

ИНЖЕНЕР- МЕХАНИК

№ 2 (75)
апрель – июнь
2017

Республиканский межотраслевой производственно-практический журнал
Издается с июля 1998 года
Выходит один раз в три месяца

Учредитель: Общественное объединение
«Белорусское общество инженеров-механиков»
(ОО «БОИМ»)

Главный редактор Чижик С.А.

Редакционная коллегия: Андреев М.А., Дашков В.Н.,
Дубовик Д.А., Дюжев А.А., Захарик А.М.,
Колпашиков В.Л., Крупец Л.Н., Лягушев Г.С.,
Мариев П.Л., Медвецкий Е.И., Мелешко М.Г.,

Адрес редакции:

220141, Минск, ул. Купревича, 10 (ранее Жодин-
ская, 4)

тел./ факс 203-88-80; 226-73-36

E-mail: mail@boim.by

Свидетельство о регистрации № 1132 от 21.04.1998

Подписной индекс **00139**

Компьютерная верстка Н.В. Райченко

Подписано в печать 28.06.2017.

Формат 60×84/8. Бумага офсетная.

Гарнитура «Таймс». Печать офсетная.

Усл. печ. л. 5,6. Уч.-изд. л. 4,7.

Тираж 200 экз. Заказ №

Цена номера договорная.

Отпечатано с оригинал-макета заказчика в ЧПТУП
«Колорград»

Лицензия ЛП № 02330/474 от 08.09.2015 г.

220033, г. Минск, пер. Велосипедный, 5, оф. 904.

www.segment.by

СОДЕРЖАНИЕ

Разработки ученых и специалистов

Разработка и организация промышленного про-
изводства экспортно-ориентированных микро-
электронных изделий двойного и специального
назначения на основе создания современных
методов проектирования, полупроводниковых
технологий и высокоточного аналитического и
сборочного оборудования.....2
Экология и стратегия развития энергетики.....7
Камеры пульсирующего горения – генерато-
ры теплоты и механической энергии.....13
Объемные гидравлические передачи ходового
оборудования транспортно-тяговых машин.....18

Материалы конференций и семинаров

Трение и износ сверхтвердых и высокомо-
дульных материалов.....26
Применение электронно-лучевой сварки при
изготовлении пакета лопаток паровых турбин.....27
Обработка отверстий резцами из ПСТМ.....30
Продовження ресурсу та поліпшення паливної
ефективності двигунів внутрішнього згорання.....31
Технологические возможности токарных ин-
струментов из поликристаллических сверх-
твердых композитов на основе СВН.....32
Восстановление изношенных деталей судовых
технических средств водного транспорта: исто-
рические аспекты и оценка проблемы.....34
Научно-технический прогресс как важней-
ший фактор экономического роста и обеспе-
чения стабильной работы предприятия.....35
Порошковые проволоки для ремонта валков
центрифуг производства минеральной ваты.....37
Восстановление валов дизель-генераторов электро-
контактным припеканием дискретных покрытий.....38
Обработка металлов и сплавов с использова-
нием электронно-ионно-плазменных методов.....40
Разработка сверхтвердых инструментальных
материалов на основе модифицированных по-
рошков нитрида бора.....41

Из истории авиации и кораблестроения

Траектория «Стрелы».....43



Указ

Президента Республики Беларусь

4 апреля 2017 г.

№ 104

г. Минск

О присуждении Государственных премий Республики Беларусь 2016 года

За заслуги деятелей науки и техники, литературы, искусства и архитектуры перед обществом и государством постановляю:

1. Присудить Государственные премии Республики Беларусь 2016 года и присвоить звание лауреата Государственной премии Республики Беларусь:

1.1. в области науки и техники:

за работу "Разработка и внедрение технологий трансплантации органов у детей и взрослых";

Руммо Олегу Олеговичу, заместителю главного врача по хирургической работе (руководителю Республиканского научно-практического центра трансплантации органов и тканей) учреждения здравоохранения "9-я городская клиническая больница", г. Минск, доктору медицинских наук, профессору, заслуженному врачу Республики Беларусь;

Островскому Юрию Петровичу, заведующему лабораторией хирургии сердца государственного учреждения "Республиканский научно-практический центр "Кардиология" Министерства здравоохранения Республики Беларусь, академику Национальной академии наук Беларуси, доктору медицинских наук, профессору, заслуженному врачу Республики Беларусь;

Дзядзько Александру Михайловичу, врачу-анестезиологу-реаниматологу (заведующему отделом) отдела анестезиологии, реанимации и интенсивной терапии учреждения здравоохранения "9-я городская клиническая больница", г. Минск, кандидату медицинских наук, доценту, заслуженному врачу Республики Беларусь;

Калачику Олегу Валентиновичу, врачу-хирургу (заведующему отделом) отдела нефрологии, почечно-заместительной терапии и трансплантации почки учреждения здравоохранения "9-я городская клиническая больница", г. Минск, кандидату медицинских наук, доценту;

3

Москвиной Анастасии Игоревне, артисту-вокалисту (солисту) – ведущему мастеру сцены государственного театрально-зрелищного учреждения "Национальный академический Большой театр оперы и балета Республики Беларусь", народной артистке Беларуси;

Трифонову Станиславу Владимировичу, артисту-вокалисту (солисту) – ведущему мастеру сцены государственного театрально-зрелищного учреждения "Национальный академический Большой театр оперы и балета Республики Беларусь", заслуженному артисту Республики Беларусь;

Франковскому Сергею Валентиновичу, артисту-вокалисту (солисту) – ведущему мастеру сцены государственного театрально-зрелищного учреждения "Национальный академический Большой театр оперы и балета Республики Беларусь", народному артисту Беларуси;

Ломанович Нине Иосифовне, главному хормейстеру государственного театрально-зрелищного учреждения "Национальный академический Большой театр оперы и балета Республики Беларусь", народной артистке Беларуси;

Костюченко Александру Александровичу, главному художнику государственного театрально-зрелищного учреждения "Национальный академический Большой театр оперы и балета Республики Беларусь";

за значительные достижения в области театрального и музыкального искусства, создание музыки к балету "Мефисто", мюзиклам "Стакан воды", "Джулия", "Софья Гольшанская", "Байкер" Кондрусевичу Владимиру Петровичу, композитору, члену общественного объединения "Белорусский союз композиторов";

2. Министерству финансов выделить в 2017 году Управлению делами Президента Республики Беларусь из республиканского бюджета за счет средств резервного фонда Президента Республики Беларусь денежные средства на выплату Государственных премий Республики Беларусь 2016 года.

3. Настоящий Указ вступает в силу со дня его официального опубликования.

Президент
Республики Беларусь



А. Лукашенко

10

2

2

Щербе Алексею Евгеньевичу, врачу-хирургу (заведующему отделом) отдела трансплантологии учреждения здравоохранения "9-я городская клиническая больница", г. Минск, кандидату медицинских наук, доценту, заслуженному врачу Республики Беларусь;

Валентюкевичу Андрею Валентиновичу, врачу-анестезиологу-реаниматологу (заведующему отделением) отделения анестезиологии и реанимации № 2 на 16 коек государственного учреждения "Республиканский научно-практический центр "Кардиология" Министерства здравоохранения Республики Беларусь;

за работу "Разработка и организация промышленного производства экспортно-ориентированных микроэлектронных изделий двойного и специального назначения на основе создания современных методов проектирования, полупроводниковых технологий и высокоточного аналитического и сборочного оборудования";

Грабчикову Сергею Степановичу, главному научному сотруднику государственного научно-производственного объединения "Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по материаловедению", доктору физико-математических наук;

Зайцеву Валерию Александровичу, директору научно-технического центра оборудования малой сборки-27 открытого акционерного общества "Планар";

Ковальчуку Геннадию Филипповичу, генеральному директору открытого акционерного общества "Планар";

Солодухе Виталию Александровичу, генеральному директору открытого акционерного общества "ИНТЕГРАЛ" – управляющая компания холдинга "ИНТЕГРАЛ";

Чижикову Сергею Антоновичу, первому заместителю Председателя Президиума Национальной академии наук Беларуси, академику Национальной академии наук Беларуси, доктору технических наук, профессору;

Шведову Сергею Васильевичу, директору филиала научно-технического центра "Белмикросистемы" открытого акционерного общества "ИНТЕГРАЛ" – управляющая компания холдинга "ИНТЕГРАЛ";

1.2. в области литературы, искусства и архитектуры:

за значительные творческие достижения в развитии музыкального искусства, пропаганду духовных ценностей и личный вклад в постановку оперного спектакля на музыку Дмитрия Смольского "Седая легенда" по произведению Владимира Короткевича;

Волковой Оксане Владимировне, артисту-вокалисту (солисту) – ведущему мастеру сцены государственного театрально-зрелищного учреждения "Национальный академический Большой театр оперы и балета Республики Беларусь", заслуженной артистке Республики Беларусь;

РАБОТА ВЫДВИНУТА НА СОИСКАНИЕ
Государственной премии Республики Беларусь
в области науки и техники 2016 года

**РАЗРАБОТКА И ОРГАНИЗАЦИЯ
ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА
ЭКСПОРТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ
ИЗДЕЛИЙ ДВОЙНОГО И СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ
НА ОСНОВЕ СОЗДАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ
ПРОЕКТИРОВАНИЯ, ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
И ВЫСОКОТОЧНОГО АНАЛИТИЧЕСКОГО
И СБОРОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ**



С.С. Грабчиков,
В.А. Зайцев,
Г.Ф. Ковальчук,
В.А. Солодуха,
С.А. Чижик,
С.В. Шведов



«Инженер-механик»

1

Цели, задачи и содержание работы:

■ представляет собой цикл взаимосвязанных научных и практических работ, выполненных за период с 2003 по 2013 годы и опубликованных в 3 монографиях, более 300 научных статьях, 40 патентах на изобретение, 85 свидетельствах об охранной регистрации топологий Республики Беларусь и Российской Федерации.



■ посвящена развитию новых микроэлектронных технологий и организации высокотехнологических производств V и VI укладов изделий двойного и специального назначения (ИДСН), разработке научных методов проектирования, созданию высокоточного сборочного и аналитического оборудования, научных основ синтеза аморфных, нанокристаллических и композиционных материалов, развитию методов неразрушающего контроля параметров технологических процессов, их интеграции в промышленное производство Республики Беларусь.

■ направлена на решение задач разработки и производства новой электронной компонентной базы (ЭКБ) ИДСН, освоения и выпуска широкого модельного ряда высокоточного сборочного и аналитического оборудования, создания и включения в производственную цепочку атомно-силовых микроскопов (АСМ), позволивших в полной мере реализовать возможности метода неразрушающего контроля полупроводниковых пластин, синтеза ряда новых материалов, обеспечивающих защиту радиоэлектронных и микроэлектронных изделий от воздействия широкого спектра электромагнитных (ЭМИ) и ионизирующих (ИИ) излучений.

Практическая значимость работы определяется:

- разработкой и освоением широкой номенклатуры микроэлектронных ИДСН, обладающих высокими эксплуатационными характеристиками в условиях воздействия дестабилизирующих внешних факторов;
- разработкой и освоением выпуска высокоточного сборочного и аналитического оборудования, обеспечивающего значительное увеличение роста экспортного потенциала микроэлектронной продукции нового класса;
- развитием методов неразрушающего контроля и введением метода АСМ в производственную цепочку, существенно повысившего возможности и качество контроля параметров технологических процессов и структур, сформированных топологий интегральных микросхем (ИМС);
- созданием материалов для высокоэффективной защиты от широкого спектра электромагнитных и ионизирующих излучений.

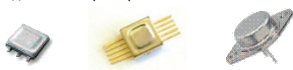
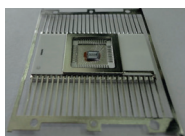
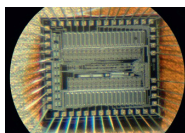
3

Разработка и создание широкого класса изделий микроэлектроники двойного и специального назначения

(Солодуха В.А., Шведов С.В.)

Новая микроэлектронная ЭКБ ИДСН, разработанная в рамках представленной работы за период 2003-2013 годы:

- запоминающие устройства (12 типов);
- микроконтроллеры, потенциометры, преобразователи (8 типов);
- стандартные цифровые логические ИМС (126 типов);
- интерфейсные ИМС (8 типов);
- стандартные аналоговые и таймерные ИМС (7 типов);
- стабилизаторы напряжения (51 тип);
- полупроводниковые приборы (6 типов).



Основные способы обеспечения радиационной стойкости (РС) ЭКБ

Решение задачи применения ИМС в условиях воздействия специальных дестабилизирующих факторов (ионизирующие и электромагнитные излучения, температура, механические перегрузки и др.) выдвигает особые требования, как к конструкции, так и технологиям изготовления ЭКБ.



2

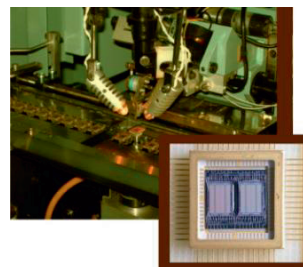
Научная значимость работы определяется:

- разработкой теоретических методов комплексного анализа поверхностных слоев материалов на субмикронном и нанометровом пространственных уровнях и статистических моделей контакта многоуровневых шероховатых поверхностей в условиях эффективного действия поверхностных сил;
- развитием метода АСМ путем использования дополнительных возможностей статической, динамической и латерально-динамической спектроскопии, нанотопографии и осциллирующей трибометрии, позволившего оценивать приповерхностную наноструктуру, физико-механические свойства материалов, выявлять основополагающие закономерности формирования и функционирования микро- и наноразмерных структур в условиях действия поверхностных сил;
- комплексным исследованием условий синтеза, структуры, химического состава аморфных и нанокристаллических пленок на основе сплавов системы железо-никель-кобальт, установленными закономерностями механизмов их формирования, взаимосвязи структуры и химического состава с основными магнитными и электродинамическими свойствами, что позволило синтезировать многослойные пленочные структуры симметричного и градиентного типа с максимальным эффектом электромагнитного экранирования;
- определением оптимальных по структуре, фазовому и химическому составу металлических и композиционных материалов для создания радиационных экранов, обеспечивающих высокоэффективную защиту электронных компонентов и ИМС, находящихся в условиях, близких к условиям радиационного пояса Земли (РПЗ);
- разработкой новых комплексных методов проектирования и конструктивно-схемотехнических решений базовых элементов чипов и блоков ИМС, а также новых технологических процессов, обеспечивших существенное повышение надежности функционирования ИМС;
- разработкой физико-математических и поведенческих моделей микроэлектронных устройств, новых методов прогнозирования и повышения радиационной стойкости биполярных и КМОП ИМС, выявлением механизмов деформирования в транзисторных структурах в условиях воздействия ионизирующих излучений;
- комплексным исследованием характеристик координатных систем сборочного и аналитического оборудования: зависимости тягового усилия от скорости перемещения, статического синхронизирующего тягового усилия от силы тока в фазных обмотках двигателя, погрешности позиционирования от заданных значений фазных токов, и на их основе созданием программного обеспечения для коррекции этих характеристик при использовании координатных систем в различных видах оборудования.

4

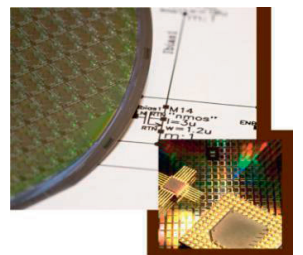
Технологические способы обеспечения РС ЭКБ

- Исследованы пути надежного присоединения кристаллов силовых полупроводниковых приборов, на основании результатов которых разработан технологический процесс и материалы для присоединения кристаллов методом пайки с использованием бессвинцовых припоев.
- Разработаны способы и материалы покрытий корпусов, обеспечивающие высокую надежность работы в условиях воздействия дестабилизирующих факторов (высокие влажность и температура, ионизирующие излучения, «солная туман» и др.)
- Разработаны процессы покрытия элементов корпусов для улучшения качества их паяемости и эффективности теплоотвода.



Схемотехнические способы обеспечения РС ЭКБ

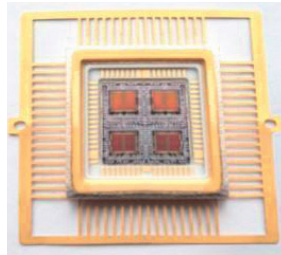
- Разработаны новые схемотехнические решения и методы проектирования современных цифровых и цифро-аналоговых микросхем для электронных систем с повышенной устойчивостью к воздействию дестабилизирующих факторов (ионизирующие излучения, температура, ЭМ помехи и перегрузки).
- Разработаны новые конструкции КМОП БИС серии 1554/1594, 5584, 5559, 1632, 1635 и др., устойчивые к сбоям при воздействии дестабилизирующих факторов, новизна которых защищена свидетельствами Республики Беларусь и Российской Федерации об охранной регистрации топологий.



5

Конструктивные способы обеспечения РС ЭКБ

- Многокристальные модули позволяют корпусировать несколько кристаллов в одном корпусе, что позволяет резко повысить функциональную сложность ИМС и снизить габариты электронной аппаратуры.
- Одним из направлений, развиваемым ОАО «ИНТЕГРАЛ» в этой области являются многокристальные модули статической оперативной памяти серии 9000 большой емкости (до 16 Мбит) и высокой разрядности (до 32 разрядов).



Выводы:

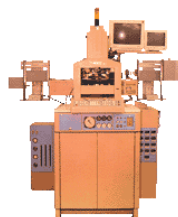
- разработанные в ОАО «ИНТЕГРАЛ» управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ» новые технологические, схемотехнические, расчетно-экспериментальные и конструкторские решения позволяют получать ИДСН, соответствующие мировому уровню развития микроэлектронной техники.
- разработка и освоение выпуска новых изделий микроэлектроники двойного и специального назначения решает важную государственную задачу обеспечения современной электронной компонентной базы радиоэлектронной, автотранспортной, станкостроительной и оборонной отраслей промышленности, укрепления обороноспособности и технологической безопасности государства.

7

Полуавтомат резки полупроводниковых пластин **ЭМ-2085А** обеспечивает резку пластин диаметром до 200мм на кристаллы размером от (0,25x0,25) до (25x25)мм.



С увеличением степени интеграции микросхем возросли требования к качеству присоединения кристаллов в металлокерамические корпуса. Для больших ИМС с площадью >5мм² при переходе к субмикронным технологическим нормам присоединение методом эвтектической пайки стало неприемлемо. Присоединение кристаллов в корпус ИМС спецназначения осуществляется с помощью серебросодержащих адгезивов. Автоматизированный процесс присоединения кристаллов данным методом производится на автомате модели **ЭМ-4085-14М**.



В настоящее время на территории СНГ проволоочный монтаж межсоединений из золотой и алюминиевой проволоки диаметром от 0,01 до 0,5 мм в основном обеспечивается оборудованием ОАО «Планар» и имеющим основные технические характеристики, не уступающие аналогам ведущих зарубежных производителей данного класса оборудования.

Автомат прецизионного присоединения проволоочных выводов ЭМ-4260 предназначен для автоматического монтажа проволоочных выводов из золота к контактным площадкам кристалла и выводам корпусов ИС методом термозвуковой сварки.



6

Разработка технологий и оборудования для сборки и корпусирования изделий микроэлектроники двойного и специального назначения

(Зайцев В.А., Ковальчук Г.Ф.)

Современное сборочное оборудование должно обеспечивать автоматизацию основных сборочных операций, высокую воспроизводимость технологических процессов, надежность ИСДН при эксплуатации в экстремальных условиях, снижение доли ручного труда, улучшение условий труда и культуры сборочного производства.

Установки зондового контроля (**ЭМ-6190А; ЭМ-6520**) обеспечивают контроль параметров ИМС на пластинах диаметром до 200 мм, маркирование бракованных кристаллов, вывод результатов контроля на периферийные устройства.



Общей тенденцией оборудования утонения полупроводниковых пластин является: повышение точности, получение минимальной остаточной толщины, минимального нарушенного слоя, высокой производительности и процента выхода годных пластин.

Установка механического утонения пластин **ЭМ-2050** за счет широкой номенклатуры алмазных инструментов позволила увеличить выход годных пластин, получить требуемую шероховатость и остаточную толщину полупроводниковых пластин от 100 до 250 мкм, качественно обрабатывать различные материалы от кремния до сапфира.



8

Автомат присоединения выводов СБИС ультразвуковой сваркой ЭМ 4370 предназначен для автоматического монтажа алюминиевых и золотых проволоочных выводов широкой номенклатуры изделий, требующих большого поля, повышенной точности, в том числе многовыводных, многокристалльных и многоуровневых изделий методом ультразвуковой сварки внахлест.



Автомат ультразвукового присоединения проволоочных выводов ЭМ-4340-А осуществляет монтаж проволоочных алюминиевых выводов диаметром от 0,1 до 0,5 мм к металлизированным площадкам кристаллов силовых полупроводниковых приборов (транзисторов, гибридных ИМС и т.д.).



Выводы:

- благодаря гибкой структуре, обширному функциональному наполнению, разработанные роботизированные блоки и системы имеют широкий диапазон применений и могут использоваться в сборочном и зондовом оборудовании самого различного назначения и уровня сложности: от простейших полуавтоматических до высокоскоростных полных автоматов.
- созданное оборудование обеспечило повышение качества и автоматизацию основных сборочных операций в производстве новых микроэлектронных изделий двойного и специального назначения ОАО «ИНТЕГРАЛ».

9

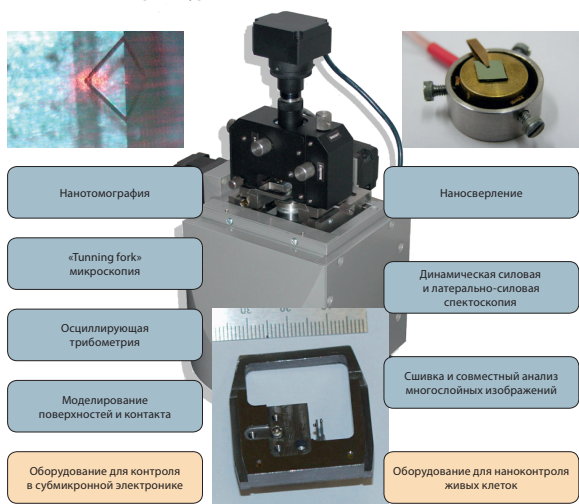


Развитие методов неразрушающего контроля и создание высокоточного аналитического оборудования для контроля качества параметров технологических процессов

(Чижик С.А.)

Современные тенденции развития электронной промышленности связаны с переходом к субмикронным и нанометровым топологическим нормам. Сдерживающий фактор – неприменимость традиционных оптических методов для контроля линейных размеров. В этой связи было предложено использовать атомно-силовую микроскопию (АСМ) и АСМ, совмещенную с оптическими методами контроля.

Новые методы и процедуры АСМ

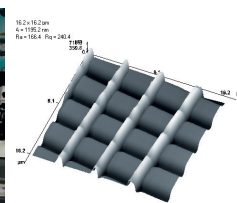
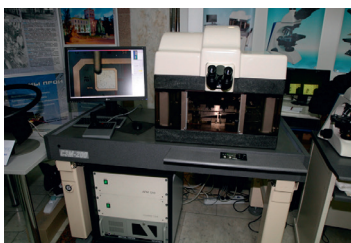


11

Развитие метода АСМ получило в сканирующем зондовом микроскопе СЗМ-200, совмещающем функции оптического и атомно-силового контроля изделий субмикрон- и наноэлектроники, для обеспечения оперативного контроля качества ИМС.

Основные технические характеристики:

- максимальный диаметр кремниевой пластины – 200 мм;
- разрешающая способность оптической системы – 0,4 мкм;
- диапазон перемещения стола (X, Y) – 200 × 200 мм;
- разрешение моторизованного стола (X, Y) – 3 мкм;
- максимальный размер поля сканирования (X, Y) – 90 × 90 мкм;
- диапазон зондового сканирования по координате Z – 6 мкм;
- разрешение по (X, Y) – 1...10 нм; (Z) – 0,1...0,5 нм.



Выводы и результаты:

- АСМ является безальтернативным и высокоэффективным инструментом неразрушающего метода технологического контроля сверхгладких пластин кремния и топологических слоев ИМС с субмикронными нормами проектирования;
- разработанные методики и программное обеспечение позволяют широко использовать АСМ для контроля микро- и нанотопологии элементов субмикронной продукции на различных стадиях изготовления ИМС;
- разработан и внедрен на ОАО «ИНТЕГРАЛ» метод контроля топологического микрорельефа поверхности ИМС с использованием атомно-силового микроскопии.

10

Первый отечественный атомно-силовой микроскоп

NT-206 позволяет:

- получать трехмерное изображение поверхности образцов с разрешением – в латеральном направлении 1-10нм, в вертикальном – 0,1-0,5нм;
- определять уровни шероховатости поверхности пластин кремния;
- выявлять структуру поверхности топологических слоев ИМС;
- измерять параметры и отклонение высоты профиля по длине, толщину топологических слоев ИМС в диапазоне 0,1<h<0,6 мкм с точностью 1-5 нм.

АСМ NT-206 – измерение и анализ микро- и субмикрорельефа поверхностей, объектов микро- и нанометрового пространственного уровня



Атомно-силовой микроскоп NT-206 впервые представлен на рынке в 2003 г. Поставлено более 50 приборов организациям Беларуси, а также в Россию, Украину, Казахстан, Литву, Польшу, Румынию, Словакию, Саудовскую Аравию, Южную Корею, Китай, Вьетнам и др.

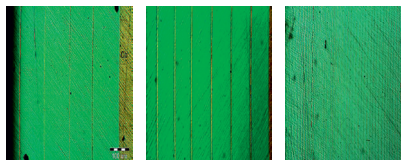
12



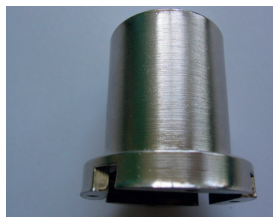
Разработка технологических процессов и материалов на основе аморфных, нанокристаллических и композиционных структур для защиты микроэлектронных изделий, радиоэлектронной и научной аппаратуры от воздействия широкого спектра электромагнитных и ионизирующих излучений

(Грабчиков С.С.)

На основе аморфных и нанокристаллических магнитных пленок разработан технологический процесс формирования многослойных пленочных экранов (МПЭ)

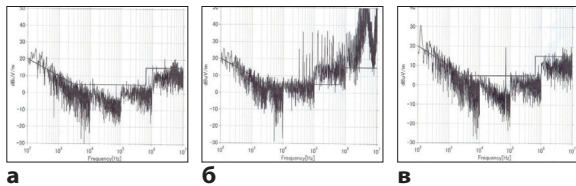


Изображения шлифов МПЭ с различным количеством слоев



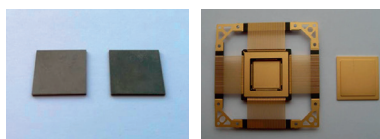
а
б
Элементы космической аппаратуры с экранами МПЭ:
(а) корпуса линейного шагового двигателя (ЛШД) (обеспечение ЭМС)
(б) фотоэлектронного умножителя ФЭУ-85 без экрана и с экраном из МПЭ (защита от магнитного поля)

13



Амплитудно-частотные спектры, снятые в режимах:
(а) неработающий ЛШД (уровень фона),
(б) работающий ЛШД без экрана
(в) с МПЭ

На основе композиционных материалов разработана технология формирования радиационных экранов для защиты ИМС от воздействия электронов и протонов РПЗ



(а) синтезированные образцы композиционного материала W-Cu
(б) специализированный металлокерамический 144 выводной корпус с радиационными экранами

Выводы:

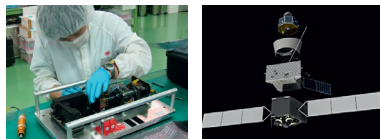
- разработанная технология МПЭ позволяет на стандартных корпусах и блоках РЭА формировать многослойные электромагнитные экраны симметричного и градиентного типа, обладающие высокой эффективностью экранирования и прочностью сцепления с корпусом, обеспечивающие ЭМС различных электронных компонентов и блоков аппаратуры;
- экраны радиационной защиты на основе композиционных материалов W-Cu позволяют повысить стойкость БИС ППЗУ 1632РТ 1Т к воздействию электронного излучения с энергией 1,8 МэВ в 13÷16 раз до уровня 1±2 Мрад (по поглощенной дозе) и обеспечить функционирование при эквивалентных значениях поглощенной дозы 0,75÷1,5 Мрад протонного излучения с энергией 23,3 МэВ.

15

На ОАО «ИНТЕГРАЛ» – управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ» организованы производственные мощности по сборке ИДСН в количестве 102 единиц моделей сборочного и аналитического оборудования ОАО «Планар» и ГНУ ИТМО им. А.В. Лыкова НАН Беларуси, повышена воспроизводимость технологических процессов, за счет чего достигнут рост выхода годных изделий с 89,95 до 92,51%, в 1,4 раза улучшена эксплуатационная надежность изделий.

За период с 2003 по 2013 годы ОАО «Планар» и ГНУ «ИТМО А.В. Лыкова НАН Беларуси» произвели 482 единицы оборудования, из них 128 единиц поставлено на внутренний рынок, что обеспечило экономию валютных средств на сумму свыше 7 млн долларов США, 354 единицы аналитического и сборочного оборудования поставлено на экспорт в Россию, Индию, Тайвань, Корею и др. страны.

В настоящее время по международному проекту «Бепи Коломбо» идет подготовка к запуску на планету Меркурий с космодрома Куру японского ММО и европейского МРО космических аппаратов. В рамках этой программы с помощью МПЭ была решена задача обеспечения ЭМС блоков бортовой космической аппаратуры (КА) (совместно с ИКИ РАН г. Москва, и Institute of Space and Astronautical Science, Kanagawa, Japan)



(а) Сборка блока сканирования КА «Бепи-Коломбо» (ИКИ РАН, г. Москва),
(б) КА проекта «Бепи-Коломбо»

Внедрение результатов работы

Изделия, созданные с использованием полученных результатов, нашли широкое применение в современных системах вооружений и военной техники:

- стратегических вооружений (МБР «Тополь-М», «Ярс», «Булава», «Синева», «Рубеж»);
- системах ПВО и ПРО (ЗРК «С-350», «С-400»);
- РЛС обнаружения и сопровождения воздушных целей («Воронеж»);
- системах РЭБ («Краснуха-4», «Ртуль-БМ», «Витебск»);
- бортовых блоках управления вертолетов (Ми-38, Ка-52);
- бортовых РЛС и системах самонаведения самолетов (Су-30, Су-34, Су-35, Миг-35);
- специальных системах связи и управления танков и БТР;
- системы позиционирования и навигации космических объектов;
- спутниках и ракетах-носителях;

в отраслях народного хозяйства:

- медицинской и бытовой техники; автомобильного и ж/дорожного транспорта;
- сельского хозяйства; системах безопасности и электротехнического оборудования, промышленной радиоэлектроники и станкостроения.

14

Практическая реализация результатов работы

На основе разработанных методов, библиотек и технологий за период с 2006 по 2013 гг. в ОАО «ИНТЕГРАЛ» внедрено в производство 137 новых конкурентоспособных ИДСН, что позволило довести объем продаж в 2013 году до уровня выше 6,5 млн шт. и увеличить объем валютных поступлений в РБ на 147% до уровня 75,561 млн долларов США (таблица 1).



Реализация результатов работ позволила ОАО «ИНТЕГРАЛ» – управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ» увеличить удельный вес ИДСН в 2013 году до уровня 78% в общем объеме продаж (таблица 2).



16

Социально-политические аспекты результатов работы

- обеспечение экономической независимости от элементной базы иностранного производства для изделий микроэлектроники двойного и специализированного назначения;
- повышение качества и конкурентоспособности ИДСН, высокоточного сборочного и аналитического оборудования обеспечило рост экспортного потенциала РБ и расширение экспортной корзины за счет высокотехнологичных товаров;
- организация высокотехнологичной производственной базы, соответствующей V и VI технологическим укладам, оказавшей значительное влияние на развитие научно-технического прогресса;
- укрепление экономических связей с предприятиями РФ, ЕС, Китая, Южной Кореи, Индии, Казахстана и др. стран;
- результаты работы послужили базой для формирования и реализации программы Союзного государства «Основа»;
- создание микроэлектронной элементной базы РБ – основы электронных систем вооружений и военной техники РФ и РБ, ОАО «ИНТЕГРАЛ» – единственная компания нерезидент РФ, получившая сертификат МО РФ на право разработок и поставок элементной базы предприятиям российского ВПК;
- повышение качества и конкурентоспособности гражданских изделий за счет использования высоких технологий, нового оборудования и материалов;
- улучшение условий труда за счет механизации и автоматизации технологических операций, сокращения числа вредных условий труда, снижения экологической нагрузки на окружающую среду.

ЭКОЛОГИЯ И СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИКИ

В.С. Троицкий, В.Л. Колпащиков

Прогресс современной цивилизации определяется качественным прогрессом и количественным ростом энергетики. В настоящее время человечество использует главным образом ископаемую химическую энергию (уголь, нефть, природный газ), небольшую долю дает гидроэнергия рек, развивается использование ядерной энергетики деления урана, делаются первые шаги освоения солнечной, ветровой, геотермальной и океанической энергий. На пороге – освоение термоядерной энергии. Таким образом, у цивилизации имеются довольно обширные возможности для удовлетворения энергетических потребностей, которые могут быть осуществлены различными путями. Единственно верный способ выбора пути – прогноз развития энергетики. Он позволяет определить приоритеты использования различных видов энергии, видеть ее дальние горизонты и выработать концепции ее развития, которые в свою очередь позволяют принимать правильные текущие решения по развитию энергетики.

Метод прогнозирования, по нашему мнению, должен основываться на определении пределов роста энергетики, которые определяются допустимым влиянием энергопроизводства на природную среду: на тепловой режим среды обитания, на состав и качество воздуха, воды, почвы и непосредственно на самого человека. Между тем, имеющиеся планы развития энергетики, зачастую не учитывают пределов ее развития. Следствием этого, например, является утверждение, что только ядерная энергия может обеспечить развитие большой энергетики на ближайшую и удаленную перспективу, что сегодня нет альтернативы ядерной энергетике, так как она самая дешевая, экологически более чистая, чем химическая, а ее ресурсы практически неограничены и т. п. Однако дальний прогноз развития энергетики с учетом пределов роста приводит к выводу, что у ядерной энергетики нет глобальной перспективы.

Рассмотрим эти вопросы. Упомянутые выше источники энергии делятся на две большие группы: возобновляемые и невозобновляемые. К возобновляемым относятся все виды энергии, непрерывно действующие в биосфере Земли: солнечная, ветровая, океаническая и гидроэнергия рек. Невозобновляемыми источниками энергии является химическая энергия сжигания всех видов ископаемого топлива, ядерная энергия деления урана и термоядерная. Важное различие этих видов энергии состоит в их влиянии на биосферу. Энергетика на невозобновляемых источниках приводит к дополнительному нагреву среды обитания. Такие виды источников называют иногда добавляющими ввиду того, что их энергия добавляется к энергии нагрева планеты, который обеспечивается Солнцем.

Использование возобновляемых источников энергии не приводит к дополнительному нагреву планеты, поэтому такая энергия называется недобавляющей. Действительно, в этом случае, забирая, например, солнечные лучи в энергетические установки, расположенные на Земле, мы изымаем энергию лучей из цикла нагрева планеты, а затем, после использования, возвращаем планете в том же количестве в виде тепла. Недобавляющую энергию можно назвать безотходной, а добавляющая должна рассматриваться как засоряющая среду обитания. Расчеты показывают, что производство добавляющей энергии, например химической, ядерной, термоядерной в количестве, составляющем всего 1 процент от той, которая получается Землей от Солнца, приведет к увеличению средней температуры биосферы примерно на 1 °С.

По общему признанию такое повышение средней температуры биосферы ведет к глобальным катастрофическим последствиям как для географии и климата Земли, так и для всего животного и растительного мира. Потепление непредсказуемо изменит темп и характер всех происходящих

на Земле процессов. По-видимому, безопасный предел использования добавляющей энергии может составить не более 0,1 процента от мощности, падающей на Землю солнечной энергии, т. е. около 100 миллиардов киловатт. Разумеется, указанное пороговое значение в известной мере условно, однако существование самого теплового барьера безусловно. Сейчас земная цивилизация производит для своих нужд (промышленность, быт, транспорт) добавляющую энергию мощностью 10 миллиардов киловатт, т. е. всего в 10 раз меньше допустимого предела.

Уже многие десятилетия прирост энергопроизводства составляет около 3 процентов в год. При сохранении такого темпа тепловой предел роста добавляющей энергии, соответствующий ее увеличению в 10 раз, будет достигнут через 75 лет. Тогда в конце 21-го столетия рост производства этих видов энергии должен быть прекращен. При этом неизбежно возникает трудный вопрос о квотах энергопроизводства государств. Это будет тяжелым глобальным кризисом цивилизации, имеющим геополитическое значение.

Срок наступления кризиса может быть отодвинут за счет применения энергосберегающих технологий в промышленности, транспорте и теплоснабжении, однако удаление с Земли даже всего промышленного производства, потребляющего 35–40 процентов всей производимой энергии, не устраняет угрозы теплового барьера. Существует один единственный способ преодоления надвигающегося энергетического кризиса – это масштабное использование возобновляемых источников энергии – солнечной, ветровой, океанической. Самым обильным источником недобавляющей энергии является поток солнечного излучения. Без вреда для биосферы, по-видимому, можно изъять около 3 процентов всего потока, падающего на Землю. При расположении установок на суше произойдет затенение около 10 процентов площади поверхности континентов соответствующими установками. Это не должно нанести ущерба растениям, особенно при расположении установок в районах пустынь, занимающих около 15 процентов поверхности суши Земли. Учитывая коэффициент преобразования солнечной энергии, достигающий, в настоящее время 30 процентов, перехват 3 процентов потока позволяет получить энергию мощностью 1000 миллиардов киловатт, которая в 100 раз превосходит современную мощность производства всей энергии, т. е. позволит в 10 раз превзойти тепловой предел производства добавляющей энергии!

По имеющимся оценкам другие виды энергии, такие как ветровая, все виды океанической, могут дать энергию без ущерба для окружающей среды, в несколько раз превосходящую вырабатываемую в мире сегодня. Разумеется, все эти количественные оценки требуют еще самого тщательного экологического обоснования и уточнения.

Из приведенных соображений видно, что при использовании всех резервов добавляющей и недобавляющей энергии, которые в 110 раз превосходят существующие энергопроизводство, доля добавляющей энергии, например, ядерной, термоядерной не может составить более 10 процентов общего энергопроизводства! Правомерно ли при этом говорить о том, что ядерная или термоядерная энергетика может являться доминирующей глобальной энергетикой будущего?

Мыслимой альтернативой развития энергетики за барьер является стабилизация производства добавляющей энергии на предельном уровне в середине 21-го столетия. Рассмотрим этот вариант. Главным фактором роста энергопроизводства является рост численности населения и прогресс качества жизни общества, который тесно связан с потреблением энергии на душу населения. Сейчас на каждого жителя Земли приходится 2 киловатта, в то время как признанная норма качества жизни характеризуется мощностью 10 киловатт на человека, что имеет место сейчас лишь в немногих развитых странах. Напомним, что понятие высокого качества жизни, в его материальной части, характеризуется обеспеченностью чистыми продуктами питания, чистым воздухом и водой, обогреваемым зимой и охлажденным летом жильем, личным и общественным транспортом, бытовыми услугами и т. п. Если все население Земли рано или поздно должно иметь душевое потребление 10 киловатт, то при стабилизации энергопроизводства на уровне теплового барьера 100 миллиардов киловатт численность населения не должна превышать 10 миллиардов человек. Таким образом, развитие энергетики на невозобновляемом топливе при условии создания на Земле для всех людей признанной нормы качества жизни ставит жесткий предел численности населения планеты. Если же сохранится существующий сейчас темп прироста населения около 2 процентов в год, то через 75 лет население Земли учетверится, достигнув 20 миллиардов человек. Отсюда видно: уже сейчас надо думать о сокращении темпов прироста населения примерно вдвое, к чему цивилизация, видимо, совсем не готова. Мы фактически имеем дело с

надвигающимся энерго-демографическим кризисом, радикальным способом исключения которого является развитие недобавляющей энергетики не возобновляемых источниках. При этом необходимость стабилизации численности населения по энергетическому критерию не будет столь срочной, так как открывается десятикратный резерв роста энергетики.

Таким образом, мы получили общие рамки развития энергетики в дальней перспективе, ставящиеся физическими закономерностями и продолжающимися экспоненциальным ростом населения и качества жизни. В этих рамках надо теперь рассмотреть, как и в каких пропорциях между видами энергии развивать энергопроизводство в настоящее и ближайшее время. Для этого необходимо принять во внимание ряд природных ограничений развития той или иной энергетики, к числу которых относятся в первую очередь экологические и ресурсные ограничения.

Энергетические ресурсы принято характеризовать числом лет, в течение которых данного ресурса хватит для производства энергии на современном количественном уровне. Оказывается, если брать оценку количества топлива по всем трем категориям разведанные, возможные, вероятные то угля хватит на 600 лет, нефти на 90, природного газа на 50 лет и урана при применяемых сейчас реакторах на медленных нейтронах на 27 лет. Если сверх трех категорий оценок добавить придуманную специально для урана четвертую категорию запаса потенциальную, то урана хватит на 60 лет. Это мы применим для дальнейшего рассмотрения, хотя таким шагом несколько нарушается корректность сравнения в пользу атомной энергетики. Итак, все виды топлива по всем категориям будут сожжены за 800 лет, если же расход будет вестись на уровне энергетики теплового барьера, то все сгорит за 80 лет! В действительности, видимо, энергопроизводство сначала будет расти в течение 75 лет до достижения барьера и далее останется на этом уровне, тогда все виды используемого сейчас топлива будут истрачены через 130 лет, т. е. в начале 22-го века. Если доля каждого вида топлива в общем энергобалансе будет пропорциональна запасу, то все они исчерпываются одновременно, т. е. каждого топлива хватит на 130 лет. При этом уголь должен обеспечивать 70 процентов выработки энергии, нефть 11 процентов, природный газ – 7 процентов, гидроэнергия 5 процентов.

Следует сказать о несколько особом положении использования урана. Переход на реакторы

на быстрых нейтронах позволяет в 40–50 раз увеличить выход энергии с того же количества природного урана, благодаря наработке нового ядерного топлива плутония. Это равносильно увеличению во столько же раз срока исчерпания запасов урана, который составит теперь 2500 лет, что, кажется, спасает положение. Однако быстрые реакторы, использующие плутоний, отличаются большой реактивностью, быстрыми изменениями выделяемой энергии, что существенно увеличивает возможность аварий с катастрофическими последствиями. Плутоний используется в ядерном оружии. Одна миллионная доля грамма плутония, попавшая внутрь человеческого тела, является смертельной. Распространение АЭС на быстрых нейтронах создает почву для ядерного оружия. Все эти опасные особенности и ряд других побудили США в 1977 году отказаться от использования быстрых реакторов и прекратить ассигнования на разработку и строительство первой в США АЭС с реакторами на быстрых нейтронах.

Таким образом, при отказе от широкого использования быстрых реакторов как чрезвычайно опасных «ядерная энергетика с реакторами на тепловых нейтронах при указанных ресурсах топлива в принципе не может служить крупномасштабным источником энергии... При планируемых темпах развития ядерной энергетики достоверные запасы урана будут исчерпаны уже к концу нашего столетия, а суммарные (достоверные и дополнительные) в первом десятилетии следующего столетия» (Легасов). Таким образом, единственным топливом, на котором можно базировать масштабное развитие энергетики, является уголь. Это справедливо для России, США, Китая и других стран.

Обратимся теперь к экологическим ограничениям различных видов энергетики. Всем известно, что существующая сегодня технология энергетики на угле наносит вред природе и человеку вследствие выбросов летучей золы, сернистого газа, окислов азота и некоторых углеводородов. Природный газ является самым чистым топливом, образуя лишь выбросы окислов азота, однако, практически исключаются соответствующей технологией его сжигания. В настоящее время имеется много апробированных эффективных способов очистки дымовых газов, позволяющих исключить указанные выше выбросы вредных компонентов в атмосферу. Таким образом, чистая энергетика на ископаемых топливах это лишь вопрос выделения необходимых средств на очистку

отходящих газов, которые, по оценкам, значительно скромнее, чем затраты на предотвращение радиоактивных выбросов атомных станций.

В качестве довода против химической энергетики указывается большое потребление ею кислорода и возможность дополнительного нагрева биосферы за счет парникового эффекта, вызываемого накоплением двуокиси углерода в атмосфере Земли от сжигания органического топлива. Расчеты отечественных и зарубежных ученых показывают, что увеличение концентрации двуокиси углерода в два раза приведет к подъему средней температуры биосферы на 1-2 градуса, что как уже говорилось, является катастрофическим. По измерениям относительный прирост концентрации двуокиси углерода составляет 0,3 процента за год. Следовательно, при достижении теплового барьера за счет использования химического топлива концентрация газа через 75 лет возрастёт на 20 процентов. Это даст повышение средней температуры биосферы не более чем на 0,2-0,4 градуса С. С другой стороны, известно: «за сто лет с 1880 по 1980 годы концентрация двуокиси углерода возросла на 12-13 процентов, но климат планеты за это время не потеплел, а скорее похолодел». По-видимому, опасение наступления парникового эффекта в 21-м веке не вполне обосновано, и требуется его дальнейшее изучение, которое должно уточнить допустимые границы роста чистой химической энергетики. Что касается потребления кислорода, то современная топливная энергетика ежегодно потребляет 0,003 процента его запаса в атмосфере. Сжигание всех указанных выше ресурсов химических топлив потребует около 2 процентов общего количества кислорода. Однако большая часть кислорода возвращается через дыхание растений обратно в атмосферу, и мы получаем неощутимо малые изменения его содержания.

В ряде работ приводятся данные о том, что электростанции на угле создают радиоактивное загрязнение местности, большее, чем АЭС при нормальной работе. Радиационное загрязнение обуславливается выбросами с дымовыми газами летучей золы, представляющей собой пылевые частицы осадочных пород земли (песок, глинозем и др.), включенные в уголь и содержащие, как и любая порода, естественные радиоактивные примеси урана, тория, радия и калия. Сам же уголь радиоактивностью не обладает. По данным Научного комитета по действию атомной радиации (НКДАР) при ООН годовая коллективная доза от выбросов всех ТЭС на угле

составляет примерно 200 тысяч человекобэр, а от всех АЭС не менее 100 тысяч человекобэр. Однако весь опыт работы АЭС показывает, что часто происходят так называемые малые аварии, сопровождающиеся дополнительными выбросами, которые здесь не учитываются. Заметим, что приведенные оценки выполнены учетом степени очистки от летучей золы, что уменьшает указанную выше оценку дозы от ТЭС в 20 раз и делает ее пренебрежимо малой по сравнению с дозой от АЭС. В отечественной литературе проводится такое же сравнение с ТЭС, не имеющей современной очистки отходящих газов, о чем скромно умалчивается. Очевидно, что добавочное к фону радиоактивное загрязнение может быть только в том случае, если включенные в уголь осадочные породы и выбрасываемые в виде золы почему-то более радиоактивны, чем в среднем обычная наша почва. Действительно, разве изменится радиоактивность почвы, если мы посыпем ее той же почвой? Другое дело, что имеются угли, в которых радиоактивность минеральных включений выше средней, и даже такая, при которой они пригодны для добычи урана и уже, конечно, тогда непригодны для топок ТЭС. Наконец, приводятся данные существенно большей заболеваемости работников угольного топливного комплекса по сравнению с работниками в ядерной энергетике. Вежливо говоря, такое сопоставление некорректно, оно не отражает только влияние профессии, так как сравниваемые группы людей сильно разнятся по социальному положению (образование, зарплата, медицинское обслуживание, общая культура и т. п.).

Заметим теперь, что сравнение радиационного воздействия на человека естественных радионуклидов почвы с воздействием не существующих в природе, но производимых ядерным циклом нуклидов, не дает истинной картины. Дело в том, что к естественным нуклидам живой мир эволюционно приспособлен. Это выражается, например, в том, что естественные радионуклиды не концентрируются в растениях и животных. Растения имеют в 10-100 раз меньше концентрации естественных радионуклидов, чем в среднем в почве. Обратная ситуация имеет место с нуклидами ядерной энергетике. Известно, что в своей жизнедеятельности растения и животные усваивают кальций, калий. Между тем, весьма опасные для человека долго живущие радиоактивные нуклиды ядерного цикла стронций-90 и цезий-137 по химическим свойствам эквиваленты соответственно кальцию и калию и потому усваива-

ются растениями и животными. В результате в некоторых сельхозрастениях концентрация этих радионуклидов превышает их концентрацию в зараженной почве в 70-100 раз. Другой, более яркий пример имеет место при заражении воды: тогда рыба и водные растения накапливают опасные радионуклиды до концентрации, в десятки и сотни тысяч раз превышающей их концентрацию в воде. Сказанное приводит к тому, что радионуклиды ядерной энергетики попадают через пищевой цикл внутрь тела человека, накапливаясь там и создавая самое опасное внутреннее облучение. Этого, как мы видим, не происходит с естественными радионуклидами почвы. Отсюда видно, что проводимые ранее сравнения радиоактивного действия химической и ядерной энергетики не являются полными и выглядят далеко не в пользу ядерной энергетики. Встречается утверждение, что, например, в Запорожье радиоактивное заражение от угольной ТЭС превышает радиационное загрязнение от АЭС в 4-5 раз. По утверждению атомных энергетиков добавка активности от АЭС составляет не более 1-2 процентов естественного фона. Следовательно, добавка от ТЭС составила 5-10 процентов. Это существенно меньше естественных вариаций фона от места к месту, и проводимое сравнение просто бессмысленно. Таким образом, угольная энергетика по своему радиоактивному воздействию существенно менее опасна, чем ядерная энергетика. Еще меньшую опасность в этом отношении представляет энергетика на нефти и совсем лишенная радиоактивного воздействия энергетика на природном газе.

Экологической особенностью энергетики на ископаемых топливах является то, что она гармонично подключается к естественному глобальному процессу кругооборота двуокиси углерода в природе. Техногенный добавок к этому процессу в ограниченных пределах не приводит к неустрашимым нарушениям и тем более к экологическим катастрофам. Он используется растениями как дополнительное питание, приводящее даже к увеличению урожайности зерновых. В противоположность этому ядерная энергетика на уране запускает в биосфере Земли новый мощный ядерный процесс, который необратимо меняет химический состав веществ на планете, накапливая в среде обитания крайне опасные новые источники облучения, срок действия которых исчисляется десятками тысяч лет. Вследствие этого ядерная энергетика является наиболее потенциально опасной из всех до сих пор известных человечеству. При так называемой нормальной работе ядерных

энергетических установок влияние этого нового процесса в биосфере достаточно ослаблено принимаемыми мерами. Однако если эти меры разрушаются, то может возникнуть глобальная катастрофа типа Чернобыльской. Общеизвестно, что абсолютной гарантии от катастрофических аварий АЭС не существует. Оценки вероятности таких событий, связанных, к тому же, с непредсказуемыми действиями персонала, являются субъективными и потому не могут быть характеристикой безопасности. Кроме возможного катастрофического радиационного воздействия, ядерная энергетика при «нормальной работе» подвергает население непрерывному облучению малыми дозами, следствием которого является возникновение онкологических и генетических заболеваний. Считается, что любая сколько угодно малая доза облучения создает определенную вероятность заболевания, называемую риском. По данным НКДАР всеми АЭС мира, имеющими электрическую мощность 0,25 миллиарда киловатт, создается облучение населения Земли, средняя индивидуальная доза которого равна одному миллибэру за год, что в сто раз меньше дозы от естественного радиационного фона. Рост полной мощности всех АЭС мира до барьерной, т.е. в 150 раз, увеличивает дозу до 150 миллибэр. Доза облучения человека за поколение (30 лет) станет 4,5 бэра. Это приведет к 90 смертельным исходам от рака на один миллион человек и даст, на каждый миллион живых новорожденных, 680 детей с серьезными наследственными дефектами. Успокаивая население, обычно указывают, что за счет рентгенодиагностики каждый человек за те же 30 лет получает дозу в среднем 4,5 бэра, поэтому не произойдет ничего страшного, если к этому столько же добавит ядерная энергетика. Такой ход рассуждений демонстрирует искажение истины с помощью средних данных. В рассматриваемом случае известно, что для детей и беременных женщин рентгенодиагностика, ввиду ее онкологической и генетической опасности, как правило, не применяется, в то время как от АЭС определенную дозу они получают неизбежно. Итак, по экологическим соображениям атомная энергия не может и не должна выполнять роль масштабной энергетики, ее уровень, видимо, не должен составлять более сотой доли энергии теплового барьера.

Приведенное выше понятие риска используется для принятия решений. В частности, применение новой техники считается социально приемлемым, если риск, вносимый ею, приводит в итоге

к полезным эффектам, снижающим суммарный риск в обществе. С точки зрения этого принципа замена масштабной очищенной химической энергетики на масштабную ядерную не выдерживает критики, поскольку риск облучения от первой, как показано выше, отсутствует. Тем более ядерная энергетика проигрывает в сравнении с использованием возобновляемых источников. Высказанный Научным Комитетом по действию атомной радиации принцип, по существу, утверждает приоритет экологии и жизни человека над всеми другими и, в частности, экономическими. Однако часто приоритет атомной энергетики аргументируется ее дешевизной по сравнению со всеми другими.

На основании проведенного анализа можно более определенно дать ответ о том, какие источники энергии и в какой мере целесообразно использовать и на ближайшие 25-50 лет, пока должна будет создаваться возобновляемая энергетика. Для больших стран и регионов, по-видимому, примерно оптимальна приведенная выше среднемировая пропорция использования топлив, при которой их исчерпание происходит одновременно. Однако ценность газа и особенно нефти как сырья для химической промышленности требует уменьшения их доли в энергобалансе. Эта тенденция неизменно осуществляется в США с 1970 года. Так, доля угля в энергобалансе за этот интервал растет равномерно с 13 процентов до 23 процентов, нефти падает с 46 процентов до 41 процента, газа падает с 36 процентов до 21 процента, причем гидроэнергии остается неизменной на уровне 5,0 процентов, а доля атомной возрасла до 10 процентов далее не меняется. Под создание экологически чистой угольной энергетики в США проведена огромная работа, в результате которой разработаны новые технологии сжигания угля, исключая выбросы вредных газов, и построена соответствующая техника. В России за этот же срок, несмотря на ресурсные богатства угля, происходит снижение его доли с 40 процентов до 12 процентов, доля газа с 22 процентов поднимается до 37 процентов, а доля неф-

ти практически остается на уровне 33 процентов, доля ядерной энергетики быстро растет. Слабое использование угля в энергетике России при экологически устаревшей технологии его сжигания, видимо, оправдано, однако может быть следует закупить в США соответствующую технику сжигания угля и обеспечить его большее использование, исключая наращивание ядерной энергетики и сберегая нефть и газ.

В перспективе, разумеется, нельзя ориентироваться на полное исчерпание запасов. Сжигать все до конца можно лишь не думая о будущих поколениях, о судьбе цивилизации на столетия. Оставлять для потомков опустошенную планету аморально. Поэтому из отпущенных ресурсов на 130 лет допустимо использовать лишь небольшую часть, что может быть достигнуто только масштабным использованием возобновляемых источников энергии. При этом аккумуляция энергии является одним из основных вопросов современной энергетики. Таким образом, нравственные, экологические, ресурсные, социальные императивы требуют немедленного развития и использования солнечной, ветровой, океанической энергий. Все это диктует необходимость уже к середине 21-го века довести мировое энергопроизводство за счет возобновляемой энергии, в основном солнечной и ветровой, хотя бы до уровня, сравнимого с мировым сегодняшним энергопроизводством. Чтобы за 60-70 лет достичь этого, нужно вводить в действие во всем мире в среднем в год мощности, равные 100-150 миллионам киловатт. Это – грандиозная задача, нужно еще провести массу исследований, построить и испытать опытные образцы и системы. Только создание глобальной программы по использованию возобновляемых источников энергии, аналогичной космической или атомной программы, может дать успех. В противоположность этим программам, в которых государства действовали раздельно, Глобальная Программа Чистой Энергии может стать впечатляющим примером широкого сотрудничества наций, направленного, по существу, на выживание человечества.

УДК 541.162

КАМЕРЫ ПУЛЬСИРУЮЩЕГО ГОРЕНИЯ – ГЕНЕРАТОРЫ ТЕПЛОТЫ И МЕХАНИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

*Северянин В.С.**Брестский государственный технический университет*

Введение

Пульсирующее горение (*pulsating combustion*), известное сравнительно давно, впервые использованное в военной технике (самолеты-снаряды ФАУ-1 с пульсирующим двигателем 40 гг. XX в.), имеет ряд особенностей. Это, во-первых, очень высокая плотность тепловыделения BQ_H^p/V (B – расход топлива, Q_H^p – его теплота сгорания, V – топочный объем), высокий КПД процесса горения (отсутствуют недожоги), возможность так называемого самовсаса воздуха (отсутствие дутьевых устройств с их электропотреблением), генерация высокоскоростного потока газообразных продуктов сгорания. Во-вторых – простота конструкции и эксплуатации, разнообразие технических приложений для обслуживания тепловых агрегатов, комбинаций с другими огнетехническими устройствами. Основной недостаток – шум и вибрации подавляются до приемлемого значения известными способами, а высокие уровни тепловых потоков утилизируются соответствующим охлаждением обрабатываемыми потоками.

Аппараты, реализующие пульсирующее горение, принято называть камерами пульсирующего горения – КПП (*pulsating combustion chamber*). Известны многочисленные конструкции КПП [1], при этом пульсационный режим почти всех КПП обусловлен их аэродинамическими, геометрическими акустическими свойствами [2, 3]. Как теплогенерирующие элементы они могут использоваться в малой, коммунальной и большой энергетике, а как двигатели – в авиации, реактивной технике. Если первое изучено достаточно для практического применения, то второе – только пока узкая сфера спецтехники. Поэтому целесообразно рассмотреть это двойное качество КПП

для создания усовершенствованной теплотехнической продукции.

Теплогенерирующие особенности пульсирующего горения

Характеризуя кратко особенности пульсирующего способа горения органического топлива в специальных устройствах – КПП, следует подчеркнуть следующее.

1) В диффузионной области реагирования, преобладающей для топочной техники, скорость горения, т.е. теплонапряжение топочного объема, зависит в первую очередь от смесеобразования, турбулизации, обдувания топлива окислителем, что реализуется в КПП намного интенсивнее, чем в стационарном потоке.

2) Конвективный теплообмен между факелом и соприкасающимися с ним телами настолько интенсивен, что сокращает поверхности утилизирующие теплоту, в несколько раз. Работу металла конструкции КПП облегчает некоторое снижение радиационного потока, т.к. светимость факела уменьшается. Часть энтальпии потока расходуется на механическую энергию колебаний, это снижает температуру газа. Исследования показали примерно десятипроцентное снижение радиационной нагрузки на ограждения.

3) Сильная турбулизация потока позволяет сжигать низкосортные, загрязненные топлива. Распыливающее действие колеблющегося потока ведет к возможности упрощения топливной системы (снижение давления перед форсункой, вплоть до отказа от форсунки, слоевое горение).

4) Интенсивный автоколебательный процесс приводит к возможности унификации по топливу, когда в одной и той же конструкции можно сжигать широкую гамму топлив, при этом сбли-

жаются эмиссионные характеристики факелов. Например, переход с жидкого на газообразное топливо требует замены только форсунки на газовую горелку.

5) Так как КПГ могут действовать в режиме самостоятельного обеспечения воздухом и удалением продуктов сгорания, то обеспечивается снижение расхода энергии на собственные нужды. Необходимы только пусковые вентиляторы, а в рабочем режиме расход электроэнергии на тягу и дутье может быть сведен к нулю.

6) КПГ допускают любую ориентацию, изменение формы, любые стыковки с обслуживаемыми агрегатами. Гибкость компоновочных решений допускает широкое применение КПГ.

7) Если в обычных топках эксергетический КПД ничтожно мал (нет работоспособности потока на выходе из топки), то КПГ, создавая струю газов, позволяет утилизировать и механическую работу (например, аналог – ПуВРД – пульсирующий воздушно-реактивный двигатель; бескомпрессорные ГТУ – газотурбинные установки, см. далее).

Теплофизические характеристики мощной камеры пульсирующего горения оцениваются такими данными [4]:

Расход топлива.....	5300кг/час
Частота колебаний.....	31–33 Гц
Амплитуда давления.....	0,2 кг/см ²
Теплонапряжение топочного объема.....	(3,9–7,0)·10 ⁶ Вт/м ³
Уровень звука возле КПГ.....	107 Дб
..... панель управления.....	89 Дб

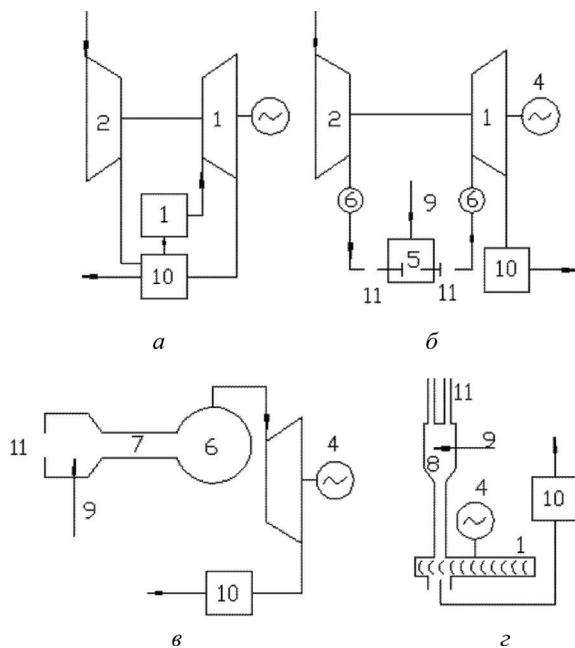


Рис. 1.

Это крупная двухфазная КПГ была создана и испытана Бабкиным Ю.Л., опытная эксплуатация ее показала большие возможности теплогенерации методом пульсирующего горения. Выявились и некоторые недостатки – шум и вибрации, что определило последующие работы по совершенствованию новой высокофорсированной топочной техники.

Варианты утилизации кинетической энергии пульсирующего потока

С точки зрения термодинамики камеру пульсирующего горения можно рассматривать как тепловую машину, в которой часть подводимой за счет горения теплоты переходит в работу, совершаемую газом. Величина этой работы, относительно подведенной теплоте, оценивается термодинамическим коэффициентом полезного действия. Проиллюстрировать эти зависимости удобно на примере ГТУ (газотурбинных установок), предназначенных для выработки механической (электрической) энергии.

На рис. 1 показаны обсуждаемые схемы ГТУ: «а» – ГТУ постоянного давления, «б» – ГТУ постоянного объема [5], «в» – ГТУ с камерой сгорания в виде КПГ с механическим клапаном, «г» – ГТУ с камерой сгорания в виде КПГ с аэродинамическим клапаном. Обозначения: 1 – турбина, 2 – компрессор, 3 – камера сгорания, 4 – нагрузка (электрогенератор), 5 – клапанная камера, 6 – ресивер, 7 – КПГ-МК (мех. клапан), 8 – КПГ-АК (аэродин. клапан), 9 – топливо, 10 – потребитель тепла (теплообменник), 11 – клапаны.

Подразумевается термодинамическая идентичность схем «б», «в», «г» (последние две – без компрессора). Описание действия ГТУ приводится в различных источниках [5].

Термодинамический КПД ГТУ $\rho = const$ (цикл Брайтона), схема «а»:

$$\eta_t^b = 1 - \frac{1}{\beta^k},$$

для ГТУ $\nu = const$ (цикл Аткинсона), схема «б»:

$$\eta_t^a = 1 - \frac{1}{\beta^k} \cdot \frac{k \lambda^{1/k}}{(\lambda - 1)} \quad (1)$$

(здесь k – показатель адиабаты, β – степень повышения давления в компрессоре, λ – то же в камере сгорания) [5].

Для бескомпрессорной ГТУ с КПГ, где повышается давление λ , а $\beta = 1$, из (1) имеем:

$$\eta_t = 1 - k \frac{\lambda^{1/k} - 1}{\lambda - 1}. \quad (2)$$

Выражение (2) дает возможность оценить величину работы газового потока после КПГ как долю теплоты использованного топлива.

Для примера рассмотрим установку с расходом топлива 100 кг/час (соляр), на которой получена амплитуда колебания давления 0,3 Бар. На ней теоретически можно получить:

$$\eta_t = 1 - 1,35 \left[\left(\frac{1,3}{0,7} \right)^{1,35} - 1 \right] / \left(\frac{1,3}{0,7} - 1 \right) \approx 0,1,$$

т.е. порядка 10% выделенной при сжигании топлива энергии в идеальном случае можно передать, например, на привод вентилятора для перемещения подогретого воздуха, или напрямую горячие газы в теплообменник.

Схематично этот процесс показан на рис. 2, где сравниваются варианты действия теплообменника от КПГ и от камеры сгорания, питающейся воздухом от внешнего вентилятора, т.е. два варианта наддува. Обозначения: КС – камера сгорания (на верхней схеме «а» это КПГ, на нижней «б» – камера сгорания постоянного давления), ТО – теплообменник, ТЭС – теплоэлектростанция, ЭП – электропередача, ДВ – двигатель, ВР – вентилятор, $T_{\text{н}}$ – топливо, расходуемое на перемещение газа, $T_{\text{н}}$ – для нагрева и перемещения, B_1 – расход топлива на КПГ, $B_2^{\text{ТЭС}}$ – топливо на ТЭС для перемещения, $B_2^{\text{УСТ}}$ – топливо на установку, $Q_{\text{н}}$, $Q_{\text{п}}$ – теплота для перемещения и нагрева, ПС – продукты сгорания, V_3 – воздух. Индексы: 1 – для схемы с КПГ, 2 – наддув вентилятором.

При $(Q_{\text{н}})_1 = (Q_{\text{н}})_2$ и одинаковых теплообменниках: $(T_{\text{н}} + T_{\text{п}}) > T_{\text{нп}}$, т.к. для ТЭС с КПД менее 40 % требуется больший расход топлива $B_2^{\text{ТЭС}}$. Поэтому нагрев теплоносителя в схеме с КПГ идет с меньшими топливными затратами, чем в обычных схемах.

Какое количество, например, воздуха, может быть нагрето при горении в КПГ, дается по соотношениям водяных эквивалентов газа и воздуха:

$$\frac{W_{\text{в}}}{W_{\text{г}}} = \frac{\Delta T_{\text{г}}}{\Delta T_{\text{в}}}$$

($\Delta T_{\text{в}}$ – принять величину нагрева воздуха, $\Delta T_{\text{в}} = 50^\circ$, охлаждение газа в ТО принять $\Delta T_{\text{г}} \approx 700^\circ$).

Тогда расход воздуха:

$$V_{\text{в}} = \frac{W_{\text{в}}}{\rho_{\text{в}}} = \frac{B V_{\text{г}} \rho_{\text{г}} c_{\text{г}} \Delta T_{\text{г}}}{\rho_{\text{в}} c_{\text{в}} \Delta T_{\text{в}}} \approx 17000 \text{ м}^3/\text{час}$$

(расход топлива B – по предыдущему примеру, ρ и c – табличные плотности и удельные теплоемкости, $V_{\text{г}}$ – выход газа на 1 кг топлива).

Тепловая мощность этой КПГ:

$$N = B Q_{\text{H}}^{\text{P}} = 100 \text{ кг/ч} \times 10000 \text{ ккал/кг} \approx 10^6 \text{ ккал/ч} \approx 10^6 \text{ Вт (выделение теплоты)}$$

Согласно (2), КПГ может предоставлять для перемещения $(Q_{\text{п}})_1$ количества механической энергии:

$$(Q_{\text{п}})_1 = N \times \eta_t = 10^3 \times 0,1 \text{ кВт} = 100 \text{ кВт}$$

В то же время вентилятору потребовалось бы для подачи этого, нагретого количества воздуха:

$$N_{\text{ВР}} = \frac{V_{\text{в}} \cdot H}{3600 \cdot 102 \cdot \eta_{\text{в}}},$$

где $V_{\text{в}}$ – расход воздуха; H – напор, принять 1 кПа; $\eta_{\text{в}}$ – КПД вентилятора, а именно: $N_{\text{ВР}} \approx 8 \text{ кВт}$.

Таким образом, даже с учетом неучтенных потерь из-за необратимости процесса, при меньших амплитудах колебания давления, энтропийных потерь, низких внутренних относительных аэродинамических КПД, - энергетические соотношения $(Q_{\text{п}})_1 \gg N_{\text{ВР}}$ вполне благоприятны для постановки конструкторских задач с целью применения устройств пульсирующего горения как генераторов механической энергии.

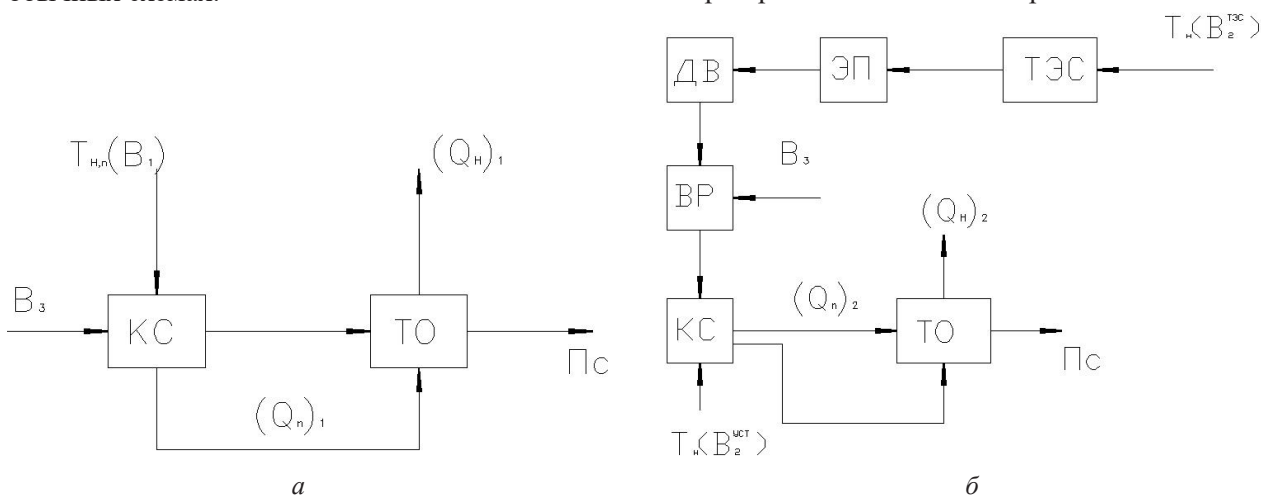


Рис. 2.

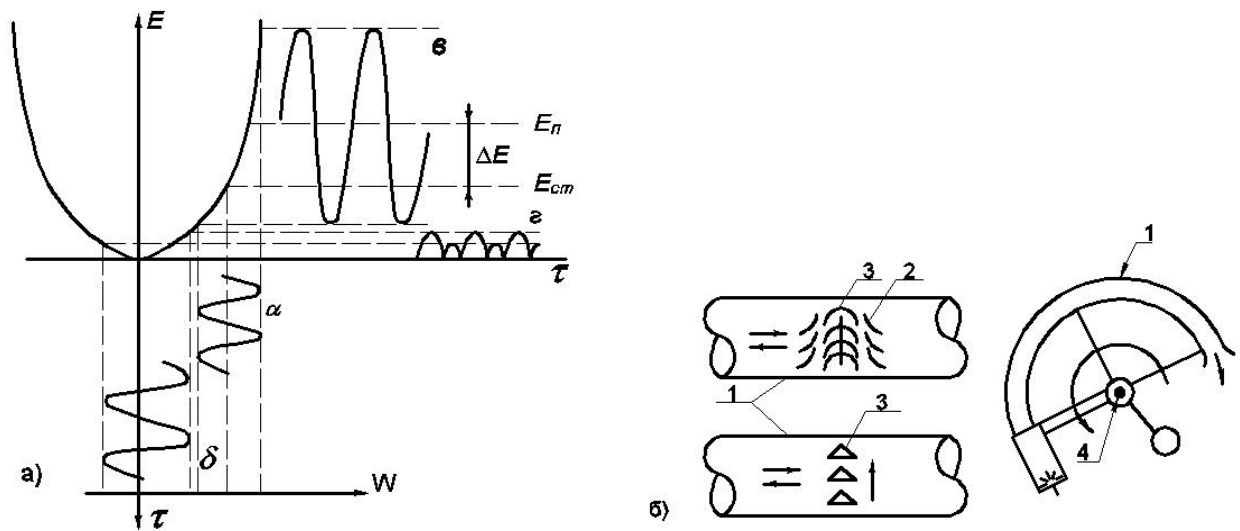


Рис. 3.

Реализация двойного действия КПП

Выработка механической энергии нестационарным потоком поясняется графически на рис. 3. Здесь а – количественные нестационарные зависимости, б – некоторые конструкции движущихся механизмов. E – кинетическая энергия потока, квадратично зависящая от скорости W , изменяющейся во времени τ . Линия «а» – это изменение по синусоиде по координате τ , повернутой на 90° , линия «б» – скорость W с обратным потоком (выброс из аэродинамического клапана или знакопеременное течение в каналах КПП), линия «в» – энергия от «а» как функция W , линия «г» – то же для знакопеременного течения.

Следует обратить внимание на ΔE – приращение уровня энергии $E_{п}$ относительно уровня энергии при стационарном течении $E_{ст}$ (благодаря нелинейности $E = f(\omega)$). Линия «г» показывает учет энергии и при обратном течении потока. $E_{п}$ построена по полусумме отклонений «в».

На схемах б) представлены: 1 – газовый канал (слева неподвижный, справа – вращающийся на оси 4 с противовесом), 2 – направляющие лопатки, 3 – рабочие лопатки газовой турбины. Стрелки – движение газа и механизмов.

Если изображенные слева конструкции гипотетические, то конструкция справа успешно реализована, испытана и предлагается к использованию в качестве теплогенератора с минимальным расходом энергии на собственные нужды.

На основании вышеупомянутой схемы-конструкции рис. 4 представляет воздухонагреватель смешительного типа (смесь воздуха и чистых продуктов сгорания, характерных для КПП). Кроме того, воздух нагревается от горячих стенок КПП, охлаждая ее. КПП образует вращающийся ротор и состоит из камеры сгорания 1 с резонансной трубой 2, изогнутой по окружности. Камера установлена в подшипниках 3, снабжена неподвижной форсункой 4 и аэродинамическим клапаном 5 трубчатого типа, пусковой электросвечой со скользящими контактами. На корпусе камеры 1 установлены по периферии вентиляторные лопатки 6. Обрамляющий короб 7 образует канал 8 для прохода горячего газового теплоносителя [6]. КПП действует как реактивная установка, выхлопная струя из 2 создает вращающий момент и интенсивную турбулизацию. Расход топлива – 10 кг/час (соляр), скорость вращения – 500 об/мин, расход воздуха и газа порядка $700 \text{ м}^3/\text{час}$, температура потока $80\text{--}200^\circ\text{C}$.

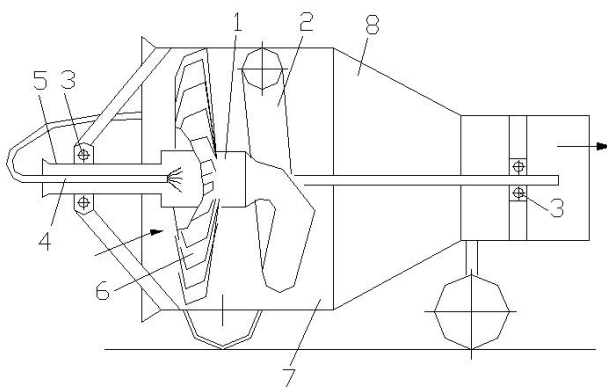


Рис. 4.

Разработанное устройство целесообразно использовать для обогрева теплиц, строящихся объектов, в сушилках различного назначения, обработки сельхоз. помещений и т.п.

Выводы

Газовый поток, генерируемый камерами пульсирующего горения, целесообразно использовать для транспортировки теплоносителя, нагреваемого этим же потоком.

Интенсивное тепловыделение в камере пульсирующего горения допустимо по условиям работы металла благодаря охлаждению нагревающимся воздухом.

Отказ от тяго-дутьевых устройств с электроприводами снижает расход энергии на собственные нужды при использовании камер пульсиру-

ющего горения как теплогенераторов, так и побудителей перемещения теплоносителей за счет выработки механической энергии.

Генераторы теплоты и механической энергии, несмотря на низкий термодинамический КПД получения работы, имеют общий высокий КПД использования топлива, обусловленный утилизацией теплоты. Действие камер пульсирующего горения в таком качестве аналогично известному методу комбинированной выработки тепла и электроэнергии на ТЭЦ или на когенерационных установках с ДВС.

Список использованных источников

1. Технологическое пульсационное горение / Попов В.А. [и др.]. – М.: Энергоатомиздат, 1993. – 317 с.
2. Северянин, В.С. Аэродинамическая структура устройств пульсирующего горения / В.С. Северянин // Изобретатель. – №7–8, 2016. – С. 43–49.
3. Северянин, В.С. Котлы с пульсирующим горением / В.С. Северянин // Энергетика. – №1, 2001. – С. 79–85.
4. Severyanin, V.S. Prospects for pulsating combustion in power engineering / V.S. Severyanin. – First International Symposium on Pulsating Combustion. Proceedings. University of Sheffield, England. – 1971.
5. Теплотехнический справочник, т. I / Под ред. В.Н. Юренева. – М.: Энергия, 1975.
6. Устройство для пульсирующего сжигания топлива: а.с. 870854 СССР, F23 с11/04, 1981 / В.С. Северянин.

УДК 621.8

ОБЪЕМНЫЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ПЕРЕДАЧИ ХОДОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ТРАНСПОРТНО- ТЯГОВЫХ МАШИН

Котлобай А.Я., Котлобай А.А., Тамело В.Ф.

Белорусский национальный технический университет

Применение объемных гидropердач (ОГП) в приводах ходового оборудования мобильных тягово-транспортных машин – одно из прогрессивных направлений в дорожно-строительной, инженерной технике двойного назначения. ОГП позволяет реализовать бесступенчатое регулирование скорости пневмоколесного движителя, расширяет возможности компоновочных решений. При создании ряда технологических машин для привода ходового оборудования нашли применение ГСТ-71, ГСТ-90 (рис. 1, обложка)

Гидростатическая трансмиссия включает (рис. 1) основной насос (рис. 2), механизм управления, насос подпитки, нерегулируемый реверсивный гидромотор (рис. 3), гидравлическую аппаратуру, обеспечивающую эффективную работу ГСТ.

Основной насос (рис. 2) – аксиально-поршневой, регулируемый. Плунжера насоса, совершая возвратно-поступательное движение в блоке цилиндров, обеспечивают всасывание и вытеснение рабочей жидкости через каналы гидрораспределителя и заднюю крышку насоса. Величина объемной подачи рабочей жидкости определяется ходом поршня, и зависит от угла наклона шайбы. Реверсирование потока осуществляется изменением направления наклона шайбы.

Изменение объемной подачи осуществляется регулированием рабочего объема. Под рабочим объемом насоса понимается объем рабочей жидкости, необходимой для поворота вала на один оборот. Изменение рабочего объема задается углом наклона шайбы. Максимальный угол наклона шайбы соответствует максимальному рабочему объему насоса. В первоначальном положении наклонная шайба находится в нулевом положении.

Одним из недостатков ГСТ является малый диапазон регулирования скорости вращения вала гидромотора. При создании моноблочных ОГП

для привода ходового оборудования транспортно-тяговых машин находят применение аксиально-поршневые гидромоторы переменного объема [2].

Наряду с полнопоточными ОГП – ГСТ-71, ГСТ-90, применяемыми при производстве мобильных технологических машин, находят применение дифференциальные трансмиссии, в том числе ОГП с внутренним разветвлением потока мощности, сформированных на базе аксиально-поршневых гидромашин с наклонным диском [2]. Существуют две группы ОГП с внутренним разветвлением потока мощности. К первой группе относятся ОГП, в которых неподвижен один из элементов гидромотора, а ко второй – ОГП с неподвижными элементами насоса. Рассмотрим примеры реализации ОГП первой группы (рис. 4).

Структура ОГП с внутренним разветвлением потока мощности на базе аксиально-поршневых гидромашин предполагает связь ведущего вала с наклонной шайбой 6 насоса 1 и гидрораспределителем (рис. 4, а, б), либо с блоком цилиндров 5 насоса 1 (рис. 4, в, г). Блок цилиндров 5 насоса 1 связан с блоком цилиндров 7 гидромотора 2 и ведомым валом (см. рис. 4, а), и с наклонной шайбой 8 гидромотора 2 и ведомым валом (рис. 4, б). Наклонная шайба 6 насоса 1 связана с наклонной шайбой 8 гидромотора 2 и ведомым валом (рис. 4, в), и с блоком цилиндров 7 гидромотора 2 и ведомым валом (рис. 4, г). Зафиксировано положение: наклонной шайбы 8 гидромотора 2 (рис. 4, а, г), либо блока цилиндров 7 гидромотора 2 (рис. 4, б, в). В механических линиях связи структурных элементов насоса 1 и гидромотора 2 и гидромотора 2 с ведомым валом могут включаться промежуточный 3 и выходной 4 редукторы, обеспечивающие получение заданного диапазона скоростей вращения n_2 ведомого вала, при фиксированном значении частоты вращения ведущего вала n_1 .

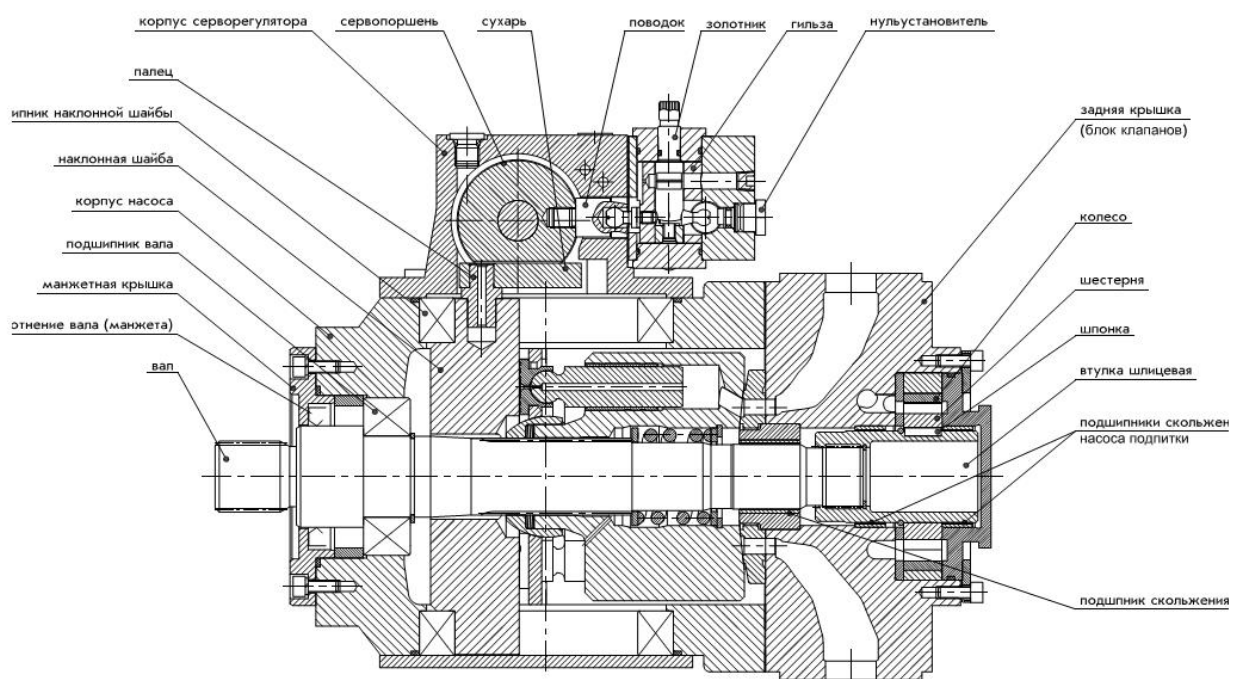


Рис. 2 – Насос аксиально-поршневой регулируемый 416.0.90

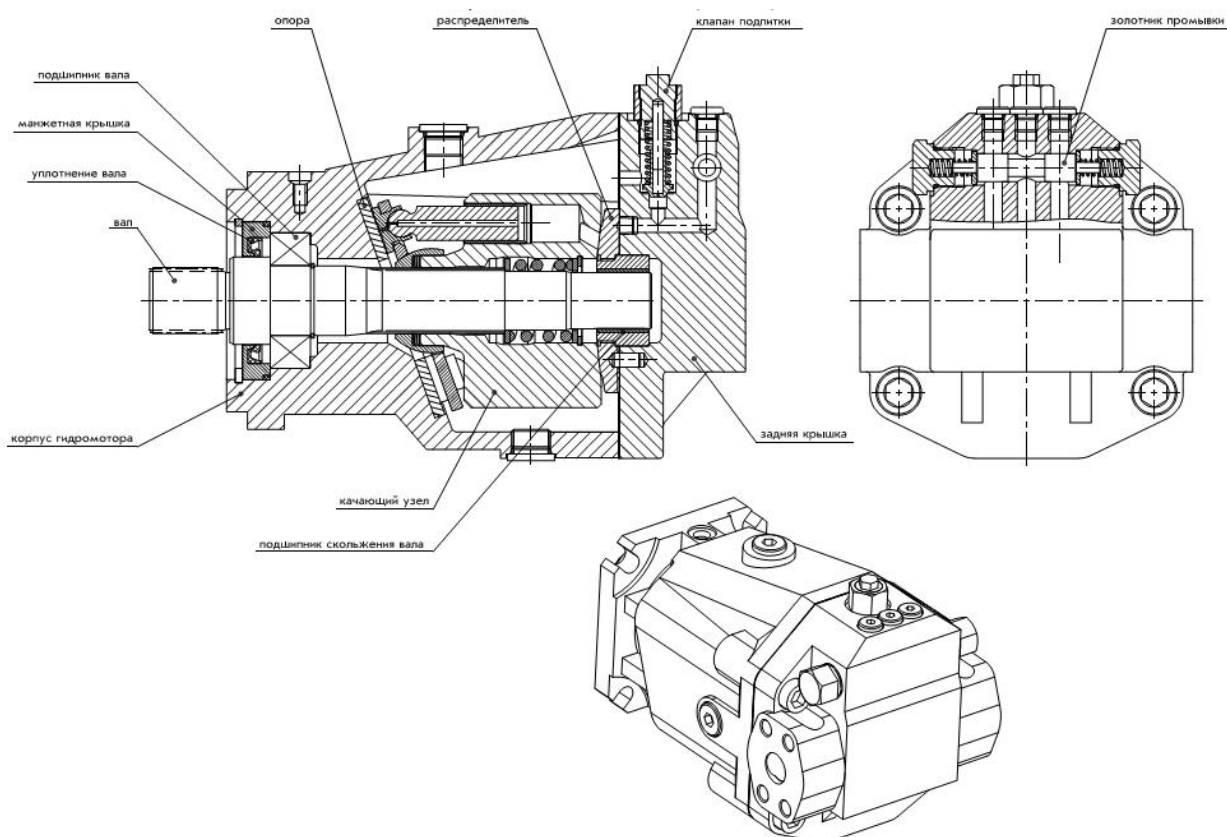


Рис. 3. Гидромотор 406.0.90

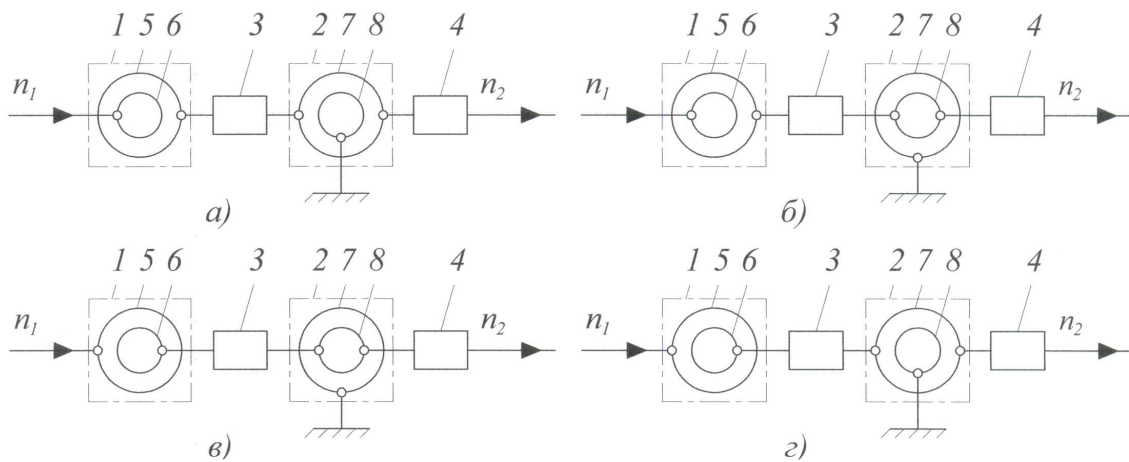


Рис. 4. Структурные схемы ОГП с внутренним разветвлением потока мощности:

1 – насос; 2 – гидромотор; 3, 4 – промежуточный, выходной редуктор; 5, 7 – блок цилиндров насоса, гидромотора; 6, 8 – наклонная шайба и гидрораспределитель насоса, гидромотора

Анализ структуры ОГП с внутренним разветвлением потока мощности показывает сложности технической реализации на базе традиционных решений аксиально-поршневых гидромашин (рис. 2, 3). Так, наличие вращения шайбы и гидрораспределителя аксиально-поршневого насоса существенно усложняет реализацию широко применяемого способа регулирования объема насоса – изменением угла наклона шайбы. Система управления известных аксиально-поршневых регулируемых насосов включает механизмы управления на основе изменения угла наклона шайбы насоса, неподвижной относительно оси ОГП. Решений, обеспечивающих изменение угла наклона шайбы насоса, вращающейся с частотой вращения ведущего вала n_1 относительно оси ОГП, и при этом, вращения блока цилиндров насоса с иной частотой в открытой печати не выявлено. Отсутствие таких технологий ограничило возможности широкого применения ОГП с внутренним разветвлением потока мощности первой группы в системах приводов ходового оборудования транспортно-тяговых машин.

Одним из направлений активизации работ по созданию гаммы ОГП с внутренним разделением потока мощности является разработка новых методов изменения эквивалентного объема аксиально-поршневого насоса, основанных на изменении относительного фазового положения наклонной шайбы и гидрораспределителя.

В аксиально-поршневых насосах относительное положение наклонной шайбы и гидрораспределителя обеспечивает алгоритм работы насоса,

при котором рабочая жидкость поступает из бака в полость цилиндра на такте всасывания и нагнетается в напорную магистраль на такте нагнетания. Метод фазового регулирования состоит в изменении относительного углового положения наклонной шайбы и гидрораспределителя, обеспечивающего связь рабочих полостей блока цилиндров в пределах каждого такта последовательно с различными магистралями, т.е. при такте всасывания частично с всасывающей и напорной, а при такте нагнетания – с напорной и всасывающей магистралями. При изменении фазового положения наклонной шайбы и гидрораспределителя объем насоса определяется эффективным ходом поршня, равным ходу поршня, в течение которого гидрораспределитель обеспечивает связь рабочей полости с одноименной магистралью на данном такте. Технически метод фазового регулирования насоса с вращающимися наклонной шайбой и блоком цилиндров может быть реализован по направлениям, предполагающих соответствующие конструктивные решения:

- изменения относительного положения наклонной шайбы и гидрораспределителя [2];

- деления цилиндров блока на две группы и оснащение каждой группы гидрораспределителем, один из которых неподвижен, а второй изменяет свое угловое положение относительно оси насоса согласно алгоритму управления, и дальнейшему суммированию обоих потоков в напорной магистрали [3];

- дискретизации непрерывных потоков рабочей жидкости всасывающей и напорной маги-

стралей блока цилиндров насоса и перераспределения гидрораспределителем дискретных потоков рабочей жидкости между напорной магистралью и баком согласно алгоритму управления.

Рассмотрим пример конструктивной схемы ОГП с внутренним разветвлением потока мощности (рис. 4, б) на основе технической реализации метода фазового регулирования по третьему направлению.

ОГП с внутренним разветвлением потока мощности (рис. 5) включает аксиально-поршневой

насос 1 переменной производительности, аксиально-поршневой гидромотор 2 постоянного объема, промежуточный планетарный редуктор 3, выходной планетарный редуктор 4.

Аксиально-поршневой насос 1 включает блок цилиндров 5, связанный с втулкой 6, установленный в подшипниковом узле корпуса. Ведущий вал 7 установлен в передней крышке корпуса. Поршни 8 образуют рабочие полости 9 и прижимаются к поверхности наклонной шайбы 10, выполненной заодно с ведущим валом 7.

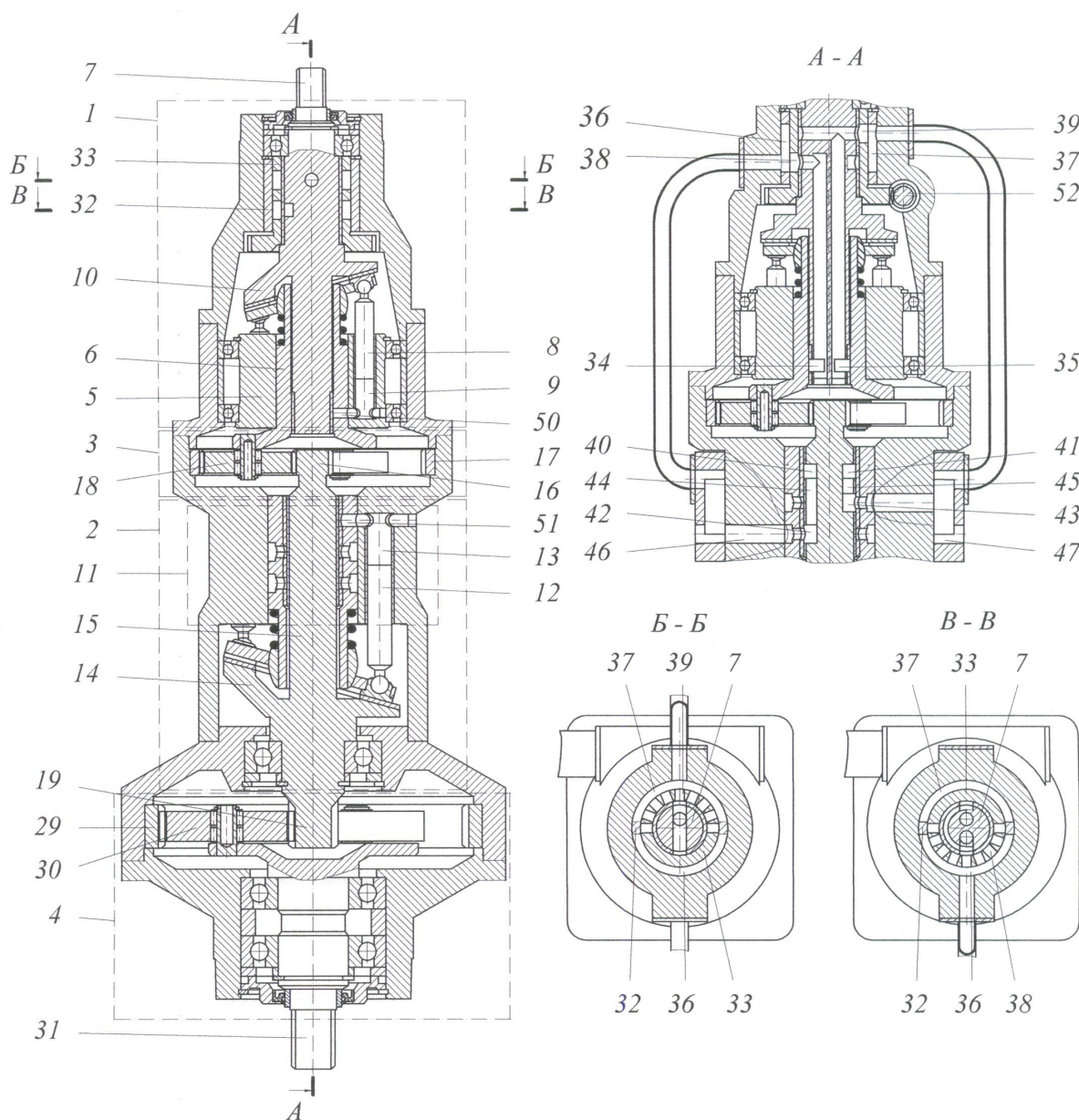


Рис. 5. Конструктивная схема ОГП с внутренним разветвлением потока мощности

Аксиально-поршневой гидромотор 2 включает неподвижный блок цилиндров 11. Поршни 12 образуют рабочие полости 13 и прижимаются к поверхности наклонной шайбы 14. Вал 15 гидромотора 2 установлен в подшипниковом узле картера выходного планетарного редуктора 4. Наклонная шайба 14 выполнена заодно с валом 15.

Промежуточный планетарный редуктор 3 включает солнечную шестерню 16, выполненную заодно с валом 15, коронную шестерню 17, установленную в корпусе и сателлиты 18, установленные на осях водила, выполненного заодно с втулкой 6.

Выходной планетарный редуктор 4 включает солнечную шестерню 19, выполненную заодно с валом 15, коронную шестерню 29, установленную в картере выходного планетарного редуктора 4 и сателлиты 30, установленные на осях водила, выполненного заодно с ведомым валом 31, установленным в подшипниковом узле крышки картера выходного планетарного редуктора 4.

Гидрораспределитель аксиально-поршневого насоса 1 включает распределительную втулку 32, закрепленную неподвижно в передней крышке корпуса, подвижную распределительную втулку 33, установленную в распределительной втулке 32 с возможностью, и две группы диаметрально противоположных сегментных пазов 34 и 35, 36 и 37 с центральными углами, составляющими 180°. Сегментные пазы 34, 35 образованы на наружной поверхности ведущего вала 7. Сегментные пазы 36, 37 образованы на наружной поверхности распределительной втулки 32. На наружной поверхности распределительной втулки 33 образованы две диаметрально противоположные группы продольных каналов 38, 39. Полости сегментных пазов 34, 35 связаны с каналами 38, 39 и с полостями сегментных пазов 36, 37 распределительной втулки 32.

Гидрораспределитель аксиально-поршневого гидромотора 2 включает две группы диаметрально противоположных сегментных пазов 40 и 41, 42 и 43 с центральными углами, составляющими 180°. Сегментные пазы 40 и 41, 42 и 43 образованы на наружной поверхности вала 15 и связаны каналами 44, 45.

Полости сегментных пазов 36, 37 связаны с каналами 46, 47 подключения контура подпитки и предохранительных клапанов (не показаны) и полостями сегментных пазов 42 и 43.

Рабочие полости 9 блока цилиндров 5 связаны радиальными каналами 50 с полостями сегментных пазов 34, 35. Рабочие полости 13 блока цилиндров 11 аксиально-поршневого гидромотора 2 связаны радиальными каналами 51 с полостями

сегментных пазов 40, 41.

Для обеспечения поворота подвижная распределительная втулка 33 оснащена зубчатым венцом червячного зацепления. Привод червяка 52 осуществляется автономным двигателем.

При работе ОГП каналы 46, 47 подключаются к контурам подпитки, и соединяются с предохранительными клапанами (не показаны). Ведущий вал 7 аксиально-поршневого насоса 1 вращается от двигателя (не показан), и приводит во вращение наклонную шайбу 10. Поршни 8, взаимодействуя с наклонной шайбой 10 совершают возвратно-поступательное движение в блоке цилиндров 5. Объем рабочих полостей 9 изменяется.

Сегментные пазы 34, 35, связанные с рабочими полостями 9 цилиндров блока 5 каналами 50, ориентированы относительно плоскости наклона шайбы 10 таким образом, что при вращении ведущего вала 7 по часовой стрелке в полости сегментного паза 35 и каналах 39 создается разрежение, а в полости сегментного паза 34 и каналах 38 – избыточное давление 360° поворота ведущего вала 7. Взаимное положение каналов 38, 39 подвижной распределительной втулки 33 и сегментных пазов 36, 37 распределительной втулки 32 определяет параметры подачи рабочей жидкости аксиально-поршневого насоса 1.

В положении подвижной распределительной втулки 33 (рис. 5) при движении поршней 8 из блока цилиндров 5 рабочая жидкость поступает из канала 45 в полости сегментных пазов 43 и 37. Из полости сегментного паза 37 рабочая жидкость через каналы 39 поступает в полость сегментного паза 35 и по каналам 50 в рабочие полости 9. При движении поршней 8 внутрь блока цилиндров 5 рабочая жидкость из полостей 9 поступает по каналам 50 в полость сегментного паза 34, и через каналы 38 в полости сегментных пазов 36, 42 и канала 44. Каждый цилиндр блока цилиндров 5 полный ход поршня 8 всасывает рабочую жидкость из канала 45 и подает ее в канал 44. Эквивалентный рабочий объем аксиально-поршневого насоса 1, равный сумме всех эквивалентных рабочих объемов цилиндров максимальный. Подача рабочей жидкости аксиально-поршневого насоса 1 максимальная.

Из канала 44 рабочая жидкость поступает в полость сегментного паза 40, и по каналам 51 в рабочие полости 13 блока цилиндров 11 аксиально-поршневого гидромотора 2. Поршни 12 перемещаются наружу блока цилиндров 11, и, взаимодействуя с наклонной шайбой 14, поворачивают вал 15 гидромотора 2 и солнечные шестерни

16, 19. При движении поршней 12 внутрь блока цилиндров 11 рабочая жидкость из рабочих полостей 13 поступает по каналам 51 в полость сегментного паза 41 и канал 45.

В данном положении подвижной распределительной втулки 33 вал 15 с солнечными шестернями 16, 19 поворачивает сателлиты 18, 30, промежуточного планетарного редуктора 3 и выходного планетарного редуктора 4, втулку 6 с блоком цилиндров 5, и ведомый вал 31 в направлении, противоположном направлению вращения ведущего вала 7. При этом, скорости вращения блока цилиндров 5 и ведомого вала 31 меньше скорости вращения вала 15 на величины передаточных чисел промежуточного планетарного редуктора 3 и выходного планетарного редуктора 4. Подача рабочей жидкости аксиально-поршневого насоса 1 увеличивается при увеличении относительной скорости вращения наклонной шайбы 10, образованной на ведущем валу 7 и блока цилиндров 5, связанного с валом 15 гидромотора 2. Максимальная скорость вращения ведомого вала 31 при заданной скорости вращения ведущего вала 7 уменьшается при конструктивном увеличении объема аксиально-поршневого гидромотора 2, передаточных чисел промежуточного планетарного редуктора 3 и выходного планетарного редуктора 4.

$$n_{31} = n_7 \left(\frac{i_4}{k} - i_3 i_4 \right)^{-1}, \quad (1)$$

где $i_3 = \frac{n_5}{n_{15}} < 1$; $i_4 = \frac{n_{15}}{n_{31}} > 1$; $q_{\text{нк}} = q_{\text{мк}}$ $k = \frac{q_{\text{нф}}}{q_{\text{мк}}} \neq 0$;

n_5, n_7, n_{15}, n_{31} – скорость вращения блока цилиндров 5, ведущего вала 7, вала 15, ведомого вала 31; $q_{\text{нк}}, q_{\text{мк}}$ – конструктивный объем насоса 1, гидромотора 2; $q_{\text{нф}}$ – объем насоса, изменяемый в соответствии с углом поворота φ подвижной распределительной втулки 33.

В выражении (1) не учитывается объемный КПД гидромашин. Для компенсации утечек рабочей жидкости в канал 47 подается рабочая жидкость из контура подпитки (не показан). При перегрузке ведомого вала 31 часть рабочей жидкости вытекает из канала 46 через предохранительный клапан гидросистемы (не показан).

При повороте подвижной распределительной втулки 33 относительно оси гидродифференциальной передачи посредством червяка 52 изменяется положения каналов 38, 39 относительно положения сегментных пазов 36, 37. При повороте подвижной распределительной втулки 33 отно-

сительно положения (рис. 5) по часовой стрелке на 90° каналы 38 переместятся влево, а каналы 39 вправо. Половина каналов 38 будет взаимодействовать с полостью сегментного паза 37, а половина каналов 38 – с полостью сегментного паза 36. Аналогично, половина каналов 39 будет взаимодействовать с полостью сегментного паза 36, а половина каналов 39 с полостью сегментного паза 37.

В этом положении подвижной распределительной втулки 33 при выдвигании поршней 8 наружу из блока цилиндров 5 при повороте ведущего вала 7 на угол $0 \div 90^\circ$ – первая половина хода поршня 8 при всасывании рабочая жидкость поступает из канала 45 в полости сегментных пазов 43, 37, через каналы 39 в полость сегментного паза 35, и по каналам 50 в рабочие полости 9. При повороте ведущего вала 7 на угол $90^\circ \div 180^\circ$ – вторая половина хода поршня 8 при всасывании, рабочая жидкость поступает из канала 44 в полости сегментных пазов 42, 36, через каналы 39 в полость сегментного паза 35 и по каналам 50 в рабочие полости 9.

При движении поршней 8 внутрь блока цилиндров 5 при повороте ведущего вала 7 на угол $0 \div 90^\circ$ – первая половина хода поршня 8 при нагнетании рабочая жидкость из полости 9 через радиальные каналы 50 поступает в полость сегментного паза 34 и по каналам 38 в полости сегментных пазов 36, 42 и канала 44. При повороте ведущего вала 7 на угол $90^\circ \div 180^\circ$ – вторая половина хода поршня 8 при нагнетании рабочая жидкость из полости 9 через радиальные каналы 50 поступает в полость сегментного паза 34 и по каналам 38 в полости сегментных пазов 37, 43 и канала 45.

Рабочие полости 9 цилиндров, поршни 8 которых, совершают движение наружу из блока цилиндров 5, связаны с каналами 45 и 44 половину хода поршней 8 при такте всасывания. Аналогично, рабочие полости 9 цилиндров, поршни 8 которых, совершают движение внутрь блока цилиндров 5, связаны с каналами 44 и 45 половину хода поршней 8 при такте нагнетания. Такты всасывания, нагнетания каждого цилиндра блока цилиндров 5 сдвинуты по времени, и суммарно движения рабочей жидкости в каналах 44, 45 нет. Эквивалентный рабочий объем аксиально-поршневого насоса 1, равный сумме всех эквивалентных рабочих объемов цилиндров минимальный – нулевой. Подача рабочей жидкости аксиально-поршневого насоса 1 минимальная – нулевая.

При нулевой подаче аксиально-поршневого насоса 1 рабочая жидкость не поступает в рабочие полости 13 аксиально-поршневого гидромотора 2. Рабочие полости 13 заперты, что не позволяет валу 15, солнечным шестерням 16, 19, блоку цилиндров 5, и соответственно, ведомому валу 31 вращаться от реактивного момента, возникающего при взаимодействии наклонной шайбы 14 с поршнями 12. Ведомый вал 31 остановлен.

При повороте подвижной распределительной втулки 33 относительно положения (рис. 5) по часовой стрелке на 180° каналы 38 переместится вверх, а каналы 39 вниз. Рабочие полости 9 цилиндров, поршни 8 которых, совершают движение наружу блока цилиндров 5, связаны с каналом 44, а рабочие полости 9 цилиндров, поршни 8 которых, совершают движение внутрь блока цилиндров 5, связаны с каналом 45.

При выдвигании поршня 8 из блока цилиндров 5 рабочая жидкость поступает из канала 44 в полости сегментных пазов 42, 36, через каналы 39 в полость сегментного паза 35 и по каналам 50 в рабочие полости 9. При движении поршней 12 внутрь блока цилиндров 5 рабочая жидкость из полости 9 через радиальные каналы 50 поступает в полость сегментного паза 34 и по каналам 38 в полости сегментных пазов 37, 43 и канала 45.

Канал 44 является всасывающим, а канал 45 напорным. Каждый цилиндр аксиально-поршневого насоса 1 полный ход поршня 8 всасывает рабочую жидкость из канала 44 и подает ее в канал 45. Эквивалентный рабочий объем аксиально-поршневого насоса 1 максимальный. Подача рабочей жидкости аксиально-поршневого насоса 1 максимальная.

Из канала 45 рабочая жидкость поступает в полость сегментного паза 41, и по каналам 51 в рабочие полости 13 блока цилиндров 11 аксиально-поршневого гидромотора 2. Поршни 12 перемещаются наружу из блока цилиндров 11,

и, взаимодействуя с наклонной шайбой 14, поворачивают вал 15, солнечные шестерни 16, 19, и соответственно, блок цилиндров 5 и ведомый вал 31 относительно оси гидродифференциальной передачи. При движении поршней 12 внутрь блока цилиндров 11 рабочая жидкость из полостей 13 поступает по каналам 51 в полости сегментного паза 40 и канала 44.

Вал 15 с солнечными шестернями 16, 19 поворачивает сателлиты 18, 30, втулку 6 с блоком цилиндров 5 аксиально-поршневого насоса 1, и ведомый вал 31 в одном направлении с ведущим валом 7. При этом, скорости вращения блока цилиндров 5 и ведомого вала 31 меньше скорости вращения вала 15 на величины передаточных чисел промежуточного планетарного редуктора 3 и выходного планетарного редуктора 4. Подача рабочей жидкости аксиально-поршневого насоса 1 увеличивается при увеличении относительной скорости вращения наклонной шайбы 10, образованной на ведущем валу 7 и блока цилиндров 5, связанного с валом 15.

Частота вращения ведомого вала n_{31} при реверсировании подачи насоса 1 определяется по выражению (2)

$$n_{31} = n_7 \left(\frac{i_4}{k} + i_3 i_4 \right)^{-1} \quad (2)$$

Принимаем положение распределительной втулки 33, при котором $q_{\text{нп}} = 0$ и $n_{31} = 0$ за начальное, поворот распределительной втулки на угол 90° против часовой стрелки – прямой ход, при котором скорость вращения ведомого вала n_{31} определяется выражением (1), а поворот на угол 90° по часовой стрелке – обратный ход, при котором скорость вращения ведомого вала n_{31} определяется выражением (2). Диапазоны изменения скорости вращения ведомого вала n_{31} (мин⁻¹) в зависимости от параметра φ и пропорционального ему параметра k при $n_7 = 2100$

Табл. 1.

Скорость вращения ведомого вала n_{31} (мин⁻¹)

i_3	φ										
	-90°	-72°	-54°	-36°	-18°	0°	18°	36°	54°	72°	90°
	k										
	1,0	0,8	0,6	0,4	0,2	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
0,25	-420	-350	-274	-191	-100	0	111	233	371	525	700
0,5	-350	-300	-242	-175	-95		117	263	450	700	1050
0,75	-300	-263	-217	-162	-91		124	300	573	1050	2100
1,0	-263	-233	-197	-150	-88		131	350	788	2100	∞

мин⁻¹ (номинальная скорость вращения двигателя транспортно-тяговой машины), $i_3 = 0,25 \div 1,00$, $i_4 = 4,0$ представлена в табл. 1.

Анализ таблицы 1 показывает, что изменяя параметры ОГП можно получить нужный диапазон изменения скорости вращения ведомого вала при изменении параметров подачи насоса. Так, например, коробка передач автомобиля КрАЗ-255Б при скорости вращения вала двигателя $n_0 = 2100$ мин⁻¹ обеспечивает диапазон изменения скорости вращения выходного вала в пределах I–IV передач – 400 – 2100 мин⁻¹. При реверсировании потока рабочей жидкости насоса I диапазон изменения ско-

рости ведомого вала n_{31} ниже диапазона «прямого хода». Коробка передач автомобиля КрАЗ-255Б при скорости вращения вала двигателя $n_0 = 2100$ мин⁻¹ обеспечивает скорость вращения выходного вала при передаче заднего хода – 380 мин⁻¹.

Считая исходным положением такое, при котором обеспечивается нулевая подача насоса I и вал 3I остановлен, обеспечиваем реверсирование подачи аксиально-поршневого насоса I при изменении ее от нулевого до максимального значений. Это позволяет осуществить плавное изменение скорости вращения ведомого вала 3I в диапазоне прямого хода и реверса.

Список использованных источников

1. ГСТ-71, ГСТ-90. Гидростатическиетрансмиссии. Устройствои принцип действия. ОАО «Пневмостроймашина». – Екатеринбург, 10/2009. – 17 с.
2. Петров, В.А. Гидрообъемные трансмиссии самоходных машин / В.А. Петров. – М.: Машиностроение, 1988. – 248 с.
3. Гидродифференциальная передача: пат. 20867 С1, Республика Беларусь, МПК F 16Н 39/00 (2006.01) (2006.01) / А.Я. Котлобай, А.А. Котлобай, В.Ф. Тамело, В.С. Белый; заявитель Белорусский государственный университет. – № а 20131322; заявл. 2013.11.13; опубл. 2017.02.28 // Афіцыйны бюл. / Нац. центр інтэлектуал. уласнасці. – 2017. – № 1.
4. Гидродифференциальная передача: пат. 21000 С1, Республика Беларусь, МПК F 16Н 39/00 (2006.01), F 15В 11/22 (2006.01) / А.Я. Котлобай, А.А. Котлобай; заявитель Белорусский национальный технический университет. – № а 20130689; заявл. 2013.05.29; опубл. 2017.02.28 // Афіцыйны бюл. / Нац. центр інтэлектуал. уласнасці. – 2017. – № 1.

ИНЖЕНЕРИЯ ПОВЕРХНОСТИ И РЕНОВАЦИЯ ИЗДЕЛИЙ

Материалы -17й Международной научно-технической конференции
(29 мая–02 июня 2017 г., г. Одесса)

Научные направления конференции

- ◆ Научные основы инженерии поверхности:
 - материаловедение
 - физико-химическая механика материалов
 - физикохимия контактного взаимодействия
 - износ- и коррозионная стойкость, прочность поверхностного слоя
 - функциональные покрытия и поверхности
 - технологическое управление качеством деталей машин
 - вопросы трибологии в машиностроении
- ◆ Технология ремонта машин, восстановления и упрочнения деталей
- ◆ Метрологическое обеспечение ремонтного производства
- ◆ Экология ремонтно-восстановительных работ
- ◆ Сварка, наплавка и другие реновационные технологии на предприятиях горнометаллургической, машиностроительной промышленности и на транспорте

Адамовский А.А., Варченко В.Т., Найдич Ю.В.

Институт проблем материаловедения

им. И.Н.Францевича НАН Украины, Киев, Украина

ТРЕНИЕ И ИЗНОС СВЕРХТВЕРДЫХ И ВЫСОКОМОДУЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Надежность машин и механизмов определяется совершенством узлов трения. Доминирующее влияние на работу узла трения оказывает материал трущихся тел, внешние факторы, конструкция узла трения. Более изучены процессы трения металлов. Известно, что в процессе трения меняется структура поверхности металлов, возникают вторичные фазы. Однако, металлы не выдерживают больших нагрузок и не пригодны для работы в экстремальных условиях – при сухом и полусухом трении, больших нагрузках, скоростях. В этих условиях наиболее перспективными

являются сверхтвердые и высокомодульные материалы. Известны сверхтвердые материалы – алмаз (твердость 100 ГПа), кубический нитрид бора (сBN, твердость 90,5 ГПа); высокомодульные материалы – карбид (WC, $E = 710$ ГПа) и борид (W_2B_5 , $E = 790$ ГПа) вольфрама. Установлено [1], что коэффициент сухого трения алмаза по алмазу равен $f = 0,05–0,25$ и зависит от кристаллографической плоскости скольжения; алмаз выдерживает без разрушения давления до 0,1 модуля Юнга. Теоретические расчеты показали [2], что коэффициент сухого трения при контакте сBN по

cBN равен $f = 0,21$. Исследования показали [3], что эффективными материалами при высокоскоростном (до 40 м/с) трении являются композиты с высокомодульными наполнителями.

Методом вакуумной пайки изготовлены образцы пар трения из сверхтвердых материалов на основе cBN (эльбор-Р, гексанит-Р, композит 05-ИТ) и высокомодульных материалов – твердых сплавов группы ВК и ТК (ВК6, ВК15, Т15К6), спеченных по стандартному режиму. Материалы испытаны в условиях сухого трения на воздухе в сравнении с нитридной керамикой (Si_3N_4). Использовали схемы испытания: образец (сверхтвердые материалы на основе cBN, Si_3N_4) – ролик (твердые сплавы). Режимы испытания: скорость скольжения $V = 1\text{--}6$ м/с; нагрузка $P = 50\text{--}100$ Н; давление в зоне трения $14,7\text{--}108,8$ МПа. Исследовали коэффициенты трения, износ пар трения, температуры узла трения в зависимости от скорости скольжения и сочетания материалов пар трения.

Установлено, что с повышением скорости скольжения (1–6 м/с) коэффициент трения материалов на основе cBN по твердым сплавам

уменьшается с $f = 0,62$ до $0,37$, а температура в зоне трения возрастает до 300 °С. Существенного различия коэффициентов трения от марки cBN и твердых сплавов не наблюдали. Суммарный линейный износ пар трения составил, мкм/км: 2,5–9,0 (эльбор-Р – твердые сплавы); 5,8–14,0 (композит 05-ИТ – твердые сплавы); 2–6 (гексанит-Р – твердые сплавы). По уменьшению износа сверхтвердые материалы на основе cBN располагаются в следующей последовательности: композит 05-ИТ–эльбор-Р–гексанит-Р. Твердые сплавы в контакте со сверхтвердыми материалами изнашиваются в 3–6 раз больше сверхтвердых материалов.

Износ при сухом трении Si_3N_4 по твердым сплавам равен 2,0–15,1 мг/км, износ материалов на основе cBN составил 0,32–0,84 мг/км при нагрузке 100 Н и скорости скольжения 3 м/с. Следовательно, износ cBN меньше Si_3N_4 на два порядка. Такая разительная разница в износе по твердым сплавам обусловлена тем, что керамика Si_3N_4 обладает меньшей твердостью (13,5–16 ГПа) и модулем упругости ($E = 280\text{--}320$ ГПа) по сравнению с материалами на основе cBN (твердость 18,5–38,6 ГПа; $E = 715\text{--}840$ ГПа).

Литература

1. Боуден Ф.П., Тейбор Д. Трение и смазка твердых тел. – М.: Машиностроение. – 1968. – 543 с.
2. Roskilinna J.O., Linnolahti M., Pakkanen T.A. Friction Paths for Cubic Boron Nitride: An Ab Initio Study // Tribology Letters. – 2007. – V.27. – №2. – P. 145–154.
3. Бондаренко В.П., Андреев И.В., Бондарь В.И. Перспективы повышения поверхностной прочности и противозадирной стойкости триботехнических материалов // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – К.: ИСМ им. В.Н.Бакуля НАНУ, 2007. – Вып. 10. – С.455–459.

Бородавко В.И., Вабищевич П.А., Грецкий Н.Л., Пынькин А.М., Пуляев В.К.

ГНПО «Центр» НАН Беларуси,

Волотовский Ф.А., Корзун А.Е. ОАО «ОКБ Академическое» НАН Беларуси,

Хейфец М.Л. Президиум НАН Беларуси, Минск, Беларусь

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ СВАРКИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ПАКЕТА ЛОПАТОК ПАРОВЫХ ТУРБИН

Паровые турбины во время работы подвергаются воздействию различных факторов, высоких температур, коррозии, эрозии, а в результате материал испытывает статические, динамические и

температурные напряжения. Рабочие лопатки являются одними из наиболее ответственных и дорогих элементов турбины. От качества материала, выполнения и установки лопаточного аппара-

та в значительной степени зависит надежность и экономичность эксплуатации турбины. Тяжелые условия работы лопаточного аппарата определяют те высокие требования, которым они должны соответствовать.

Лопатки первой ступени изготавливаются за одно целое с участком бандажа и хвостовой части и поступают на сборку в виде пакета из двух лопаток, сваренных между собой по бандажу и хвосту. При наборе лопаток на диск между бандажами каждой пары лопаток выдерживается зазор от 0,3 до 0,8 мм, замыкается каждый ряд лопаток замковыми пакетами (рис. 1).

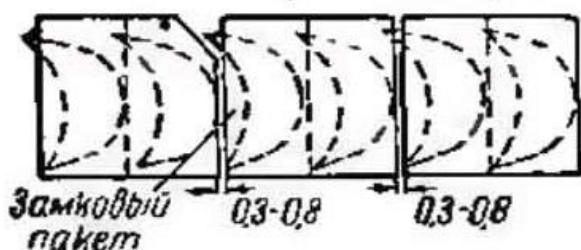


Рисунок 1 – Вид сверху на бандажи сварных пакетов рабочих лопаток с замковым пакетом

Лопатки работают в тяжелых условиях высоких температур и нагрузок, поэтому их изготавливают из жаропрочной высоколегированной стали мартенситного класса 15X11МФ.

Данная сталь относится к трудно-свариваемым сталям при использовании традиционного электродугового способа сварки в защитной среде, поскольку сварка с большой погонной энергией, приводит к перегреву околошовного металла, росту зерна, сегрегациям примесей на границах зерен, способствующих охрупчиванию сварных соединений. Склонность к холодным трещинам и к разупрочнению металла в зоне термического влияния жаропрочных сталей при электродуговом способе сварки обуславливает необходимость предварительного подогрева изделия перед сваркой до 200–300 град.

Применение электронно-лучевой сварки (ЭЛС) при производстве пакета лопаток вместо традиционного электродугового способа сварки в защитной среде позволяет повысить качество, снизить количество брака и себестоимость изготовления.

Высокая концентрация энергии в луче обуславливает высокую скорость сварки и позволяет получать швы не только с минимальной зоной расплавленного металла, но и соединения, в которых металл околошовной зоны не претерпевает значительных изменений вследствие ввода мини-

мального количества теплоты. Малая погонная энергия при ЭЛС способствует снижению зоны термического влияния, исключает недостатки, вызванные изменением физикомеханических свойств металла в околошовной зоне. Глубокое проплавление металла при ЭЛС позволяет исключить необходимость выполнения разделки кромок перед сваркой. Кроме того, ввод 20

меньшего количества тепла дает возможность уменьшить деформации изделий по сравнению с дуговыми способами сварки. Высокий вакуум в камере ЭЛС способствует высокой чистоте сварочной ванны и дегазации сварочного шва.

Сборка лопаток (рис. 2, а) в пакеты производится по стыку участков бандажной и хвостовой частей (рис. 2, б) ЭЛС на всю глубину без разделки кромок. Для входа и выхода электронного луча предусмотрены технологические пластики (рис. 2, в), которые удаляются при последующей механической обработке.

Пакет, состоящий из двух лопаток и технологических пластиков, собирается и базируется в кассету (рис. 2, в), которая устанавливается в многоместной технологической оснастке (рис. 2, г). Разработанная многоместная технологическая оснастка позволяет автоматизировать процесс ЭЛС и производить до 40 пакетов лопаток за бандажная часть хвостовая часть технологические пластики одну установку. Учитывая повышенную склонность к хрупкому разрушению жаропрочных сталей мартенситного класса после сварки, пакеты лопаток после ЭЛС незамедлительно подвергаются термической обработке (отпуску) для снятия внутренних напряжений и формирования требуемых механических свойств (рис. 2, д). Далее пакет лопаток (рис. 2, е), поступает на окончательную механическую обработку, где удаляются пластики и окончательно формируются посадочные и присоединительные места, выдерживая требуемые размеры и допуски.

После ЭЛС и снятия внутренних напряжений проводятся дополнительные контрольные измерения геометрии деталей и определяются зоны термической деформации.

Измерения до сварки и после производятся путем лазерного сканирования геометрии пакета лопаток с помощью координатно-измерительной руки NikonMetrology MСAx40+ с последующим компьютерным анализом полученных результатов в прикладной программе Focus. Числовые значения отклонений определяются в автоматическом режиме и представлены в виде цветовой карты отклонений (рис. 3).

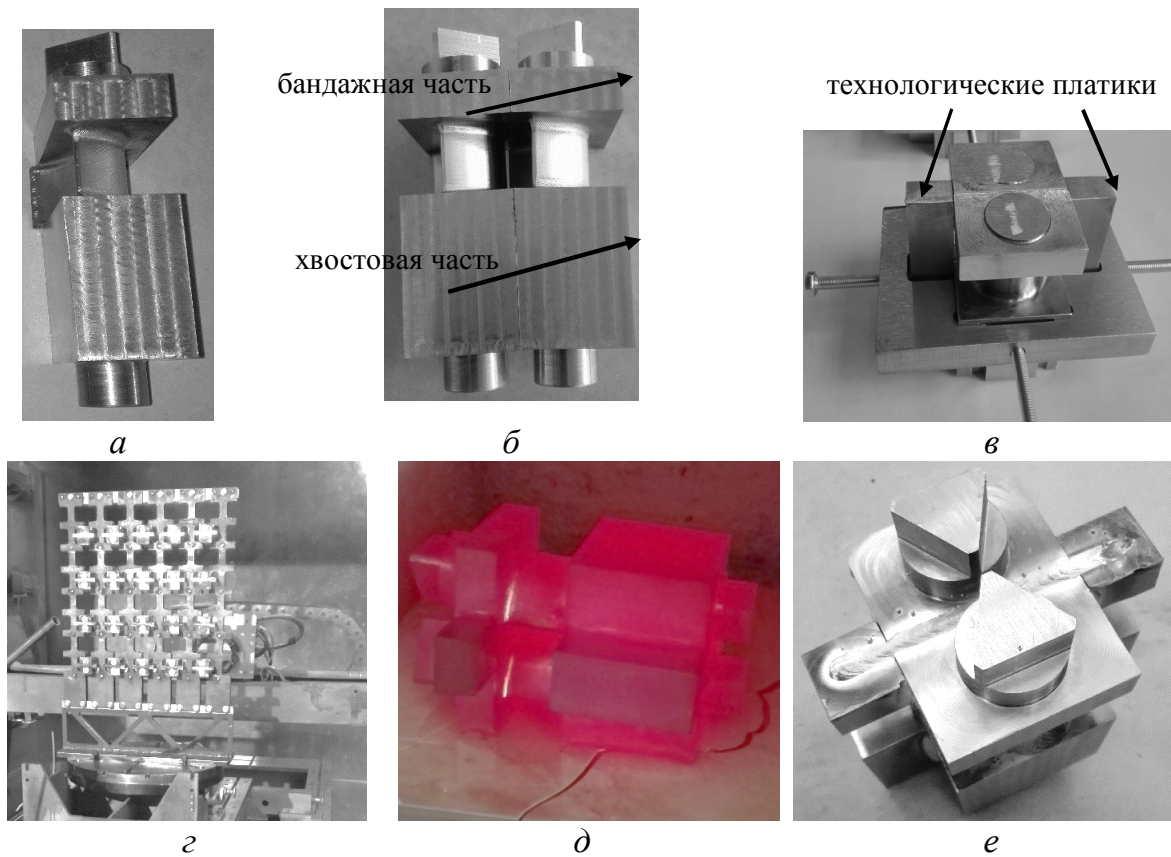


Рисунок 2 – Процесс и оснащение электронно-лучевой сварки пакета лопаток паровых турбин: а – лопатка; б – пакет лопаток; в – сборка в кассеты пакетов лопаток турбин с технологическими пластинами; г – многоместная технологическая оснастка с кассетами в камере; д – термообработка пакета лопаток для снятия внутренних напряжений после сварки; е – пакет лопаток после сварки и термической обработки

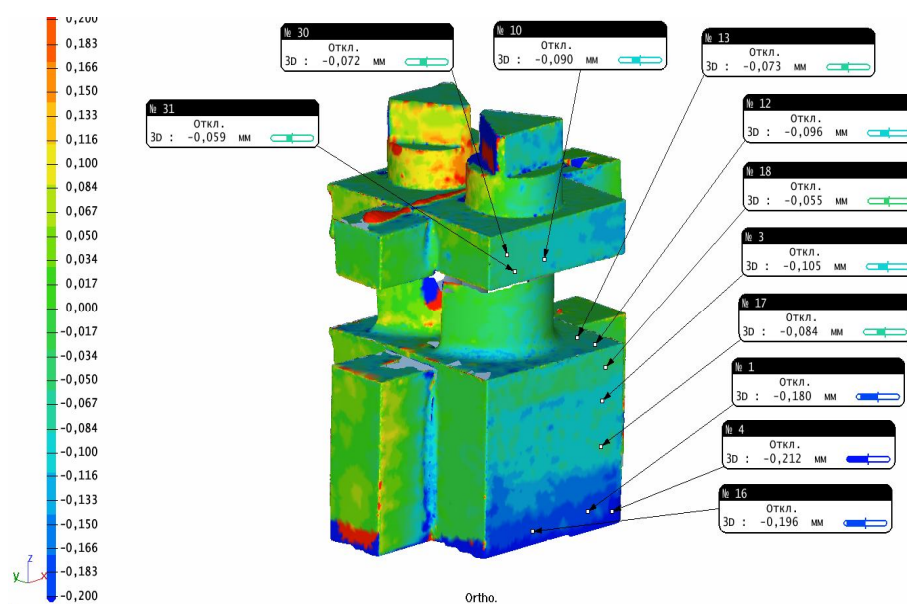


Рисунок 3 – Цветовая карта измерений зон термической деформации

В бандажном шве пакета лопаток деформация практически отсутствует (максимальное отклонение 0,09 мм).

Максимальная зона термической деформации при ЭЛС выявлена в хвостовом шве в верхней его части и составляет 0,212 мм, а в зоне корня шва термическая деформация незначительна (максимальное отклонение 0,096 мм).

Термические деформации укладываются в пределах допуска по данной операции и полностью исключают последующую механическую обработку.

Разработанный технологический процесс и средства оснащения для изготовления пакета лопаток паровых турбин с рассчитанными режимами ЭЛС позволили повысить качество и снизить себестоимость сборки.

Бурыкин В.В., Рыжов Ю.Э.

Институт сверхтвердых материалов им В.Н. Бакуля НАН Украины, Киев, Украина

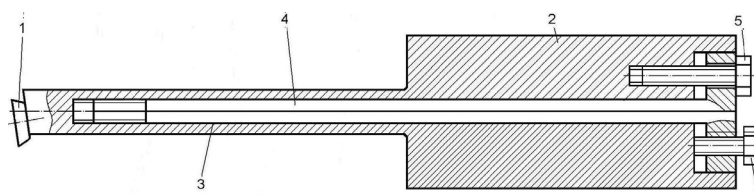
ОБРАБОТКА ОТВЕРСТИЙ РЕЗЦАМИ ИЗ ПСТМ

В настоящее время для чистовой расточки деталей на токарных станках, в том числе на станках с ЧПУ, применяют резцы, оснащенные круглыми режущими пластинами из поликристаллических сверхтвердых материалов (ПСТМ). Использование режущих пластин из ПСТМ, несмотря на их высокую стоимость, снижает себестоимость обработки за счет обеспечения высокого качества обработанных поверхностей деталей. При обработке деталей из труднообрабатываемых материалов (закаленных сталей, высокопрочных и отбеленных чугунов, износостойких наплавленных и напыленных покрытий) режущий инструмент подвергается сложному силовому нагружению, что обуславливает необходимость выполнения ряда требований к его конструкции. Во многих случаях расточка отверстий сопровождается повышенным уровнем вибраций режущего инструмента, что снижает его стойкость и затрудняет достижение высокого качества обработанной поверхности. Снизить уровень вибрации можно различными способами, в том числе путем создания в державке инструмента напряжений, обратных по знаку тем, которые возникают в ней в процессе резания [1]. Спроектирован расточной резец (рис. 1) с системой стержней, которые за счет резьбовых стержневых соединений создают в верхней части державки напряжения сжатия, а в нижней – растяжения [2]. Регулируя натяжение стержней, можно добиться наименьших значений вибраций и создавать ограничение по допустимому их уровню.

Режущий инструмент содержит сменную режущую пластину 1, соединенную с державкой 2, в отверстиях которой установлены стержни 3 и 4, расположенные по разные стороны от нейтральной линии, один из которых взаимодействует с узлом сжатия, а второй – с узлом растяжения. Стержни представляют собой полуцилиндры с возможностью проскальзывания один относительно другого по касательным плоскостям. При этом, один конец стержней-полуцилиндров с помощью совместной резьбы соединен с державкой, второй – с упомянутыми узлами сжатия и растяжения, которые выполнены в виде болтов 5 и 6, завернутых в державку.

С помощью динамометрического ключа в державке создают напряжения сжатия или растяжения, которые в процессе работы резца компенсируют напряжения, формируемые в державке. Снижение уровня вибраций обеспечивает уменьшение интенсивности образования трещин на передней и задней поверхностях режущих пластин инструмента, повышая его стойкость.

Рассмотренным расточным резцом обрабатывали отверстия $\varnothing 10-25$ мм в деталях из стали



*Рисунок 1 – Расточной резец:
1 – режущая пластина; 2 – державка;
3, 4 – стержни; 5, 6 – болты*

ШХ15 (HRC 48–50) и с восстановленным покрытием порошком ПГ-СР4 (HRC 50–56) и обеспечили высокое качество поверхности.

Дальнейшее повышение эффективности использования потенциально высоких режущих

свойств инструментов из ПСТМ, расширение существующих и определение новых областей их применения возможно лишь на основе всестороннего исследования конструктивных особенностей инструмента.

Литература

1. Сверхтвердые материалы. Получение и применение в 6 т. / Под общей ред. Н.В. Новикова.– Т. 5. Обработка материалов лезвийным инструментом / Под ред. С.А. Клименко.– К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2006.– 316 с.
2. Патент України на корисну модель № 98885. Різальний інструмент / С.А. Клименко, В.В. Бурикін, Ю.Е. Рижов. – Бюл. – 2015.– № 9.

Варюхно В.В., Довгаль А.Г., Данилейко О.В., Сидоренко О.Ю.

Національний авіаційний університет, Київ, Україна

ПРОДОВЖЕННЯ РЕСУРСУ ТА ПОЛІПШЕННЯ ПАЛИВНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

В конструкціях сучасних двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ) для збільшення коефіцієнту наповнення циліндра та більш ефективної продувки циліндрів встановлено по два впускних та впускних клапани [1]. Такі конструктивні заходи суттєво поліпшують паливну ефективність двигунів та потужність, проте ускладнюють проблему герметизації системи клапан-сідро, та підвищення їх зносостійкості.

Сідла клапанів, як і самі клапани, працюють в дуже важких умовах. Температура вихлопних газів в бензинових двигунах може досягати 950–980 °С. При цьому сідла клапанів піддаються дії циклічних теплових і ударних навантажень, а також хімічній і фізичній дії газів паливної суміші, що відходять.

Основні експлуатаційні і технологічні вимоги, що пред'являються до матеріалів для сідел клапанів:

- твердість, співрозмірна з твердістю клапана (35-40 HRC);
- зносостійкість в умовах сухого тертя при температурі 600 оС для впускного сідла клапана;
- термостабілізація матеріалу по структурі і механічним властивостям в діапазоні робочих температур;
- корозійна стійкість, жаростійкість під дією вихлопних газів;
- достатня теплопровідність, що забезпечує

швидке відведення тепла від робочої фаски сідла;

- технологічність виготовлення і добра механічна обробка.

Для виробництва сідел клапанів ДВЗ використовується широкий спектр матеріалів, як метаічних так і керамічних [2, 3]. Одночасно з технічними вимогами до матеріалів виносяться і економічні вимоги – мінімальна вартість складових компонентів, мінімальна їх кількість та найдешевша технологія їх отримання.

У якості основи матеріалу для сідел клапанів найбільш пасує карбід хрому, що легко добувається карбюризациєю оксиду хрому, тому що карбід хром поєднує помірний комплекс властивостей твердості, жаростійкості поряд з технологічними припрацьовуваності та легкості обробки. Для підвищення щільності матеріалу в нього варто вводити металевий складник в якості основи якого обрано жароміцний та коррозійно-стійкий нікель. Технологія отримання матеріалу спікання в неконтрольованій атмосфері.

Таким чином мета майбутніх досліджень з'ясувати склад та технологічні особливості отримання композиційного матеріалу та визначення його властивостей в умовах високотемпературного фреттинг зношування, що максимально близько моделює умови роботи пари «клапан-сідро».

Отже, така система та технологія отримання матеріалу дозволить отримати достатню кількість однотипних кільцевих виробів для подальшої їх

обробки та встановлення у якості сідел клапанів сучасних ДВЗ з метою підвищення їх ресурсу та паличної ефективності.

Література

1. Моделювання триботехнічних характеристик захисних покриттів для деталей силових установок авіаційної наземної техніки / М.Ф. Дмитриченко, А.Г. Довгаль, О.М. Білякович та ін. // Проблеми трибології. – № 1. – 2017. – С. 49–58.
2. Патент № 2180015 С22С33/02, С22С38/16 Российской Федерации Порошковый материал для изготовления седел клапанов двигателя внутреннего сгорания / В.А. Руденко, С.З.-О. Джафаров, Г.Н. Кулешова. – Бюл. – № 38.
3. Патент № 53010 Композиційний зносостійкий матеріал на основі карбїду кремнію / А.Г. Довгаль, А.П. Уманський, О.А. Тамаргазін та ін. – Бюл. – 2010. – № 18.

Клименко С.А.

Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, Киев, Украина.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ТОКАРНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ ИЗ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СВЕРХТВЕРДЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ cBN

Совершенствование технологий механической обработки изделий из конструкционных материалов, в том числе закаленных сталей, чугунов, твердых сплавов и др., связано с повышением производительности и снижением стоимости обработки за счет увеличения режимов резания, что, в свою очередь, обусловлено созданием новых режущих инструментов с применением высокоэффективных инструментальных композитов, таких как сверхтвердые материалы (ПСТМ) на основе кубического нитрида бора (cBN).

Согласно стандарта ISO 1832-2012, композиты на основе cBN делятся на три группы – ВН, ВЛ, ВС.

Композиты группы ВН – с количеством cBN в диапазоне 70–95 об. %, являются существенно монофазными, но гетерогенными по своей структуре. К группе ВЛ относятся композиты с 45–65 об.% cBN. Матрица, дисперсность структуры которой соответствует субмикронному диапазону, мультифазна и имеет сложный химический состав на основе керамических компонент с TiN, Ti(C, N), TiC, TaN, TiB₂, Si₃N₄, SiC, МАХ-фаз. Группа ВС объединяет композиты на основе cBN с защитными покрытиями.

Ниже показаны технологические возможности режущих инструментов, оснащенных поликристаллическими сверхтвердыми материалами на основе cBN, созданными в Институте сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины.

Режущие инструменты, оснащенные композитами группы ВН (содержание cBN 75–95%), позволяют эффективно обрабатывать изделия из различных чугунов, легированных сталей высокой твердости, твердых сплавов с содержанием WC > 15%, деталей с напыленными самофлюсующимися покрытиями и наплавленными покрытиями сплавами мартенситного класса высокой твердости.

Для эффективной обработки броней дробилок из литой стали 110Г13Л как по корке, так и после ее удаления, применяются инструменты, оснащенные пластиной RNUN 19070Т из композита системы «cBN-AN, AlB12» (содержание cBN 97%). При точении по корке со скоростями резания 70–100 м/мин, с подачами 0,3–0,4 мм/об и глубинами резания до 8–9 мм стойкость резцов составляет 120–180 мин.

Точение деталей, наплавленных сварочными, наплавочными, порошковым проволоками, спеченными лентами, напыленных с оплавлением

покрытиями системы Ni-Cr-B-Si, напыленных порошковыми покрытиями с аморфной структурой, инструментами, оснащенными композитами систем «cBN-AN, AlB12», «cBN-Si3N4» (содержание cBN 97%), производится со скоростями резания 60–110 м/мин как непосредственно по неровному поверхностному слою, так и в условиях финишной обработки.

В сравнении с керамическими резцами, точение валков из отбеленного чугуна на вальцетокарных станках резцами из ПСТМ системы «cBN-Si3N4» выполняется с производительностью большей до 4–5 раз, стойкость инструмента большей в 3,0–3,5 раза. Обработка бочки валков и ручьев производится со скоростью резания 70–85 м/мин, с глубиной резания 0,2–1,5 мм при стойкости инструмента 125 мин.

Инструменты, оснащенные композитом системы «cBN-Si3N4», эффективно обрабатывают детали прокатной арматуры из твердого сплава BK25, BK30 со скоростями резания 15–20 м/мин.

Режущие инструменты, оснащенные композитами группы VL (содержание cBN 50–75%), позволяют проводить высокоэффективную чистовую лезвийную обработку изделий из сталей высокой твердости (56–64 HRC).

Режущие инструменты из композитов систем «cBN-TiN», «cBN-TiC» (содержание cBN 50–55 об.%), позволяют выполнять чистовое точение закаленных сталей (ХВГ, ШХ15, 30ХГСА, 40Х, У8) при скоростях резания 180–270 м/мин, что обеспечивает производительность до 9000 мм³/мин. По сравнению с обработкой инструментами из композитов группы ВН скорость изнашивания инструментов в 1,5–5,0 раз ниже, что обуславливает получение обработанных изделий высокого качества при стойкости инструментов 30–45 мин. При скоростях резания более 250 м/мин наиболее перспективно применение режущих инструментов из композитов системы «cBN-TiC», которые по работоспособности соответствуют мировым аналогам (CBN100, SECO, Швеция).

При высокоскоростном точении обеспечивается шероховатость обработанной поверхности Ra 0,32–0,63 и Rz 4–6, что в ряде случаев позволяет заменить на этапе чистовой обработки операцию шлифовки точением инструментами из

композитов на основе cBN.

Обработка изделий, изготовленных из Fe-C сплавов средней твердости (48–55 HRC), проводится инструментами из композитов группы VL со скоростями резания 300–360 м/мин при стойкости инструментов 25–35 мин.

Режущие инструменты, оснащенные композитами переходной группы VL–ВН (содержание cBN 70–75 об.%) по интенсивности изнашивания при чистовом точении железоуглеродистых сплавов твердостью 60–64 HRC со скоростями резания 180–270 м/мин превышают на 25–30% интенсивность изнашивания инструментов из композитов группы VL, однако позволяют проводить обработку при динамических нагрузках. В таких условиях обработка инструментами композитов с низким содержанием cBN (50–55 об.%) сопровождается быстрым разрушением режущей кромки за счет микро- и макроскалывания. Точение режущими инструментами из композитов с содержанием cBN 70–75 об.% проводится с подачами 0,2–0,3 мм/об при стойкости инструмента 25–30 мин, что существенно расширяет сферу применения композитов на основе cBN инструментального назначения.

Режущие инструменты, оснащенные композитами группы ВС, эффективно используются при обработке отмеченных выше конструкционных материалов. При этом: – повышается надежность работы инструмента на этапе приработки, что связано с перераспределением и снижением напряжений, которые формируются в инструменте при его термобарическом нагружении; – увеличивается период стойкости инструментов за счет изменения механизма взаимодействия в зоне резания; – обеспечивается информационная функция, связанная с облегчением контроля величины износа инструмента.

Представленные выше инструменты выпускаются в условиях опытно-промышленного производства ИСМ им. В.М. Бакуля НАН Украины. Наличие действующего отечественного производства инструментов из ПСТМ на основе cBN является базой для развития современных высокопроизводительных технологических процессов механической обработки, перспективных для инновационного развития промышленности.

Кривошеков В.Е.

Учебно-исследовательский центр «Надежность в судоходстве», Одесса, Украина

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ИЗНОШЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ СУДОВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА: ИСТОРИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ И ОЦЕНКА ПРОБЛЕМЫ

Научная парадигма рециклинга в технике и практическая реализация ее отдельных элементов в различных отраслях промышленности экономически развитых стран Запада и Востока за последние 15–20 лет уже определили современный тренд дальнейшего мирового научно-технического прогресса. Основой этому послужило, конечно, осознание, в первую очередь, ограниченности всех видов ресурсов/энергии на планете Земля и стремление мирового Разума к качеству и совершенству [1, 2]. Идеи рециклинга в науке и технике стимулируют постоянные изменения технологий машиностроения, при которых изготовители/проектировщики новых машин/приборов и ремонтные предприятия по восстановлению/реновации их эксплуатационных свойств за период их жизненного цикла, сливаются, объединяются в единый комплекс для достижения общих целей, важнейшей из которых является сохранение и преумножение эффективности и результативности промышленного производства вообще.... Духовные и общечеловеческие ценности этого глобального процесса пока оставим за скобками настоящего доклада.

Далее в докладе рассматриваются исторические аспекты зарождения, развития, становления и «смерти» проблемы восстановления/реновации изношенных деталей (ВИД) судовых техниче-

ских средств (СТС) различных видов на морском флоте бывшего СССР и теперешней, уже независимой более четверти века Украины. Показано, что с 80-х годов прошлого столетия многие отрасли промышленности на 70 и более процентов насыщенные импортными машинами и оборудованием начали испытывать дефицит в запасных частях (ЗЧ) к ним и валютную недостаточность для их закупки за рубежом. Во многих министерствах бывшего СССР были разработаны и профинансированы научно-технические программы по замещению закупок импортных ЗЧ методами ВИД на отечественных предприятиях. Аналогичная программа и даже отраслевая лаборатория в те годы были созданы Министерством морского флота СССР на базе Одесского высшего инженерного морского училища им. Ленинского комсомола. Потрачены миллионы бюджетных рублей, написаны десятки диссертаций, получены государственные премии и медали ВДНХ СССР..., а в итоге – фактически эффективная система обеспечения торгового флота качественными запасными частями взамен закупки фирменных так и не была создана. Затем – развал СССР, исчезновение судов и парокондуктов, крах судостроительной и судоремонтных секторов экономики в Украине [3–4]. Далее будет....

Литература

1. Кривошеков В.Е. Рециклинг торговых судов в мировой судоходной индустрии // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – № 8. – 2008. – С. 2–3.
2. Кривошеков В.Е. Рециклинг морских судов в мире и в Украине // Инженерия поверхности и реновация изделий: Материалы 15-й Международной научно-технической конференции, 01–05 июня 2015 г. Одесса-Киев: АТМ Украины, 2015.- С. 89-93.
3. Кривошеков В.Е. Обеспечение судов восстановленными запасными частями: опыт системного анализа (Морской транспорт. Серия «Техническая эксплуатация флота»): Экспресс-информ. – Вып. № 9(839)–№10(840) – М.: Мортехинформреклама, 1995. – С. 1–11.
4. Кривошеков В.Е. Второй и Третий сборники научных трудов по менеджменту качества // <http://krivoshchekov.at.ua>.

Лавров А.С. ООО «ТМ.ВЕЛТЕК», Киев, Украина

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОГРЕСС КАК ВАЖНЕЙШИЙ ФАКТОР ЭКОНОМИЧЕСКОГО РОСТА И ОБЕСПЕЧЕНИЯ СТАБИЛЬНОЙ РАБОТЫ ПРЕДПРИЯТИЯ

В наше время предприятия Украины несут большие убытки в связи со снижением объема продаж как на внутреннем рынке так и на рынках СНГ.

Вклад научно-технического прогресса в прирост валового внутреннего продукта наиболее развитых стран составляет (по различным оценкам) от 70 до 90%. В связи с этим для обеспечения стабильной работы предприятия необходима переориентация производства на выпуск продук-

ции согласно стандартам Евросоюза (рис. 1).

– На сегодняшний день на предприятии разработан план технического перевооружения (внедрение новой техники), который предусматривает постепенную установку нового высокоэффективного современного волочильного оборудования, позволяющего повысить производительность, обеспечивая высокое стабильное качество порошковой проволоки согласно требованиям ЕС (рис. 2).



Рисунок 1 – Направления развития НТП на предприятии



а



б

Рисунок 2 – Волочильное оборудование старого и нового образца:
а – производительность 0,6–1,5 т/смену; б – 1,5–3,0 т/смену

– Повышение качества порошковой проволоки за счет улучшения ее чистоты: согласно наших исследований проволоки различных производителей остаточное содержание волочильной смазки на поверхности проволок находится в пределах 0,100 кг/т до 0,900 кг/т на порошковых проволоках и от 0,050 кг/т до 0,600 кг/т на проволоках сплошного сечения. На рис. 3 приведены средние значения остаточной смазки у различных производителей проволок.

Фирма ООО «ТМ. Велтек» уже много лет занимается исследованиями в данной области.

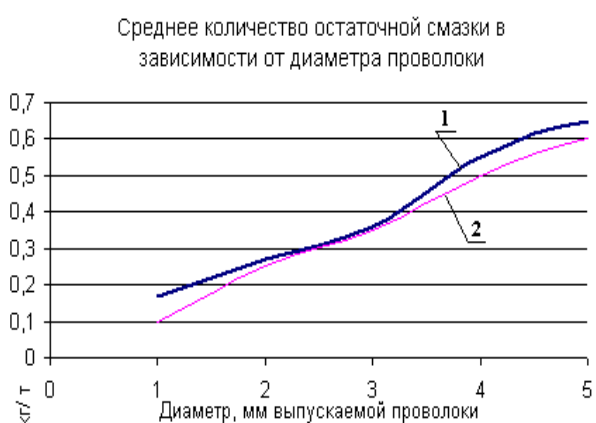


Рисунок 3 – Среднее остаточное содержание волочильной смазки на проволоке различных производителей.

1 – порошковые проволоки;
2 – проволоки сплошного сечения

Таблица 1

Среднее содержание остаточной волочильной смазки на поверхности проволоки

Производитель сварочной проволоки Ø1,2 мм	Среднее содержание остаточной волочильной смазки на поверхности, кг/т
ТМ. Велтек Украина п/п	0,16
Esab Tubrodur п/п	0,30
BÖHLER Soproz ES п/п	0,20
Sorex п/п	0,09
Lincoln Electric п/п	0,15
Стальканат Украина с/с	0,10
Польша с/с	0,15
Днепрометиз Украина с/с	0,25

– Внедрение нового намоточного оборудования, позволяющего рядно наматывать проволоку.

Выводы:

- внедрение достижений НТП на сегодняшний день является главным путем выживаемости предприятия и обеспечения экономического роста и конкурентоспособности предприятия в дальнейшем;
- снижение волочильной смазки на поверхности сварочных проволок есть ключевой задачей для повышения качества сварочных проволок.



Рисунок 3 – Современное намоточное оборудование производительностью 1,0–2,5 т в смену

Лавров С.Н., Лавров А.С., Чепиль В.В.

ООО «ТМ.ВЕЛТЕК», Киев, Украина

ПОРОШКОВЫЕ ПРОВОЛОКИ ДЛЯ РЕМОНТА ВАЛКОВ ЦЕНТРИФУГ ПРОИЗВОДСТВА МИНЕРАЛЬНОЙ ВАТЫ

Важной задачей предприятий по производству тепловаты (минеральных плит – базальтовых полотен) является ремонт и повышение стойкости валков центрифуги (рис. 1).

Процесс изготовления волокон базальта представляет следующий технологический процесс: расплав базальта, содержащий кислые окислы в следующем количестве: $\text{SiO}_2 = 45\%$; $\text{Al}_2\text{O}_3 = 15\%$; $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 6-7\%$ с дошихтовкой металлургическим шлаком подается на валки центрифуги, которые вращаются со скоростью от 3000 до 6000 об/мин.

В результате получают нитевидные волокна базальта, которые затем собирают и прессуют в плиты.

Валки работают при высоких температурах (расплавленный базальт попадает на 1–2 валок при температуре 1250–1470 °С) в сочетании с абразивным износом (рис. 2). Охлаждение валков выполняется водой, подаваемой внутрь валка.

Скоростной режим работы валков: 1-й валок – 3000 об/мин, 2-й – 4500–4800 об/мин, 3-й – 5600–6000 об/мин, 4-й – 5900–6000 об/мин.

Межремонтный период работы центрифуги: 24–120 ч (время на ремонт центрифуги 24–48 ч)

Межремонтный период работы валков:

1-й валок – до 200 ч, 2-й – 60–80 ч, 3-й – 24–48 ч, 4-й – 24–48 ч

Материал валков 30ГСА, твердость 200–300 НВ.

Специалистами нашего предприятия разработаны две марки порошковых проволок для восстановительной наплавки валков центрифуг (Велтек–Н215S, Велтек–Н225S) с легированием наплавляемого металла хромом, никелем и молибденом (рис. 3).

Таблица 1

Результаты испытаний
после восстановления валков

Номер валка	2	3	4
Стойкость нового валка, ч	60–80	24–48	24–48
Стойкость валка после восстановления ПП Велтек – Н215S, ч	105	62	62
Стойкость валка после восстановления ПП Велтек – Н225S, ч	105	73	73

Выводы:

1. Увеличен ресурс рабочей поверхности валков с 24–48 до 62–73 часов.

2. Повысилась стойкость нерабочей зоны поверхности валков против абразивного воздействия корольков (небольшие застывшие шарики металла с окисленной поверхностью).



Рисунок 1 – Фото базальтовой ваты и валков центрифуги после износа



Рисунок 2 – Изношенные валки центрифуг



Рисунок 3 – Валки, наплавленные проволоками Велтек-Н215S, Велтек-Н225S

*Лопата Л.А. Институт проблем прочности им. Г.С. Писаренко НАН Украины, Киев,
Волков Ю.В. Национальный университет «Одесская морская академия», Одесса,
Соловых А.Е., Катеринич С.Е. Центральноукраинский национальный технический
университет, Кропивницкий, Украина*

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ВАЛОВ ДИЗЕЛЬ- ГЕНЕРАТОРОВ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНЫМ ПРИПЕКАНИЕМ ДИСКРЕТНЫХ ПОКРЫТИЙ

Эффективное использование дизель-генераторов (ДГ) в значительной степени зависит от их технического состояния. Одной из проблем ремонтного производства ДГ является восстановление и упрочнение валов (распределительных и коленчатых). Среди существующих способов восстановления и упрочнения валов ДГ наибольшую часть занимают сварочные технологии. С помощью сварки и наплавки восстанавливаются изношенные поверхности валов путем нанесения на их рабочие поверхности покрытий, которые противодействуют абразивному, коррозионному и другим видам износа и разрушения. Вместе с

тем, повышенное тепловыделение при нанесении слоев большой толщины методами наплавки и напыления искажает геометрию восстанавливаемой детали, снижает ее ресурс, а наплавка покрытий больших толщин требует снятия значительных припусков при финишной механической обработке [1]. Методы наплавки не обеспечивают сохранение исходных свойств материала покрытий, вносят существенные изменения в структуру материала упрочняемой детали. Связано это с тем, что материал покрытия нагревается до температур, превышающих его температуру плавления, что приводит к снижению физико-механи-

ческие свойства покрытий и в итоге невозможно получить высокие эксплуатационные свойства восстанавливаемых деталей [1]. Перспективным и эффективным средством решения этой проблемы является применение износостойких покрытий дискретной структуры [2–3].

Принцип формирования дискретных покрытий заключается в том, что традиционный сплошной слой покрытия заменяют на прерывистый слой мозаично-дискретной структуры. Принцип покрытий дискретной структуры реализуется различными технологическими способами: дискретной точечной закалкой, лучом лазера, газотермическими, детонационно-газовым и электролитическим способами, ионным азотированием, вакуумными технологиями [2]. Вакуум-плазменные технологии оказались наиболее эффективны для дискретных покрытий на металлорежущем инструменте [3]. Наиболее простой в реализации нанесения дискретного покрытия способ электроискрового легирования (ЭИЛ) [4], который дискретен по своей природе.

Однако существующее технологическое обеспечение дискретных покрытий позволяют использовать их в основном для упрочнения поверхностей деталей и нанесения покрытий толщиной до 1 мм. При восстановлении и ремонте изношенных деталей, когда необходимо реставрировать детали и наращивать слои толщиной свыше 1 мм с высокими прочностными характеристиками, применяемое технологическое обеспечение покрытий дискретной структуры не решает поставленных задач [2–4].

Из широкого спектра современных методов инженерии поверхностей восстанавливать детали с величиной износа более 1 мм позволяют электроконтактные методы [1]. Из всех рассмотренных способов восстановления, метод электроконтактного припекания металлических порошков (ЭКПП) полностью отвечает вышесказанным положениям и не имеет себе равных по

достигаемому уровню адгезионной прочности (150–220 МПа), больших толщин покрытия (до 3 мм и более) при минимальном уровне остаточных напряжений в сравнении с наплавкой и газотермическим напылением. Преимуществами этих методов являются низкая энергоемкость процесса, высокая производительность, отсутствие излучения и газовыделения, минимальные припуски на финишную обработку [1]. При этом температура восстанавливаемой детали не превышает 60–80 °С, отсутствует термическое коробление и поводки детали, что очень важно при реставрации таких деталей, как валы. Однако, в этих работах по ЭКПП [1] отсутствуют исследования по разработке технологии восстановления деталей типа «вал» электроконтактным припеканием дискретных покрытий (ЭКПДП).

Цель исследований – создание нового способа восстановления валов ДГ дискретными износостойкими покрытиями методом электроконтактного припекания (ЭКП) композиционных порошков путем определения геометрических параметров дискретов за счет минимизации напряженно-деформированного состояния (НДС).

В результате проведенных исследований разработан способ восстановления валов ДГ покрытиями дискретной структуры, которые получены методом ЭКПП [5–6]. Исследованы параметры процесса ЭКПДП, износостойкость, адгезионно-когезионная прочность, пористость, микротвердость покрытий. Разработанная технология ЭКПД была использована при восстановлении распределителей дизельгенераторов (рис. 1). Ресурс работы деталей увеличился в 2–3 раза.

Выводы. Впервые предложен способ восстановления валов ДГ, заключающийся в нанесении дискретных композиционных покрытий с повышенной адгезионной прочностью и толщиной электроконтактным припеканием порошковых материалов, который обеспечивает повышенный уровень физико-механических свойств рабочих поверхностей.



Рисунок 1 – Распределительный вал 150.03.022-1 дизель-генератора 6ЧН 12/14 (а) и примеры участков распределительных валов ДГ с покрытиями дискретной структуры (б), полученными электроконтактным методом

Литература

1. Лопата Л.А., Красота М.В. Совершенствование технологии восстановления деталей типа «вал» электроконтактным припеканием металлических порошков // Теоретические и технологические основы упрочнения и восстановления изделий машиностроения: Сб. научн. трудов / Под ред. С.А. Астапчика, П.А. Витязя. – Мн.: ПГУ, 2001. – С. 300–303.
2. Упрочняющие покрытия дискретной структуры / Б.А. Ляшенко, А.Я. Мовшович, А.И. Долматов // Технологические системы – 2001. – № 4. – С. 17–25.
3. Технологическое обеспечение вакуум-плазменных покрытий дискретной структуры / Е.К. Соловых, Б.А. Ляшенко, А.В. Рутковский и др. // Технологические системы. – 2007. – № 2. – С. 22–27.
4. Оптимизация дискретных структур электроискровых покрытий / Б.А. Ляшенко, В.С. Антонюк, О.Б. Сорока, Л.А. Лопата // Артиллерийское и стрелковое вооружение: Международ. науч.-техн. сб. – К., 2004. – Вып. 4(13). – С. 30–34.
5. Получение износостойких дискретных покрытий электроконтактным припеканием / Л.А. Лопата, Б.А. Ляшенко, В.И. Калиниченко, Ю.В. Волков // Проблемы тертя та зношування: Наук.-техн. зб. – К.: НАУ, 2009. – № 51. – С. 139–148.
6. Волков Ю.В., Ляшенко Б.А., Лопата Л.А. Повышение износостойкости деталей судовых машин и механизмов покрытиями дискретной структуры. Технологическое обеспечение покрытий дискретной структуры электроконтактным припеканием. – Проблемы тертя та зношування. – К.: НАУ, 2015. – № 2(67). – С. 110–126.

Поболь И.Л. Физико-технический институт НАН Беларуси, Минск, Беларусь

ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОННО-ИОННО- ПЛАЗМЕННЫХ МЕТОДОВ

Электронно-ионно-плазменные методы обработки металлов и сплавов в режимах переплава, поверхностного упрочнения, нанесения покрытий, получения соединений, совмещенных способов воздействия обеспечивают формирование новых структурно-фазовых состояний, упрочнение материалов и придание деталям из металлов и сплавов таких сочетаний свойств, которые сложно или невозможно получить иными методами металлургии, сварки, объемного и поверхностного упрочнения. Их можно использовать с большой эффективностью практически на всех предприятиях машиностроительного профиля. В ФТИ НАН Беларуси проводятся исследования, разрабатываются технологии инженерии поверхности, получения сварных и паяных соединений.

Электронно-лучевые методы. Институт располагает современным комплексом автоматизированного электронно-лучевого (ЭЛ) оборудования с мощностью луча до 15 и 30 кВт и объемом рабочего пространства 3,5 м³ и 40 м³. Кроме оказания услуг предприятиям по сварке деталей, ведется поиск новых применений ЭЛС. Отработаны методы сварки нержавеющей стали с высоким содержанием бора АТАВОР и 04X14ТЗР1Ф-Ш (ЧС-82). Из них изготавливаются трубы для размещения в бассейнах вы-

держки отработавшего ядерного топлива, которое может безопасно длительное время храниться в стеллажах с уплотненным шагом расположения труб.

С использованием гидроударной штамповки и ЭЛС изготовлена серия одноячеечных сверхпроводящих ниобиевых 1,3 ГГц резонаторов, предназначенных для ускорителей элементарных частиц. Начаты разработка и создание сверхпроводящих резонаторов для ускорительного комплекса NICA/MPD в ОИЯИ.

Поверхностное ЭЛ упрочнение в режиме закали с плотностью энергии 102–104 Вт/см² обеспечивает высокие скорости (103–105 °С/с) нагрева и самоохлаждения материала и приводит к дифференцированному упрочнению материала на глубину 0,1–2 мм, формированию в поверхностном слое новых структурных состояний. Твердость конструкционных, инструментальных и подшипниковых сталей достигает HRC 65–68, микротвердость – 10–11 ГПа.

Комбинированные и совмещенные ЭЛ методы инженерии поверхности связаны с нанесением на основу износ-, коррозионностойкого или антифрикционного материала, что обеспечивает получение комплекса высоких характеристик упрочненного изделия. Исследованы варианты

одно- и многослойной ЭЛ наплавки, ЭЛ обработки различных типов предварительно осажденных покрытий (электродуговых, газотермических, электролитических, детонационных, слоев ХТО и др.) на сталях и титановых сплавах. ЭЛ обработка таких покрытий приводит к благоприятным структурным и фазовым превращениям в покрытии и основе, изменениям в свойствах осажденных слоев, релаксационным процессам в дефектном материале покрытия, формированию переходной диффузионной зоны, градиента свойств по сечению от основы к поверхности, повышению прочности сцепления и плотности покрытий, износо-, жаро- и коррозионной стойкости и других характеристик.

Опыт по формированию одно- и многослойных композиций путем последовательного ЭЛ нагрева и расплавления добавляемых материалов служит основой для создания новых методов аддитивных технологий. На ЭЛ оборудовании отрабатываются варианты послойного выращивания изделий из 3D моделей с использованием исходного материала в виде проволоки.

Технологии и оборудование ионной ХТО. Ионная ХТО (азотирование, цементация, нитроцементация) деталей из сталей, чугунов, титановых сплавов обеспечивают значительное (в 2–3 раза по сравнению с традиционной газовой ХТО) снижение энергозатрат и общей стоимости упрочнения. Независимое управление расходом каждого из компонентов рабочей газовой среды (азота, аргона, метана или ацетилен) и давлением в камере позволяют формировать на изделиях из раз-

ных марок сталей и сплавов титана азотированные слои заданного состава и глубины. Создаваемое в институте оборудование полностью автоматизированное. Особенности технологий - возможность управления химической активностью разряда в зависимости от марки обрабатываемого материала, площади упрочняемой садки и температуры процесса. Это обеспечивает серийную устойчивость технологии ионной ХТО, воспроизводимость результатов обработки независимо от степени загрузки камеры изделиями (садки деталей массой от килограммов до нескольких тонн, бездеформационной обработки деталей длиной до 3200 мм). Наше промышленное оборудование ионной ХТО успешно эксплуатируется на крупнейших предприятиях Беларуси и России.

Технологии и оборудование электролитно-плазменной обработки, электрохимического оксидирования, нанесения упрочняющих покрытий. Однослойные покрытия на деталях машин и инструменте в некоторых случаях исчерпали себя. Накоплен опыт разработки технологий и создания оборудования для осаждения многослойных многокомпонентных композиций, которые стабильно обеспечивают повышение стойкости изделий от 2 до 5 и более раз.

Изготавливаются медицинские имплантаты из сплавов титана с защитно-декоративными покрытиями толщиной 0,05–1,0 мкм, обладающими улучшенными медико-биологическими и эксплуатационными характеристиками.

Работа выполнена в рамках проекта БРФФИ № Т15УК/А-054.

Сенють В.Т. Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, Минск, Беларусь

РАЗРАБОТКА СВЕРХТВЕРДЫХ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПОРОШКОВ НИТРИДА БОРА

В промышленном производстве различных изделий постоянно используются материалы с повышенными прочностью, твердостью, износоустойчивостью, что вызывает определенные трудности при их механической обработке [1]. Данное обстоятельство обуславливает необходимость создания эффективных материалов для режущего

инструмента. Существующие композиционные и поликристаллические сверхтвердые материалы (ПСТМ) на основе кубического нитрида бора (сBN) в значительной мере соответствуют требованиям, предъявляемым к современным режущим инструментам. Управление процессами формирования структуры и свойств исходных шихт

на основе различных фаз BN позволяет создавать ПСТМ с требуемыми сочетаниями свойств [2, 3].

Известно, что высокий уровень механических свойств ПСТМ на основе cBN определяется дисперсностью их структуры [4]. По аналогии с тугоплавкими материалами, которые приобретают пластические свойства в нанодисперсном состоянии [5], сверхтвердые материалы, полученные на основе композиций, содержащих нано-, субмикро-, микропорошки cBN, модифицированных тугоплавкими соединениями, также должны обладать улучшенными физико-механическими характеристиками. Поэтому разработка методов получения таких композиций на основе модифицированных порошков BN различного фазового состава является актуальной практической задачей.

Синтез исходных порошков для получения композитов. В качестве основы композиционных материалов и ПСТМ были использованы субмикро- и микропорошки cBN, полученные в Объединенном институте машиностроения НАН Беларуси. Исходные порошки синтезированы из гексагонального нитрида бора (hBN) с использованием различных активаторов и катализаторов фазового превращения последнего в кубическую модификацию. Так, микропорошок cBN размером 4–10 мкм получен в системе BN-Mg; микропорошки cBN с размером основной фракции 2–4 мкм, синтезированы в системе BN-Na₃N; субмикропорошки cBN были получены в системах Mg-Al-BN и Al-BN. В последнем случае количество вводимой добавки алюминия не превышает 5 мас.%, что позволяет повысить качество и термостойкость порошка.

Модифицирование порошков различных фаз BN с помощью механоактивации. Механоактивация порошков cBN способствует наведению в них дефектной структуры, образованию сколов и «свежих» поверхностей, что положительно сказывается на их спекании и взаимодействии со связующими при термобарической обработке.

Предварительная механоактивация порошков hBN позволила получить наноструктурный многофазный порошок на его основе, в котором наря-

ду с hBN отмечено присутствие фаз BN высокого давления в сильно разупорядоченном состоянии. Последующее спекание активированного порошка BN в условиях высоких давлений и температур позволило получить наноструктурный поликристаллический материал на основе cBN с иерархической структурой.

Химико-термическое модифицирование порошков BN. Высокие дисперсность и удельная поверхность субмикро- и нанопорошков вюрцитного (wBN) и кубического BN предполагают значительное влияние химсостава поверхности таких порошков на процессы их спекания в условиях высоких давлений и температур. В работе проведено модифицирование поверхности порошков wBN и cBN методом химико-термического осаждения, что позволило получать композиционные порошки плотных фаз BN различной дисперсности с необходимым набором свойств.

Так, были получены порошки cBN, модифицированные вольфрамом (W), бором (B), титаном (Ti), алюминием (Al), хромом (Cr), кремнием (Si) и др., а также порошки cBN, модифицированные последовательно двумя элементами—W-B, Ti-B, Al-B. Композиционные порошки wBN и cBN использовали для получения ПСТМ методом термобарического спекания.

Изучены процессы получения субмикро- и микропорошков cBN с использованием различных катализаторов, что позволило варьировать зернистость синтезируемых порошков cBN в широких пределах. Разработаны технологические процессы модифицирования порошков на основе различных фаз BN методами механоактивации и химико-термического осаждения.

Методом термобарического спекания композиционных наноструктурных и микропорошков wBN и cBN получены ПСТМ для полустойкой и чистой обработки закаленных сталей, высокопрочных чугунов и других труднообрабатываемых материалов. Показана перспективность применения полученных материалов для магнитно-абразивной обработки изделий общего и точного машиностроения.

Литература

1. Твердосплавные инструменты в процессах механической обработки / Под ред. Н.В. Новикова, С.А. Клименко. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля, 2014. – 318 с.
2. Технологии производства инструментов с пластинами из наноструктурных сверхтвердых материалов / П.А. Витязь, В.Т. Сенють, И.В. Валькович, М.Л. Хейфец // Процеси механічної обробки в машинобудованні. Зб. наук. праць. – Житомир: ЖДТУ, 2011. – Вип. 10. – С. 88–98.
3. Витязь П.А., Сенють В.Т. Синтез и применение наноструктурных сверхтвердых материалов инструментального назначения // Известия НАН Беларуси. Сер. физ.-техн. наук. – 2015. – № 3. – С. 60–76.
4. Инструменты из сверхтвердых материалов / Под ред. Н.В. Новикова, С.А. Клименко. – М.: Машиностроение, 2014. – 608 с.
5. Трефилов В.И., Мильман Ю.В., Фирстов С.А. Физические основы прочности тугоплавких металлов. – К.: Наукова думка, 1975. – 315 с.

ТРАЕКТОРИЯ «СТРЕЛЫ»

Клеванец Ю.В.

4. Заглянуть за горизонт (продолжение)

Слагаемое второе: работа учёных.

Наивно думать, что тогда, в конце 1920-х гг., кто-то представлял себе, какие синяки и шишки можно набить в погоне за высокими скоростями. Во все времена человек склонен жить в привычной среде и оперировать привычными понятиями. К примеру, что такое «волновая природа течения газов», конечно же, не понимали в полной мере даже и весьма осведомлённые специалисты.

А поэтому учёные-аэродинамики взялись в первую очередь изучать изменение подъёмной силы крыла при переходе к большим скоростям полёта. Эти изменения тогда были более наглядными. Уже стало известно, что при увеличении скорости несущая способность обычного крыла падает. Несущая способность стреловидного крыла тоже падает с ростом скорости, но не столь значительно. Вопрос: почему это происходит, и можно ли эти изменения как-то сформулировать?

Исследования динамики подъёмной силы крыльевых профилей при больших скоростях потока начинаются во всех ведущих авиационных странах примерно в одно время. В СССР этим занималась аэродинамическая лаборатория Ленинградского университета под руководством М. А. Ковалёва. Затем подобную работу начал вести в Воронежском университете А. В. Столяров («мой ученик» — пишет с удовлетворением А. С. Москалёв в своих мемуарах).

Александр Сергеевич, как человек, не лишённый исследовательской жилки, конечно, старался быть в курсе всех научных новаций. Причём не из праздного любопытства. Как только некие отдельные факты, накопленные в лабораториях, переросли в графики, воронежская группа молодых конструкторов параллельно с первыми опытными САМ-5 и САМ-5бис начала работу над проектом «Сигма».

Сумма слагаемых.

Для «Сигмы» была выбрана аэродинамическая схема «летающее крыло». Это самое крыло делалось стреловидным и коротким (удлинение

0,97, то есть длина одной консоли даже несколько меньше ширины). Москалёв выбрал для крыла обычный профиль Р-11, несмотря на то, что в то время уже были разработаны специальные профили для «летающих крыльев». Они несколько напоминали перевёрнутую латинскую букву S. Т. е. носок профиля должен быть немного опущен, а хвостик поднят. Такая модификация профиля улучшает управляемость самолёта. Но Москалёв пренебрёг этой «мелочью».

Далее. Крыло имело большую и переменную стреловидность. То есть на концах передние кромки были больше отогнуты назад, чем у корня. Вообще-то такое решение опасно, так как чревато вихревым перетеканием струй воздуха с нижней поверхности крыла на верхнюю. Но этот момент парировался установкой концевых шайб. В мемуарах насчёт формы крыла написано прямо: конструктор ориентировался на форму артиллерийского снаряда. То есть рассекаем снаряд по вдоль, получаем форму заостренной лопаточки, или какой-нибудь скифской стрелы. Эта лопаточка или стрела и будет нашим крылом.

На машину предполагалось поставить два новейших лицензионных двигателя М-100 в 750 л.с. (лицензия французской фирмы «Испано-Сюиза»). Итого общая мощность около 1500 л.с. Двигатели должны были стоять рядом в сочетании «центроплан – фюзеляж» и вращать соосные тянущие винты. Винты должны были вращаться в разные стороны. Примерно такая схема была опробована на рекордном итальянском самолёте «Макки» (мировой рекорд скорости 1933 г. 703 км/ч). Для того, чтобы добиться максимальной скорости, Москалёв предложил даже особые «саблевидные» винты, их можно увидеть на современных турбовинтовых машинах. Кабина была закрытой и располагалась, как видно, над моторами. Летчик находился в ней в полулежачем положении.

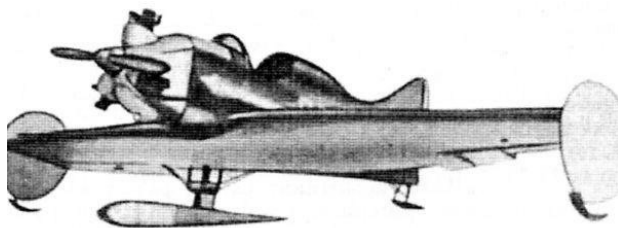
Рулевые поверхности располагались на концевых шайбах (управление по курсу). По всей задней кромке были установлены подвесные

закрылки с двумя осями качания. Внутренние секции закрылков играли роль рулей высоты, а внешние — элеронов. Шасси было убирающимся, что само по себе было новацией для первой половины 1930-х гг. Стойки с колёсами убирались «под брюхо».

В конце 1934 г. Москалёв со своим проектом поехал в Москву в Главное управление авиационной промышленности. Однако после рассмотрения конструктору было заявлено, что его разработка есть «несусветная экзотика», а чертежи были отправлены в архив.

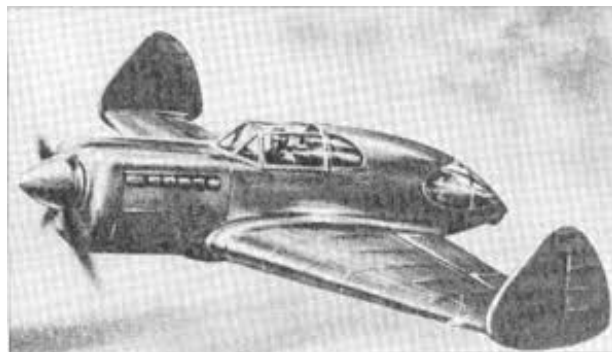
Однако наш герой так просто не сдался. Он сумел заинтересовать своей идеей НИИ ВВС. Там дали положительное заключение, и на его основании Управление ВВС профинансировало создание двух исследовательских самолётов: уменьшенных копий «Сигмы». Работа над ними развернулась в 1935 г.

«Маленькая “Сигма”», названная САМ-6, создавалась для решения принципиальных вопросов эксплуатации самолёта схемы «летающее крыло». Изначально для сравнения характеристик строились два экземпляра машины: один с нормальным горизонтальным оперением, второй вообще без оперения, с управлением по всем трём каналам с помощью элеронов, качающихся относительно двух разных осей. Самолёт проектировался под трёхцилиндровый мотор М-23, копию французского фирмы «Обье-Дьюнн» мощностью 65 л.с. Предусматривалось, что он будет двухместным. Кабина открытая, с ветровым козырьком. На концах крыла устанавливались вертикальные шайбы, а под ними костыли для приземления. Длина 4,5 м, размах крыла 8 м, площадь 12 м². Шасси было вообще одноколёсным. При первых полётах оказалось, что с таким шасси машина вполне спокойно взлетает, а вот для посадки лётчику надо было принаравливаться. Масса пустого 380 кг, полная взлётная 500 кг. Во время испытаний была получена скорость 130 км/ч. Испытывали лётчики ВАЗа, налёт на обоих самолётиках был достаточно велик.



Самолёт САМ-6, ретушированная фотография

«Средняя “Сигма”», которую назвали САМ-7, был задуман как полноценный самолёт сопровождения или же перехватчик. Для САМ-7 применялся двигатель М-34 от серийного бомбардировщика ТБ-3, которые строились на Воронежском авиазаводе. Под этот мотор сделали деревянный 4-лопастный винт, поскольку винты переменного шага в то время в СССР ещё не выпускались. Для достижения как можно большей скорости охлаждение двигателя производилось двумя способами: на взлёте – посадке обычным сотовым водяным радиатором, выдвигающимся из фюзеляжа в воздушный поток. На большой скорости радиатор убирался, использовалась так называемая «испарительная» система охлаждения, представляющая собой набор водяных трубок внутри крыла. Подобная же система охлаждения позднее была реализована на немецком рекордном самолёте Me-209, которым нацистская пропаганда запугивала потенциальных жертв в начале Второй мировой войны.



Самолёт САМ-7

Машина так же, как и САМ-6, проектировалась двухместной, но здесь второй член экипажа не наблюдатель, а воздушный стрелок. Сзади для него сделали отдельную закрытую кабину. Самолёт вооружался двумя пулемётами ШКАС спереди и одним-двумя сзади, у воздушного стрелка.

Крыло с небольшой стреловидностью (20°). Удлинение крыла 4,6. Профиль крыла — любимый Москалёвым Р-11, относительная толщина 12 %. На концах крыла установлены вертикальные шайбы с рулями направления. По всей длине задней кромки крыла расположены щелевые закрылки, разбитые на две секции и с двумя осями качания. Внутренняя секция закрылков, таким образом, играла роль ещё и рулей высоты, а внешняя — элеронов. Шасси двухстоечное, убирающееся «под брюхо», с хвостовым костылём.

Центр тяжести заметно смещён вперёд, т. е. находился на 13–15 % средней аэродинамической хорды (САХ). При такой центровке, проверенной на САМ-6, машина была устойчивой.

Конструкция цельнометаллическая, ферменная. Силовая схема представляла собой набор разных дюралюминиевых профилей. Обшивка гладкая, из дюралюминиевого листа разной толщины (носок крыла до 2,5 мм, остальное крыло 2 мм).

Длина 7 м, размах крыла 9,4 м, площадь крыла 12 м². Данных по массам в литературе не приводится. Самолёт летал, но на максимальную скорость не испытывался, так как проявились местные «прослабления» элементов конструкции. Впрочем, сам Москалёв считал, что можно было бы ожидать скорости не менее 600 км/ч.

А параллельно велись исследования по скоростной тематике и в других странах. В сентябре – октябре 1935 г. в Риме проходил международный научный конгресс имени Вольфа. В рамках этого форума от Германии выступил исследователь Адольф Буземан с докладом «Высокая скорость в авиации», где так же, как и в работах советских учёных, обосновывался выбор стреловидного крыла для скоростных самолётов.

Доводы Буземана были кем надо замечены и, как результат, весной 1937 г. на стол к И. В. Сталину легли разведанные о начале разработки проекта скоростного истребителя «Дарт» («стрела») в США, автором которого был Михаил Глухарёв, русский эмигрант, заместитель главного конструктора на фирме Сикорского.

Подобные же работы начались и в Германии, на фирме «Дорнье», проект «Пфайль» (как ни странно, но тоже «стрела»).

И американский, и немецкий варианты скоростных машин предполагалось оснастить, как и «Сигму», двумя двигателями. При этом проект «Дарт» предполагал использование соосных винтов, но не тянущих, как на «Сигме», а толкающих. «Пфайль» же был разработан по схеме «тяги – толкай», т. е. моторы стояли впереди и позади кабины пилота, а винты были в носу и в хвосте.

Сталин, не долго думая, тут же поручил секретариату выяснить у М. М. Кагановича (начальник Главного управления авиапромышленности, а затем народный комиссар авиапромышленности), как обстоят дела с подобными разработками у нас?

На вопросы Сталина следовало отвечать точно и обстоятельно. В руководстве главка вспомнили про воронежского конструктора и про его «несусветную экзотику». Генсеку доложили: работы

ведутся, построен опытный исследовательский самолёт и строится скоростной опытный истребитель. В ответ на это был получен безапелляционный приказ: работы завершить через три месяца, провести испытания, о результатах доложить.

Утром 7 мая 1937 г. Москалёва срочно вызвали в Москву со всеми своими проектами. В наркомате начался разбор вариантов для рапорта генсеку. Построить «Сигму» за три месяца было невозможно. Маленький САМ-6, вполне готовый для показа, не вызвал энтузиазма у руководства — не то, не истребитель, Сталин может сказать: вы меня что, за дурака держите? САМ-7 пришлось бы переделывать для испытаний, на что не хватило бы времени. А поэтому конструктору было заявлено примерно следующее: вот тебе новый мотор, и не какой-нибудь, а французский, вот тебе винт фирмы «Ратье», делай что хочешь, но чтобы через три месяца выдал нечто, пригодное для испытаний.

Москалёв начал работу над эскизным проектом прямо в гостинице, затем вернулся домой, а уже через 70 дней на заводской аэродром в Воронеже был выкачен самолёт САМ-9. Выкрашенный в красный и белый цвета, он блестел, как ёлочная игрушка. Машина имела имя собственное — конечно же «Стрела». С этой «Стрелой» Москалёв и его группа конструкторов вошли в историю мировой авиации.

Конструкция САМ-9 цельнодеревянная. Здесь были максимально использованы наработки по прежним проектам воронежского КБ. От САМ-5 взяли неубирающееся шасси с амортизацией внутри фюзеляжа. От САМ-7 максимально переднюю центровку. Профиль крыла общий для всех самолётов Москалёва — Р-11 (по В. Б. Шаврову — РАФ-38). Самолёт имел киль с рулём направления, то есть это не «летающее крыло», а «бесхвостка». Управление по крену и по тангажу было при помощи элевонов с двумя осями качания.



Самолёт САМ-9, современный рисунок

На машине стоял французский двигатель «Бенгали» в 140 л.с. Кабина закрытая, обшивка фюзеляжа и крыла фанерная, рулевых поверхностей полотняная.

Крыло трёхлонжеронное, по форме близко к треугольному, со скруглениями по кромкам. Относительная толщина 7,5 %, удлинение 0,975. Стреловидность около 70°.

Длина машины 6,15 м, размах 3,55 м, взлётная масса 630 кг, масса пустого 470 кг.



Взвешивание самолёта САМ-9

В Воронеже первые рулёжки и подлёты совершил заводской лётчик-испытатель Алексей Гусаров. Из Москвы приехала Государственная комиссия с известным тогда лётчиком Борисом Николаевичем Кудриным, который имел опыт полётов на «летающих крыльях» и «параболах» Черановского и Чижевского.

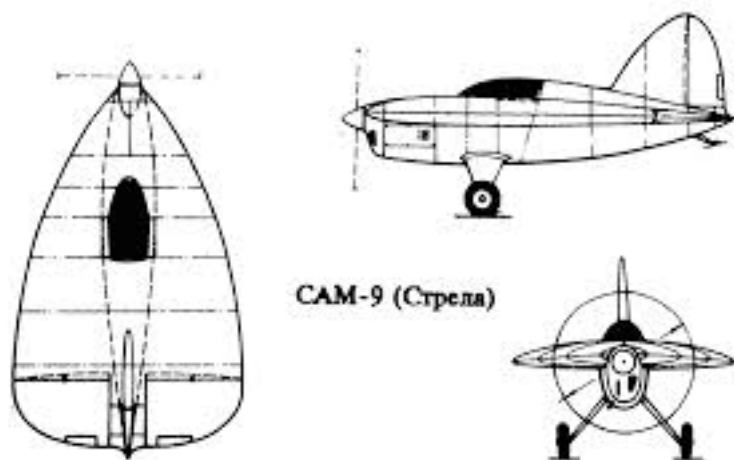


Схема самолёта САМ-9

Однако ознакомившись с самолётом и документацией на него, Кудрин летать категорически отказался. «Вероятно, и комиссия во главе с председателем охотно бросила бы это подозрительное дело, если бы не интерес Сталина» — пишет в мемуарах Москалёв. Необходимость доклада Сталину висела над всеми, как дамоклов меч.

Первый подлёт в пределах аэродрома пришлось делать Гусарову. Самолёт взлетел, набрал высоту около 15 метров, но его начало крутить от реакции винта. Лётчик убрал крен элеронами, сбросил газ и нормально приземлился.

Затем «Стрелу» перевезли в Москву на Центральный аэродром имени Фрунзе. Лётчики-испытатели НИИ ВВС катались на ней по аэродрому, но взлететь никто не решился. Непривычный вид вызывал недоверие. Ещё один подлёт совершил всё тот же Гусаров. Но как только вставал вопрос о полёте, начинались шумные дебаты. Марк Галлай, испытатель, воздушный ас и мемуарист, потом честно признался в воспоминаниях: он был в той «оппозиционной» группе пилотов и шумел вместе со всеми. Самолёт казался ему просто блином на тонких рахитичных ножках. Ещё один лётчик-испытатель А. П. Чернавский спустя много лет так рассказывал о начале испытаний САМ-9: «Мы, лётчики, просто не успели, или, вернее, не смогли воспринять психологически самолёт «Стрела». Мы не были готовы, опять же, психологически, работать на машине такого типа!... Бипланы со стойками, с расчалками — и вдруг стремительный изящный треугольник!»

Неожиданно инициативу проявил молодой испытатель Николай Рыбко. Ему, с некоторым вздохом, и доверили первый вылет. Правда, в той нервной обстановке никто не удосужился предупредить лётчика о некоторых особенностях пилотирования «летающих крыльев» и «бесхвосток»: при наборе высоты и при снижении самолёты такой схемы требуют повышенных углов атаки.

В первом полёте, действуя «как учили», Рыбко не сумел набрать высоту более, чем 20 м, и не смог вернуться, так как перелетел взлётно-посадочную полосу. Испытатель сел на Тушинском аэродроме. После проведённых задним числом консультаций Рыбко уже нормально летал на высоте около 1,5 км.

Зимой 1937–38 гг. САМ-9 переставили на лыжи, установили на крыло концевые шайбы и продолжили ис-

пытания на льду Плещеева озера возле города Переяславль-Залесский (раньше там испытывались первые в мире катера на воздушной подушке). При испытаниях самолёт показал максимальную скорость 343 км/ч, что примерно на 50 км/ч больше того, что можно было бы ожидать от самолёта «нормальной» схемы с таким же мотором.

Ну, а в дальнейшем Сталин потерял интерес к разработке, поскольку оба западных проекта и «Дарт», и «Пфайль» были отложены в долгий ящик соответственно американскими и немецкими авиационными чиновниками. Возможно, при этом тоже было сказано что-то вроде «несуветной экзотики».

Про «Пфайль» нацистские власти вспомнили уже на переломе Второй мировой войны. Самолёт был изготовлен и испытан, но в производство так и не пошёл. Подобно всем прочим немецким «вундерваффенам» «Пфайль» оказался сырым, несмотря на всю перспективность. В испытательных полётах была зафиксирована скорость свыше 760 км/ч, однако бой на такой скоростной машине вести было нельзя. Во время работы двух моторов да ещё при стрельбе вся конструкция входила в резонансные колебания, что совершенно не давало возможности прицелиться. Разработчики, конечно, пытались устранить проблему, но не смогли это сделать до конца войны.

А САМ-9, первый в мире летающий самолёт с большой стреловидностью крыла, после испытаний просто сожгли. Отчёт об испытаниях был отправлен в архив. Впервые о приоритете САМ-9 было сообщено в английской печати спустя 20 лет после его постройки.

В 1939 году Москалёв предложил сделать так называемый «москитный» истребитель. Возможно, его вдохновил пример французской фирмы «Кодрон». После успеха своих спортивных самолётов, о чём здесь уже упоминалось, заручившись поддержкой французского правительства, фирмачи начали выпуск скоростных и дешёвых деревянных истребителей «Циклон» на базе своих спортивных разработок. Правда, последующие настоящие, а не «странные» военные действия всё расставили на свои места: спортивная машина должна быть спортивной, а военная — военной, а не переделанной. Военные «Циклоны» начали отправлять в колонии или передавать польским лётчикам, бежавшим от оккупантов на Запад.

САМ-13 строился опять же под двигатели МВ-6. Их было два, и устанавливались они тандемом, спереди и сзади кабины лётчика. Общая схема самолёта — «рама», подобная американскому «Лайтнингу» или немецкому Фв-190. Такая схема хороша тем, что общая «омываемая» площадь поверхности машины всегда немного меньше, чем у такого же «нормального» самолёта.

Вертикальное оперение (киль) стоял не на балках рамы, как это было принято на других подобных самолётах, а посередине соединяющего балки стабилизатора.

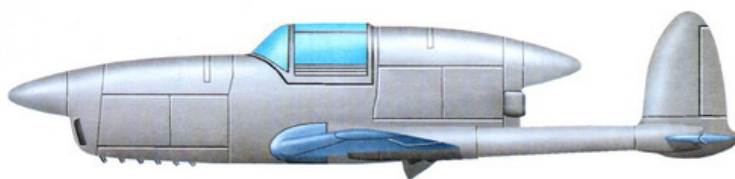
Шасси трёхстоечное, с носовым колесом, что было новостью в СССР в предвоенное время.

Конструкция цельнодеревянная, с фанерной обшивкой крыла и фюзеляжа и полотняной обшивкой рулевых поверхностей.

Вооружение 4 пулемёта Ультра ШКАС.

Предполагалось получение очень высокой скорости полёта — свыше 650 км/ч. Макет машины был готов в конце осени 1939 г., первый опытный самолёт построен к лету 1940 г. Испытания САМ-13, как и предыдущих машин, начались в Воронеже, а продолжились в Москве. В Воронеже летал заводской лётчик Н. Д. Фиксон. Была получена скорость у земли 520 км/ч, по другим сведениям — 485 км/ч, что, впрочем, тоже немало. В Москве летал (В. Б. Шавров пишет «рулил») М. Л. Галлай. Испытания неоправданно затянулись. В литературе есть согласные сетования на ненадёжный механизм выпуска и уборки шасси. Больше замечаний не было. Сам Москалёв в мемуарах обвиняет в задержке испытаний конструктора Яковлева, который стал к тому времени заместителем наркома авиапромышленности и пишет, что всё-таки в одном из полётов удалось получить скорость больше 600 км/ч.

Но так или иначе, испытания велись целый год, к началу войны решение о пригодности машины к серийному выпуску так и не было принято. С началом войны вся программа его строительства была свёрнута. Конечно, САМ-13, как и французский «Циклон», был не вполне боевой машиной, на нём, в частности, отсутствовала



Самолёт САМ-13, современный рисунок

бронеспинка, баки тоже не были защищены от прострела (на тогдашних военных самолётах баки были резиновыми и делались из двух слоёв; внутренний мешок формовался из резины, разбухающей в среде бензина, при простреле такого бака мягкая разбухшая резина затыкала дырку). Но испытания были просто прерваны. Поэтому сейчас можно только гадать, насколько пригоден мог быть САМ-13 к реальной боевой работе.

Длина самолёта 7,1 м, размах крыла 7,3 м, площадь крыла 9 м², высота 2,55 м, масса пустого 754 кг, взлётная 1180 кг.

С началом войны производство при воронежском техникуме было загружено изготовлением десантных планеров и десантных кабин под самолёт ДБ-3. Осенью 1941 г., когда фронт приблизился к Воронежу, и большой завод, и небольшое КБ при техникуме были эвакуированы. Коллектив КБ Москалёва вместе с оборудованием были отправлены в маленький посёлок Заводоуковск Тюменской области, при маленькой же станции железной дороги. Там была большая паровая мельница, при ней—большие амбары для зерна и ещё несколько десятков домиков. Мельница с амбарами стали производственными помещениями, для рабочих построили бараки и землянки.

Завод продолжил выпуск планеров. Москалёв доработал десантный планер А-7 конструкции Олега Антонова, Этот планер под индексом АМ-11 выпускался серийно до 1945 г., в частности, принимал участие в операциях по снабжению партизан. За это Центральным штабом партизанского движения Москалёв был награждён медалью «Партизану Великой Отечественной войны». Также в 1942 году были изготовлены 30 планеров (в данном случае — самолёт без двигателя) БИ-2, ракетного истребителя-перехватчика конструкции Березняка – Исаева, об этой конструкции журнал писал в 2005 г.

Сразу после войны заводик в Заводоуковске был переориентирован на изготовление и ремонт сельхозтехники, КБ было переведено в Ленинград и объединено с КБ Четверикова. Позднее и это КБ было закрыто, а Москалёв с Четвериковым стали преподавателями в Ленинградской военной академии им. Можайского.

Умер А. С. Москалёв в 1982 году в Ленинграде.

В современном городе Заводоуковске есть краеведческий музей, а в нём стенд, посвящённый А. С. Москалёву. Несколько лет назад дочь конструктора передала музею архив отца. В интернете время от времени появляются чертежи и другие документы из этого архива.

Список использованных источников

1. Костенко, И.К. Летающие крылья / И.К. Костенко. – М., 1985.
2. Соханский, А. А. Неизвестный конструктор Александр Москалёв / А. А. Соханский. – Тюмень, 2014.
3. Соболев, Д.А. Самолёты особых схем / Д.А. Соболев. – М., 1989.
4. Шавров, В.Б. История конструкций самолётов в СССР до 1938 г. / В.Б. Шавров. – М., 1994.
5. Шавров, В.Б.. История конструкций самолётов в СССР. 1938–1950 гг. / В.Б. Шавров. – М., 2001.
6. «Моделист-Конструктор». – №6. – 1969.