность получения гранулированных углесодержащих материалов из отходов КХП. Харьковский политехнический институт. – Харьков, 1988. – 7 с.
26. Бережной А.И., Преображенский Б.П., Возный Г.Ф. Тампонажные составы, содержащие отходы обогащения // Нефтяная и газовая промышленность. – 1975. – № 2.
27. Белоножко А.М. Отходы коксхимического производства и пути их утилизации // Кокс и химия. – 1971. – № 9.
28. Демидов К.Н., Смирнов Л.А., Лопачова Н.И. и др. Использование брикетов и марганецсодержащих материалов при производстве стали в конвертерах: труды второго конгресса сталеплавателей. – М., 1994. – С. 83-86.
29. Айзатулов Р.С., Протопопов Е.В., Веревкин Г.И., Волынкина Е.П. Использование углеродсодержащих брикетов для конвертерной плавки: труды второго конгресса сталеплавателей. – М., 1994. – С. 86-88.
30. Николаев А.Л., Страхов В.М., Волынкина Е.П. и др. Использование сортового карбонизатора на основе антрацита и тощего угля в сталеплавильном производстве: труды второго конгресса сталеплавателей. – М., 1994. – С. 179-180.
31. Учитель Л.М. Энергетическая оценка различных технологий выплавки стали в конвертерах: труды второго конгресса сталеплавателей. – М., 1994. – С. 93-96.

УДК 62-9

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАБОТЫ ЕС-ДВИГАТЕЛЕЙ**Игошин В.А., Аминов Б.А.***Казанский государственный энергетический университет, Казань, e-mail: saile@yandex.ru*

В настоящее время при проектировании систем отопления, вентиляции и кондиционирования все больше внимания уделяется вопросам энергосбережения. Известно, что системы ОВК потребляют до 70% энергоресурсов в промышленных, больших коммерческих или общественных зданиях. Одним из новых направлений в данном вопросе является применение так называемых ЕС-двигателей. ЕС-двигатель имеет внешний ротор, в котором располагаются сегменты с постоянными магнитами. Следует отметить, что при работе ЕС-двигатель практически не выделяет тепла, в то время как АС-мотор имеет рабочую температуру +35...+75°C, что накладывает дополнительную тепловую нагрузку на контур охлаждения. Поскольку ротор ЕС-двигателя является внешним с постоянными магнитами, в нем отсутствуют тепловые потери, неизбежные в случае короткозамкнутого ротора асинхронного двигателя. Отсюда высокий КПД, достигающий 80–90%.

Ключевые слова: отопления, вентиляция, кондиционирования, ЕС-двигатель, энергосбережения.

COMPARATIVE ANALYSIS OF EC-MOTORS**Igoshin V.A., Aminov B.A.***Kazan State Power Engineering University, Kazan, e-mail: saile@yandex.ru*

Currently, in the design of heating, ventilation and air conditioning more and more attention is paid to energy conservation. We know that HVAC systems consume up to 70% of energy in industrial, large commercial or public buildings. One of the new directions in this regard is the use of so-called EC-motors. EC motor has an outer rotor in which the segments arranged with permanent magnets. It should be noted that when the EC-engine substantially does not emit heat, while the AC motor is at operating temperature +35 ... + 75 ° C, which imposes an additional thermal load on the cooling circuit. Since EU-rotor engine is an external permanent magnet, there are no heat losses that are inevitable in case of a short-circuited rotor induction motor. Hence, high efficiency, reaching 80-90%.

Keywords: heating, ventilation, air-conditioning, EC-motor, energy saving.

В настоящее время при проектировании систем отопления, вентиляции и кондиционирования все больше внимания уделяется вопросам энергосбережения.

Все чаще специалисты ориентируются на приобретение энергосберегающего оборудования. По сравнению с традиционным оно более дорогое, но полностью окупает себя в процессе эксплуатации. ЕС-двигатели, которым посвящена данная статья, позволяют уменьшить энергопотребление, при этом увеличить производительность оборудования и срок его бесперебойной работы.

В соответствии с Федеральным законом № 261 ФЗ от 03.11.2009 г. «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» рациональное использование энергетических ресурсов отнесено к проблемам государственной важности.

Известно, что системы ОВК потребляют до 70% энергоресурсов в промышленных, больших коммерческих или общественных зданиях. В связи с этим использование наиболее эффективных энергосберегающих средств и методов в данной области становится чрезвычайно актуальной зада-

чей. Одним из новых направлений в данном вопросе является применение так называемых ЕС-двигателей, о которых специалистам ОВК известно сравнительно мало. Тем не менее, ряд зарубежных, а в последнее время и отечественных поставщиков климатической техники рассматривают ЕС-двигатели как опции, доступные к практическому применению.

ЕС-двигатель имеет внешний ротор, в котором располагаются сегменты с постоянными магнитами. Управление вращением ротора ЕС-двигателя осуществляется за счет контролируемой подачи электроэнергии на обмотку статора в зависимости от положения ротора, которое отслеживается при помощи датчиков Холла, а также заданных параметров регулирования, поступающих, например, от внешних датчиков соответствующего типа в виде токовых (4–20 мА) или потенциальных (0–10 В) сигналов. При этом встроенный PID-регулятор позволяет, наряду с пропорциональным управлением, устанавливать скорость реагирования двигателя на изменение управляющего сигнала в зависимости от его дифференциальных и интегральных показателей. ЕС-двигатель в разрезе представлен на рис. 1.

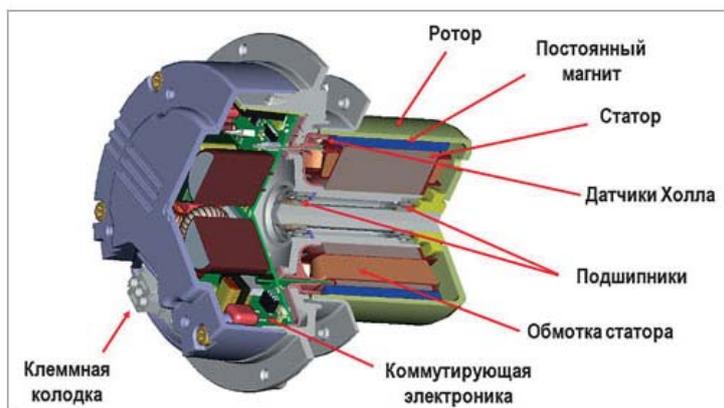


Рис. 1. Устройство энергосберегающего ЕС-двигателя

ЕС-двигатели возможно подключать к постоянному источнику напряжения согласно параметрам или через встроенный коммутационный модуль непосредственно к сети переменного тока (220 В, 380 В). С использованием стандартного приборного интерфейса RS 485 или специальной шины ebm BUS обеспечена возможность управления вентилятором (либо группой вентиляторов до 31 шт. в каждой) при помощи ПК или КПК. Количество групп вентиляторов в интегрированной системе управления может достигать 256. Возможно также использование технологии Bluetooth. Предусмотрена выдача тревожных и аварийных сигналов, а также обеспечение мониторинга работы системы.

Области применения ЕС-двигателей в системах ОВК еще только намечаются в последние годы. Тем не менее, в отдельных приложениях ЕС-двигатели уже завоевали твердые позиции, зарекомендовав себя в положительном отношении по ряду ключевых показателей. Ниже кратко описаны некоторые из успешно освоенных областей применения ЕС-двигателей.

Тепловые насосы систем «воздух – вода» и «воздух – воздух», оснащенные ЕС-двигателями, в качестве основного преимущества характеризуются синхронной работой вентиляторов, что не может быть обеспечено в полной мере при использовании асинхронных двигателей переменного тока (АС-двигателей). Кроме того, отсутствие проскальзывания магнитного поля в ЕС-двигателях, что имеет место в АС-двигателях независимо от способа управления ими, исключает потери энергии, свойственные данному неблагоприятному явлению. В целом энергопотребление и, соот-

ветственно, срок окупаемости тепловых насосов сокращаются вдвое.

Овощехранилища и грибные камеры, оснащенные ЕС-двигателями в составе программно-технического комплекса «Тургор АМ», характеризуются оптимальным регулированием числа оборотов и, соответственно, производительности вентиляторов до необходимого в данный момент значения. По данным опытной эксплуатации это осуществляется более эффективным образом по сравнению с ранее использовавшимися АС-двигателями, оснащенными частотным приводом и ПИД-регуляторами.

В овощехранилищах это способствует поддержанию сохранности и качества загружаемых овощей и корнеплодов на протяжении всего межсезонного периода. В грибных камерах достигается двукратное увеличение объема производства шампиньонов на тех же площадях. Срок окупаемости в обоих случаях не превышает одного года.

Циркуляторы воздуха (дестратификаторы), имеющие в своем составе ЕС-двигатели, возможно объединять в сеть с централизованным управлением. По данным фирмы Avedon Engineering, производимые ею дестратификаторы серии Airus, работающие децентрализованно в составе единой сети управления, позволяют экономить до 35% энергетических затрат по сравнению с обычными вентиляторными установками, используемыми для снижения температурного градиента по высоте помещения при наличии существенных теплоизбытков.

Фэнкойлы производства фирмы Трох, оснащенные ЕС-двигателями, характеризуются значением удельной потребляемой мощности (Specific Fan Power, SFP), посто-

янным во всем диапазоне производительности, равным 0,3, в сравнении со значением 0,8, типичным для оснащенных АС-двигателями фэнкойлов. Совместно с регулированием производительности в зависимости от реальной потребности это позволяет снизить среднегодовое потребление энергии с 620 до 140 кВт·ч.

Охлаждаемые прилавки, оснащение которых ЕС-двигателями впервые было инициировано фирмой Heatcraft Refrigeration Products (HRP), оказались настолько эффективными, что, например, в США энергетическая комиссия штата Калифорния (California Energy Commission, CEC) включила использование ЕС-двигателей в состав обязательных требований ко всем вновь разрабатываемым образцам холодильного оборудования.

Модулирующие газовые горелки, имеющие в своем составе вентиляторы с ЕС-двигателями для нагнетания воздуха, необходимого для горения, позволяют получить стабильное и сбалансированное пламя, что существенно улучшает условия эксплуатации котельной в целом и продлевает ресурс оборудования.

Прецизионные кондиционеры (Close Control в классификации EUROVENT) производства фирмы Tescap стали оснащаться ЕС-двигателями сравнительно недавно. Это решение связано, прежде всего, с необходимостью отвечать возросшим современным требованиям к энергоэффективности устанавливаемого оборудования. Вместе с тем и другие преимущества ЕС-технологии имеют высокую актуальность в данных областях применения, например, высокая точность регулирования, снижение шумности, увеличение надежности и срока службы.

Следует отметить, что при работе ЕС-двигатель практически не выделяет тепла, в то время как АС-мотор имеет рабочую температуру +35...+75°C, что накладывает дополнительную тепловую нагрузку на контур охлаждения. При этом ЕС-двигатели без дополнительного перегрева обеспечивают свою работоспособность в широком диапазоне температуры внешней среды. По данным EBM PAPST, температура разогрева работающего ЕС-двигателя на основании проведенного тестирования не превышает +45°C. Максимально и минимально допустимые температуры эксплуатации ЕС-двигателя составляют соответственно +75 и -20°C.

Особо важным для прецизионных кондиционеров медицинского назначения является то обстоятельство, что в соответствии с ГОСТ 52539-2006 в лечебных учреждениях помещения, относящиеся к группам 1 (высокоаэсептические операционные) и 2 (палаты интенсивной терапии), должны непрерывно обеспечиваться гарантированным подпором воздуха не менее 10–15 Па, но не более 20 Па. Указанные значения должны поддерживаться независимо от изменяющихся условий (открытие дверей, работа оборудования и т.д.).

Помещения, относящиеся к группе 5 (для инфицированных больных), наоборот, должны непрерывно обеспечиваться гарантированным разрежением. В первом случае это достигается превалированием притока над вытяжкой, а во втором – превалированием вытяжки над притоком, что обеспечивается регулированием расходов воздуха по показаниям внешних прессостатов, контролирующих перепад давления между помещениями.

Наиболее точное, безынерционное и эффективное регулирование расходов воздуха достигается использованием ЕС двигателей в качестве приводов вентиляторов, вследствие чего они рядом европейских стандартов (VDI3803, VDI2167 part 1, SWKI-Guideline 99-3) определены как комплектующий элемент кондиционеров медицинского назначения.

Аналогичное положение дел в соответствии с ГОСТ 14644-4-2002 является характерным для всех объектов прецизионного кондиционирования, имеющих в своем составе «чистые» помещения и связанные с ними контролируемые среды. Работа контроллеров в этих случаях осуществляется по показаниям не двух, как обычно, датчиков (термостат и гигросат), а трех датчиков, в число которых включается также прессостат. Последний работает в цепи управления ЕС-двигателями.

Сухие градирни и выносные воздушные конденсаторы компании Refrion оснащаются ЕС-вентиляторами нового поколения диаметром 800, 900 и 1 000 мм.

Технические показатели ЕС-вентиляторов:

- Улучшенные технические характеристики.

Новые ЕС-вентиляторы оснащены двигателями меньшего размера, но с улучшен-

ными техническими характеристиками, что позволило на 5% увеличить их мощность по сравнению со старой линейкой ЕС-вентиляторов.

- Низкие шумовые характеристики.

Вентиляторы не создают дополнительной шумовой нагрузки при регулировании скорости вращения. Уровень звукового давления уменьшается на 6 дБ по сравнению со старыми моделями.

- Безопасность.

Новые ЕС-вентиляторы выгодно отличаются дополнительной защитой от перегрева электроники и двигателей вентиляторов, а также защитой от блокировки ротора, потери фазы и резких скачков напряжения, обеспечивая бесперебойную работу как в неблагоприятных условиях окружающей среды, так и при сбоях электропитания.

- Высокий моторесурс.

Новые ЕС-вентиляторы в силу разгруженности подшипниковых узлов по осевым и радиальным усилиям, а также благодаря встроенной защите по электропитанию обладают высоким моторесурсом, составляющим более 80 000 часов.

- Возможность удаленного контроля.

Новые ЕС-вентиляторы можно коммутировать с Modbus, таким образом, упростив дистанционный контроль над эксплуатационными параметрами вентиляторов (благодаря шкафу управления Intelliboard с интегрированным PLC).

Компактность, низкое энергопотребление, плавное и точное регулирование, низкий уровень шума, отсутствие вибрации, согласованность с рабочим колесом по аэродинамике и мощности, а также ряд других излагаемых ниже особенностей ЕС-

двигателей являются причиной все более возрастающего интереса к ним.

Преимущество в габаритах обусловлено тем, что ЕС-двигатели, являясь более компактными по сравнению с АС-двигателями, полностью вписываются в габариты крыльчатки вентилятора, обеспечивая прямой привод, в то время как вентиляторы с АС-двигателями занимают значительно больше места, особенно в направлении потока воздуха, что означает необходимость наличия несколько увеличенных размеров ventкамеры. Размер выходного отверстия ЕС-вентилятора практически совпадает с поперечными размерами секции, в которой он размещается. Это приводит, с одной стороны, за счет предварительно выровненного потока воздуха к более эффективному использованию поверхности теплообменника, устанавливаемого за вентилятором, и улучшению съема с него тепла/холода, а с другой стороны, снижает скорость прохождения воздуха внутри секции вентилятора, уменьшает потери давления и шумность. Преимущества в сравнении с АС-двигателем, имеющим ременной привод, схематично показаны на рис. 2.

У ЕС-вентиляторов практически отсутствуют пиковые пусковые токовые нагрузки за счет того, что встроенный регулятор обеспечивает достаточно плавное нарастание амплитуды переменного тока от нуля до номинального значения. В то же время пусковой ток у АС-вентиляторов обычно в 5–7 раз превышает номинальный, что приводит к необходимости увеличения сечения электропроводки и параметров пускового оборудования, которые выбираются в расчете на значения пускового тока.

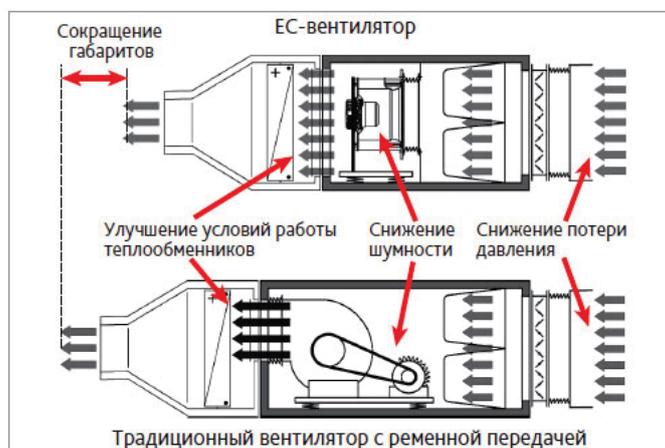


Рис. 2. Преимущества ЕС-вентилятора

Поскольку ротор ЕС-двигателя является внешним с постоянными магнитами, в нем отсутствуют тепловые потери, неизбежные в случае короткозамкнутого ротора асинхронного двигателя. Отсюда высокий КПД, достигающий 80–90%. На рис. 3 приводится сравнение КПД двигателей различного типа, среди которых ЕС-двигатель характеризуется рекордными значениями в широком диапазоне полезной мощности на выходе.

Наряду с высоким КПД, высокая степень энергосбережения при использовании ЕС-двигателей в системах ОВК достигается за счет регулирования числа оборотов. Известны следующие соотношения между числом оборотов (n_1, n_2), расходом (L_1, L_2),

потерей напора ($\Delta p_1, \Delta p_2$) и потребляемой мощностью (N_1, N_2):

$$L_1/L_2 = n_1/n_2; \quad \Delta p_1/\Delta p_2 = (L_1/L_2)^2 = (n_1/n_2)^2;$$

$$N_1/N_2 = (\Delta p_1 L_1)/(\Delta p_2 L_2) = (n_1/n_2)^3.$$

В силу кубической зависимости потребляемой мощности от числа оборотов их плавное и глубокое регулирование, обеспечиваемое ЕС-двигателями без преобразования частоты питающего напряжения, дает соответствующий значительный эффект в части снижения суммарных значений потребляемой мощности, иллюстрируемое на рис. 4 путем сравнения ЕС-двигателей с АС двигателями, использующими фазовое, амплитудное и частотное регулирование.

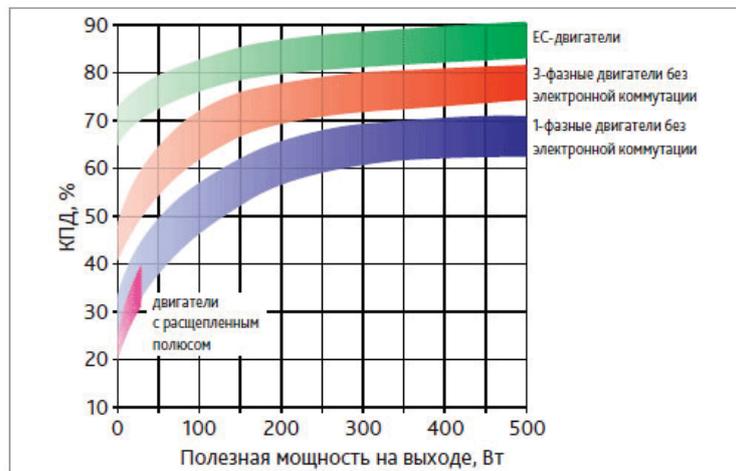


Рис. 3. Сравнение КПД двигателей различного типа

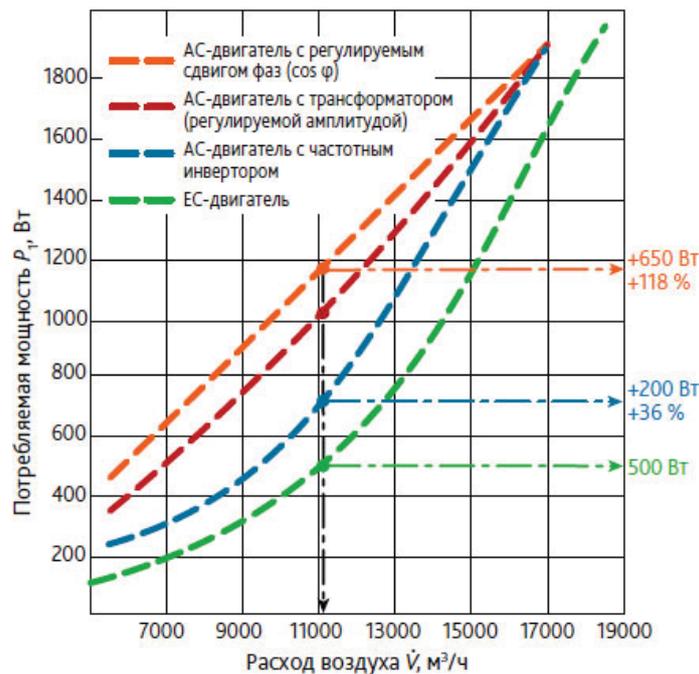


Рис. 4. Соотношение расхода и потребляемой мощности вентиляторов различного типа

С эксплуатационной точки зрения преимущества ЕС-двигателей обусловлены тем, что вращающиеся части исполнены как один динамически и статически сбалансированный компонент, общий вес которого равномерно распределен на оба опорных подшипника, что значительно влияет на срок службы изделия. Сопутствующим этому обстоятельством является также минимальная вибрация и шум при работе ЕС-двигателя.

Итак, сведем воедино основные аргументы в пользу ЕС:

- высокий КПД;
- высокая точность регулирования в соответствии с имеющимися условиями;
- адаптивность в соответствии с изменением внутренних климатических параметров;

- малые пусковые токи;
- режим работы с низким уровнем шума и минимальной вибрацией, длительный срок службы, не нуждается в обслуживании.

На рис. 5 представлены по данным фирмы Tescnair значения потребляемой мощности ЕС-двигателями, опционально поставляемыми в составе прецизионных кондиционеров (Computer Room Air Conditioners, CRAC) холодопроизводительностью 35, 42, 60, 70 и 75 кВт в сравнении со стандартно используемыми асинхронными двигателями переменного тока (АС-двигателями).

Аналогичное сравнение представлено на рис. 6 в отношении поставляемых фирмой Tescnair прецизионных кондиционеров CCU (CloseControlUnits), комплектуемых АС-двигателями с частотным регулированием.

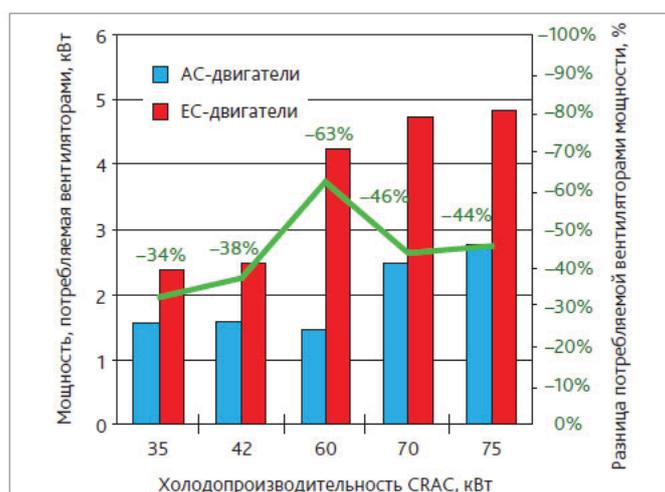


Рис. 5. Сравнительная оценка потребляемой мощности ЕС- и АС-двигателями, используемые в составе CRAC

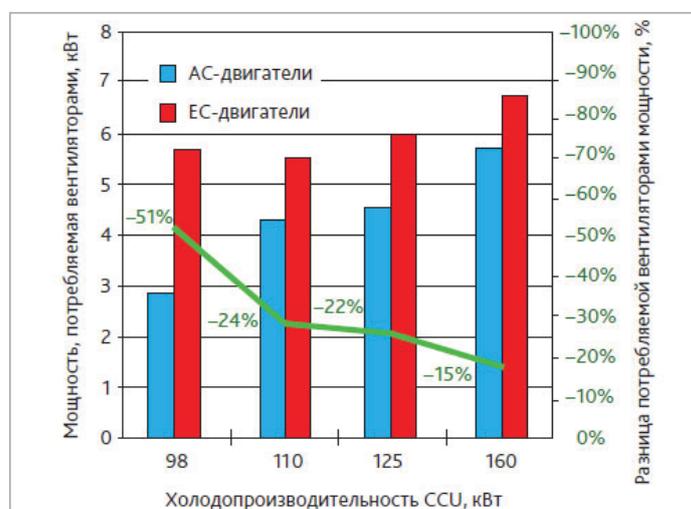


Рис. 6. Сравнительный анализ потребляемой мощности ЕС- и АС-двигателями, используемые в составе CCU (CloseControlUnit)

Очевидно, что при дополнительной стоимости ЕС- двигателя 100–200 долларов, капитальные затраты окупаются очень быстро.

Принцип PID-регулятора

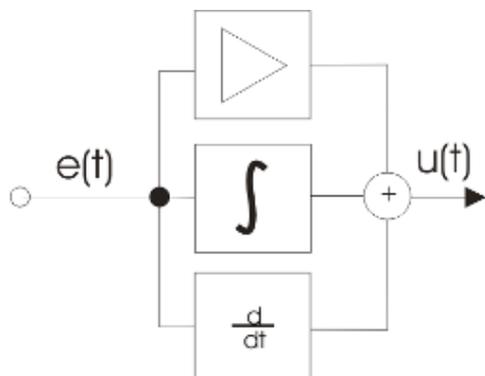


Рис. 7. Схема, иллюстрирующая принцип работы ПИД-регулятора

Пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД) регулятор (рис. 7-8) – устройство в цепи обратной связи, используемое в системах автоматического управления для поддержания заданного значения измеряемого параметра. ПИД-регулятор измеряет отклонение стабилизируемой величины от заданного значения (установки) и

выдаёт управляющий сигнал, являющийся суммой трёх слагаемых, первое из которых пропорционально этому отклонению, второе пропорционально интегралу отклонения и третье пропорционально производной отклонения (или, что то же самое, производной измеряемой величины). Если какие-то из составляющих не используются, то регулятор называют пропорционально-интегральным, пропорционально-дифференциальным, пропорциональным.

Пропорциональная составляющая – Пропорциональная составляющая устраняет непосредственно ошибку в значении стабилизируемой величины, наблюдаемую в данный момент времени. Выходной сигнал пропорциональной составляющей тем больше, чем сильнее регулируемая величина отклоняется от установки. Если входной сигнал равен установке, то выходной равен нулю. При использовании пропорционального регулятора значение регулируемой величины никогда не стабилизируется на заданном значении. Существует, так называемая, статическая ошибка, которая равна такому отклонению регулируемой величины, которое обеспечивает выходной сигнал, стабилизирующий выходную величину именно на этом значении.

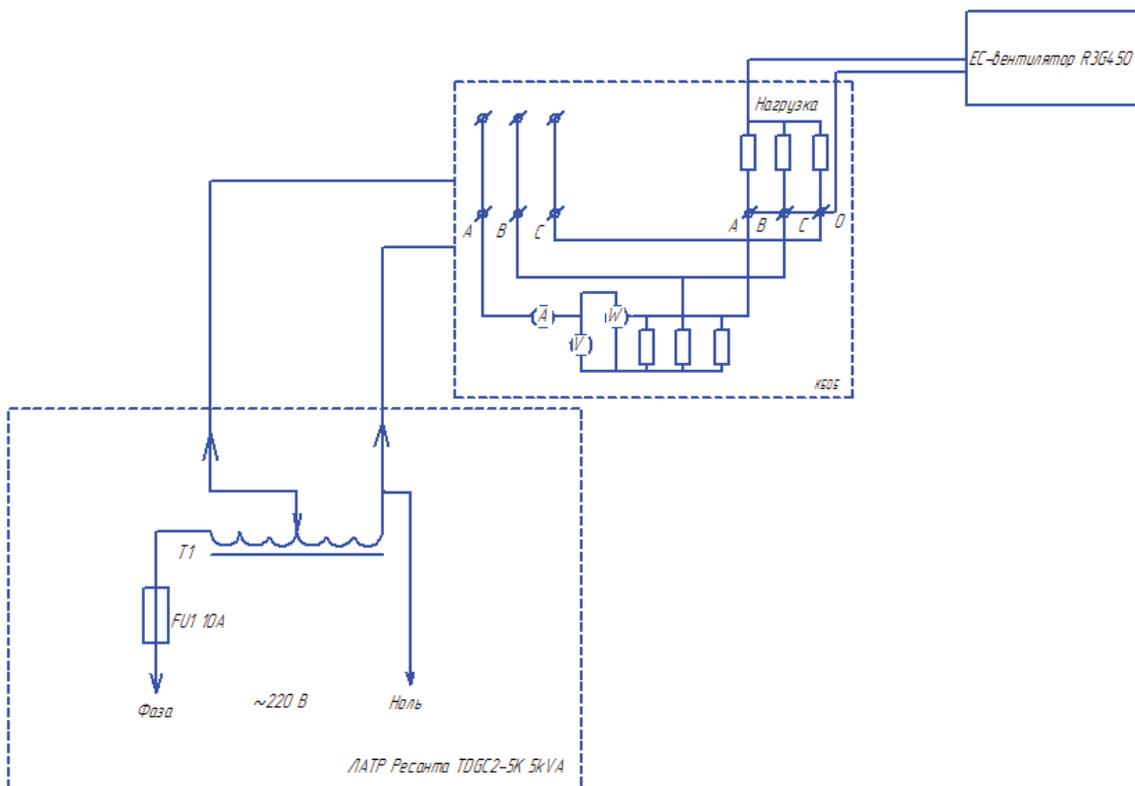


Рис. 8. Схема экспериментальной установки

Интегральная составляющая – Для устранения статической ошибки используют интегральную составляющую. Она позволяет регулятору «учиться» на предыдущем опыте. Если система не испытывает внешних возмущений, то через некоторое время регулируемая величина стабилизируется на заданном значении, сигнал пропорциональной составляющей будет равен нулю, а выходной сигнал будет полностью обеспечивать интегральная составляющая.

Дифференциальная составляющая – Дифференциальная составляющая противодействует предполагаемым отклонениям регулируемой величины, которые могут произойти в будущем. Эти отклонения могут быть вызваны внешними возмущениями или запаздыванием воздействия регулятора на систему. Чем быстрее регулируемая величина отклоняется от установки, тем сильнее противодействие, создаваемое дифференциальной составляющей.

Заключение

Проведя соответствующие замеры было получено, что ЕС-двигатель работает в пределах от -22% от $U_{ном}$ до +22% от $U_{ном}$ (от 180 до 270 Вольт).

Была получена зависимость скорость вращения от создаваемого давления $V=16,5 \times \exp(0,0025777 \times P)$.

Получены экспериментальным путем зависимости напряжения (в рабочих пределах 22%) от потребляемой мощности, тока и скорости вращения.

По полученным данным вычислено значение коэффициента активной мощности ($\cos\phi$).

Получены экспериментальные данные влияния PID фактора на работу ЕС-двигателя. Причем, температура в двигателе не меняется в пределах 33°C на 300 оборотах. Максимальное значение тока получено на скорости вращения 1380 об/мин и составило 47°C (рис. 9-11).

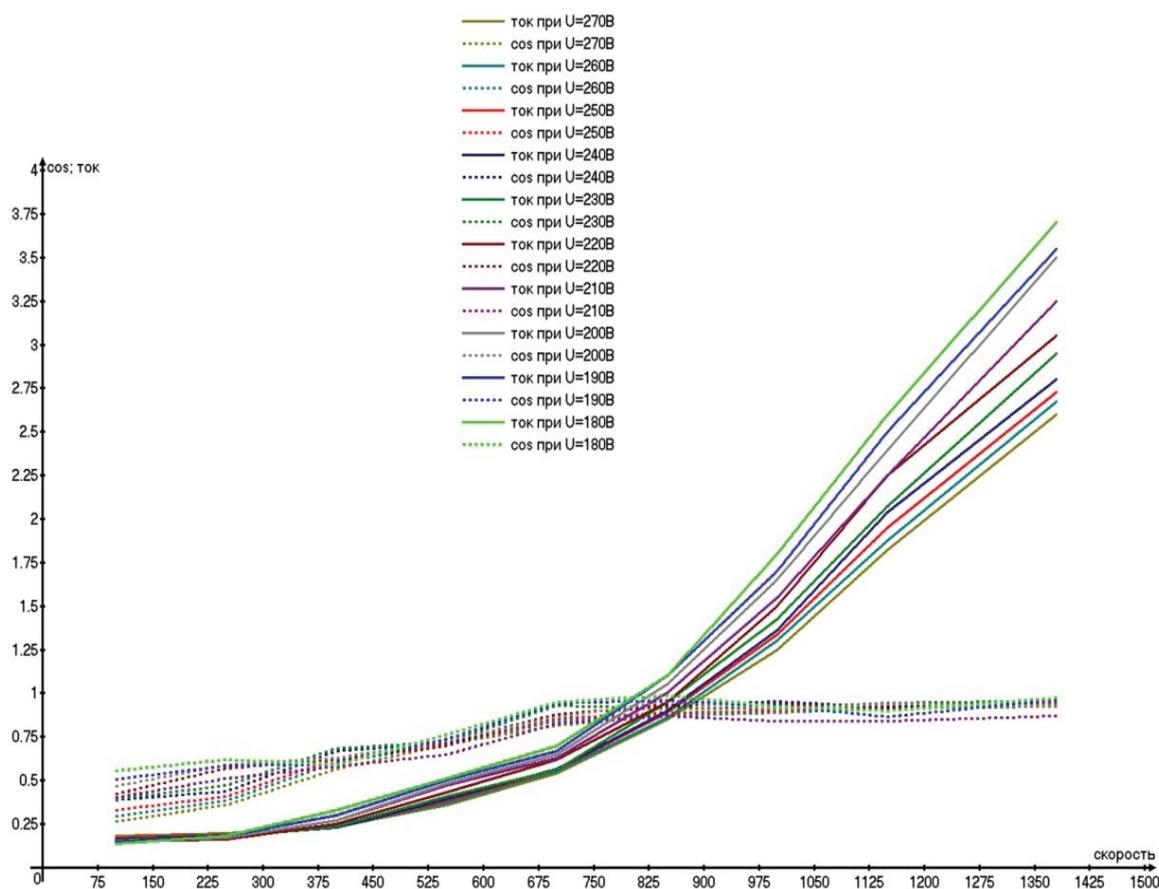


Рис. 9. Зависимость тока и коэффициента активной мощности от скорости вращения при изменении напряжения

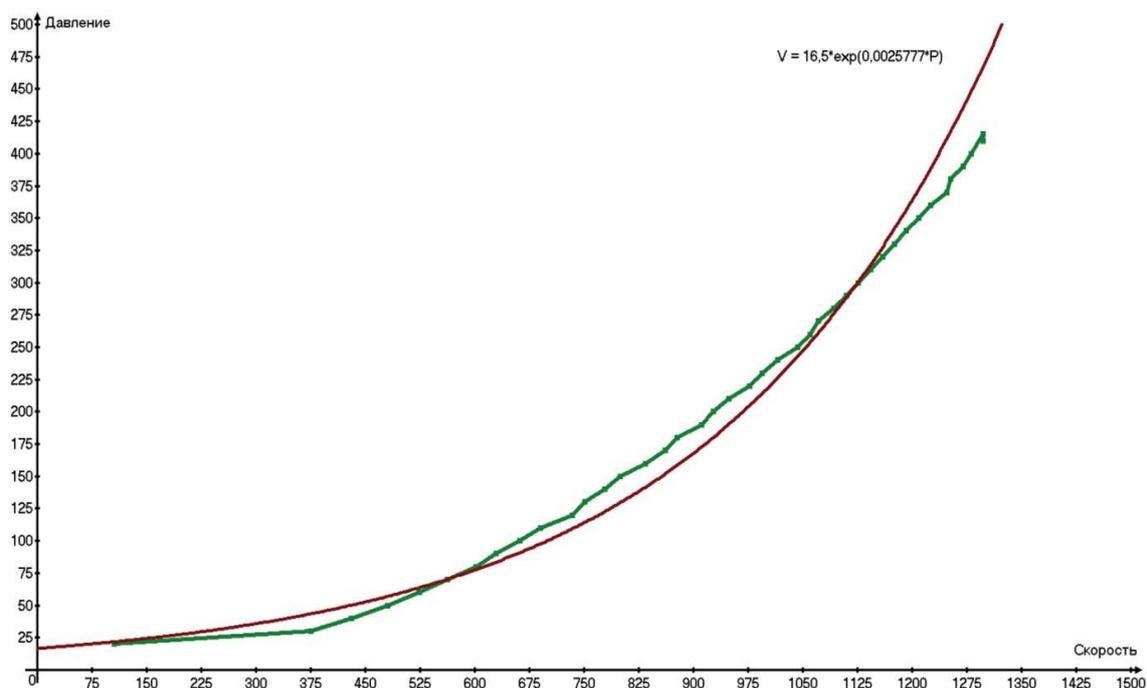


Рис. 10. Зависимость скорости вращения от создаваемого вентилятором давления

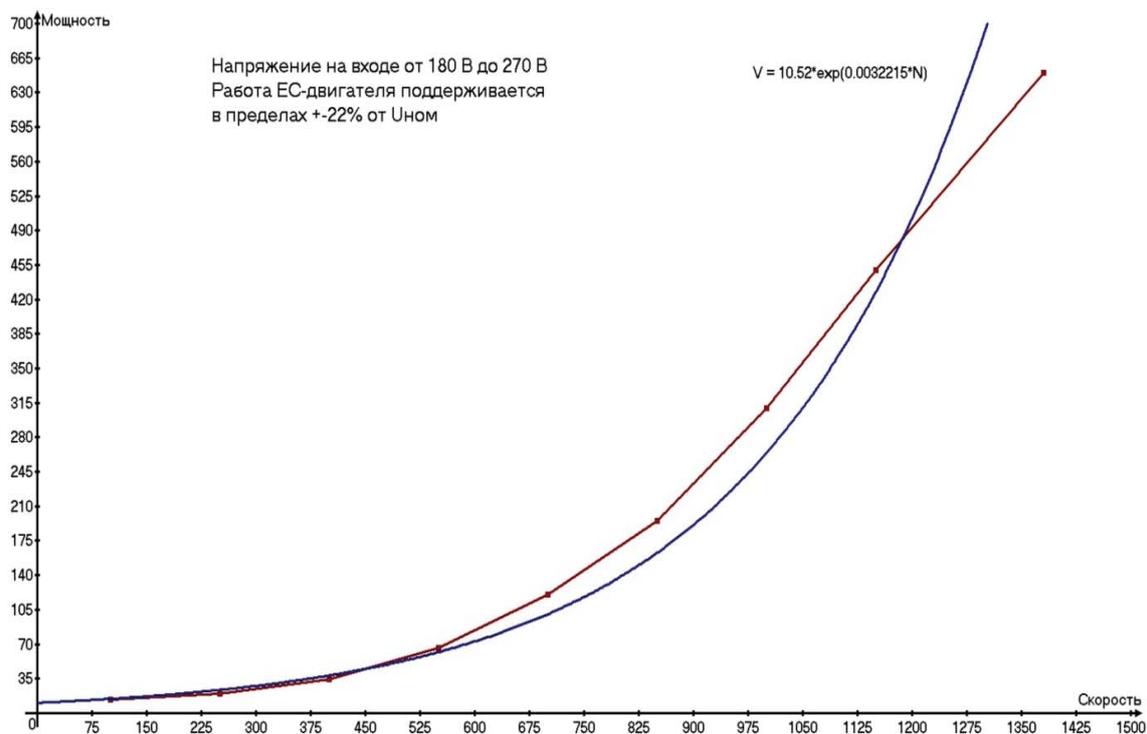


Рис. 11. Зависимость скорости вращения от потребляемой мощности

Срок окупаемости ЕС-двигателя составляет 2,3 года. Стоимость энергосберегающего двигателя на 20780 руб. больше стоимости обычных АС-двигателей.

УДК 621.382

ВЛИЯНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ РАЗЛИЧНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СЛОЕВ НА ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДИОДОВ ШОТТКИ НА ОСНОВЕ КРЕМНИЯ

Пашаев И.Г.

Сумгаитский государственный университет, Сумгаит, e-mail: islampashayev@rambler.ru

В данной работе изучено влияние кристаллической структуры и размеров различных металлических контактов на электрофизические свойства кремниевых диодов Шоттки. Приведены результаты авторов данной работы и других авторов по изменению свойств кремниевых диодов Шоттки в зависимости от выбранного металлического состава – никель-титан, свинец-сурьма, алюминий-никель и других в качестве металлического контакта. Показано, что кристаллическая структура этих пленок имеет при этом большое значение. При рентген анализе исследуемых контактных материалов – Ni-Ti; Pb-Sb; Al-Ni, ... установлено, что основные металлические сплавы при определенной пропорции компонентов системы имеют аморфную структуру, а остальные металлические пленки – поликристаллическую. Показано, что термоотжиг влияет на ход процесса кристаллизации. Определены основные параметры и характеристики исследуемых кремниевых диодов Шоттки в зависимости от состава, размеров и кристаллической структуры исследуемых пленок. Исследованы вольт-ампер характеристики некоторых составов при малых прямых напряжениях. Определены деградации свойства этих составов. Выявлены причины появления избыточного тока и других эффектов вблизи температуры кристаллизации. Для основных металлических составов определены также высота потенциального барьера и коэффициент не идеальности при переходе из аморфного состояния в поликристаллическое.

Ключевые слова: состав и структура, аморфные металлы, диоды Шоттки, пленка сплава, полупроводники, деградации, избыточный ток.

EFFECT OF MICROSTRUCTURE OF DIFFERENT METAL LAYERS ON THE ELECTRICAL PROPERTIES OF SCHOTTKY DIODES BASED ON SILICON

Pashaev I.G.

The Sumqait State University, Sumqait, e-mail: islampashayev@rambler.ru

In the given activity influence of crystal structure and the sizes of various metal contact pieces on electrophysical properties of silicon diodes Shottki is studied. Results of authors of the given activity and other authors on change of properties of silicon diodes Shottki depending on the chosen metal structure – nickel-the titan, lead-antimony, aluminium-nickel and others as metal contact piece are resulted. It is shown that the crystal structure of these films has thus great value. At a roentgen the analysis of investigated contact materials – Ni-Ti; Pb-Sb; Al-Ni, ... it is established that the main metal alloys at a certain proportion of components of system have amorphous structure, and other metal films – polycrystalline. It is shown that the thermoannealing influences a course of process of crystallisation. Critical parametres and characteristics of investigated silicon diodes Shottki depending on structure, the sizes and crystal structure of investigated films are determined. Are investigated volt – of amperes of the characteristic of some structures at small direct pressure. Degradations of property of these structures are determined. The reasons of occurrence of a superfluous current and other effects near to crystallisation temperature are found out. For the main metal structures the altitude of a potential barrier and factor not idealities are determined also at transition from an amorphous condition in the polycrystalline.

Keywords: structure and structure, amorphous metals, diodes Shottki, an alloy film, semiconductors, degradations, a superfluous current.

В последние годы было издано большое количество монографий, обзоров и статей обобщающих теоретические и экспериментальные исследования по указанному направлению. Это в первую очередь монографии С.М. Зи, Э. Родерика, А.В. Ржанова, В.Г. Литовченко, В.И. Стриха, обзоры Ш.Г. Аскерова, Н.Л. Дмитрука, А.П. Вяткина, В.Г. Божкова, В.М. Вальд-Перлова, Ю.А. Гольдберга, В.И. Белого, и многих других исследователей, внесших огромный вклад в развитие теории, физики и технологии контактов металл-полупроводник и МОП структур. Настоятельной потребностью современной полупроводниковой техники

остается увеличение надежности и улучшение качества электронных приборов, в том числе приборов на основе барьера Шоттки. В литературе, посвященной физике и технологии контакта металл – полупроводник изучена лишь роль полупроводника в происходящих процессах, ролью металла в большинстве случаев пренебрегали. Роль металлов и его кристаллической структуры в процессах либо не рассмотрена, либо плохо изучена. Чтобы идентифицировать роль металла, были изучены свойства ДШ в зависимости от структуры и области контакта металлов [1-3.10.11-14.19.23.27]. Доказано, что главные параметры ДШ, такие как плот-

ность потока насыщенности, высота барьера, напряжение пробоя, коэффициент неидеальности зависят от размера области контакта и металлической толщины пленки. Экспериментальные результаты были объяснены неоднородной моделью контакта. Согласно этой модели изучен контакт всех параллельно соединенных элементов с различными высотами барьера и другими параметрами [2.6.12.21-27]. Для неоднородной модели предложена геометрическая модель расстройства ДШ. Изучено влияние микроструктуры металла на омическое поведение контакта. Для улучшения качества ДШ предлагается использовать аморфные пленки металлов [1-4.12.25-27]. Доказано, что у ДШ, произведенных с аморфными пленками металлов, больше надежности для параметров термостабильности. Это важно для электроники высоких температур. В последние годы XX столетия внимание физиков и материаловедов привлечено к таким конденсированным средам, для которых характерно неупорядоченное расположение атомов в пространстве. Открытие аморфных металлов внесло большой вклад в науку о металлах, существенно изменив наши представления о них [5.7.9.12.15-24]. Оказалось, что аморфные металлы значительно отличаются по своим свойствам от металлических кристаллов, для которых характерно упорядоченное расположение атомов. Известно, что аморфные пленки металлов хорошо выполняют функции диффузионных барьеров в микроэлектронных структурах [1.5.12.16-23], и позволяют изготавливать ДШ с высоким потенциальным барьером (до 1 эВ), что представляет интерес для солнечной энергетики [1. 223].

Перспективность применения металлических стёкол в технике хорошо известна благодаря ряду уникальных физико-химических свойств: высокой прочности и пластичности, высокой коррозионной стойкости и магнитной проницаемости, термической стабильности, стабильности механических и электрических параметров и многим другим. К сожалению, потенциальные возможности аморфных металлических сплавов не раскрыты для нужд микроэлектроники.

С освоением технологии сверхбольших ИС, не только растут степень интеграции и надёжность, но и с уменьшением размеров элементов сокращается время прохождения сигнала, в результате чего увеличивается быстродействие микросхем.

С другой стороны, освоение субмикронных размеров порождает новые проблемы, среди которых важное место занимает “эффект близости” контактирующих материалов, возрастает роль диффузионных процессов, приводящих к ухудшению надёжности и качества электронных приборов [15.16].

В таких условиях традиционные материалы металлизации Al, Au не удовлетворяют требованиям надёжности и качества. Взаимная диффузия атомов контактирующих материалов приводит к выходу из строя отдельных элементов микросхем, или всего кристалла в целом. В работе [16] показано, что все причины, вызывающие деградацию СБИС в конечном счёте связаны с диффузионными процессами, возникающими в объёме или на ГР КМП.

В этом отношении аморфные металлы являются многообещающими по следующим причинам в отличие от поликристаллов в аморфных материалах отсутствует зернистая структура и границ зерен в аморфных пленках должна формироваться более однородная граница раздела (ГР), и, как результат этого, ДШ должен обладать свойствами, близкими к идеальным.

Известно, что размеры, геометрическое расположение и локальные свойства зёрен поликристаллических металлов неодинаковы. Отсутствие зернистой структуры делает поверхность аморфного вещества (и соответственно, ГР в контакте с другими твёрдыми телами) однородной, гомогенной, что очень важно для изготовления надёжных и качественных элементов микросхем с идентичными параметрами. Так как в аморфных материалах отсутствует зернистая структура, то нет границ зёрен, которые являются основными транспортными путями для диффузионных процессов. В результате этого в аморфных металлических плёнках почти не протекают диффузионные процессы, которые деградируют приборы, снижают их качество и надёжность. По этой причине аморфные металлические плёнки хорошо исполняют роль диффузионных барьеров в интегральных микроструктурах с многоуровневой металлизацией. По этой же причине аморфные металлы являются перспективным материалом для высокотемпературной электроники [22]. До 70-х годов XX века ДШ с деградированной характеристикой не изучались по той простой причине, что такие диоды с точки зрения практики не представляли интереса. Считалось,

что появление таких диодов среди нормальных является результатом влияния случайных локальных дефектов, или же, говоря другими словами, является следствием технологии изготовления. В настоящее время свойства ДШ с деградированной характеристикой интенсивно изучаются в связи с настоятельным требованием увеличения надежности, качества и процента годных приборов [15.116.25-27]. С другой стороны предполагается, что деградированные участки ВАХ содержат ценную информацию, необходимую для установления истинной природы процессов, протекающих на границе раздела ГР и механизма токопереноса в контакт металл-полупроводник КМП [16.22.25-27].

Необходимо также отметить, что основным преимуществом аморфных металлов перед монокристаллическими является их радиационная устойчивость. Другие преимущества аморфных металлов по сравнению с монокристаллическими показаны в [16].

В работе [22] исследовались аморфные плёнки $Ni_{0.55}Nb_{0.45}$, $Ni_{0.55}Mo_{0.45}$, $Mo_{0.6}Si_{0.4}$, $W_{0.9}Si_{0.1}$. Толщина плёнок около 1 мкм, удельное сопротивление в пять раз выше, чем для кристаллических сплавов того же состава. Однако поверхностное сопротивление порядка 1 Ом, т.е. вполне приемлемо для технического использования.

У аморфных плёнок $Ni_{0.55}Nb_{0.45}$, $Ni_{0.55}Mo_{0.45}$, $Mo_{0.6}Si_{0.4}$ температуры перехода в кристаллическое состояние, т.к. оказались достаточно низкими (около 773-798 К) и только у W-Si -973 К.

Для изучения диффузии в аморфную плёнку вводилось золото ионным имплантированием, после чего плёнку аморфного сплава W-Si отжигали в течение 35 ч при 723К. Коэффициент диффузии золота D при 723К равнялся $8 \times 10^{-19} \text{ см}^2/\text{с}$. Отметим что если $D = 10^{-16} \text{ см}^2/\text{с}$, то требуется 300 лет, чтобы атомы золота прошли на глубину 1 мкм.

В [22] также предлагается в качестве контактных площадок использовать аморфные слои Ni Nb, Ni Mo, Mo Si.

В работе [23] в качестве тонкоплёночного диффузионного барьера предлагается аморфный сплав $(TiN)_{0.88}Sm_{0.12}$. Экспериментальные данные показывают, что большой успех ожидается при применении в качестве барьерного слоя аморфных сплавов W-N. Лучшие из этих сплавов в аморфном состоянии непроницаемы для диффузии даже при температурах выше 1073К в те-

чение 30 мин [16]. С изменением температуры и состава пленки металла происходит структурное изменение металлических сплавов, в связи с этим изменяются и параметры ДШ [1,5.9].

В работе получено Ni_xTi_{100-x} -nSi ДШ и изучено влияние изменения составов и структур пленок металла на электрофизические свойства Ni_xTi_{100-x} -nSi ДШ. Наблюдается избыточный ток $\alpha NiTi$ -nSi в ДШ вблизи температуры кристаллизации аморфного металлического сплава. В некоторых случаях под действием различных факторов при низких прямых напряжениях в ДШ появляется избыточный ток, т.к. ВАХ деградирует [2.10]. В [33.36] показано, что для $\alpha NiTi$ -nSi в ДШ избыточный ток появляется при температуре около 673К, как показано (рис. 1). С изменением температуры происходят структурные изменения [8-10] в аморфных металлических плёнках, при малых прямых напряжениях появляются деградации ВАХ.

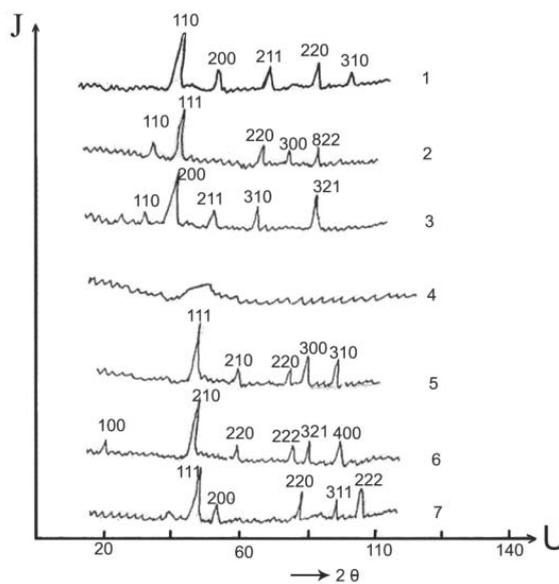


Рис. 1. Рентгенограммы пленок металла Ni_xTi_{100-x} (где $x=0-1, 10-2, 25-3, 35-4, 58-5, 87-6, 100-7$)

Представляет интерес также исследование деградационных (избыточные токи) свойств под действием термоотжига. По сравнению с аморфным полупроводником потенциальные возможности аморфных металлов для нужд микроэлектроники полностью ещё не раскрыты. Однако, можно ожидать, что в будущем в этой области науки и техники произойдут изменения, и плёнки этих материалов, наряду со стандартным назначением, найдут широкое применение в производстве электронных приборов [16].

Уже первые научные сообщения показывают, что аморфные плёнки металлов позволяют изготовить надежные, качественные, термостабильные активные элементы микросхем. Электрофизические свойства контакта кремния с плёнками различных аморфных сплавов изучены в работах [1.3.17-19]. Подобные исследования в случае контакта GaAs с аморфными металлическими материалами проводились в [20.21.24].

Исследование контактных свойств аморфных металлов с моно-кристаллическими полупроводниками кроме прикладного значения представляет ещё и научный интерес для проверки выводов физической теории, описывающей контактные явления, поскольку такая ГР должна отличаться повышенной гомогенностью и отсутствием дефектов на ГР.

В работе [17] молибден-никелевая система была выбрана для изучения по следующим причинам: во-первых, Mo и Ni соблюдают правила структурных различий для образования аморфной фазы; Mo – Ni плёнки являются фактически аморфными в широком интервале вариации состава: от 20 до 70 атомного процента Mo; во-вторых, эти аморфные плёнки термически стабильны. На образцах, напыленных на кремний, после часового отжига при 798K и ниже поликристаллическая фаза не наблюдалась; и в-третьих, Mo, Ni и силициды использова-

лись как контакты на кремний или как межсоединения, их электрические характеристики сравнивались с аморфными контактами Mo – Ni.

Для измерения высот барьеров изготовлены круглые диоды Шоттки двух диаметров ($d = 0,5$ и $1,0$ мм) на p-Si с удельным сопротивлением 1-3 Ом см и n-Si (100) с удельным сопротивлением 2-4 Ом см, также методов “lift-off” Mo – Ni плёнки, предназначенные для измерения ϕ_c и Φ_v , были получены одновременно реактивным распылением из сложной мишени. По следующим одинаковым процедурам были изготовлены три комплекта образцов с различным процентным составом Mo и Ni.

Составы трёх слоёв были определены методом спектрометрии обратного рассеяния, их аморфная структура была установлена по дифракции рентгеновских лучей.

Высота барьера контакта аморфного сплава $\alpha(\text{Mo} - \text{Ni})/\text{Si}$ была определена обычным методом ВАХ. Были измерены прямые и обратные ВАХ образцов на подложках n-типа.

В таблице 1 представлены средние значения высоты барьера наряду со средними значениями фактора неидеальности, который вычислен из прямого направления. Для образцов на p-типе кремния высоты барьеров определялись только по обратным ветвям ВАХ. Результирующая $\Phi_{\text{вр}}$ также показана в таблице 1.

Таблица 1

Средние значения высоты барьера и фактора неидеальности свеженапыленных и отожженных диодов Шоттки

Образцы	Свеженапыленные				После отжига (500°C, 1/2 ч)			
	$\Phi_{\text{вр}}$	$\Phi_{\text{вн}}$	n	$\Phi_{\text{вр}} + \Phi_{\text{вн}}$	$\Phi_{\text{вр}}$	$\Phi_{\text{вн}}$	n	$\Phi_{\text{вр}} + \Phi_{\text{вн}}$
Mo ₃₀ Ni ₇₀	0.47	0.63	1.01	1.1±0.02	0.44	0.63	1.01	1.07±0.02
Mo ₅₄ Ni ₄₆	0.42	0.68	1.01	1.1±0.02	0.42	0.63	1.01	1.05±0.02
Mo ₅₈ Ni ₄₂	0.42	0.68	1.01	1.1±0.02	0.42	0.64	1.1	1.06±0.02
Ni		0.59+0.66						
Mo		0.55+0.59						
Ni ₂ Si		0.71						
Ni Si		0.66						
Ni Si ₂		0.64						
Mo Si ₂		0.55						

Высота барьера, свеженанесённых аморфных образцов Mo – Ni, вполне приемлема, так как удовлетворяется соотношение

$$\Phi_{вр} + \Phi_{вн} = E_g(\text{Si}) = 1.12 \text{ В}$$

в рамках точности эксперимента. Значения коэффициента неидеальности ($n \approx 1,01$) говорят о хорошем диодном поведении контактов. Для определения их термостабильности была измерена высота барьера тех же комплектов образцов после вакуумного отжига при 773К в течение получаса. Вновь измеренные значения также показаны в таблице 1. В основном изменение наблюдается для каждого состава в отдельности для р-или п-типа барьера, и сумма $\Phi_{вр} + \Phi_{вн}$ уменьшается на 0,03-0,05 В. Понижение высот барьера приписывается во-первых, периферийному источнику неоднородности ГР металл-полупроводник после термоотжига, и, во-вторых, увеличению эффективной контактной площади вследствие нерегулярной морфологии ГР. После отжига высоты барьеров сходятся к общему значению (0,04 и 0,60 эВ) без учёта слоя смести. Этот результат предполагает образование общего пограничного слоя. Спектр, полученный в спектроскопе обратного рассеяния, в самом деле, показывает реакцию на пограничный слой во всех образцах. Как видно из таблицы 1,2 Mo – Ni плёнки остаются аморфными после отжига при 773 К.

В работе [18] были получены и изучены контакты аморфного сплава FeW с р- и п-типами кремния. ДШ были изготовлены методом магнетронного распыления с вращающейся подложкой и сложной мишенью. Аморфная структура Fe-W подтверждена анализом рентгеновских лучей. Состав устанавливается спектрометрией обратного рассеяния – $\text{Fe}_{0,45}\text{W}_{0,55}$. Электрическое удельное сопротивление аморфного слоя

было порядка $\rho \sim 100$ мкОм·см. Для определения высоты барьера в качестве подложки была использована кремниевая пластинка с удельным сопротивлением 1-10 Ом см. Круглые диоды трёх диаметров ($d=0,4; 0,9; 2,4$ мм) были изготовлены по технологии “lift-off”. В этом случае контакт образовывался плёнкой FeW толщиной 3000Å. Высота барьера определялась по ВАХ и методу Норди: $\Phi_{вн}=0,61$ эВ для $\alpha(\text{Fe-W})/\text{n-Si}$ ДШ. $\Phi_{вр}=0,51$ эВ для $\alpha(\text{Fe-W})/\text{p-Si}$ ДШ. Коэффициент неидеальности $n=1,08$. Удельное контактное сопротивление $\alpha(\text{Fe-W})/\text{n-Si}$ ДШ $\rho_c=0,1$ мкОм·см и $\alpha(\text{Fe-W})/\text{p-Si}$ ДШ $\rho_c=2,8$ мкОм см. Изучалась также термостабильность образцов. Получено, что удельное контактное сопротивление остаётся постоянным после термоотжига до 500° в течение 30 минут. Высота барьера увеличивалась от 0,61 до 0,65эВ для $\alpha(\text{Fe-W})/\text{n-Si}$ ДШ, отожжённых при 300°С в течение 30 минут. После отжига при 400° в течение 30 минут коэффициент неидеальности и обратный ток росли. Предполагается, что деградация происходит за счёт металлургического взаимодействия между аморфными слоями (Fe-W) и Si, т.е. при температурах выше 650°С начинают формироваться силициды, а также возможна диффузия железа.

Параметры изученных контактных структур в различных технологических условиях представлены в таблице 2 [18].

В работе [19] разработана технология получения тонких металлических аморфных плёнок, и изучены физико-химические и структурные свойства при различных температурных условиях. В частности исследовано влияние высокотемпературного отжига на структуры Au-аморфный сплав-Si или GaAs. В качестве аморфного сплава использовали сплавы на основе $\text{Ni}_{0,47}\text{Nb}_{0,53}$, $\text{Ir}_{0,58}\text{Ta}_{0,42}$.

Таблица 2

Экспериментальные значения удельного сопротивления ρ_c и высоты барьера $\Phi_{вн}$ для Fe-W контактов на Si

Термообработка	Удельное контактное сопротивление		Высота барьера	$\Phi_{вн}$ эВ
	$\alpha(\text{Fe-W})$ на $\text{n}^+\text{-Si}$ $N_D=10^{20}$ аТ/см ³	$\alpha(\text{Fe-W})$ на $\text{p}^+\text{-Si}$ $N_A=10^{20}$ аТ/см ³		
Свежеизготовленные диоды	0,10 ± 0,05	1,8 ± 0,8	$\alpha(\text{Fe-W})/\text{n-Si}$ Fe/n-Si	W/n-Si
Отжиг при 400°С 30 мин	0,20 ± 0,10	1,1 ± 0,3		
Отжиг при 500°С 30 мин	0,10 ± 0,05	1,1 ± 0,3		

Аморфные сплавы получены методом катодного распыления в триодной установке. Плёнка осаждалась со скоростью 10 нм/мин до толщины слоя 500 нм. Использовались подложки из стекла, меди, кремния и арсенида галлия, температура подложек не поднималась выше 300 К в течение осаждения. Кристаллическая природа осадка была оценена с использованием стандартной техники угловой дифракции рентгеновских лучей. Структуры на основе аморфного сплава NiNb были нестабильны при высоких температурах. При нагреве больше 400 °С наблюдалась сильная диффузия Au сквозь аморфный слой толщиной 500 нм, встречная диффузия атомов полупроводника, химическое взаимодействие Ni с подложкой.

Для создания структур, способных работать при температурах, выше 500 °С был выбран сплав $\text{Ir}_{0,58}\text{Ta}_{0,42}$. После отжига при температуре 700 °С в течение 24 часов практически не наблюдается диффузия Au сквозь аморфный слой толщиной 200 нм. Есть только незначительная встречная диффузия атомов подложки. Полученные аморфные плёнки были применены для изготовления ДШ [18]. Исследованы четыре системы, сконструированные с использованием аморфных плёнок Ni Nb и Ta Ir на кремнии и арсениде галлия. Высота барьера была определена из прямой ветви ВАХ. Температурные зависимости снимались в диапазоне температур 30 ÷ 150 °С.

Контакты α (Ni-Nb) / n/n⁺-Si были подвержены отжигу при температурах 350 и 400 °С в течение 16 часов. При низких температурах высота барьера изменялась от 0,51 до 0,54 эВ, что является незначительным. Коэффициент неидеальности почти не изменялся. После отжига при высоких температурах высота барьера почти исчезла (∞ 0,11 эВ) и коэффициент неидеальности увеличился от 1,03 до 1,86.

Удовлетворительной стабильностью обладал контакт α (Ta – Ir) / n/n⁺-Si при отжиге 350 °С за 40 часов, но постепенное отклонение наблюдалось после 77 часового отжига при 400 °С. Это сочетание является наиболее термоустойчивым. В течение различных условий отжига коэффициент неидеальности диодов оставался равным своему первоначальному значению 1,16, включая, в том числе отжиг при 400 °С. После 17-часового отжига при 450 °С диоды деградировали, коэффициент неидеальности равен 1,22, и после 32-часового отжига равен 1,40.

В случае контакта α (Ni-Nb)/n/n⁺-GaAs высота барьера свежеизготовленных контактов была 0,72 эВ. Свежеизготовленные α (Ta-Ir)/n/n⁺-GaAs диоды с высотой барьера 0,67 эВ подвергались различным терминальным циклам, дающим высоту барьера 0,73 эВ после часового отжига при 350 °С; 0,74 эВ после 17 часового при 350 °С и 0,68 эВ после 2 часового при 500 °С.

Все эффекты термической деградации в этих системах, автором объяснены диффузией и химическими реакциями на ГР КМП.

В работе [24] изучались полевые транзисторы с затвором Шоттки. Барьер Шоттки образовывался между аморфным сплавом Si-Ge-B и GaAs. Плёнка α (Si-Ge-B) осаждалась на n-слой термическим распадом смеси силан-герман-диборан под низким давлением в печи при 450 °С.

Обнаружено, что высота барьера α (Si-Ge-B)/n-GaAs диодов заметно больше по сравнению с высотой барьера эталонного Al/n-GaAs диода. Отклонение коэффициента неидеальности от единицы незначительно. Контакты были оценены как хорошие диоды Шоттки. Было обнаружено, что с ростом содержания бора, высота барьера росла с 0,91 эВ до 0,99 эВ.

Таким образом, из вышеизложенного, можно заключить, что диодные структуры, изготовленные на основе контактов Si и GaAs с аморфными металлическими материалами обладают достаточно высоким качеством и надёжностью. Всё это даёт нам основание полагать, что применение аморфных металлических плёнок позволяет изготовить надёжные, качественные и термостабильные активные и пассивные элементы микросхем, поскольку аморфные плёнки химически неактивны, диффузионные процессы протекают медленно. В этом контексте нам представляется актуальным изготовление и сравнительное изучение электрофизических свойств контактов кремния с аморфными и поликристаллическими материалами. В качестве полупроводника использование кремния связано с тем, что он монополюно используется в производстве интегральных схем. В качестве металлов использованы Al, Ni, Ti, Au, Cu и другие аморфные сплавы, изготовленные на их основе, поскольку и эти металлы также широко применяются в микроэлектронике.

Обсуждение результатов

В работе [6.7.30.34] исследовались изготовление ДШ в качестве полупроводника,

использована кремниевая пластинка n-типа с ориентацией (111) и удельным сопротивлением n-слоя 0,7 Ом см. В качестве металла использовали сплав Ni_xTi_{100-x} (где x 0; 10; 25; 35; 58; 87; 100). Пленки сплава Ni_xTi_{100-x} получены методом электронно-лучевого испарения из двух источников. Структура сплава пленки контролировалась методом рентгенографического анализа на промышленной установке ДРОН-2. Рентгенограмма приведена на рис.1. Как видно из рисунка, пленка сплава $Ni_{35}Ti_{65}$ имеет аморфную структуру, а остальные пленки – поликристаллическую. Такой вывод сделан на основании того, что у кристаллов четко выражена серия максимумов и минимумов, что говорит не только о правильном расположении ближайших атомов, но и о существовании дальнего порядка, т.е. в кристаллах можно провести координаты, по которым взаимное расположение атомов на одном и том же расстоянии во много раз превышает величину элементарной ячейки. В аморфной пленке $Ni_{35}Ti_{65}$, также как и в кристаллах, первый максимум полностью разрешен, т.е. первый минимум касается оси абсцисс. Это значит, что на определенном расстоянии плотность рассеянных электронов практически равна нулю. Максимумы и минимумы выражаются благодаря наличию разных межатомных расстояний, стремясь в пределе к плавной кривой. В аморфной $Ni_{35}Ti_{65}$ пленке соблюдается только ближний порядок в пределах каждой элементарной ячейки, построенной так же, как и в кристалле. За пределами ячейки порядок нарушается. Это происходит потому, что каждая следующая ячейка несколько повернута относительно предыдущей, причём на-

правление поворотов часто статистическое. В связи с этим интерес представляет исследование деградационных (избыточные токи) свойств под действием термоотжига. Аналогичные рентгенограммы получены также и для других сплавов. В исследовании деградации ВАХ ДШ заключается в том, что она в нормальных условиях встречается нечасто. Поэтому для подробного изучения указанных вопросов исследованы ВАХ ДШ, деградированного искусственно путём локального нарушения границы раздела [2.7.1216.25-27]. Структура плёнки сплава до и после отжига контролировалась с помощью рентгенографического анализа.

В результате рентгенофазового анализа системы Ni-Ti установлено, что в зависимости от количества атомов Ni до получения состава $Ni_{35}Ti_{65}$ периоды кристаллической решетки меняются, не подчиняясь закону Вегарда.

Из литературы [8] известно, что Ti имеет объемно-центрированную решетку J с периодом элементарной ячейки $a = 3,33\text{Å}$, Ni имеет гранецентрированную решетку F с периодом $a = 3,52\text{Å}$. Также есть сведения о существовании гексагональных модификаций этих компонентов. Однако, полученные нами дифрактограммы чистых элементов Ni и Ti показали, что рефлексы дифрактограммы индицируются на основе примитивных кубических решеток (табл. 3), поэтому, приняв за основу кубическую решетку, проиндицировали рентгенограммы, соответствующие различным составам Ni_xTi_{100-x} . Определено, что увеличение количества Ni в области 0, 10, 25, 35 приводит к кристаллизации образца. Однако нет никаких закономерных изменений периодов решетки.

Таблица 3

Межплоскостные расстояния $d(\text{Å})$, индексы (hkl), периоды (a) и типы решетки на рентгенограммах сплавов Ni_xTi_{100-x}

№	1		2		3		4		5		6		7	
Хам%	2		10		25		35		58		87		100	
	d(A°)	hkl	d (A°)	hkl	d (A°)	hkl			d (A°)	hkl	d (A°)	hkl	d (A°)	hkl
1	2,356	110	2,797	110	3,083	110	-	-	2,058	111	4,430	100	2,018	111
2	1,690	200	2,254	111	2,311	200	-	-	1,564	210	2,016	210	1,800	200
3	1,364	211	1,408	220	1,824	211	-	-	1,266	220	1,566	220	1,239	220
4	1,175	220	1,275	300	1,435	311	-	-	1,199	300	1,266	222	1,110	311
5	1,054	310	1,163	222	1,175	321			1,100	310	1,199 1,100	321 400	16,037	222
	3,33 Å J		3,92 Å P		4,45 Å P		-		3,52 Å P		4,45 Å P		3,52 Å P	

Высота барьера и коэффициент неидеальности вычисляются по известной формуле [10.12].

$$I = SA_0 T^2 \exp\left(\frac{\varphi_b}{KT}\right) \left[\exp\left(\frac{eU}{nKT}\right) - 1 \right]$$

где

$$I_{np} = I_0 \exp\left(\frac{eU}{nKT}\right), \quad (1)$$

Прологарифмировав выражение (1), получим:

$$\ln I_{np} = \ln I_0 + \frac{eU}{nKT} \quad (2)$$

Из (2) следует, что ВАХ в полулогарифмическом масштабе описывается прямой линией, поэтому ток насыщения определяется путем экстраполяции прямой графика на ось ординат при $U=0$ В. После нахождения I_0 значение коэффициента неидеальности n определяют по формуле:

$$n = \frac{e}{kT} \cdot \frac{\Delta U}{\Delta \ln I_0} \quad (3)$$

где S – площадь контакта, A_0 – постоянная Ричардсона, T – температура контакта, φ_b –

высота потенциального барьера, n – коэффициент неидеальности, U – потенциал смещения, k – постоянная Больцмана, e – заряд электрона.

Как отмечалось выше, в зависимости от количества атомов Ni до получения состава $Ni_{35}Ti_{65}$ периоды кристаллической решетки линейно меняются. С увеличением количества атомов Ni увеличивается высота барьера и уменьшается коэффициент неидеальности ДШ (рис. 2а и 2б). При составе $Ni_{35}Ti_{65}$ полученный образец является аморфным. Из рисунков видно, что этому составу ДШ соответствует наибольшая высота барьера и наименьший коэффициент неидеальности.

С дальнейшим увеличением количества Ni (в области 35, 58, 87, 100) уменьшается высота барьера и увеличивается коэффициент неидеальности ДШ. Это объясняется тем, что система Ni – Ti образует твердые растворы. Сравнивая результаты рентгенофазового анализа и величины параметров ДШ можно заключить, что изменение параметров Ni_xTi_{100-x} -nSi ДШ связаны с изменением состава и структуры пленки металлов.

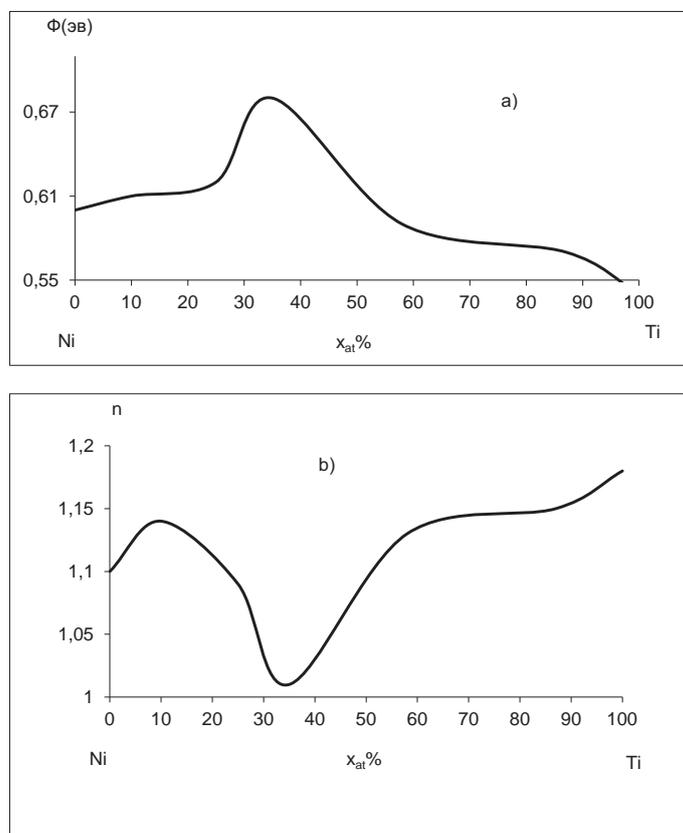


Рис. 2. а) Зависимость высоты барьера; б) коэффициента неидеальности от состава

На рис. 3 представлены ВАХ для $\alpha\text{NiTi-nSi}$ ДШ до и после отжига при температуре 673К. Как видно из графика при малых прямых напряжениях после термоотжига появляется избыточный ток.

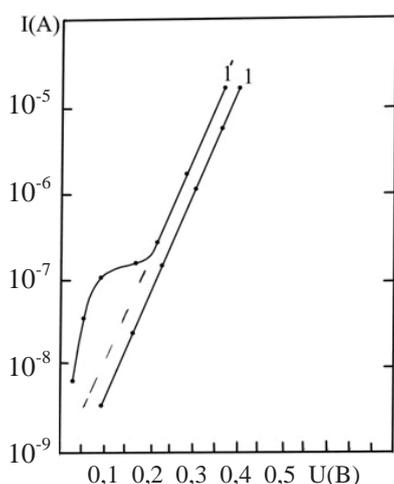


Рис. 3. ВАХ $\alpha\text{NiTi-nSi}$ диодов Шоттки
I – до и I' – после термоотжига при 673К

Известно, что аморфные плёнки металла при определённых температурах меняют структуру и переходят в поликристаллическое состояние. Следовательно, можно предположить, что появление избыточного тока в ДШ после отжига при температуре 673К и выше связано с изменением структуры металлической плёнки сплава. Действительно, исследования структуры металлической плёнки $\text{Ni}_{35}\text{Ti}_{65}$ на установке ДРОН-2 до и после отжига при температуре 673К показали, что плёнка металла из аморфного или квазиаморфного состояния переходит в поликристаллическое состояние (рис. 4).

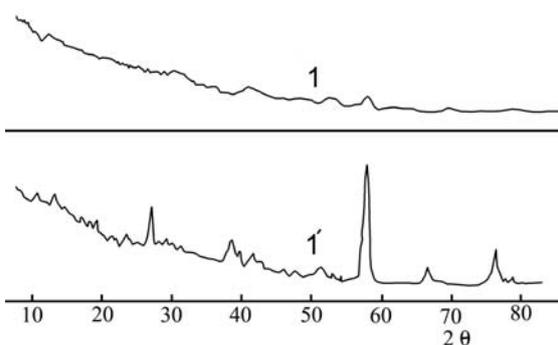


Рис. 4. Рентгеноструктурный анализ аморфных металлических пленок $\alpha(\text{NiTi})$;
1 – до, I' – после термоотжига при 673К

Как видно из [32] пленка сплава $\text{Ni}_{35}\text{Ti}_{65}$ имеет аморфную структуру до отжига. В аморфной пленке $\text{Ni}_{35}\text{Ti}_{65}$ первый максимум полностью разрешен, после отжига при 673К и выше плёнка металла из аморфного состояния переходит в поликристаллическое. Для количественного определения величины избыточного тока ВАХ $\text{Ni}_{35}\text{Ti}_{65}\text{-nSi}$ ДШ использовали отношение избыточного тока к нормальному при фиксированном значении напряжения

$$(V=0,20\text{ В}) \quad b = \frac{I_u}{I_n}$$

где I_u – избыточный ток, I_n – нормальный ток.

На рис. 5 представлены зависимости b от величины нагрузки $F(\Gamma)$ и количества нарушений N . Выяснено, что с увеличением $F(\Gamma)$ и N , b линейно увеличивается. После нарушения границы раздела (ГР) ток через диод равен сумме токов, проходящих через нарушенные и ненарушенные участки.

Путем механического нарушения ГР искусственно деградировано семь составов $\text{Ni}_x\text{Ti}_{100-x}\text{-nSi}$ ДШ и изучены параметры, описывающие деградационные процессы. Найдена зависимость параметра деградации b от процентного содержания компонентов в сплаве ($\text{Ni}_x\text{Ti}_{100-x}$), где $N=1$, $F=110\Gamma$, $S=1000\text{ мкм}^2$. Как видно из таблицы 4, b имеет минимум при $X=35$, т.е. для случая контакта с аморфной пленкой сплава $\text{Ni}_{35}\text{Ti}_{65}$.

Из рисунка 2 видно, что $\text{Ni}_{35}\text{Ti}_{65}$ ДШ соответствует наибольшей высоте барьера и наименьший коэффициент неидеальности, т.е. ГР однородна.

Следовательно, представленные результаты позволяют заключить, что контакт с аморфным сплавом обладает сравнительно однородной ГР [1-3.7.12.30-37]. С увеличением однородности ГР увеличивается высота барьера и уменьшается коэффициент неидеальности [7.1234]. Рентгеноструктурные анализы полученных пленок с различным содержанием компонентов, проведенные на промышленной установке ДРОН-2, показали, что $\text{Ni}_{35}\text{Ti}_{65}$ и $\text{Pb}_{52}\text{Sb}_{48}$ имеют аморфную структуру, а остальные пленки – поликристаллическую [37]. Влияние термоотжига на свойства таких $\alpha\text{TiV}_2\text{-nSi}$ ДШ контролировалось методом снятия ВАХ как в прямом направлении, так и в обратном [2,12].

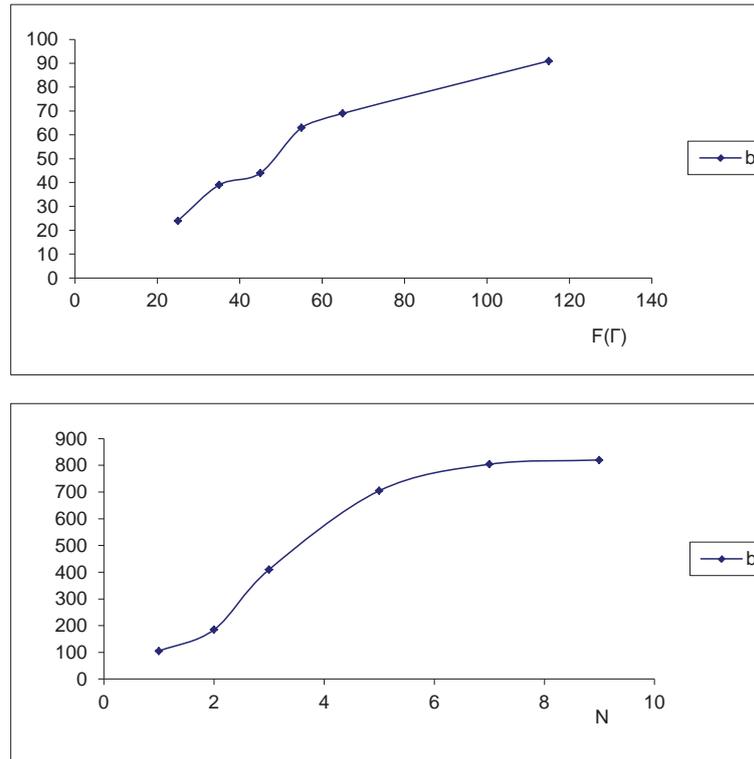


Рис. 5. Зависимость параметра деградации b от величины $F(\Gamma)$ ($N = 1$) и количества нарушений N ($F = 110 \Gamma$) для $Ni_{35}Ti_{65}$ -nSi ДШ, где $S = 1000 \text{ мкм}^2$, $V_{np} = 0,20 \text{ В}$.

Таблица 4

Зависимость параметра деградации от процентного содержания компонентов в сплаве (Ni_xTi_{100-x}) где $N = 1$, $F = 110 \Gamma$, $S = 1000 \text{ мкм}^2$

	Xat(%)						
Ni_x	0	25	35	58	87	100	Ti_{100-x}
b	187	148	96	155	174	198	

Получены типичные ВАХ ДШ в нормальном, искусственно деградированном и отожженном состояниях.

Из полученных результатов видно что, во-первых, основной этап процесса отжига происходит за короткие начальные промежутки времени, во-вторых, отжиг «излечивает» поврежденные диоды. Для количественной характеристики изменения избыточного тока под действием отжига применялась формула:

$$\alpha_T = \frac{I_t - I_H}{I_o - I_H}$$

где I_H – ток нормального (неповрежденного) диода Шоттки; I_o – ток диода непосредственно после воздействия ионтером ($t = 0$); I_t – ток поврежденного диода, отожженного

в течение t сек.; α_T характеризует относительное изменение избыточного тока под действием термоотжига за время t .

С изменением параметров отжига его значение меняется в интервале $0 \leq \alpha_T \leq 1$. На рис. 3 представлены ВАХ для $\alpha(\text{PbSb})$ -nSi ДШ до и после отжига при температуре 180°C . Как видно из графика при малых прямых напряжениях после термоотжига появляется избыточный ток, т.к. ВАХ деградирует [7-11. 33].

Например, если считать, что усреднение высоты барьера элементарных диодов производится по площади, то по аналогии с работой выхода можно полагать, что эта связь выразится формулой:

$$\Phi_B^* = \frac{\sum_i \Phi_{Bi} S_i}{\sum_i S_i} \quad (4)$$

Очевидно, наиболее простейшим вариантом неоднородного контакта является двухдиодная модель контакта. Согласно ей связь между усредненными параметрами контакта и параметрами субдиодов можно выразить формулами (5):

$$\Phi_B^* = \Phi_B' - kT \ln \left\{ \omega + (1 - \omega) \exp \left[- \frac{\Delta \Phi_B}{kT} \right] \right\}$$

$$\Phi_B^* = \Phi' + kT(1 - \omega) \frac{\Delta \Phi_B}{kT} \quad (6)$$

где Φ_B' – высота барьера 1-го субдиода, который имеет низкую высоту барьера, $\Delta \Phi_B = \Phi_B'' - \Phi_B'$ – разность высот барьера, $\omega = S_1 / S_2$ – относительная площадь 1-го субдиода, $(1 - \omega)$ – относительная площадь 2-го субдиода.

Нетрудно понять, что ВАХ неоднородного контакта в полулогарифмическом масштабе также может описываться прямой линией, если все составляющие субдиоды имеют положительную (для n -типа полупроводника) высоту барьера. Согласно формуле (6), неоднородный контакт с заданной высотой барьера (т. е. с заданной ВАХ) можно синтезировать бесконечным образом. Например, как следует из (6), заданное значение Φ_B^* обеспечивается рядом непрерывных значений $(1 - \omega)$ и Φ_B'' , если даже полагать, что высота барьера первого субдиода Φ_B' постоянна.

Известно, что аморфные плёнки металла при определённых температурах меняют структуру и переходят в поликристаллическое состояние. [2-9] Следовательно, можно предположить, что появление избыточного тока в ДШ после отжига при температуре 1800С и выше связано с изменением структуры металлической плёнки сплава. Действительно, исследования структуры металлической плёнки $Pb_{52}Sb_{48}$ на установке ДРОН-2 до и после отжига при температуре 1800С показали, что плёнка металла из аморфного или квазиаморфного состояния переходит в поликристаллическое [32] (рис. 2).

Как видно из [27] работа пленка сплава $Pb_{52}Sb_{48}$ и $Ni_{35}Ti_{65}$ имеет аморфную структуру до отжига, а после отжига при 1800С и выше плёнка металла из аморфного состояния переходит в поликристаллическое.

Для решения проблемы влияния микроструктуры металлических слоев на свойства диодов Шоттки при малых прямых напряжениях перспективным является материал, либо с аморфной структурой, либо с монокристаллической. Практически изгото-

вление интегральной микросхемы с применением ДШ на монокристаллических слоях является весьма трудной технологической задачей.

В этом отношении более перспективным является металл с аморфной структурой.

На работу [33.37] показана зависимость высоты барьера от процентного содержания компонентов в сплаве для Ni_xTi_{100-x} - nSi ДШ и Pb_xSb_{100-x} - nSi ДШ. Указанные зависимости были получены при комнатной температуре для обоих диодов. Термоотжиг проводился в атмосфере при температурах от 1500С до 6000С в течении 10 минут.

Как видно из работ [33.37] наибольшие высоты барьеров относятся к контактам с аморфными сплавами $Ni_{35}Ti_{65}$ и $Pb_{52}Sb_{48}$ и наиболее термостабильными по сравнению с диодами, изготовленными на основе пленок сплава с поликристаллической структурой, являются ДШ, изготовленные с применением аморфного металлического покрытия.

Уменьшение высоты барьера наблюдаются для $Ni_{35}Ti_{65}$ - nSi ДШ при 5500С и $Pb_{52}Sb_{48}$ - nSi ДШ при 2100С. Остальные же диоды прерывают свою зависимость при различных температурах отжига и при дальнейшем отжиге не показывают выпрямляющих характеристик.

Следовательно, можно предположить, что изменение высоты барьера ДШ после термоотжига 5500С и 2100С и выше связано с изменением структуры металлических пленок сплава, исследования структуры металлической пленки $Ni_{35}Ti_{65}$ и $Pb_{52}Sb_{48}$ при температуре 5500С и 2100С показали, что пленка металла из аморфного или квазиаморфного состояния переходит в поликристаллическое. Об этом свидетельствуют и электронномикроскопические исследования поверхности пленок.

Сравнивая результаты зависимости параметров ДШ от процентного содержания компонентов и от термоотжига можно заключить, что параметры ДШ связаны с изменением микроструктуры пленки.

Электрофизические свойства Ni_xTi_{100-x} - nSi (где $x=4; 19; 35; 74; 96$) ДШ изучены при малых прямых напряжениях [33.34]. Сплав $Ni_{35} - Ti_{65}$ имеет аморфную структуру, найдена высота потенциального барьера двумя методами (метод $I - V$, и $I \sim T$). Полученные результаты показывают, что высота барьера весьма чувствительна к составу металлического сплава. Самая большая высота барьера

ра относится к контактам кремния с аморфными металлическими сплавами.

С изменением температуры и состава пленки металла происходит структурное изменение металлических сплавов, в связи с этим изменяются и параметры ДШ [1.2.12.27-37].

В работе [34] представлена экспериментальная ВАХ $Ni_xTi_{100-x} - nSi$ ДШ, где параметром прямых является процентное содержание компонентов сплава. Значение высоты барьера определялось двумя методами. Согласно первому способу (метод I-V), из экспериментальной ВАХ сперва определялось сопротивление перехода. Таким образом, найдены значения высоты барьера Φ_B для $Ni_xTi_{100-x} - nSi$ ДШ (где $x = 4; 19; 35; 74; 96$). Суть второго способа заключается в том, что как следует зависимости $\ln RT$ от $1/T$ описываются прямой линией, наклон которой определяет высоту потенциального барьера Φ_B (метод 1-T). Соответствующие результаты показаны в таблице 5.

Т а б л и ц а 5

Зависимость высоты потенциального барьера двумя методами (метод I – V, и I ~ T) от процентного содержания компонентов в сплаве $Ni_xTi_{100-x} - nSi$ диодов Шоттки

x%	4	19	35	74	96
$\Phi_B(1-V)$	0,61	0,65	0,69	0,64	0,63
$\Phi_B(1-T)$	0,54	0,58	0,60	0,53	0,51

Как видно из таблицы 5 высота потенциальных барьеров, найденных методами (1-V) и (1-T), самая большая высота относится к $Ni_xTi_{100-x} - nSi$ ДШ где сплав имеет аморфную структуру.

Полученные результаты для $V < kt/e$ позволяют заключить, что по сравнению с поликристаллической пленкой металла, в случае контакта аморфной пленки металла с кремнием граница раздела относительно однородна, высоты барьера весьма чувствительны к составу металлического сплава, свойства $Ni_xTi_{100-x} - nSi$ ДШ зависят от состава и структуры пленки.

Как отмечалось выше, в зависимости от количества атомов Ni до получения состава $Ni_{35}Ti_{65}$ периоды кристаллической решетки линейно меняются. С увеличением количества атомов Ni увеличивается высота барьера и уменьшается коэффициент неидеальности ДШ (рис. 5а и 5 б). При составе $Ni_{35}Ti_{65}$

полученный образец является аморфным. Из рисунков видно, что этому составу ДШ соответствует наибольшая высота барьера и наименьший коэффициент неидеальности.

С дальнейшим увеличением количества Ni (в области 35, 58, 87, 100) уменьшается высота барьера и увеличивается коэффициент неидеальности ДШ. Это объясняется тем, что система Ni – Ti образует твердые растворы.

Сравнивая результаты [1-4.6.7.12.27-37] рентгенофазового анализа и величины параметров ДШ можно заключить, что изменение параметров ДШ связано с изменением состава и структуры пленки металла. Показано, что, в процессах, происходящих в КМП металл играет решающую роль. Точнее, роль металла в омических контактах, и ДШ не пассивна, а активна и металл является равноправным партнером контакта. Меняя структуру и состав металлов можно управлять параметрами ДШ в широком интервале. Установлено, что меняя структуру и состав металлов можно управлять параметрами ДШ в широком интервале.

Выявлена что граница соприкосновения, образующаяся при контакте моно-Si и моно-Me в ДШ однородна и процессы, происходящие в диоде подчиняются теории Шоттки. Исследовано, что степень однородности границы соприкосновения в ДШ изготовленных с применением аморфных металлов, выше по сравнению с поликристаллическими. По этой причине их параметры стабильны. Основные параметры ДШ изготовленных с применением аморфных ($Ni_{35}Ti_{65}$, $Pb_{52}Sb_{48}$, $Au_{38}Ti_{62}$) металлов, меняется в широком интервале с изменением % содержания компонентов. Установлено, что зависимость параметров ДШ изготовленных на основе металлов поликристаллической структуры от площади контакта и микроструктуры металла, показывает активную роль металлов. Показано, что если отношение размера контакта к размеру микрокристаллита меньше единицы, то граница соприкосновения однородна, а контакт имеет характеристики идеального диода. Если отношение намного больше единицы, то увеличивается неоднородность границы соприкосновения и так как контакт переходит в состояние сложной системы, выводы объясняются на основе теории сложных систем.

Установлено, что параметры ДШ, изготовленного на основе сплава $Ni_x - Ti_{100-x}$, мож-

но изменять в широком интервале, что представляет большое практическое значение.

Объяснена зависимость различных параметров ДШ (высота потенциального барьера, коэффициент неидеальности, напряжение пробоя) от размера контакта и температуры термического отжига в рамках теории сложных систем. В соответствии с этой теорией контакт рассмотрен как параллельное соединение многочисленных взаимосвязанных элементарных контактов, и он обладает новыми свойствами не имеющихся у элементарных контактов. Другими словами, в отличие от ДШ изготовленного на основе монокристалла и аморфного металла, контакт поликристаллического металла с Si рассмотрен как параллельное соединение многочисленных элементарных контактов. Сложность системы управляема.

Исследована термостабильность ДШ, пленок $Ni_{35}Ti_{65}$, $Pb_{52}Sb_{48}$, $Au_{38}Ti_{62}$, установлена корреляция между высотой барьера и температурой кристаллизации пленок.

Список литературы

1. Wickenden D.K. et al. Solid State Electron. – 1984. – №27. – P. 515.
2. Аскеров Ш.Г., Болтовец Н.С., Пашаев И.Г., Асланов Ш.С. Электронная техника // Микроэлектронные устройства. Сер.10. – 1988. – №2(68). – С. 39.
3. Cole M.J. et al. Elect. Lett. – 1983. – №19. – P. 474.
4. Tung R.T. J.V.S. and Tech. – 1984. – №2(3). – P. 465.
5. Золотухин И.В., Калинин Ю.Е. Аморфные металлические металлы // УФЖ. – 1990. – Т. 160, №9. – С. 75.
6. Аскеров Ш.Г., Пашаев И.Г. Тез. докл. Международная конференция Fizika – 2005. Азербайжан. – 2005. – № 49. – С. 193.
7. Askerov Sh.C., Pashaev I.G. 2 nd Int. Conference (Tabriz-Iran 2004). – 2004. – P. 367.
8. Гипье А. Рентгенография кристаллов. – М., 1961.
9. Судзуки К., Хасимото К., Фудзимори Х. Аморфные металлы / под ред. Ц. Масумота; пер. с японского. – М.: Металлургия, 1987.
10. Иващенко А.И., Саморуков Б.Е., Соломанов А. // ФТП. – 1979. – №4. – С. 770.
11. Золотухин И.В. // Соросовский образовательный журнал. – 1997. – №4. – С. 74.
12. Аскеров Ш.Г. Автореферат докторской диссертации. – Баку, 1992. – С. 41.
13. Комар В.К. и др. // ФТП. – 2007. – №6. – С. 711.
14. Пеннин Н.А. // ФТП. – 2000. – №5. – С. 562.
15. Тонкие пленки. Взаимная диффузия / под ред. Дж. Пота, К. Ту, Дж. Мейеру. – М.: Мир, 1982. – 576 с.
16. Золотухин И.В., Соколов Н.Ю. Электронная техника // Микроэлектроника. – 1989. – №1. – С. 23.
17. Kung K.T.Y. et al. // Appl. Phys. Lett. – 1984. – №55. – P. 3882.
18. Finetti M., Pan E.T.S., Suni I., Nigolet M.A. // Appl. Phys. Lett. – 1983. – №42, 11. – P. 987.
19. Tod G., Naris P.G., Scoby I.H., Kelly M.Q. Solid State Electron. – 1984. – №27, 6. – P. 507.
20. Smid V., Kazak S., Juri J. // J. of. Non-Cryat.Sulids. – 1987. – №90. – P. 347.
21. Takatani S., Natsuoka N., Shigeta J., Hashimoto N. // J.Appl.Phys. – 1987. – №61, 1. – P. 220.
22. Wiley J.W., Pereperko J.H., Nordman J.K. IEEE Transactions on Industrial Electronics. – 1982. – №29, 2. – P. 154.
23. Novak W., Keukelaer R., Weng W. // J.Vac.Sel.Technol. – 1985. – №3, 6. – P. 2242.
24. Suruki K. // J.Jap.J.Appl.Phys, pt.2. – 1983. – № 11. – P. 709.
25. Крылов П.Н. // Физика. – 2006. – №4. – С. 125.
26. Крылов П.Н. // ФТП. – 2000. – №3. – С. 306.
27. Гурбанов А.А. Дис. ... кан. физ.-мат. наук. – Баку, 1998. – С. 143.
28. Пашаев И.Г. // Вестник Бакинского Университета. – 1999. – №1. – С. 68.
29. Пашаев И.Г. // Вестник Бакинского Университета. – 1999. – №3. – С. 94.
30. Аскеров Ш.Г., Пашаев И.Г., Мехтиев Р.Ф. // Вестник Бакинского Университета. – 2006. – №1. – С. 79.
31. Аскеров Ш.Г., Мехтиев Р.Ф., Пашаев И.Г. // Вестник Бакинского Университета. – 2006. – №3. – С. 162.
32. Аскеров Ш.Г., Пашаев И.Г., Мехтиев Р.Ф. // Вестник Бакинского Университета. – 2007. – №2. – С. 135.
33. Аскеров Ш.Г., Мехтиев Р.Ф., Пашаев И.Г. // Вестник Бакинского Университета. – 2008. – №3. – С. 141.
34. Pashaev I.G. // Technical and Physical Problems of Engineering (IJPTE). – 2012. – Iss. 10. – Vol. 4. – № 1, Mar. – P. 41-44.
35. Аскеров Ш.Г., Асланов Ш.С., Пашаев И.Г. Электронная техника // Микроэлектронные устройства. Сер. 10. – 1989. – Т. 6, №78. – С. 46.
36. Аскеров Ш.Г., Асланов Ш.С., Пашаев И.Г. Тезисы докладов Всесоюзной конференции “Физика и применение контакта металл-полупроводник”. – Киев, 1987. – С. 16.
37. Пашаев И.Г. // Физика. – Баку АН. – 1997. – Т. 3, № 4. – С. 64.
38. Пашаев И.Г. // ФТП. – 2013. – Т. 47, № 6. – С. 761-764.
39. Пашаев И.Г. // Инженерная физика. – 2012. – № 3. – С. 12-17.
40. Пашаев И.Г. // Инженерная физика. – 2012. – № 4. – С. 34-39.
41. Пашаев И.Г. // ФТП. – 2012. – Т. 46, № 8. – P. 1108-1111.
42. Пашаев И.Г. Альтернативный киловатт // Солнечный Энергетика. – 2012. – №1. – С. 28-30.
43. Пашаев И.Г. // Международный журнал экспериментального образования. – 2013. – №1. – С. 71-74.
44. Пашаев И.Г. // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2013. – №1. – С. 31-35.

УДК 615.471:617.7

ПРОБЛЕМЫ СИНТЕЗА БИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**Попечителей Е.П.***Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»,
Санкт-Петербург, e-mail: eugeny_p@mail.ru*

В данной статье рассмотрен термин «Биотехнические системы» (БТС), предложенный профессором В.М. Ахутиным в 1975 году. Автор статьи объясняет суть данного понятия, формулирует основные преимущества БТС перед чисто техническими системами, утверждает, что определенный объем таких знаний необходим любому специалисту по техническому направлению образования, так как все они разрабатывают и создают технические системы и комплексы, которыми управляет человек.

Ключевые слова: биотехническая система, объект управления, человек-оператор, человек-пациент, технические комплексы, рабочая среда.

SYNTHESIS PROBLEM BIOTECHNICAL SYSTEMS**Popchitelev E.P.***Saint Petersburg State Electrotechnical University «LETI», St. Petersburg,
e-mail: eugeny_p@mail.ru*

In this article the term «Biotechnical Systems» (BTS) proposed by Professor VM Akhutina in 1975. The author explains the essence of this concept, formulates the main advantages of the BTS to the purely technical systems, says that a certain amount of knowledge is necessary for any technician towards education as they develop and create technical systems and facilities operated by people.

Keywords: biotech system, facility management, human operator, a human patient, complexes, working environment.

Уже давно прекращена научная дискуссия о преимуществах автоматизированных систем управления перед автоматическими, так как доказано, что управление сложными системами должен осуществлять человек (человек-оператор ЧО), включенный в контур управления. В таких системах человек отвечает за постановку задач и анализ результатов, наделяется большими полномочиями по выбору целей и способов решения прикладных задач и непосредственно «втянут» в процесс решения как активный участник, обладающий специфическими свойствами. Он становится носителем «целостного восприятия всей задачи, системы ценностей и критериев принятия решений, отвечает за сохранение целостности решаемой задачи при ее расчленении на части и распределении работ среди других участников при ее выполнении» [1, 2].

Для характеристики подобных систем профессором В.М. Ахутиным (1975 г.) был предложен термин «Биотехнические системы» (далее БТС) для выделения «особого класса больших систем, представляющих собой совокупность биологических и технических элементов, связанных между собой в едином контуре управления» [3, 4]. Он же сформулировал и основные их преимущества БТС перед чисто техническими системами, которые должны состоять «в сочетании положительных качеств этих

систем при взаимной компенсации их недостатков». Эти преимущества могут быть достигнуты, по его мнению, за счет выполнения двух основных принципов синтеза БТС:

– адекватности согласования управленческих характеристик технических и биологических элементов системы»;

– идентификации информационной среды, требующей оптимизации информационных потоков и формы предъявления информации, которой обмениваются между собой биологические и технические звенья системы.

Проблемы человеко-машинных систем – систем управления типа «человек-машина-среда» (СЧМС) – были предметом изучения других известных научных школ. Однако в концепции биотехнических систем не заостряется внимание только на человека; предполагается включение в их структуру любых биологических объектов, не только включенных в системы управления техническими комплексами, но и являющихся внешними объектами изучения или исследования, проводимых с помощью технических систем. К этому классу были отнесены и все системы медицинского и биологического назначения, в которых в качестве внешнего объекта, на состояние которого влияет БТС, выступают человек-пациент и другие виды организмов [4].

Для оценки и управления состоянием биологических объектов нашли применение диагностические и терапевтические комплексы, средства реабилитации, экстракорпоральная, протезирующая и имплантируемая техника, системы управления средой обитания, аналитические исследования биологических проб, синтез новых лекарственных препаратов и биологических добавок, исследования биосовместимых материалов и т. д. [5, 6, 7]. Изменилось отношение ко всему животному миру, включая задачи биологии, зоологии, ботаники и других наук, изучающих или использующих живые системы, для исследования которых разрабатываются специальные технические средства.

К биотехническим системам были отнесены также:

- вычислительные комплексы по обработке информации в интерактивном режиме, в котором сам человек определяет направления обработки данных на каждом последующем шаге на основании анализа результатов на предыдущем этапе [см., например, 8];

- системы обучения, в которых применяются технические средства: тестовые комплексы, мультимедийные системы, тренажеры, имитаторы и др. [4, 9],

- средства массовой информации, позволяющие представить любые информационные материалы в наилучшем для восприятия виде и многое другое [10].

При решении многих технических проблем, связанных с реализацией перечисленных задач, требуется учет свойств и параметров живых систем, к которым они подключаются. Такое расширение не случайно; оно отражало тот факт, что биологический объект (БО) в структуре БТС может занимать разное положение, и способы подключения технических средств к нему существенно зависят от роли и задач, решаемых этим объектом. В то же время существуют общие принципы соединения живого с неживым – принципы, руководствуясь которыми следует подключать к биологическим объектам технические (искусственные) устройства.

На рис.1 показаны возможные положения биологических объектов по отношению к техническим комплексам (ТК). Конечно, главным объектом является человек, поэтому на рисунке указано несколько положений человека при взаимодействии с ТК:

- ЧП – человек-пользователь, основными его функциями является включение ТК, установка режимов и контроль работы (для этого у ЧП имеется пульт управления ПУ); все остальные операции ТК осуществляет по заложенной в него программе;

- ЧЭ – человек-эксперт, анализирующий качество работы всей системы, включая не только работу ТК, но и поведение остальных участников;

- ЧО – человек-оператор, который управляет работой ТК в реальном масштабе времени, определяя программу работы, выбирая принципиальные операции исходя из поставленных перед БТС задач;

- ОУ – объект управления; здесь может быть подключен человек, как пациент, нуждающийся в помощи, но кроме него возможны и любые объекты: технические, биологические (одиночные или целая популяция), экономические, информационные и т.д., т. е. такие, с которыми или над которыми работает ЧО;

- ГС – группа совместно работающих специалистов разных специальностей: исследователи, разработчики, конструктора, испытатели и другие, без активного труда которых никакие технические средства и технологии их использования появиться не могут.

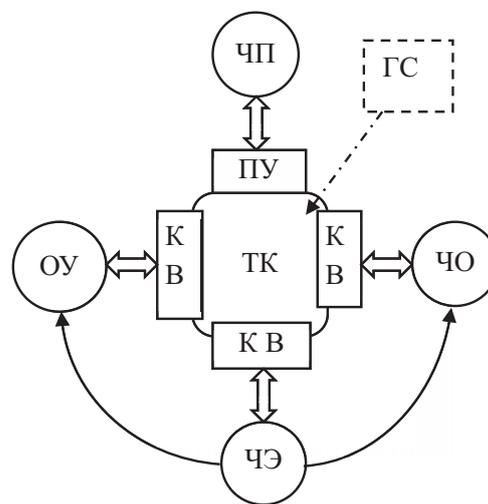


Рис. 1. Положение человека в структуре БТС

Если для первой группы достаточно использовать пульт управления, то технические средства подключения человека в других его ролях требует более сложного оборудования: определим его как “каналы взаимодействия” (КВ).

Роль ГС особенно велика при создании ТК, так как для этого необходимо вложение их знаний и опыта по поиску и оптимизации решений новых идей, подбору материалов и комплектующих изделий, конструированию и выпуску в практику любых технических средств. Отсюда следует, что человеческий фактор всегда присутствует, в любых технических изделиях, созданных человеческим разумом; во всех таких изделиях отражаются присущие человеку свойства.

Если ГС непосредственно не применяет на практике продукт своего труда, но создает его, то остальные варианты подключения технических комплексов к ОУ относятся к их использованию для решения конкретных практических задач. Следует иметь в виду также, что на разных постах человека, работающего с ТК, вместо одного может быть включено несколько человек – группа специалистов, что создает дополнительные проблемы в организации деятельности такой группы и, как следствие, возникает задача обучения всей группы к совместной работе [11, 12]. В качестве ОУ может быть группа таких объектов (популяция); при этом необходимо давать оценку характеристик не одного конкретного объекта, а группы в целом.

Для отражения уровня приспособленности ТК к работе человека целесообразно ввести некий показатель “уровня биотехничности” θ [1], определяющий степень согласования характеристик двух взаимодействующих элементов разной физической природы. Пока нет соотношений для его расчета, но интуитивно чувствуется, что этот показатель для разных вариантов систем различен, хотя, конечно, всегда нужно стремиться к максимальному его значению. Но это зависит от многих трудно учитываемых обстоятельств: важности задач, решаемых БТС, уровня использования человека, материально-технической базы, развития технологического и информационного обеспечения, экономических показателей и т.п. [13]

Казалось бы, что наиболее простые функции выполняет человек-пользователь – ЧП. И хотя для этого варианта к человеку не предъявляются повышенные требования, так как он освобождается от многих частных операций по управлению ТК, ЧП должен соблюдать определенные правила управления, знать инструкции по эксплуатации ТК, может иметь опыт ликвидации предаварийных ситуаций, и даже осущест-

влять обслуживание, а при необходимости проводить мелкий ремонт. Пользователь должен быть обучен приемам работы с ТК, а при разработке самого комплекса должны быть предусмотрены средства, позволяющие ЧП разобраться в органах управления ТК, выполнять командные функции, понять возникающие ситуации, чтобы вовремя предотвратить возможные аварии. Обычно минимальные требования к пользователю излагаются в инструкциях по эксплуатации ТК.

Функции человека-эксперта – ЧЭ – более разнообразны. Он должен оценить качество не только ТК, но и БТС в целом с учетом взаимодействия всех ее элементов. Здесь должны учитываться многие факторы, связанные с подготовкой ЧО и потребительскими свойствами ТК, такие как: достаточный объем и наглядность отображения осведомительной информации, простота и доступность органов управления, минимальные затраты энергии на управляющие движения, требуемый уровень подготовки ЧО и многие другие. Уровень θ должен быть очень высоким, чтобы учесть все факторы, которые могут влиять на качество БТС. В частности эксперт ставит задачи для ЧО, анализирует принятые им решения, изменяет условия работы, может изменять состав группы и т. д., т. е. менять условия эксперимента для выявления всех достоинств и недостатков всей БТС. Часто такая работа поручается группе экспертов, которая должна вынести согласованное заключение о перспективности всей разработки.

Наиболее затратной по отношению к использованию ресурсов организма человека представляется работа человека-оператора – ЧО, так как он несет полную ответственность за выполнение поставленной задачи и от его состояния и знаний в значительной степени зависит качество работы БТС в целом. Для оптимизации работы ЧО требуется тщательная проработка всех сторон взаимосвязи человека с техникой, поэтому остановимся на этой проблеме подробнее (рис. 2).

Изучая внешний по отношению к себе мир и приспособляя его в соответствии со своими потребностями, исследователя (данном случае ЧО) должен иметь определенные связи с объектами из этого мира ОУ, по которым он отправляет “запрос” на интересующее его свойство и получает “ответ” об этом свойстве. Эти запросы и ответы могут реализовываться разными способами, с помощью разных приемов и методов.

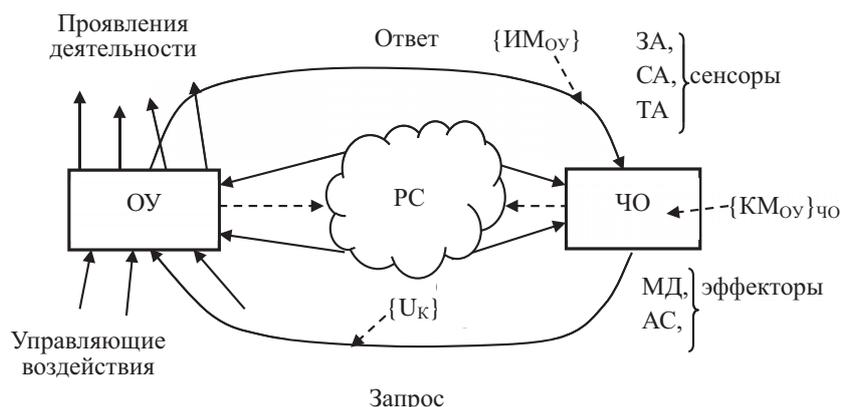


Рис. 2. Модель взаимодействия человека-оператора ЧО с объектом управления ОУ

Считается доказанным, что само взаимодействие между различными объектами внешнего мира может быть вещественным, энергетическим и информационным, поэтому связи должны быть приспособлены к передаче вещества, энергии или информации. При этом для передачи информации необходим ее носитель, который может быть вещественным или энергетическим [1, 13].

Само взаимодействие осуществляется через окружающую эти элементы среду, причем имеется в виду, что не вообще вся природная среда, а та ее часть, которая находится в ближнем окружении человека и ОУ, т.е. реальная среда (РС) – среда непосредственно в месте проведения экспериментов. В нее включается все, что не входит в исследуемую БТС. Эта среда активна и оказывает влияние на все биологические и технические объекты, находящиеся в ней, но и эти объекты, в том числе и БТС, также изменяют параметры РС.

Объекты интереса человека в РС проявляют свою деятельность в разных физических полях, параметры которых содержат сведения о его характеристиках и свойствах [14, 15]. Однако человек непосредственно реагирует только на такие сигналы, которые воспринимаются его сенсорными анализаторами – органами чувств. При непосредственном контакте ЧО с ОУ он может подключить все свои сенсорные и эффекторные образования, чтобы получить так называемый “оперативный образ” ОУ – информационную модель $\{ИМ_{ОУ}\}$ (совокупность всех представлений об объекте управления), и в соответствии со своими представлениями (знания, опыт, решаемая задача и др.) формирует свои суждения о состоянии этого объекта – концептуальную модель

$\{КМ_{ОУ}\}_{ЧО}$, а также команды $\{U_к\}$ для изменения оперативного образа, перестраивая $\{ИМ_{ОУ}\}$ к оптимальному (на его взгляд) виду. Следует иметь в виду, что для разных ЧО формируемые им концептуальные представления $\{КМ_{ОУ}\}_{ЧО}$ могут сильно отличаться даже для одного и того же вида $\{ИМ_{ОУ}\}$ [13].

Существуют естественные ограничения возможностей человека как по восприятию поступающей информации, содержащей необходимые для профессиональной работы человека сведения (данные), так и по передаче команд на ОУ. Для восприятия информации о параметрах ОУ лучше других приспособлены зрительный (ЗА), слуховой (СА) и тактильный (ТА) анализаторы (определим их как “сенсорные модальности”). Для передачи команд от ЧО в ТК пригодны моторная деятельность (МД) и акустический сигнал (АС) – (“эффекторные модальности”). Остальные анализаторы пока трудно приспособить для этих целей, хотя известны варианты их ограниченного использования; такая же ситуация характерна и для эффекторов человека. Подобные ограничения характерны для всех представителей биологического мира, причем их свойства настолько разнообразны [16], что подключение к ним технических систем носит весьма специфический характер.

Чтобы получать информацию о свойствах в физических полях, на которые отсутствуют у человека сенсорные системы, и расширить возможности воздействия на ОУ, человек вынужден создавать специальные средства познания (СП) (рис. 3), включающие технические средства съема информации и воздействия на ТК (на рис. 3 – это множество обозначено как $\{\lambda\}$).

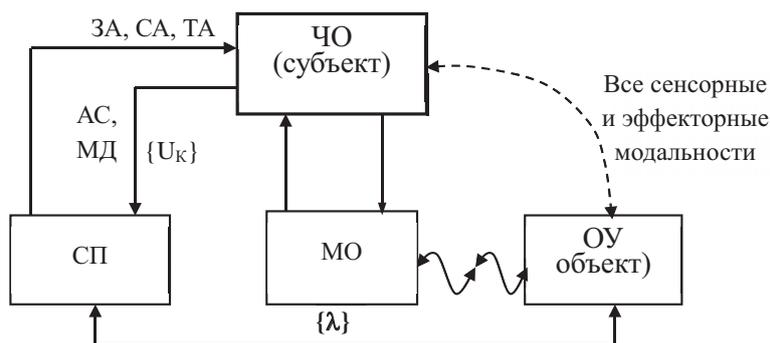


Рис. 3. Место и роль средств познания в диалоге «Исс-ОбИ»

Но управлять этими средствами он может, используя эффекторные модальности (в основном механического типа), а воспринимать информацию, используя сенсорные модальности через три носителя информации – оптические изображения в видимом спектре, акустические сигналы и тактильные прикосновения. Следовательно, подключение таких СП к человеку возможно только при использовании специальных преобразователей физических форм носителя информации в одну из сенсорных и эффекторных модальностей.

Таким образом, средства познания, которые являются искусственными, созданными самим человеком и отражающими его соображения о том, что и как он хочет изучать, представляют собой средства опосредованного изучения ОУ. И, хотя такие средства предоставляют новые возможности, все равно они не позволяют получить всестороннее суждение об ОУ, улучшая только его модель (МО), формируемую в сознании конкретного ЧО. Эта модель отражает объект управления (субъект познания), но с тех сторон, которые нужны в данный момент и с сильной степенью зависят от подготовки и уровня знаний человека (субъекта познания). В БТС человек-оператор взаимодействует не с самим объектом познания, а с его моделью, которую сам и строит на основании собственных представлений (см. рис. 3).

Это очень важное соображение об ограниченности знаний человека и индивидуальности действий ЧО по управлению ТК. Расширение возможностей средств познания, создание новых средств, методов и технологий для изучения внешнего объекта способствует более глубокому его изучению, но такие процессы только улучшают качество модели, оставляя за ее пределами

непознанное. Из всего выше сказанного следует один важный вывод: все, что делает человек, создавая различные технические средства, подчинены его интересам и отражают его индивидуальные свойства, как разработчика, изготовителя или пользователя.

Профессор В.М. Ахутин высказал идею о наличии у БТС свойства суперадаптации, которое связано с наличием внешнего и внутреннего контуров адаптации [4, 17]. Внешний контур связан с приспособлением системы к изменяющимся внешним условиям работы ТК, а внутренний отражает взаимную адаптацию технических средств и ЧО. Оптимальная организация этих двух контуров позволяет достигать высокого качества функционирования всей системы в целом. Для учета всех проблем, связанных с подключением к биологическим объектам технических средств им был предложен специальный метод поэтапного моделирования, при пользовании которого удастся не только учесть многие особенности разнородных элементов при их соединении, но и отразить возможности материально-технического обеспечения разработки в целом [17, 18].

В информационно-технологическом мире большая часть функций, выполняемых человеком, связана с его участием в информационных процессах; и здесь роль человеческого фактора нельзя преувеличить, так как он обладает рядом преимуществ перед техническими элементами (см., например, [2, 15, 19 и др.]). При этом невозможно обойтись без создания специальных технических средств, позволяющих подключить к человеку искусственные (технические) комплексы, таких средств, которые могли бы обеспечивать выполнение двух выше упомянутых принципов. Вот здесь и возникает про-

блема сочетания положительных качеств биологических и технических элементов при взаимной компенсации их недостатков. Поэтому необходимы специальные преобразования:

- формы входных воздействий со стороны ТК на человека, что связано с созданием систем отображения информации:

- специальные преобразования его решений в управляющие сигналы, которые поступают от человека в ТК, что приводит к разработке устройств ввода команд в технические комплексы.

Такие средства названы В.М. Ахутиным “логическими фильтрами-преобразователями” [4], но, на наш взгляд, их правильно было бы назвать “каналами информационного взаимодействия” (КИВ) [1, 2, 13] (рис. 4). Это специальные технические средства, позволяющие подключить к любому биологическому объекту внешние технические устройства. Они составляют основное отличие биотехнических от чисто технических систем. На рис. 4 показаны два типа каналов: для ОУ и для ЧО – КИВ₁ и КИВ₂.

КИВ₁ включает объект управления; для каждого его типа применяется свой блок измерительных преобразователей (БИП), с помощью которых оцениваются параметры ОУ, и устройства воздействия (УВ) – оконечные технические устройства, через которые воздействие поступает непосредственно на ОУ. Для разных вариантов БТС состав БИП и УВ существенно различается. Особое внимание к составу этого блока уделяется, если в качестве ОУ выступает биологический объект [5, 6].

Данные о состоянии ОУ после обработки электрических сигналов с БИП в технических средствах оценки состояния (ТСОС) поступают в технические средства обработ-

ки информации (ТСОИ) и напрямую через устройства отображения информации (УОИ) к ЧО. Поток разнородных данных, поступающих к ЧО из ТСОС, может быть настолько большим, что человек не справляется с его анализом за отведенное для этого время. Возникает проблема оптимизации таких потоков за счет:

- сокращения объемов информации путем ее предварительной фильтрации (удаление лишней и ненужной в конкретный момент информации) сокращения количества индикаторов в поле зрения ЧО, отображения интегральных, комплексных показателей и т.п.;

- оптимизации способов представления информации человеку, например, в наглядном виде условных образных отображений – двумерных картин, в которых отдельные параметры информационных моделей отражены в категориях визуального кодирования;

- оптимального подбора категорий визуального кодирования, позволяющих представить условные картины, ассоциирующиеся с правильным действием ЧО.

КИВ₂ предназначен для включения ЧО в структуру управления БТС. Набор технических средств, которыми должен управлять ЧО, может быть разнообразным; это зависит от назначения БТС. Поэтому пульт управления (ПУ) в общем случае представляет собой сложное техническое устройство, включающее разнообразные средства передачи команд (кнопки, переключатели, штурвалы, рычаги, громкоговорители и т. п.) в исполнительные устройства – технические средства: воздействия (ТСВ) на УО и управления средой (ТСУС). Эти устройства часто совмещаются с индикаторами, подтверждающими принятые решения.

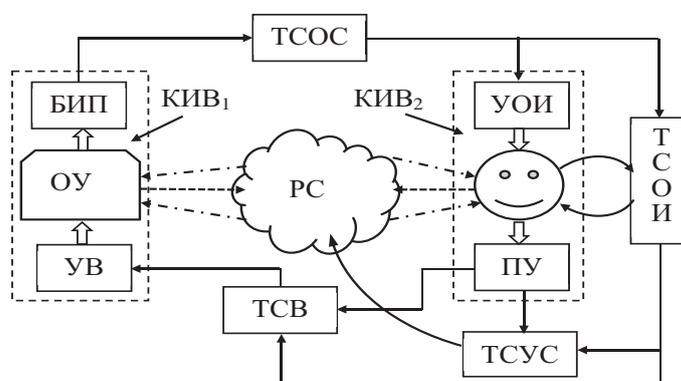


Рис. 4. Место КИВ в структуре БТС

Еще один пульт управления (не показан на рис. 4, на его местоположение указывают полукруглые стрелки от ЧО к ТСОИ) требуется для управления работой ТСОИ. Несмотря на то, что данные о состоянии ОУ поступают на ТСОИ непосредственно от ТСОС, работа средств обработки должна осуществляться под контролем ЧО. Он выбирает программы обработки, часто используя интерактивный режим анализа, способы детального или интегрального представления результатов на мониторах и в зависимости от этого принимает командные решения по выбору программ обработки информации [2, 8, 13].

Каналы КИВ₁ и КИВ₂ сами по себе уже являются биотехническими устройствами, так как включают дополнительные узлы технического типа и элементы подсистем организма человека – его сенсорные и эффекторные подсистемы, если ОУ тоже относится к объектам биологического типа. Характеристики этих подсистем организма человека и ОУ определяют структуру и параметры КИВ.

От реализации КИВ зависит качество работы ЧО и достоверность всех информационных процессов в единой биотехнической системе. На качество ее работы влияют многие функциональные характеристики человека, такие как: восприятие информации через сенсорные системы, память, моторные движения, процессы мышления и особенности принятия решений и их качество, многие другие свойства личности человека, определяющие его работоспособность [2, 10, 19]. И здесь не обойтись без обеспечения оптимальных условий для его работы и жизнедеятельности, а, следовательно, без использования систем диагностики и управления состоянием, обучения, профориентации и профотбора, тестирования и т.п. Вот несколько задач, которые необходимо выполнить и при разработке самих КИВ:

– обеспечить восприятие информации через сенсорные системы человека; т.е. при синтезе КИВ₁ должны быть использованы знания о свойствах этих типов сенсорных систем;

– обеспечить возможность передачи решений ЧО по выбору методов и способов управления ТК; т.е. при синтезе КИВ₂ должны быть использованы знания о свойствах эффекторных систем человека;

– подготовить ЧО к выполнению всех работ: он должен обладать необходимыми

навыками, техническими знаниями и соответствующим функциональным; здесь большое значение приобретают профотбор, профориентация и подготовка человека к работе с ТК, т. е. необходимы системы обучения и тестирования:

– иметь системы контроля состояния ЧО в реальном масштабе времени и своевременного вывода его из контура управления, когда накапливается усталость и его функциональное состояние не соответствует рабочим режимам, решать проблемы организации труда – периодов работы и отдыха.

В последней проблеме необходимо обратить внимание на изменения в технологиях использования БТС, связанные с наличием в их структуре биологических объектов. В технологических схемах должны предусматриваться условия по поддержанию жизнедеятельности такого объекта: регулярный инструктаж, физические и интеллектуальные тренировки, интервалы работы и отдыха, кормления, развлечения, активизации ресурсов и др. Для разных видов БО эти операции сильно различаются [1, 10], а для их выполнения требуются дополнительные материальные и экономические ресурсы.

Это перечисление можно было бы продолжить, включая все новые и новые задачи, цель которых – оптимальная организация взаимодействия объектов разной природы в “единую согласованную систему целенаправленного поведения”.

Все искусственные, созданные человеком средства познания внешнего мира и управления им в соответствии со своими представлениями сегодня связываются с формированием в биосфере новой составляющей – “биотехносферы”, которая является продуктом деятельности человечества, создающего средства изучения внешнего мира и самого человека, как его элемента. Это некоторая интегральная совокупность всех искусственных устройств, созданных человеком для осуществления трудовой и жизнедеятельности, с помощью которых происходит развитие всех реальных процессов, протекающих в биосфере при участии человека. Появилось представление о производственном и экологическом факторах антропогенного происхождения, т.е. формируемых в ходе трудовой деятельности человека. Эти факторы способны вызвать негативные изменения здоровья человека, непосредственно занятого в производственном процессе, и окружающей среды, в

которой протекает его жизнь и осуществляется трудовая деятельность. Можно привести и множество примеров обратного влияния – человеческой деятельности на природные объекты. От решения всех перечисленных проблем зависит будущее человечества и Земли, и все это связано с развитием биотехнических систем, создаваемых человеком и позволяющих решать множество задач по обеспечению его жизни на Земле.

Высказанные выше соображения позволяют выделить самостоятельный круг научных и прикладных проблем синтеза биотехнических систем, которые до настоящего времени еще не рассматривались как единая концепция взаимодействия живых систем с техническими системами во всем их разнообразии. В этот круг проблем следует включить не только технические реализации самих каналов информационного взаимодействия, но и многие задачи по изучению возможностей человека как элемента, к которому подключаются технические средства:

- методы и средства оценки функциональных возможностей человека, включая исследование зрительных функций, психологических характеристик (прежде всего, психологической устойчивости в стрессорных ситуациях, способностей работы в коллективе специалистов и др.), параметров двигательной активности и т.п.;

- методы оценки, формирования и тренировки профессиональных навыков, необходимых для управления соответствующими ТК, создание необходимых тренажерно-моделирующих комплексов, имитаторов и простых тренажеров для этих целей;

- методы и средства уменьшения напряженности труда, поддержки функциональных характеристик в процессе работы;

- методы научной организации труда человека, создания условий быстрого восстановления человека после трудовых вахт;

- методы синтеза биотехнических систем и технологий различного назначения, приспособленных к различным видам внешних объектов управления с целью их диагностики и практического использования и многие другие.

Рассмотренные представления о проблемах и особенностях объединения в одной целесообразной системе биологических и технических элементов позволяет с иных позиций рассматривать взаимодействие этих объектов. Известно несколько

научных направлений, связанных с изучением человека и других представителей биологического мира, в том числе и с позиций его включения в технические системы. Однако, на наш взгляд, они, имеющие, несомненно, большое значение для многих прикладных направлений, сами по себе отражают лишь частные вопросы той фундаментальной проблемы, о которой шла речь в данной статье. Новые возможности такого соединения постоянно изменяются по мере развития технологических потенциалов, а это позволяет расширять возможности Человека по изучению, освоению и приспособлению окружающего мира к своим потребностям. Возрастает роль представлений об их свойствах и необходимости их взаимной адаптации, при этом важны знания о свойствах биологических объектов, включаемых в биотехническую систему, и возможности техники и технологий на конкретном этапе развития человечества. Изучение и раскрытие еще неизвестных, и поэтому неиспользуемых возможностей биотехнических систем дает основание для формулировки в технических науках нового научно-технического и прикладного направления исследований – **биотехтоника** [20]. Этот термин объединяет в себе два хорошо известных термина – бионика и техника, и наилучшим образом отражает смысл нового направления. Предметом изучения биотехтоники становится уже упомянутая выше проблема оптимизации взаимосвязи живого с неживым с учетом характеристик и параметров взаимодействующих элементов, а результатом – синтез оптимизированных биотехнических систем целенаправленного поведения.

Высказанные выше соображения привели к введению в Перечень направлений высшего технического профессионального образования нового направления “Биотехнические системы и технологии” [21], которое объединяет несколько известных ранее направлений подготовки бакалавров и магистров. По этому направлению подготовлен новый стандарт ГОСЗ, в котором среди обязательных дисциплин предусматривается несколько дисциплин медико-биологического цикла, такие как “Системный анализ медико-биологических исследований”, “Биофизические и биохимические основы жизнедеятельности”, “Технические методы диагностических исследований и лечебных воздействий” и ряд других. Основное на-

значение этих дисциплин – дать техническому специалисту представление о свойствах биологического объекта как объекта изучения и управления, к которому подключаются технические устройства. Поэтому выбор учебного материала по этому разделу образовательной программы должен быть очень взвешенным, так как главная задача – подготовка технического специалиста. На наш взгляд, определенный объем таких знаний необходим любому специалисту по любому техническому направлению образования, так как все они разрабатывают и создают технические системы и комплексы, которыми управляет человек. Такая дисциплина с условным названием “Биотехнические проблемы инженерной деятельности” может быть включена, например, как обязательная в гуманитарный или общеинженерный цикл подготовки.

Список литературы

1. Попечителей Е.П. Системный анализ медико-биологических исследований. – Саратов: Научная книга, 2009.
2. Попечителей Е.П. Человек в биотехнической системе. – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ “ЛЭТИ”, 2006.
3. Ахутин В.М. Бионические аспекты синтеза биотехнических систем: в кн. Информационные материалы: Кибернетика. – 1976. – № 4 (82). – С. 3-26.
4. Ахутин В.М. и др. Биотехнические системы. Теория и проектирование / под общей редакцией проф. Ахутина В.М. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1981.
5. Корневский Н.А., Попечителей Е.П., Серегин С.П. Медицинские приборы, аппараты, систем и комплексы: учебник. Курск. гос. ун-т. – Курск: ОАО «ИПП “Курск”», 2009.
6. Гусев В.Г. Получение информации о параметрах и характеристиках организма и физические методы воздействия на них. – М.: Машиностроение, 2004.
7. Попечителей Е.П. Технические методы диагностики биоматериалов: учебное издание. – СПб.: Изд-во “Технолит”, 2011.
8. Попечителей Е.П., Романов С.В. Анализ числовых таблиц в биотехнических системах обработки экспериментальных данных. – Л.: Изд-во «Наука», 1985.
9. Ахлаков М.К., Болсунов К.Н., Попечителей Е.П. Тестовые системы в медико-биологических исследованиях. – СПб.: СПб ГЭТУ «ЛЭТИ», 2003.
10. Попечителей Е.П. Биотехнические системы и технологии на их основе: сб. «Биотехнические системы в медицине и биологии». – СПб.: Изд-во Политехника, 2002. – С. 5-12.
11. Зигель А., Вольф Д. Модели группового поведения в системе человек-машина. – М.: Мир, 1973.
12. Червинская К.Р., Щелкова О.Ю. Медицинская психодиагностика и инженерия знаний / под ред. проф. Л.И. Вассермана. – СПб.: Изд-во Ювента; – М.: Издательский центр «Академия», 2002.
13. Падерно П.И., Попечителей Е.П. Надежность и эргономика биотехнических систем / под общ. ред. проф. Е.П. Попечителя. – СПб.: ООО “Техномедиа”, Изд-во “Элмор”, 2007.
14. Попечителей Е.П. «Функциональная система» медико-биологических исследований // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. – 2009. – Т. 8, № 4. – С. 806-818.
15. Попечителей Е.П. Система технических методов управления состоянием человека // Вестник Костромского государственного университета им. Н.А. Некрасова. Системный анализ. Теория и практика. – 2010. – Том 16, № 2. – С. 29-34.
16. Общая физиология сенсорных систем. Руководство по биологии и биофизике / В.И. Гуткин, С.П. Серегин, С.Д. Долженков, Н.А. Корневский. Курск. гос. тех. ун-т. – Курск: ОАО “Курск”, 2009.
17. Ахутин В.М. Поэтапное моделирование и синтез адаптивных биотехнических и эргатических систем: в кн. Инженерная психология. – М., 1977. – С. 149-180.
18. Попечителей Е.П. Задачи поэтапного моделирования при синтезе биотехнических систем // Известия СПбГЭТУ. – 2008. – Вып. 4. – С. 67-73.
19. Организация взаимодействия человека с техническими средствами АСУ: в 7 т. / под ред. В.Н. Четверикова. – М.: Высшая школа, 1990.
20. Попечителей Е.П. Биотехтоника – наука о синтезе биотехнических систем: в кн. Многоконцептуальность в науке. – Екатеринбург: Изд-во УМЦ-УПИ, 2011. – С. 404-412.
21. Попечителей Е.П. Становление медико-технического образования в России // Медицинская техника. – 2009. – №2. – С. 1-8.

УДК 615.471:617.7

ПОДКЛЮЧЕНИЕ К ЧЕЛОВЕКУ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ В БИОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

Попечителей Е.П.

*Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»,
Санкт-Петербург, e-mail: eugeny_p@mail.ru*

Рассмотрены проблемы объединения человека и технических устройств в единую биотехническую систему (БТС), приведены классификация и структура каналов взаимодействия этих элементов в БТС разного назначения. Выделено два наиболее часто встречающихся варианта: каналы для подключения в БТС человека-пациента и каналы для включения человека-оператора как управляющего звена БТС. Приведены примеры разных биотехнических систем с различными каналами взаимосвязи.

Ключевые слова: биотехническая система, объект управления, человек-оператор, человек-пациент, технические комплексы, рабочая среда, каналы взаимодействия, типы каналов.

CONNECTING TO THE PERSON TECHNICAL MEANS BIOENGINEERING SYSTEM

Popchitelev E.P.

*Saint Petersburg State Electrotechnical University «LETI», St. Petersburg,
e-mail: eugeny_p@mail.ru*

The problems of combining human and technical devices in a single biotech system (BPS) shows the classification and structure of channels of interaction of these elements in the BPS for different purposes. Select two most common options: channels to connect to the BPS human patient and channels to enable the human operator as the control unit of the BPS. Examples of various biotechnical systems with different relationship channels.

Keywords: biotech system, facility management, human operator, a human patient, complexes, work environment, communication channels, channel types.

Биотехнические системы (БТС) приспособлены для решения прикладных задач в двух назначениях, которые определяются положением в них человека. В первом из них человек выполняет роль управляющего звена, т. е. выполняет функции **человека-оператора** (ЧО) и от его действий зависит работа всего технического комплекса [1, 2, 3], а во втором – он сам может выступать в роли объекта познания/управления [4,5]; эту функцию определим как функцию **человека-пациента** (ЧП). В первом варианте такие системы используются для реализации интересов человека при решении им же поставленных задач, например, на производстве, при выполнении научных исследований и других, а во втором – БТС призваны оценивать и поддерживать его здоровье как в обычных условиях, так и во время выполнения им трудовой деятельности.

В статье рассмотрены возможные варианты подключения к человеку **технических комплексов** (ТК), формирующих совместно с ним биотехнические системы. Для этого используются специализированные каналы взаимосвязи, при разработке которых необходимо учитывать особенности трёх взаимодействующих подсистем – человека,

рабочей среды и технических устройств. В зависимости от задач, которые решает человек, структуры этих каналов различаются, а от качества их выполнения зависит эффективность работы всей биотехнической системы в целом.

Человеческий фактор в управлении техническими системами

Не всякую техническую (искусственную) систему, находящуюся под управлением человека, следует относить к биотехнической в полной мере, как непосредственно управляемую человеком. Известны автоматические технические комплексы, которые вообще работают без участия человека в соответствии с вложенными в них программами, однако эти программы и сами автоматические комплексы разработаны и изготовлены человеком. Следовательно, несмотря на различные целевые функции, к биотехническим в равной степени следует отнести все известные на сегодня системы разного назначения; все существующие технические комплексы отражают представления человека об их устройстве, назначении, качестве работы и эксплуатационных характеристиках.

Совокупность свойств человека, влияющих на эффективность функционирования

технических систем, объединяется под общим термином “**человеческий фактор**”, который *всегда присутствует в любых изделиях, созданных человеческим разумом*. И так будет всегда, так как живой объект с другими свойствами и характеристиками имел бы вокруг себя иные устройства и системы, приспособленные к этим свойствам и характеристикам. Следовательно, *все, что делает человек, создавая различные технические изделия, подчинены его интересам и отражают его свойства, как разработчика, изготовителя или пользователя* (не обязательно того, кто создавал конкретное техническое устройство). Такие изделия отражают присущие человеку свойства, в них используется интеллектуальный потенциал и опыт подобных разработок не одного человека, а опыт и знания всего человечества. Поэтому так важна задача изучения особенностей организма и поведения человека для дальнейшего совершенствования его технического окружения.

Для оценки степени включения человека в процесс достижения целей, ради которых создаётся БТС, в [1, 2] введено представление об “**уровне биотехничности**”, характеризующем *степень приспособления технических средств к человеку*. Тогда за “нулевой” уровень следует принять такой, при котором они и организация работы с ними вообще не рассчитаны на участие человека в трудовом процессе, или они созданы без его участия. Однако на сегодня трудно представить работающие технические системы, с которыми человек вообще не был бы связан. В реальных условиях жизни на Земле искусственных систем с нулевым уровнем биотехничности вообще нет, но степень участия человека в процесс управления этими средствами может быть разной, что и учитывает этот показатель для той или иной биотехнической системе. Количественно определить этот показатель пока не представляется возможным, но в то же время качественные оценки приспособленности технической части БТС к человеку, который ею пользуется, вполне возможны и даже целесообразны, так как позволяют выявить недостатки и предложить пути совершенствования этих систем.

Включение человека непосредственно в процесс управления техническим комплексом, когда с ним связана работа всего комплекса, возможно только за счёт повышения уровня биотехничности. Для этого необхо-

димо включить дополнительные технологические операции, позволяющие *согласовать характеристики человека с параметрами технических блоков, входящих в БТС*, они и определяют техническую часть биотехнической системы, а в сложных случаях необходим ещё целый ряд дополнительных приёмов повышения надёжности работы человека []. Кроме того, на качество работы человека влияют изменения состояния рабочей среде (РС), параметры которой оказывают значительное влияние на трудовой процесс. Поэтому контроль состояния среды и поддержка оптимальных рабочих условий, а также текущий контроль состояния человека, на каком бы месте в БТС он не находился, позволяет повысить качество и эффективность выполнения поставленной задачи.

Положение человека на месте управляющего звена, т. е. выполняющего функции **человека-оператора** (ЧО), хорошо изучено в технической литературе [см., например, 1, 4, 5], к которым следует отнести:

- пользователя, когда его функции сводятся к включению-выключению техники и настройке её параметров к решаемой задаче;
- эксперта, оценивающего в целом качество работы технических средств и уровень подготовки обслуживающего персонала;
- управленца, определяющего программу работы всего технического комплекса в реальном времени с учётом всех факторов, от которых зависит работа комплекса.

На этом месте человек осуществляет трудовую деятельность, основу которой составляет взаимодействие с объектами управления (или исследования) не непосредственно, а через технические средства, которые с одной стороны формируют для него информационные модели объекта управления, а с другой – помогают передавать его решения в исполнительные устройства. В различных научных и практических изданиях представлены разнообразные способы и методы повышения эффективности работы человека на месте ЧО, при этом для его успешной работы необходимо выполнить преобразования:

- формы входных воздействий на ЧО, так как информация ему должна быть представлена в присущих ему *сенсорных модальностях* (в основном это зрение, слух, тактильные ощущения);
- специальные преобразования решений ЧО в виде командных сигналов, с по-

мощью которых человек может изменять программы обработки информации или непосредственно управлять блоками управления состоянием человека-пациента.

В качестве объекта управления в БТС могут быть включены различные объекты, в том числе и сам человек как **человек-пациент** (ЧП), который в этом варианте становится предметом профессионального интереса для ЧО. На этом месте к нему подключается БИП, с помощью которых определяются параметры его текущего состояния, и, при необходимости, *технические средства управления* (ТСУ), оказывающие лечебное или корректирующие воздействия. Примерами такого положения могут быть:

- посетитель лечебно-профилактического учреждения при выполнении профилактических, диагностических, лечебных или реабилитационных мероприятий;

- кандидат на занятие определённого места в трудовом процессе, когда к нему предъявляются особые требования по психическим и психофизиологическим характеристикам или определяется его профессиональная пригодность к конкретной профессии;

- обучающийся при проверке уровня подготовки и овладения профессиональными навыками, оценке уровня готовности к выполнению конкретной работы, особенно в экстремальных условиях, когда к здоровью человека предъявляются повышенные требования.

Этот список примеров можно продолжать, потому что проблема оценки состояния здоровья человека и определение его личностных характеристик возникает в разных прикладных задачах, справиться с которыми может только он сам. Для этого варианта подключения технических средств к человеку преобразование состояния ЧП в информационную модель состояния происходит в соответствии с записью:

$$(C_{\text{чп}})_{\text{БИП}} \Rightarrow (ИМ_{\text{ОУ}})_{\text{ЧО}} \quad (2)$$

в которой $(C_{\text{чп}})_{\text{БИП}}$ – состояние ЧП, оценённое на основании показаний *блок измерительные преобразователи* (БИП), $(ИМ_{\text{ОУ}})_{\text{ЧО}}$ – информационная модель ОУ, представленная ЧО на устройстве воспроизведения.

Чтобы получить от ЧП полную информацию о его состоянии и управлять этим состоянием, необходимо учитывать ещё два преобразования:

- информации о состоянии человека, которая содержится в параметрах разнообразных физических полей, сопровождающих жизнедеятельность организма человека;

- решений ЧО в непосредственное воздействие, на которое будет реагировать ЧП.

Эта задача также хорошо известна и обсуждена в доступной литературе [], а основные проблемы исследования и управления состоянием ЧП связаны с требованиями обеспечения безопасности здоровью человека как при выполнении исследований, так и при оказании лечебных и корректирующих воздействий.

Техническая часть биотехнической системы

При анализе структуры БТС, особенно, когда человек-оператор управляет сложным техническим комплексом, содержащим большое число различных устройств и блоков, трудно отделить в ней техническую часть, необходимую для организации работы человека и всегда присутствующую независимо от типа объекта управления (ОУ). В общем случае при решении любой задачи с помощью БТС нельзя обойтись без блока измерительных преобразователей ($БИП_{\text{чп}}$), подключённого к объекту управления, системы отображения информации ($СОИ_{\text{чп}}$) для представления человеку-оператору информации о состоянии ОУ, блока управления ($БУ_{\text{чп}}$) состоянием этого объекта, включающего пульт управления ($ПУ_{\text{чп}}$) и генераторы воздействий ($ГВ_{\text{бу}}$), а также без системы обработки информации и формирования команд ($СОИФК$).

Все такие блоки представлены на рис. 1 для варианта БТС, в котором в качестве объекта управления выступает ЧП. Подстрочные индексы при обозначениях разных блоков для ЧП и ЧО отражают связь этих блоков с конкретным положением человека в БТС.

Перечисленные узлы должны быть в определённой степени универсальными, т.е. присутствовать в различных биотехнических системах, хотя их конкретное содержание может изменяться. Выделенные блоки вместе и образуют техническую часть БТС ($ТЧ_{\text{БТС}}$). Для того чтобы вся биотехническая система в целом смогла эффективно выполнять своё назначение, каждый из входящих в $ТЧ_{\text{БТС}}$ блоков должен результативно выполнять вполне определённые функции.

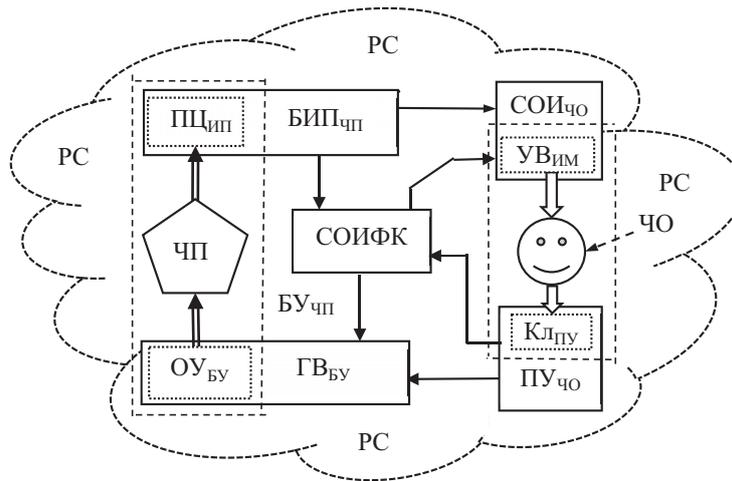


Рис. 1. Техническая часть БТС

На рисунке 1, кроме этих узлов, которые необходимы для выполнения главной её задачи, предусмотрены блоки, связанные с непосредственным подключением к человеку технических устройств, причём для разных положений человека преобразования, выполняемые этими блоками, различаются.

Два отмеченных узла: оконечные устройства блока управления (ОУ_{БУ}) и первичные цепи измерительных преобразователей (ПЦ_{ИП}) необходимы для подключения к человеку-пациенту средств оценки и управления его состоянием. Они отражены на рис. 1 в пунктирных прямоугольниках, которые расположены внутри соответствующих блоков БИП_{ЧП} и БУ_{ЧП}.

Два других два узла: устройство воспроизведения в составе СОИ(УВ_{СОИ}) и клавиатура пульта управления (КЛ_{ПУ}) охватывают ЧО для обеспечения его работы; они отражены в пунктирных прямоугольниках в блоках УВ_{СОИ} и ПУ_{ЧО}.

Без отмеченных технических узлов включить человека в структуру БТС невозможно, а при разработке таких узлов должна учитываться характеристики сенсорных и эффекторных модальностей человека, используемых для выполнения им работы. Эти узлы и входят в состав каналов связи человека и технических узлов []; эти каналы на рис.1 обведены пунктирными линиями с широкими штрихами.

Широкие стрелки в этих каналах подчёркивают, что преобразования, происходящие внутри их различны.

Структура информационных преобразований, выполняемых в технической части БТС

Легко убедиться в том, что все преобразования, выполняемые в ТЧ_{БТС}, связаны с преобразованиями осведомительной или командной информации кроме этапа формирования управляющих воздействий. В качестве таких воздействий можно включать физические и другие факторы, позволяющие управлять состоянием объекта управления; но и здесь известны методы информационного воздействия, которые приводят к изменению состояния ЧП []. Условная запись всех преобразований в цепи «ЧП ↔ ЧО» приведена на рис. 2.

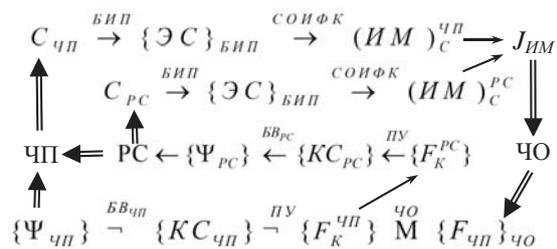


Рис. 2. Условная запись преобразований в цепи ЧП ↔ ЧО

Состояние человека-пациента $C_{ЧП}$ передаёт совокупность электрических сигналов $\{ЭС\}_{БИП}$ измерительных преобразователей, включённых в состав БИП. После их обработки в СОИФК формируется информационная модель $(ИМ)_{ЧП}$ этого состояния в виде множества показателей, которые с помощью системы отображения информации

СОИ представляется на устройстве воспроизведения $УВ_{им}$ в виде визуального изображения ($J_{им}$). По этим изображениям ЧО формирует множество суждений $\{F_{чп}\}_{чп}$ (концептуальных моделей []) о состоянии ЧП. Такие оценки в значительной степени зависят от подготовки ЧО к принятию решений, поэтому в обозначение введены два дополнительных идентификатора. Принимаемые суждения содержат и знания о выбранных командах для блоков воздействия.

Свои решения в виде командных сигналов $\{КС\}_{пу}$ ЧО через устройство ввода команд $ВК_{пу}$ (чаще всего это клавиатура, рассчитанная на его *моторную деятельность* человека) пульта управления ПУ должен передать в блоки управления состоянием ЧП. У ЧО есть два способа управления состоянием ЧП: непосредственное управление (команды $\{F_{к}^{чп}\}$) и управление через изменение параметров рабочей средой (команды $\{F_{к}^{рс}\}$). Командные сигналы $\{КС_{чп}\}$ и $\{КС_{рс}\}$ передаются через пульт управления состоянием человека-пациента ПУ в блоки воздействия $БВ_{чп}$ и $БВ_{рс}$. Управляющие воздействия $\psi_{чп}$ и $\psi_{рс}$ изменяют состояние ЧП в нужном направлении. В записи на рис. 2 стрелками обозначено направление развития процесса, причём тонкие стрелки определяют технические этапы преобразований, а широкие – преобразования, связанные непосредственно с ЧП и ЧО.

На рис. 2 представлена вся последовательность преобразований от оценки текущего состояния человека-пациента $S_{чп}$ до подведения воздействий $\{\psi\}_{чп}$, создаваемых на основании принятых человеком-оператором решений, и отражены два пути подведения воздействий к ОУ: с помощью прямого воздействия на ЧП – поток воздействий $\{\psi_{чп}\}$ и воздействия на него через изменения параметров рабочей среды – поток воздействий $\{\psi_{рс}\}$, поэтому:

$$\{\psi\}_{чп} = \{\psi_{чп}\} + \{\psi_{рс}\}. \quad (1)$$

Анализ состояния и непосредственное управление состоянием ОУ самим человеком-оператором возможно только в очень частных задачах, а включить человека в структуру БТС в любом его положениях (так в качестве ЧО, так и как ЧП) напрямую тоже невозможно. Качественный характер и низкая точность дифференцирования человеком различных свойств внешних по отношению к нему объектов, ограниченность модальностей физических носителей ин-

формации, на которые может реагировать человек, затруднения при объективном учёте влияний **рабочей среды** (РС) на состояние управляемого объекта и ряд других факторов определяют низкий уровень организации непосредственного управления. Здесь в понятие «рабочая среда» включается всё внешнее окружение БТС, которое может повлиять на её работу.

Каналы связи человека с техническими средствами

Работа ЧО представляется наиболее затратной по отношению к использованию ресурсов организма человека, так как он несёт полную ответственность за выполнение поставленной задачи и от его состояния и знаний в значительной степени зависит качество работы БТС в целом. Для оптимизации работы ЧО требуется тщательная проработка всех сторон взаимодействия человека с ТК. От этого зависит ясное понимание человеком в реальном времени поставленной перед ним задачи, состояния объекта управления и рабочей среды, в которой он работает, ясное представление о собственном состоянии здоровья. От этих знаний в конечном счёте зависит успешность решения всей задачи в полном объёме.

На рис. 1 приведены только обязательные технические блоки БТС, а блоки $УВ_{чп}$, $П_{чп}$ и $ПЦ_{оу}$, $ОУ_{гв}$ позволяют частично реализовать проблему сочетания положительных качеств биологических и технических элементов при компенсации их недостатков, если при их проектировании учитываются свойства входящих в них разнородных элементов. Кроме этого, очень часто принимаемые решения зависят от состояния окружающей (рабочей РС) среды, поэтому и параметры среды целесообразно отображать на $УОИ_{чп}$, для чего необходимо также предусматривать специальные технические средства.

В литературе имеется большое количество изданий, посвящённых сравнению возможностей человека и современных технических средств (см., например, [2], [7], и др.). Во всех этих изданиях подчёркивается мысль о том, что человек имеет существенные преимущества перед техническими системами, которые не позволяют исключить его из процесса управления. Но и технические средства за счёт скорости, точности и качества выполнения многочисленных операций превосходят человека. Вот здесь и

возникает проблема в сочетании положительных качествах этих подсистем.

Отмеченные каналы связи не исчерпывают все необходимые узлы, которые требуется учитывать при оценке эффективности биотехнической системы, поэтому на рис. 3 представлена развёрнутая структура БТС. “Стержнем”, системообразующим фактором любой биотехнической системы исследований или управления является взаимодействующая пара элементов “ $ЧО \overset{PC}{\rightleftharpoons} ЧП$ ”, в этой записи отражён факт, что такой контакт осуществляется через рабочую среду. В развёрнутой структуре сохранены естественные связи, не соединённые с техническими узлами, и показаны новые связи и технические блоки, позволяющие повысить эффективность системы в целом.

Чтобы разобраться в структуре БТС, целесообразно выделить в этой структуре две ветки, разделяемые линией (линия АБ на рис. 3), одна из которых (верхняя) связана с получением и обработкой информации о характеристиках ЧП, а другая (нижняя) – с разработкой решений по управлению состоянием ЧП и осуществления этого управления. Целесообразно также отдельно выделить связи между техническими блоками БТС (тонкие стрелки на рис. 3) и связи этих блоков с ЧП и ЧО (широкие стрелки на рис. 3).

Для получения измерительной информации необходим переход от качественной оценки свойств ЧП к количественной характеристике его параметров, к объективизации процесса постановки диагноза. Для этого в верхней части БТС предусматриваются технические средства оценки состояния (ТСОС), которые обрабатывают сигнала

лы с блока измерительных преобразователей (БИП), подключённых к ЧП через первичные цепи преобразователей (ПЦ_{ЧП}). Диагностическая информация уже может быть представлена в виде множества цифровых показателей и записей процессов, на основании анализа которых базируется заключение ЧО о состоянии ЧП.

Далее существует две возможности: первая связана с оценкой, которую делает ЧО, для чего вся информация после обработки в ТСОС представляется на устройствах воспроизведения УВ¹_{ЧО}, а вторая связана с её передачей в технические средства программной обработки информации и формирования команд СОИФК. Разработка автоматизированных информационных систем освобождает ЧО от рутинной работы по обработке информации, а в ряде случаев позволяет решать задачи распознавания образов с целью поиска информативных признаков, классификации, прогнозирования по заранее составленным программам обработки. Такие системы могут формировать решения по воздействию на ЧП даже независимо от человека, хотя и под его контролем.

Одной из тенденций применения вычислительной техники при анализе осведомительной количественной информации является *интерактивный* режим обработки; в этом режиме человек сам формирует программу обработки в реальном масштабе времени []. Для управления СОИФК со стороны ЧО в системе предусматривается дополнительный канал связи КС²_{ЧО}, включающий устройство воспроизведения УВ²_{ЧО} и клавиатура КЛ²_{ЧО} (например, экран монитора и клавиатура компьютера).

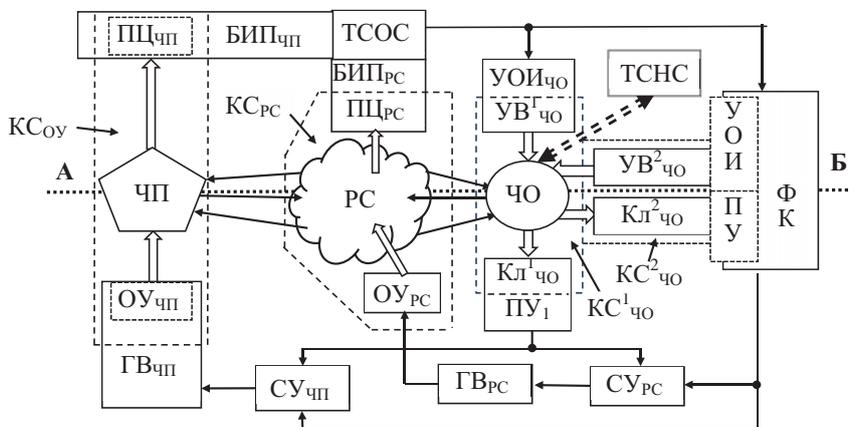


Рис. 3. Каналы взаимодействия в БТС

Инструментальные средства управляемых воздействий включены во вторую часть структуры БТС, в которую введены технические средства непосредственного управления состоянием ЧП (средства управления – СУ_{чп}), и средства *опосредованного управления его состоянием* через управление параметрами рабочей среды (СУ_{рс}) путём изменения её характеристик. Часто такие системы должны не только оценивать параметры среды (первичные цепи ПЦ_{рс} измерительных преобразователей) в замкнутых объёмах пребывания ЧП, но и содержать технические средства изменения этих параметров (генераторы воздействий ГР_{рс}) в соответствии с применяемой технологией управления. Первая часть этих средств – СУ_{чп} – использует физические или информационные методы воздействия на ЧП через генератор воздействия ГВ_{оп}. Вторая их часть – СУ_{рс} – изменяет физические параметры РС (например, температуру, влажность, давление, кислородосодержащие и т. п.) через генератор ГР_{рс}. Параметры РС поступают на ТСОС, а затем могут быть представлены вместе с другими характеристиками на УВ¹_{чо} для информирования человека-оператора или быть переданными в СОИФК, где производится их обработка и учёт при принятии решений.

Таким образом, в структуре БТС в общем случае предусматриваются *четыре канала связи*, охватывающие ОУ, ЧО (два канала) и РС (рис. 4), через которую также можно управлять состоянием ЧП. Все отмеченные каналы обеспечивают оптимальное включение этих элементов в БТС и служат для выполнения всех функций по управлению всей системой.

Сложность систем, для которых невозможно заранее составить жёсткую программу управления, предугадать весь ход экспе-

римента, работа в условиях, когда могут возникнуть непредвиденные ситуации, требующие быстрой смены программы работы, затрудняют работу ЧО. В таких условиях он уже становится звеном, ограничивающим надёжность функционирования всей системы в целом, поэтому человек сам становится элементом, состояние которого контролируется и управляется с помощью специальных **технических средств нормализации состояния** (ТСНС_{чо}) []. На рис. 2 этот канал подключён к ЧО (широкая пунктирная стрелка на рис. 2), но не раскрыт полностью; он содержит измерительные преобразователи и средства воздействия для оценки и для поддержания рабочего состояния человека-оператора такого же типа, как и рассмотренные выше, но значительно более простые, так как детальная диагностика состояния ЧО в этом случае не предусматривается.

Отмеченные каналы не выполняют никаких других функций, кроме согласования языков общения технических узлов с объектами другой, биологической природы и обеспечивают целостность всей системы. В этом состоит основное отличие структур биотехнических систем от чисто технических.

В положении ЧП (рис. 4, а) для управления его состоянием используются воздействия различной физической природы [], при этом оконечные устройства ГВ_{чп} – ОУ_{чп} – должны быть приспособлены к типу воздействия. Ответом на такое воздействие может быть два: один из них – это совокупность показателей состояния ЧП, регистрируемых с помощью БИП, второй выражается в параметрах поведения человека в ответ на воздействие, которые также легко зафиксировать с помощью специальных датчиков.

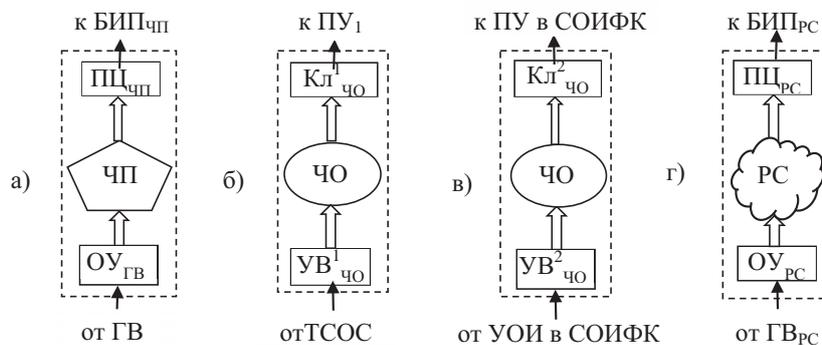


Рис. 4. Каналы связи для включения человека и рабочей среды в БТС

Человек-оператор в БТС (рис. 4, б) в основном занят информационной работой: анализирует поступающую через $УВ_{\text{ЧО}}$ информацию, и на основании этого принимает решения, которые дальше передаёт в виде командных сигналов через пульт управления $ПУ_{\text{ЧО}}$ в ГВ. У него есть возможность и другого способа управления состоянием ЧП – через блок СОИФК, используя $УВ^2_{\text{ЧО}}$ и $Кл^2_{\text{ЧО}}$, входящие в состав этого блока. Кроме того, в структуре БТС присутствует ещё возможность управления состоянием ЧП через РС (рис. 4, г). Этот канал включает генератор воздействия $ГВ_{\text{РС}}$, параметры воздействия задаёт ЧО через пульт $ПУ^1_{\text{ЧО}}$, к которому подключается и генератор $ГВ_{\text{ЧП}}$.

Заключение

Рассмотренные каналы связи обеспечивают подключение к человеку технических узлов разного назначения. Вместе с ним эти узлы и формируют биотехнические системы. Такие каналы сами выступают как биотехнические блоки, так как при их разработке необходимо учитывать свойства и характеристики человека и сочетаемых с ним

технических элементов, Структура каналов связи разного назначения универсальна и может быть разработана независимо от назначения и функций той БТС, в которую они входят в качестве её подсистем.

Список литературы

1. Попечителей Е.П. Человек в биотехнической системе: учебное пособие. – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ, 2006. – 160 с.
2. Падерно П.И., Попечителей Е.П. Надёжность и эргономика биотехнических систем / под общей редакцией проф. Е.П. Попечителя. – СПб.: ООО “Техномедиа”, Изд-во “Элмор”, 2007. – 264 с.
3. Основы инженерной психологии: учебник для студентов ВУЗов / под ред. Б.А. Душкова. – Екатеринбург: Академический Проект, 2002.
4. Попечителей Е.П. Проблемы синтеза биотехнических систем // Медтехника. – 2013. – №2 (278). – С. 1-6.
5. Корневский Н.А., Попечителей Е.П. Биотехнические системы медицинского назначения. – Старый Оскол: Изд-во ТНТ, 2014. – 685 с.
6. Попечителей Е.П. Каналы взаимодействия биологических и технических звеньев в биотехнических системах // Известия ЛЭТИ. – 1982. – Вып. 318. – С. 14-22.
7. Попечителей Е.П. Системный анализ медико-биологических исследований. – Старый Оскол: ТНТ, 2014.
8. Попечителей Е.П. Технологии обучения и оценки уровня готовности к совместной работе малых групп операторов // Вестник Костромского государственного университета им. Н.А. Некрасова. – 2009. – Т. 15. – С. 3-8.

УДК 504.064.4; 658.567.1:34 (075.8)

БЕЗАЛЬТЕРНАТИВНЫЙ МЕТОД УТИЛИЗАЦИИ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ

Шантарин В.Д.

*Тюменский государственный нефтегазовый университет, Тюмень,
e-mail: shantarin33@mail.ru*

В работе проведены исследования способа повышения эффективности термической утилизации нефтешламов и нефтезагрязнённых земель путем увеличения ценности вторичных полезных продуктов полученных в результате высокотемпературной пиролизной переработки углеродсодержащих отходов, и обоснование с позиции геоэкологии функционирования природозащитной технологии.

Ключевые слова: пиролиз, утилизация, пиролизный газ, углеродсодержащие отходы, синтез-газ, метанол.

THERE IS NO ALTERNATIVE METHODS OF DISPOSAL OF CARBONACEOUS WASTES

Shantarin V. D.

Tyumen State Oil and Gas University, Tyumen, e-mail: shantarin33@mail.ru

The paper studied ways to improve the efficiency of thermal utilization of sludge and oil-contaminated land by increasing the value of useful secondary products derived from the processing of high-temperature pyrolysis of carbon-containing wastes, and rationale from the perspective of the functioning of geo-ecology nature protection technologies.

Keywords: pyrolysis, recycling, pyrolysis gas, carbon-containing wastes, synthesis gas, methanol.

Одним из самых перспективных направлений «борьбы» с нефтешламами с точки зрения, как экологической безопасности, так и получения вторичных полезных продуктов является пиролиз. Он даёт возможность экономически выгодно, экологически чисто, технически относительно просто перерабатывать нефтяные отходы.

К техническим результатам, получаемым от реализации работы относится, повышение эффективности способа переработки углеродсодержащих отходов, а также обеспечение максимальной безотходности процесса пиролиза с одновременным повторным использованием в операциях процесса пиролиза рабочих тел, полученных в предыдущих операциях, с получением на выходе процесса пиролиза синтетического газа, который сам может быть использован в дальнейшем в энергетических целях.

Для повышения эффективности пиролизного метода утилизации углеводородсодержащих отходов было принято следующее техническое решение – дополнить существующую установку [1-3] модульными секциями. На рисунке представлена схема усовершенствованной пиролизной установки. Основными технологическими узлами, которой являются высокотемпературный пиролизный реактор с электродуговым нагревом и реактор производства синтез-газа с синусоидальной катушкой. В качестве утилизируемого материала при проведении исследовательских работ взята модель угле-

родсодержащих отходов, состоящая из трех образцов (древесные опилки, нефтешламы и нефтезагрязненная земля).

Полный процесс состоит из нескольких этапов. Первый – получение высокотемпературного потока теплоносителя, реализуемого с помощью электродугового разряда [1-3]. В результате пиролиза должно хватить запаса тепла для наиболее полного термического разложения до полезных продуктов. Второй – вывод пиролизного газа. В результате должна получиться смесь с заданной температурой и составом. Третий – собственно реактор синтеза метанола, позволяющий конвертировать пиролизный газ в продукты органической химии.

Испытательный стенд, включает в себя лабораторную установку, в основе которой реактор, предназначенный для утилизации органических отходов, и представляет собой электродуговую печь косвенного действия [1-3]. Особенностью установки является то, что электрическая дуга возникает между двумя горизонтально расположенными электродами. Утилизируемому материалу тепло от дуги передается излучением, конвекцией и теплопроводностью. Электроды помещены в изоляционные диэлектрические кольца и снабжены уплотняющими устройствами, что позволяет проводить эксперименты при избыточном давлении в установке. Подача электродов производится вручную при помощи винтового устройства подачи.

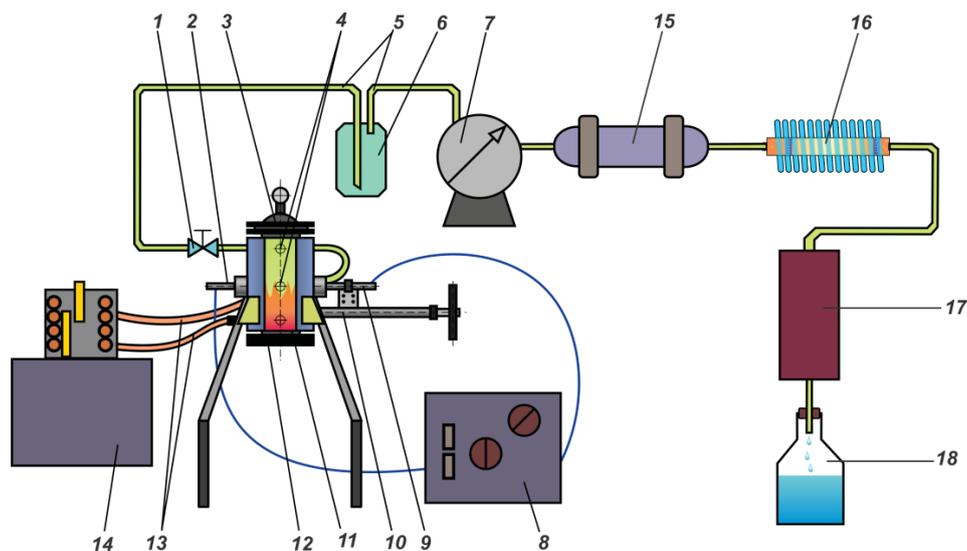


Схема усовершенствованной пиролизной лабораторной установки

- 1 – регулятор выхода газа; 2 – большой электрод; 3 – загрузочный люк с устройством контроля давления газа; 4 – гнезда размещения температурных датчиков; 5 – газопроводные линии; 6 – конденсатосборник; 7 – газосчетчик; 8 – сварочный трансформатор; 9 – малый электрод; 10 – устройство подачи малого электрода; 11 – реактор; 12 – люк разгрузки реактора; 13 – водопроводные линии; 14 – термостат; 15 – устройство для очистки газа; 16 – синтез-реактор; 17 – теплообменник; 18 – сборник метанола

Избыточное давление в установке достигается с помощью образующегося пиролизного газа путем перекрытия в начальный момент переработки регулятора выхода газа. Снаружи установки газ проходит через регулятор выхода газа, выполненного в виде шарового крана, по газопроводным линиям в конденсатосборник, где осаждается жидкая фаза. А полученный на выходе синтез-газ ($\text{CO} + \text{H}_2$) поступает в синтезатор метанола, где на цинк-хромовом катализаторе происходит превращение его в метанол CH_3OH под действием электромагнитного поля. Смесь газообразных продуктов на выходе синтезатора метанола поступает в накопительный бачок. В верхней его части находится трубка-фитиль, где дожигаются продукты, которые не прореагировали в процессах. Самым главным узлом в этом процессе является синтез-реактор. Лабораторный образец был выполнен из бронзовой болванки диаметром 50 мм, Размеры – 160 мм общая длина, рабочая реакторная длина около 140 мм, внутренний диаметр 33 мм, толщина стенок приблизительно 5 мм, т.е. внешний диаметр около 50 мм и того же диаметра – заглушки, их толщина по 20 мм. К заглушкам в отверстия вставляются и привариваются переходные штуцера или просто соединительные бесшовные сталь-

ные трубки с внутренним диаметром 6 мм и толщиной стенок около 2 мм. Снаружи болванки идут обмотки катушки. Гранулированный цинк-хромовый катализатор измельчили до порошкообразного состояния в соотношении один к одному с ферритовым порошком и помещали внутрь синтез-реактора.

Для исследования возможности активации процесса получения метанола в синтез-реакторе магнитным полем в присутствии ферромагнитных частиц и катализатора, в работе была изготовлена 3-слойная соленоидальная катушка общей длиной 140 мм и индуктивностью $L = 5,2 \text{ мГн}$, намотанная медным проводом диаметром провода $d = 0,2 \text{ мм}$.

Основное действие магнитного поля на процесс получения метанола заключается именно в активизации катализатора за счет смещения его частиц частицами ферромагнитного порошка, переориентация которых обеспечивается внешним магнитным полем. При наличии смещения частиц катализатора он взаимодействует с большим объемом синтез-газа, увеличивая в результате выход метанола. Этот эффект будет тем больше, чем больше будет амплитуда сдвига частиц катализатора, задаваемая переориентацией частиц ферромагнитного порошка. А эта переориентация будет макси-

мальна в синусоидальном переменном магнитном поле. Оптимальное число витков катушки оценивалось на основании расчетов.

Определение метанола после прохождения пиролизного газа через синтез-реактор первоначально проводилось в филиале федерального бюджетного учреждения «Центр лабораторного анализа и технических измерений по Уральскому федеральному округу по Тюменской области (таблица). Определение метанола проводилось фотометрическим методом, в аккредитованной лаборатории на фотоэлектрокалориметре КФК-3. Газ, прошедший через синтез-реактор поступал в сосуд с водой (ввиду его токсичности), из которого брали пробы для определения в ней концентрации метанола.

Фактический состав концентрации метанола в водном растворе газа, полученного после прохождения пиролизного газа через синтез-реактор

Концентрация метанола в воде, мг/дм ³	Сила тока в катушке синтез-реактора, А	Напряжение, на катушке синтез-реактора, В
меньше 0,1	0	0
3,35	0,95	70
7,4	1,24	113
7,77	1,48	121
14,9	1,87	150
16,7	2,02	158
20,2	2,25	169

Полученные результаты свидетельствуют об эффективном влиянии магнитного поля на выход метанола. Предел значений силы тока и напряжения на соленоидальной катушке обеспечен пределом электросопротивления катушки.

Увеличивая силу тока и напряжение на соленоидальной катушке синтез-реактора, при наложении электромагнитного поля в присутствии в реакционной массе ферромагнитных частиц и катализатора, увеличили скорость химической реакции и выход метанола. Химия процесса традиционна. Технология метанола в промышленных масштабах известна, производственное, аппаратное оформление его очень громоздко. Крупногабаритные химические реакторы, теплообменники, емкости для смешивания реагентов в присутствии катализатора имеют внушительные размеры. Для мобильной установки перерабатывающей

углеводородные отходы высокотемпературным пиролизом дополнительный реактор должен быть миниатюризированным. С помощью небольшого синтез-реактора получен результат, позволяющий вовлекать в ресурсооборот образовавшиеся отходы на месте, пользуясь локальными установками. Это экономичнее чем традиционные способы обезвреживания или захоронения отходов на полигонах, строительство дорогостоящих мусороперерабатывающих заводов. Для миниатюризации процесса мы используем малогабаритные аппараты. Мобильный малотоннажный миниатюризированный технологический комплекс может быть расположен непосредственно в местах добычи, транспортировки, переработке нефти, природного газа, газового конденсата. Традиционным и основным методом борьбы с гидратообразованием в газовой промышленности является использование ингибитора гидратообразования – метанола. Удельные расходные показатели потребления метанола в качестве ингибитора гидратообразования непосредственно зависят от состава добываемого природного газа, а так же от технологии подготовки природного газа к транспорту. Снизить удельные расходы можно при помощи мобильного малотоннажного технологического комплекса, описанного выше: исходным продуктом получения метанола являются углеродсодержащие отходы, переработанные в пиролизный газ, компонентный состав которого состоит в основном из монооксида углерода и водорода. Отходы практически не имеют стоимости по сравнению с добываемым природным газом. Хранение же их весьма дорогостоящее дело, выгоднее их утилизировать с пользой. Транспортные расходы на доставку природного газа к метанольным заводам, а затем обратно на месторождение доставка готового метанола, производство которого то же требует затрат, экологически не эффективно и экономически невыгодно. Существуют серьезные экологические риски при транспорте химического реагента на объекты газодобычи. Транспортировка метанола, как опасного груза подкласса ба (летучие легковоспламеняющиеся ядовитые вещества), на удаленные газовые промыслы наземным либо водным транспортом требует особых мер безопасности, исключающих аварии, разливы, утечки и возгорания. Таким образом, при транспортировке метанола, операциях слива и налива

существует опасность возникновения аварийных ситуаций с экологическим ущербом. Следовательно, производство и потребление метанола должно осуществляться в районах нефти и газодобычи.

Ключевой топливно-энергетической отрасли является газовая составляющая. На долю России приходится 30,7% объемов мировых запасов газа. Для сохранения добычи на современном уровне необходимо осваивать новые месторождения мощностью 60 – 70% от нынешнего объема запасов. Газодобыча демонстрирует высокие темпы развития. Ожидается, что до 2025 г. объемы добычи газа удвоятся. При этом более 60% всей добычи газа в РФ будет сосредоточено в районах Крайнего Севера, что ставит перед разработчиками газовых месторождений ряд задач. Одна из них касается предотвращения закупорки магистральных газопроводов и подземных газохранилищ кристаллогидратами при низких температурах воздуха. Для этого в перекачиваемый газ необходимо вводить метанол. С развитием масштабов добычи газа в районах Крайнего севера в зонах вечной мерзлоты потребление метанола будет только возрастать.

На сегодня потребность в метаноле только ОАО Газпром» достигает 250 тыс. т/год. Рост потребления метанола сопровождается и увеличением его стоимости.

В настоящее время метанол на российском рынке предлагается по цене более 10000 руб./т. Для сравнения в 2003 г. метанол продавался по цене 5000 – 6000 руб./т, а год назад по цене 7000 – 8000 руб./т. До-

ставка метанола на промыслы Крайнего Севера как минимум удваивает его стоимость, а для некоторых месторождений, в частности Ямала, вообще существует возможность только сезонной его доставки, что приводит к удорожанию доставки в три раза.

Полученные результаты исследования могут быть использованы промышленными предприятиями нефтегазового комплекса на снижение техногенной нагрузки, с которой не «справляются» процессы естественного самовосстановления природных экосистем, а так же получения метанола из отходов, уменьшает риски негативного воздействия на окружающую среду и повышает экономический, экологический и социальный эффект процесса за счёт использования повышенных потребительских свойств вторичных продуктов.

В результате конверсии углеродсодержащих отходов получен синтез-газ, являющийся сырьём для получения метанола, применяющегося как ингибитор гидратообразования в нефтегазовой промышленности.

Список литературы

1. Шантарин В.Д., Войтенко В.С. Физико-химия дисперсных систем. – М.: Недра, 1990. – 315 с.
2. Шантарин В.Д., Налобина Е.В. Исследование безотходной системы очистки нефтесодержащих вод объектов нефтегазового комплекса: дис. ... канд. тех. наук. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2001. – С. 147.
3. Шантарин В.Д., Коровин И.О. Пиролизная утилизация твердых бытовых отходов. – Тюмень: Изд-во Тюменской государственной с/х Академии, 2005. – 138 с.
4. Шантарин В.Д., Медведев А.В. Пиролизный метод утилизации осадков сточных вод городских очистных сооружений. – Тюмень: Изд-во Тюменской государственной с/х Академии, 2005. – С. 182.

УДК 681.51

АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Шевко Д.Г.

*Дальневосточный государственный аграрный университет, Благовещенск,
e-mail: shevko@mail.ru*

Современный уровень развития техники характеризуется неуклонным повышением разнообразности и сложности управляемых объектов проектируемых систем управления. Типичным становится случай, когда отсутствует точное математическое описание объекта или происходит изменение его параметров неизвестным образом в широких пределах. В подобных ситуациях при построении систем управления большими потенциальными возможностями обладает адаптивный подход. В статье дается краткий обзор и анализ современного состояния проблемы, связанной с разработкой систем прямого адаптивного управления в условиях априорной неопределенности.

Ключевые слова: прямое адаптивное управление, априорная неопределенность, эталонная модель.

ADAPTIVE CONTROL UNDER UNCERTAINTY

Shevko D.G.

Far Eastern State Agrarian University, Blagoveschensk, e-mail: shevko@mail.ru

State of the art is characterized by a steady increase in the diversity and complexity of managed objects designed control systems. Typical becomes a case where there is no exact mathematical description of an object or a change in its parameters unknown manner over a wide range. In such situations, the construction of control systems has great potential adaptive approach. The article provides an overview and analysis of the current state of the problem of development of systems of direct adaptive control in the conditions of a priori uncertainty.

Keywords: direct adaptive control, a priori uncertainty, the reference model.

Задачи, встающие сегодня перед проектировщиком систем автоматического и автоматизированного управления, все чаще требуют при решении использования теории адаптивных систем.

Сформулировать в общих чертах задачу адаптивного управления относительно легко, но весьма не просто решать конкретные задачи управления объектами. Причина в том, что адаптивное управление требуется там, где отсутствует или существенно ограничена априорная информация о реальных законах изменения динамических свойств объекта и входных воздействиях на систему управления, которые будут иметь место при функционировании системы. Эту информацию необходимо извлекать в процессе нормального режима работы системы.

Действительно, характерной чертой современного уровня автоматизации является управление тем или иным объектом в условиях априорной неопределенности. В длинном ряду специфических особенностей, характеризующих условия работы систем прямого адаптивного управления, можно указать, в частности, их многомерность, многосвязность, нелинейность и нестационарность. Однако неопределенность часто оказывается основной трудностью, поскольку существенно усложняет задачу именно недостаток информации, необходи-

мой для выработки управляющего воздействия.

Априорная неопределенность вызывается рядом объективных причин и, как правило, проявляется в отсутствии полных сведений относительно параметров или характеристик объекта, а также относительно приложенных к объекту управления внешних помех и задающих воздействий. Кроме того, при эксплуатации системы параметры объекта управления и внешней среды могут изменяться непредвиденным образом, и тогда нестационарность выступает как один из видов неопределенности.

К числу факторов неопределенности в автоматизированных системах управления технологическими процессами относятся: изменение режимов работы оборудования, нестабильность характеристик сырья и топлива, износ и старение оборудования, загрязнение и т.п.

Начало применению адаптивного подхода в задачах управления было положено в задаче управления полетом, а сейчас используется при создании систем управления непрерывными технологическими процессами, энергетическими комплексами, движущимися объектами (летательные аппараты, суда, манипуляционные роботы и т.п.). При создании автоматических систем управления технологическими процессами

в химической промышленности и металлургии, в различных производственных процессах (пиролиз бензина, обработка металла резанием, доменное производство) также прибегают к методам адаптации, поскольку получение достаточно полной модели объекта управления представляет собой сложную задачу, связанную с длительными и дорогостоящими исследованиями.

Идеи и методы адаптивного подхода нашли применение в экономике, при автоматизации производства строительных материалов, в управлении железнодорожным транспортом. Новый и перспективный класс образуют задачи, возникающие в системных исследованиях (управление развитием городских и региональных систем, управление в агроэкосистемах, распределение водных ресурсов и т.д.).

Перечисленные примеры хотя и отражают разнообразие задач адаптивного управления, но не претендуют на полную характеристику их применения. Однако ограничиваясь только указанными объектами управления, следует отметить, что создание систем управления для большинства из них затруднено не только априорной неопределенностью, но и наличием временного запаздывания, которое необходимо учитывать.

Типичными примерами таких объектов в химической промышленности служат дистилляционные колонны. Современные силовые авиационные установки представляют собой объекты с запаздыванием. Наличие запаздывания в математическом описании объекта управления встречается при автоматической стабилизации курса судна, при производстве цемента, стекла, серной кислоты, в задаче управления ядерным реактором, в энергетике и теплоэнергетике, в других технологических процессах, для которых характерна начальная неопределенность в значении параметров математической модели и текущем изменении характеристик объекта.

Существенное отличие адаптивных методов управления от классических заключается в том, что они обеспечивают выполнение требований конкретной цели управления не для одного полностью определенного объекта, а для нескольких произвольных объектов, принадлежащих некоторому известному множеству или классу. Отметим, что класс адаптивности определяет границы возможных изменений параметров управляемого объекта и действующих на

объект возмущений, то есть по существу является заданием уровня априорной неопределенности в системе управления.

Указание объема начальной информации – необходимое условие в задаче построения адаптивных систем, так как уровень априорной неопределенности определяет тип адаптивной системы управления.

Термин “адаптивные системы” в настоящее время общепринятый, хотя в отечественной литературе до 70-х гг. использовался другой – “самонастраивающиеся системы”. Позже, наряду с понятием адаптивных систем, вслед за Д. Саридисом, стали употреблять термин “самоорганизующие системы”. В самонастраивающихся системах для достижения поставленной цели управления следует изменять лишь параметры управляющего устройства или управляющих воздействий, при этом объем априорной информации, необходимой для построения работоспособной системы управления, достаточно велик. В самоорганизующихся системах для ее создания требуется меньший объем начальных сведений, но при этом для достижения заданной цели управления необходимо изменять как параметры управляющего устройства, так и его структуру.

А.А. Красовский [2] разделяет адаптивные системы на поисковые и беспоисковые. В поисковых адаптивных системах формируется некоторый показатель качества системы, доступный измерению и обладающий экстремальной характеристикой в зависимости от параметров регулятора, значения которых определяются с помощью специальным образом организованных поиска и настройки. Положение экстремальной точки неизвестно, оно изменяется вместе с изменением математической модели объекта и внешних воздействий на систему управления. Задача сводится к отысканию экстремальной точки показателя качества системы на множестве настраиваемых параметров при незначительных поисковых изменениях этих параметров.

Построение беспоисковых адаптивных систем опирается на использование принципа отрицательной обратной связи, что позволяет в отличие от поисковых систем не отыскивать, а задавать некий показатель. Этот показатель остается неизменным или изменяется желаемым образом за счет целенаправленного изменения параметров или структуры регулятора при непредсказуемом

изменении параметров математической модели объекта и внешних воздействий. В качестве таких показателей должны выступать характеристики системы управления, определяющие ее функциональную работоспособность.

Среди беспоисковых систем управления наибольшее распространение получили адаптивные системы с эталонными моделями [3, 4, 5], поскольку они приводят к легко реализуемым системам с высокой скоростью адаптации.

Эталонная модель может быть задана явно или неявно. В первом случае она является частью самой системы управления, а во втором – используется только для вычисления закона управления. Беспоисковые адаптивные системы управления с явной эталонной моделью составляют обширный класс адаптивных систем управления, в которых желаемое движение задается конкретным физическим устройством, обычно построенным с использованием традиционных методов синтеза систем автоматического управления. В адаптивных системах управления с неявной эталонной моделью желаемая динамика объекта управления задается в системе не с помощью реального устройства, а в виде некоторого “эталонного уравнения”. Отличительной особенностью таких систем управления является снижение требований к структуре основного контура и объему измеряемой информации по сравнению с адаптивными системами, в которых используется явная эталонная модель. При разработке гибридных систем прямого адаптивного управления чаще применяется явная, реже – неявная эталонная модели.

Системы адаптивного управления, предложенные в ранних работах 60-х и начала 70-х гг., имели существенные недостатки. Во-первых, синтез основного контура управления базировался на минимальной форме представления математической модели объекта управления. Во-вторых, для адаптивной настройки коэффициентов регулятора использовались градиентные алгоритмы локальной параметрической оптимизации – метод вспомогательного оператора, метод функций чувствительности и некоторые другие, но обоснование работоспособности систем управления носило эвристический характер.

В последние годы наблюдается бурный рост интереса к нелинейным системам. Изучение нелинейных систем стимулируется практическими приложениями к задачам управления роботами и манипуляторами, автомобилями и другими подвижными объектами в маневренных режимах, биореакторами, магнитными подвесками и т.д. Публикации последних лет рассматривают применение концепции пассивности и диссипативности в задачах управления нелинейными системами. Понятие пассивности пришло в теорию управления из теории линейных электрических цепей, где оно применялось для обозначения цепей, не содержащих внутренних источников энергии. Цепи такого типа описываются вещественно-положительными передаточными функциями и обладают рядом свойств. Нелинейные системы, обладающие аналогичными свойствами, были введены в теорию управления В.М. Поповым в начале 60-х гг. при изучении задачи об абсолютной устойчивости [1].

Важным и весьма плодотворным этапом в развитии теории и практики адаптивных систем явилась идея построения алгоритмов адаптации на основе второго метода Ляпунова, а также с использованием квадратичного критерия абсолютной устойчивости, или критерия гиперустойчивости [1, 3, 4, 5].

В настоящее время известно достаточно много различных алгоритмов адаптивного управления динамическими объектами. Здесь можно выделить известные в этой области работы Цыпкина Я.З., Красовского А.А., Емельянова С.Е., Рутковского В.Ю., Неймарка Ю.И., Ландау И.Д., Фрадкова А.Л., Ядыкина И.Б., Поляхова Н.Д., Борцова Ю.А., Путова В.В., Цыкунова А.М., Еремина Е.Л. и другие, в которых предлагаются различные подходы к решению данной проблемы.

Список литературы

1. Попов В.М. Гиперустойчивость автоматических систем. – М.: Наука, 1970.
2. Справочник по теории автоматического управления / под ред. А.А. Красовского. – М.: Наука, 1987.
3. Шевко Д.Г. Алгоритмы и Simulink-моделирование гибридных систем адаптации. – Саарбрюккен, 2015.
4. Шевко Д.Г. Модели и алгоритмы нелинейно преобразованных гибридных систем прямого адаптивного управления: дис. ... канд. техн. наук. – Благовещенск, 2003.
5. Landau I.D. Adaptive control: the model reference approach. – N.Y.: Marcel Dekker, 1979.