

ИНЖЕНЕР- МЕХАНИК

№ 3 (52)
июль – сентябрь
2011

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

Учредитель — Белорусское общество инженеров-механиков

Главный редактор академик С.А. Астапчик

Редакционная коллегия: М.С. Высоцкий, М.А. Андреев, В.Н. Дашков, А.М. Захарик, А.Б. Зуев, В.Л. Колпашиков, Л.Н. Крупец, Д.И. Корольков, Г.С. Лягушев, Е.И. Медвецкий, М.Г. Мелешко, С.А. Чижик

Адрес редакции:

220141, Минск, ул. Купревича, 10 (ранее Жодинская, 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 30.09.2011.

Формат 60×84/8. Бумага офсетная.

Гарнитура «Таймс». Печать офсетная.

Усл. печ. л. 5,6. Уч.-изд. л. 4,75.

Тираж 250 экз. Заказ № 274.

Цена номера договорная.

Отпечатано с оригинал-макета заказчика в ГНУ «Физико-техническом институте НАН Беларуси».

Лицензия ЛП № 02330/0494176 от 3.04.2009 г.

220141, г. Минск, ул. Купревича, 10.

СОДЕРЖАНИЕ

Юбилей

Витязь Петр Александрович (к 75-летнему юбилею).....2

Зеленин Виктор Алексеевич (к 70-летнему юбилею).....4

Марукович Евгений Игнатьевич (к 65-летнему юбилею).....5

Премии

Присуждены государственные премии Республики Беларусь 2010 года.....7

Материалы конференции

Рекомендации и заключение VI Международной научно-технической конференции «Современные методы и технологии создания и обработки материалов».....8

Разработки ученых и специалистов

Управление теплоотводом — новые возможности литья заготовок.....11

Результаты разработок по триботехнике в белорусской части космической программы союзного государства.....18

Моделирование радиационных дефектов в металлах.....24

Зарубежное партнерство

Узнаем, учимся и сотрудничаем с зарубежными партнерами.....30

Очаги цивилизации

Национальная библиотека Беларуси.....34

Библиотека в большом городе.....38

Страницы истории

Из студентов-недоучек — в главные конструкторы.....44

ВИТЯЗЬ ПЕТР АЛЕКСАНДРОВИЧ (к 75-летию юбилею)

6 августа исполнилось 75 лет Витязю Петру Александровичу — известному ученому в области порошковой металлургии, академику Национальной Академии наук Беларуси, Лауреату Государственной премии БССР и премии Совета Министров СССР, академику Международной Академии Евразии, Заслуженному деятелю науки Беларуси, доктору технических наук, профессору.



В 1960 г. П.А. Витязь окончил Белорусский лесотехнический институт. Работая в области порошковой металлургии с 1961 г., в 1970 г. защитил кандидатскую, а в 1983 г. докторскую диссертацию. С 1980 г. П.А. Витязь — первый заместитель генерального директора Белорусского республиканского НПО порошковой металлургии. Академик Петр Александрович Витязь — с 1997 г. Вице-президент, а с 2002 г. — Первый вице-президент (ныне — Первый заместитель председателя Президиума) НАН Беларуси.

Перу ученого принадлежит более 750 научных статей и материалов докладов, 30 монографий. Из них только «Теория и практика нанесения защитных покрытий», «Синтез и применение сверхтвердых материалов» и «Получение, свойства и применение порошков алмаза и кубического нитрида бора» признаны классическими. Им подготовлены 25 кандидатов и 12 докторов технических наук.

Известно, что состояние науки о материалах в значительной степени определяет технический прогресс в целом. Поэтому логично, что разработки по новым материалам находят применение в самых различных областях. Школа академика П.А. Витязя известна в машиностроении, автомобилестроении, станкостроении, инструментальной промышленности, материаловедении, медицине, электротехнике и других областях, где используются его разработки.

П.А. Витязь — видный организатор науки и производства. Он является руководителем Государственной научно-технической программы «Алмазы, сверхтвердые материалы и изделия на их основе», на базе которой в Республике Беларусь создана новая отрасль. Необыкновенная работоспособность, настойчивость, деловое упрямство и профессиональная убежденность, умноженная на доброжелательность, делает П.А. Витязя в ряде вопросов организации науки идеологом в области металловедения сверхтвердых материалов и наноматериалов.

Находясь на посту Первого заместителя Председателя Президиума НАН Беларуси, П.А. Витязь смог привлечь для решения поставленных программой задач ведущие академические институты, такие как Объединенный институт физики

твёрдого тела и полупроводников, Институт механики и надёжности машин, Институт механики металлополимерных систем, Физико-технический институт, Институт тепло- и массообмена, Белорусский государственный научно-производственный концерн порошковой металлургии, Инженерный центр «Плазмотег», научные коллективы Министерства образования (БГУ НИИ ПФП им. А. Севченко БГУ, НИИ ФХП БГУ, БНТУ, БГУИР, ГГУ, а также РАУП «Гомельское ПО «Кристалл», УП НПК «Планар», НПО «АЛТЕХ», ЗАО «Синта» и др.

В 2003 г. снова идея и организаторский талант П.А. Витязя смогли объединить ученых и специалистов институтов и организаций НАН Беларуси, вузов Беларуси на проведении НИР в одном из самых перспективных направлений современного материаловедения — наноразмерных объектах, технологиях их получения, формования и переработки в рамках Государственной программы ориентированных фундаментальных исследований «Наноматериалы и нанотехнологии».

П.А. Витязь, интересуясь и дальше новыми научными направлениями, увлекая в новые НИР специалистов НАНБ, продолжает уделять большое внимание научно-организационной работе, подготовке кадров высшей квалификации, педагогической деятельности: является членом Президиума ВАК Республики Беларусь; членом Совета по координации фундаментальных исследований НАН Беларуси; заместителем Председателя Межведомственного научно-технического совета Министерства промышленности Республики Беларусь; членом Координационного совета тех-

нических вузов Республики Беларусь; членом Научно-технического совета по Государственной программе развития порошковой металлургии и сварки в Республике Беларусь и многих других специализированных ученых советов НАН Беларуси, университетов, министерств. Он член редакционной коллегии американского журнала «Advanced Performance Materials», главный редактор издающегося ежегодно уже 34 года сборника научных трудов «Порошковая металлургия», член редколлегии других международных журналов.

П.А. Витязь — член международного общества ASM по термическому напылению и материалам, член редколлегии ряда международных журналов, Президент общества дружбы «Финляндия — Республика Беларусь». Но не только по членству в ряде международных обществ, имя академика известно за рубежом. Ряд научных проектов в США, Германии выполняются при личном участии П.А. Витязя. Свободное владение английским языком делает его работу с зарубежными партнерами конкретной, деловой, успешной. И наконец для нас он народный национальный академик.

За личный вклад в развитие отечественной науки академик П.А. Витязь награжден орденами Отечества II и III степени, Дружбы народов, медалью «За доблестный труд», медалью Ф. Скорины.

Поздравляя П.А. Витязя с юбилеем, хочется пожелать Вам, Петр Александрович, здоровья, творческих сил, долгих и плодотворных лет служения белорусской науке, реализации всех идей и замыслов в достойных учениках и продолжателях.

ЗЕЛЕНИН ВИКТОР АЛЕКСЕЕВИЧ (к 70-летию юбилею)

Доктор технических наук, Председатель экспертного Совета ВАК Республики Беларусь по микро- и нанoeлектронике



Родился 30 июня 1941 г. в г. Уссурийске Приморского края. В 1958 г. окончил среднюю школу, а в 1965 г. — Белорусский политехнический институт с отличием по специальности «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты».

В 1965–1967 гг. — инженер, младший научный сотрудник, руководитель группы Центрального НИИ техники управления.

В 1968 году поступил в аспирантуру Физико-технического института АН БССР, после окончания которой работал в 1972–1973 гг. старшим инженером, научным сотрудником этого института. В 1974–1976 гг. старший научный сотрудник,

заведующий сектором Белорусского филиала Всесоюзного НИИ проблем организации управления.

В 1976–1990 гг. — старший научный сотрудник, а с 1990 г. — заведующий лабораторией Физико-технического института НАН Беларуси.

В 1973 г. защитил кандидатскую диссертацию по специальности «Обработка металлов давлением».

В 1985 г. утвержден в ученом звании старшего научного сотрудника по специальности «Физика твердого тела», в 2010 г. Высшей аттестационной комиссией Республики Беларусь присвоено ученое звание доцента по специальности «Материаловедение».

В 1999 г. защитил докторскую диссертацию по специальностям «Химия и физика поверхности» и «Технология полупроводников и материалов электронной техники».

Основные направления научной деятельности — новые многокомпонентные материалы и технологические процессы формирования термодинамически стабильных тонкопленочных структур с повышенной эксплуатационной надежностью, фазовые переходы твердое тело — жидкость — пар в многокомпонентных системах, влияние кристаллографических факторов на процессы разделения монокристаллических слитков на пластины, геттерирование примесей, механизмы и кинетику процессов взаимодиффузии на границах раздела кремниевых структур.

Специализация: составы и технологии получения резистивных материалов на основе наиболее термодинамически стабильных соединений для формирования резистивных пленок методами испарения в вакууме, составы и технологии получения токопроводящих слоев изделий нанoeлектроники, технологий изготовления мишеней для формирования пленок методами распыления, структурные и фазовые превращения в многокомпонентных

тонкопленочных материалах, остаточные напряжения в многослойных кремниевых структурах.

Области приложения: новые материалы и технологии формирования элементов изделий микро- и нанoeлектроники.

Ученый секретарь диссертационного совета по материаловедению, технологиям и оборудованию механической и физико-технической обработки при ГНУ «ФТИ НАН Беларуси».

Председатель экспертного Совета ВАК Республики Беларусь по микро- и нанoeлектронике.

Автор 170 научных работ, в т. ч. 2 монографий, учебного пособия и 45 авторских свидетельств и патентов.

Основные труды: Структура и кинетика взаимодействия металлов с окисляющими средами. — Минск, 1982. (совм. с Л.И. Гурским); Структура, топология и свойства пленочных резисторов. — Минск, 1987. (совм. с Л.И. Гурским, А.П. Жебиным, Г.Л. Вахриным); Триботехника: практикум. — БГАТУ, кафедра ремонта машин. — Минск, 2009 (в соавт.).

МАРУКОВИЧ ЕВГЕНИЙ ИГНАТЬЕИЧ (к 65-летию юбилею)

Академик, доктор технических наук, профессор, лауреат Государственной премии БССР, заслуженный изобретатель Республики Беларусь, директор Института технологии металлов НАН Беларуси



Родился 22 августа 1946 г. в д. Смольяны Оршанского района Витебской области. Известный ученый в области технологии металлов.

В 1969 г. окончил Белорусский политехнический институт, доктор технических наук (1992), профессор (1994), член-корреспондент Национальной академии наук Беларуси (2000), академик Национальной академии наук Беларуси (2009). Лауреат Государственной премии БССР (1990). Заслуженный изобретатель Республики Беларусь, директор Института технологии металлов НАН Беларуси.

Е.И. Маруковичем разработаны важные вопросы теории кристаллизации и затвердевания сплавов при непрерывном литье и получении износостойких отливок, установлены важнейшие закономерности комплексного влияния тепловых, кинетических, гидродинамических и металлургических параметров на формирование отливки, сформулированы основные принципы и разработаны методы интенсификации металлургических процессов, изучены особенности механизма формирования структуры и свойств литых

изделий в условиях направленного затвердевания и регулируемого теплоотвода в графитовых, металлических и комбинированных охлаждаемых формах. На этой основе разработан и внедрен на заводах Беларуси, СНГ и дальнего зарубежья ряд новых наноструктурных материалов и технологических процессов получения заготовок из черных и цветных сплавов для авто-, тракторо-, станко-, судостроения, сельскохозяйственного машиностроения, промышленности строительных материалов, что позволило осуществить экспортные поставки высококачественной продукции в десятки стран, продать технологию и оборудование непрерывного литья в Россию, Украину, Литву, Корею, КНР, Индию.

Автор более 500 научных трудов, 12 монографий и 7 брошюр, имеет более 340 авторских свидетельств и патентов на изобретения, в т. ч. России, Англии, Франции, ФРГ, США, Кореи.

Член координационных советов по Государственным комплексным целевым научно-техническим программам «Машиностроение» и «Материалы», ряда международных научных ассоциаций, научно-технических советов, редакционных советов журналов, советов по защите диссертаций, научный руководитель Региональной научно-

технической программы «Развитие Могилевской области», член Президиума ВАК Республики Беларусь (2006–2009), член Президиума Национальной академии наук Беларуси (2002–2004).

В 1990 г. присуждена Государственная премия БССР за исследование, разработку и внедрение эффективных ресурсо- и металло-сберегающих экологически безвредных технологических процессов получения высококачественных отливок в условиях централизованного производства.

В 1999 г. присуждена премия Национальной академии наук Беларуси. Награжден медалью Франциска Скорины (1999), орденом Почета (2008), стипендиат Президента Республики Беларусь (2000). Награжден Почетными грамотами Государственного комитета по науке и технологиям Республики Беларусь, Национальной академии наук Беларуси, Могилевских городского и областного исполнительных комитетов. За высокие достижения в профессиональной и общественной деятельности в 2000 г. Могилевским облисполкомом ему присвоено звание «Человек года». Международный Библиографический центр, в Кембридже, (Англия) присудил ему титул «Человек года» (1998–1999) и внес в справочник «Выдающиеся люди 20-го столетия».

ПРИСУЖДЕНЫ ГОСУДАРСТВЕННЫЕ ПРЕМИИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ 2010 ГОДА

(из газеты «Веды» № 36 от 05.09.2011 г.)

Указом Президента Республики Беларусь от 30 августа 2011 г. № 381 присуждены Государственные премии Республики Беларусь 2010 г. в области науки и техники, а также в области литературы, искусства и архитектуры. В составе авторских коллективов — лауреатов двух из пяти премий — вошли ученые Национальной академии наук Беларуси. Государственные премии Республики Беларусь 2010 г. в области науки и техники присуждены и звания лауреата Государственной премии Республики Беларусь присвоены: **Маруковичу Евгению Игнатьевичу**, директору государственного научного учреждения «Институт технологии металлов Национальной академии наук Беларуси», академику Национальной академии наук Беларуси, доктору технических наук, профессору; **Бевзе Владимиру Федоровичу**, заведующему лабораторией непрерывно-циклического литья отдела, контактных явлений государственного научного учреждения «Институт технологии металлов Национальной академии наук Беларуси», кандидату технических наук, старшему научному сотруднику; **Бодяко Александру Михайловичу**, директору унитарного частного научно-производственного предприятия «Технолит», кандидату технических наук — за работу «Создание и промышленная реализация принципиально нового метода непрерывно-циклического литья намораживанием высокоизносостойких деталей техники»; **Мариеву Павлу Лукьяновичу**, директору научно-технического центра государственного научного учреждения «Объединенный институт машиностроения Национальной академии наук Беларуси», доктору технических наук; **Егорову Александру Николаевичу**, генеральному конструктору производственного объединения «Белорусский автомобильный завод» — открытого акционерного общества «Белорусский автомобильный завод» — начальнику научно-технического центра; **Бигелю Николаю Викторовичу**, заместителю генерального конструктора — начальнику отдела открытого акционерного общества «Белорусский автомобильный завод» производственного объединения «Белорусский автомобильный завод» — за работу «Разработка и освоение производства семейства карьерных самосвалов особо большой грузоподъемности с электромеханической трансмиссией четвертого поколения».

Также госпремия в области науки и техники присуждена **Анатолию Соколовскому, Александру Белецкому и Олегу Соколовскому** за работу «Разработка и внедрение современных хирургических технологий лечения ортопедической патологии тазобедренного сустава у детей и подростков».

*Сердечно поздравляем новых лауреатов
Государственной премии Республики
Беларусь и желаем новых успехов
и научных достижений!*

По информации пресс-службы
Президента Республики Беларусь и nasb.gov.by

P.S.: Подробно о работах лауреатов можно прочитать в газете «Веды» № 22 от 31.05.2010, с. 2 и в № 35 от 30.08.2010, с. 1 и с. 6.

РЕКОМЕНДАЦИИ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ VI МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ «СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ СОЗДАНИЯ И ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ» МИНСК 14–16 СЕНТЯБРЯ 2011 Г.

Шестая международная научно-техническая конференция «Современные методы и технологии создания и обработки материалов» организована Национальной академией наук Беларуси, Министерством промышленности Республики Беларусь, Государственным научным учреждением «Физико-технический институт НАН Беларуси».

Конференция является традиционной и привлекает к участию ученых многих стран ближнего и дальнего зарубежья.

Целью конференции является обмен информацией о новых научно-технических достижениях, направлениях и методах исследования в области материаловедения, высокоэнергетических технологий, обработки металлов давлением, установление деловых контактов и коммерческих связей ученых, специалистов и производителей, работающих в перечисленных областях.

Основные направления работы конференции:

- современные проблемы материаловедения;
- материаловедение в машиностроении;
- материалы медицинского назначения;
- новые методы получения и обработки материалов;
- наноматериалы и технологии;
- порошковая металлургия;
- композиционные материалы;
- диагностика, контроль, микроэлементный анализ и метрология;
- упрочнение и восстановление свойств поверхности.
- компьютерное моделирование структурно-энергетических превращений в конденсированных средах: интегральное описание дефектных и бездефектных структур, многоуровневое модели-

рование конденсированных сред;

– изучение высокоэнергетических воздействий на структурно-фазовые изменения, физико-механические свойства и генерацию дефектов строения в конденсированных средах;

14 сентября 2011 г. состоялось пленарное заседание конференции, на котором было сделано 9 докладов известных специалистов в области материаловедения, новых методов обработки материалов и высокоэнергетических технологий

На конференции работали нижеследующие секции:

1. Конструкционные и функциональные материалы в современной технике, методы их получения; материалы для микро- и нанoeлектроники.
2. Высокоэнергетические технологии получения и обработки материалов. Технологии и оборудование инженерии поверхностей.
3. Технологические процессы обработки металлов давлением, получения материалов с применением технологий лития.

В работе конференции приняли участие 133 представителя 42 ведущих научных организаций, вузов, предприятий, фирм, конструкторских бюро различных стран. Заслушано 162 доклада и сообщения. Издан 3-томный сборник материалов конференции общим объемом 1203 страницы, содержащий материалы 162 статей 407 авторов, в числе которых 5 академиков, 3 члена-корреспондента, 27 докторов и 40 кандидатов наук. Авторы представляют 42 организации из 27 городов Беларуси, Украины, России, Китая, Ирана, Испании, Вьетнама и других стран. К участию в конференции были представлены представители ведущих предприятий Республики Беларусь.



Абсолютное большинство докладов соответствовало тематике конференции, отличалось актуальностью, научной новизной, практической ценностью, отражало производственный опыт, в достаточно полной мере раскрывало состояние и перспективы развития материаловедения и машиностроения. Необходимо отметить растущий международный статус конференции — расширяется круг стран, участвующих в ее работе, растет число зарубежных участников.

На основании результатов обсуждения докладов и сообщений конференция делает следующие заключения и рекомендует:

1. К наиболее перспективным тенденциям развития современных технологических процессов создания и обработки материалов относятся следующие:

- совершенствование существующих и создание технологических процессов, основанных на использовании принципиально новых физических явлений;

- решение задач повышения качества выпускаемой продукции и управления качеством на всех этапах ее создания — от проектирования до эксплуатации;

- разработка теоретических подходов к созданию новых прогрессивных технологий и на его базе разработка нетрадиционных высокоэффек-

тивных технологических процессов, применение новых принципов работы оборудования и методов воздействия на обрабатываемые материалы;

- проектирование современных технологических процессов обработки на базе модульных технологий;

- формирование принципиально новых технологий инженерии поверхностей, основанных на применении концентрированных потоков заряженных частиц и атомных кластеров;

- создание и широкое внедрение новых комбинированных технологий обработки материалов давлением;

- развитие концепции параллельного проектирования изделий и технологической подготовки их производства;

- создание нетрадиционных прогрессивных пространственных структур технологических зон обработки, реализующих повышение технологических возможностей пространства и среды;

- разработка и широкое внедрение ресурсосберегающих, экологически чистых технологических процессов в различных областях современной техники;

- применение прогрессивных технологий при изготовлении поверхностей режущего инструмента;

– расширение использования и создание высокоэффективных технологий производства изделий из нано- и аморфных материалов на металлической и неметаллической основах, включая керамические и композиционные материалы современные пластические массы и т. д.;

– широкое применение многокритериальных методов оптимизации процессов проектирования технологических и технических систем, а также условий их эксплуатации;

– создание технологических процессов инженерии поверхностей конструкционных и функциональных материалов основанных на формировании многофазных и многослойных, в т. ч. наноструктурированных, поверхностных слоев;

2. Конференция отмечает особую важность и актуальность совершенствования метрологического обеспечения машиностроения, совершенствование и внедрение на предприятиях различной направленности CALS технологий, современных систем управления качеством.

3. Конференция рекомендует промышленным предприятиям республики шире привлекать ученых для решения производственных проблем по выпуску импортозамещающей наукоемкой и высокотехнологичной продукции.

4. Конференция отмечает необходимость существенного усиления международной кооперации при проведении научных исследований и разработок. Конкретными формами такой кооперации должны стать, прежде всего, международные научно-технические программы и проекты, совместные гранты, финансируемые фондами фундаментальных исследований различных стран.

5. Конференция отмечает необходимость повышения требований к уровню подготовки инженеров-материаловедов, специалистов в области технологических процессов получения и обработки материалов. В основе этой работы должны лежать совместные усилия педагогов, ученых, специалистов народного хозяйства.

6. При подготовке следующих конференций обеспечивать неукоснительное выполнение требований Оргкомитета по срокам подготовки и представления материалов конференции.

8. Настоящие рекомендации довести до сведения всех заинтересованных предприятий и организаций.

9. Провести очередную седьмую Международную конференцию «Современные методы и технологии создания и обработки материалов» в г. Минске в сентября 2012 г.



УПРАВЛЕНИЕ ТЕПЛОТВОДОМ — НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЛИТЬЯ ЗАГОТОВОК

Е.И. Марукович, В.Ю. Стеценко, А.И. Ривкин

ГНУ «Институт технологии металлов НАН Беларуси»

г. Могилев, Беларусь

Наиболее распространенными сплавами на основе алюминия являются силумины. Они получили широкое распространение благодаря отличным литейным свойствам и относительной дешевизне. Сплавы алюминия с кремнием, легированные медью, никелем и другими упрочняющими элементами, применяются в качестве материала таких деталей, как поршень ДВС, головка блока цилиндров ДВС и др. Сегодня разработаны сплавы на основе алюминия, способные выдерживать высокие механические и триботехнические нагрузки. Их повышенная износостойкость достигается легированием дорогостоящими элементами, такими как олово, никель, марганец и т. д. [1]. Главным недостатком легированных силуминов является высокая стоимость, поэтому легирование целесообразно лишь для изготовления дорогих деталей ответственного назначения.

Самым распространенным модификатором доэвтектических и эвтектических силуминов является металлический натрий или его соединения, надежно обеспечивающие измельчение важнейшей структурной составляющей этих сплавов — алюминиево-кремневой эвтектики. Также широко используют дешевые, так называемые универсальные флюсы — смеси фтористых и хлористых солей натрия в разных соотношениях, которые обеспечивают одновременно рафинирование и модифицирование. Для диспергирования первичных кристаллов кремния в заэвтектических силуминах применяют в основном фосфорсодержащие лигатуры, а для измельчения эвтектических кристаллов кремния — натрийсодержащие флюсы. Известно, что эти модификаторы нейтрализуют друг друга. Кроме этого, повышается склонность металла к газонасыщению, а время живучести натрийсодержащих флюсов не превышает 25–30 мин [2]. Также в результате модифицирова-

ния выделяется большое количество высокотоксичных хлоридов и фторидов, которые являются неметаллическими включениями и значительно ухудшают качество получаемых отливок [3]. Все это создает большие трудности в получении отливок с модифицированной структурой из заэвтектического силумина.

В связи с этим в ГНУ «Институт технологии металлов НАН Беларуси» разработан способ получения относительно недорогих Al – Si литейных сплавов с высокодисперсной инвертированной структурой [4]. На рис. 1 приведена схема лития закалочным затвердеванием.

Термин «инвертированная структура» впервые был применен для анализа микроструктуры ванадиевых чугунов. При инверсии наблюдается равномерное распределение изолированных друг относительно друга твердых частиц Si в мягкой матрице Al, что соответствует выполнению правила Шарпи. Как следствие увеличиваются прочностные, пластические и антифрикционные свойства отливок [5–7]. Это имеет большое значение для литейных сплавов. Обычно в литом состоянии они имеют низкие механические характеристики вследствие того, что их структура имеет крупнокристаллическое (неинвертированное) дендритное строение с переплетенными между собой ветвями или лепестками. При инвертировании микроструктуры такой порядок и строение нарушаются, благодаря чему механические и антифрикционные свойства сплава улучшаются. Таким образом, процесс инверсии литой структуры заключается в разрушении или изменении морфологии хрупкого дендритного скелета с целью его раздробления на более мелкие изолированные друг от друга эвтектические зоны (зерна), кристаллы и их фазовые фрагменты.

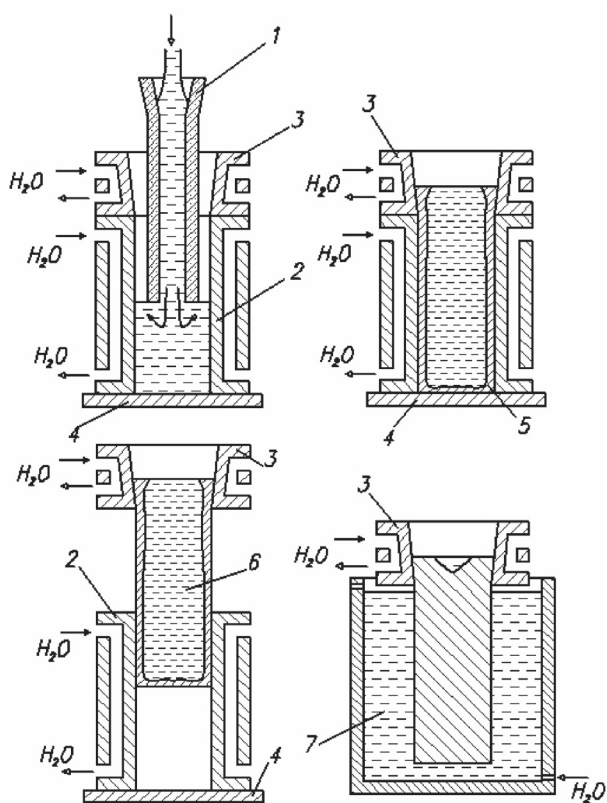


Рис. 1. Схема получения отливок методом литья закалочным затвердеванием:
 а — заполнение литейной формы;
 б — формирование корочки; в — извлечение отливки; г — кристаллизация отливки в закалочной ванне

В работе [5] показано, что отливки с такой микроструктурой обладают повышенными механическими и триботехническими характеристиками. Основными параметрами, влияющими на фрикционную износостойкость силуминов с высокодисперсной микроструктурой, являются: дисперсность их микроструктуры, химический состав сплава, а также режим термообработки полученных отливок.

Дисперсность микроструктуры заготовок, получаемых при литье закалочным затвердеванием, определяется в основном охлаждающей способностью устройства затоплено-струйного вторичного охлаждения (УЗСВО) [8]. Основными конструктивными параметрами, влияющими на охлаждающую способность этого устройства, являются ширина кольцевой щели и расположение отверстий в экране. Было спроектировано и изготовлено экспериментальное устройство вторичного охлаждения заготовок диаметром 75 мм. Схема устройства представлены на рис. 2.

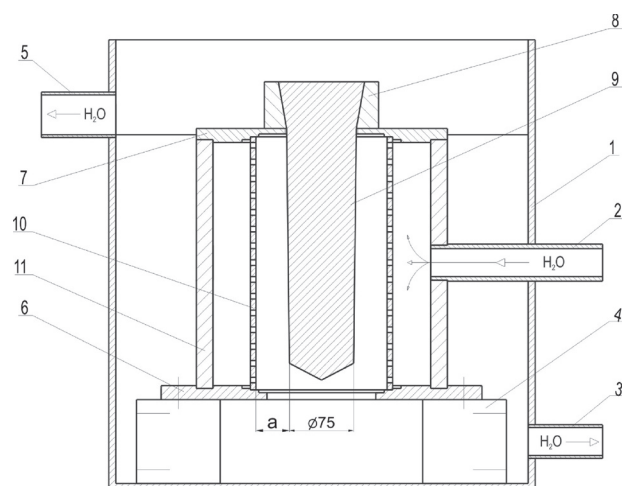


Рис. 2. Схема экспериментального устройства затоплено-струйного вторичного охлаждения:
 1 — бак; 2 — подводящий патрубок;
 3 — отводящий патрубок; 4 — опорный стол;
 5 — сливной патрубок; 6 — нижний фланец;
 7 — верхний фланец; 8 — захват; 9 — отливка;
 10 — экран; 11 — корпус; а — ширина кольцевой щели

Охлаждение отливки 9 осуществляется следующим образом. Охладитель из подводящего патрубка 2 тангенциально поступает в коллектор между корпусом 11 и экраном 10, далее равномерно продавливается в виде затопленных струй через отверстия в экране. Отливка охлаждается затопленными струями, исходящими из отверстий диаметром 3 мм, что существенно интенсифицирует процесс затвердевания. Данное устройство с помощью сменных экранов 10 позволяет варьировать ширину кольцевой щели в пределах 5–20 мм и расстояние между отверстиями в экране.

Критерием охлаждающей способности УЗСВО является коэффициент теплоотдачи от отливки к охладителю. Для определения распределения температуры в заготовке была изготовлена из алюминия марки А7 экспериментальная отливка диаметром 75 мм и высотой 160 мм. В средней части отливки расположили 4 термоэлектрических преобразователя (ТП) ТХА-1199/51Н, изготовленных на НПО «Энергоприбор». Диаметр неизолированного рабочего спая ТП 0,6 мм, диаметр защитного корпуса 1,5 мм. Схема расположения ТП представлена на рис. 3.

Отливку нагревали в печи сопротивления марки «Snol-1300» до температуры 580 °С и помещали в УЗСВО. Входное давление и расход в устройстве вторичного охлаждения составляли соответственно 0,2 МПа и 50 м³/ч. Показания ТП фиксировали блоком регистрации температуры «LG».

Эксперименты проводили при ширине кольцевой щели 5, 10, 15 и 20 мм и расстоянии между отверстиями в экране 10 и 20 мм. Распределение температуры в отливке при ширине кольцевой щели 10 мм и расстоянии между отверстиями в экране 20 мм в различные моменты времени охлаждения представлено на рис. 4. Из него следует, что распределение в экспериментальной отливке из алюминия при охлаждении в УЗСВО можно принять линейным. Эксперименты, проведенные при различных ширине кольцевой щели и расстоянии между отверстиями в экране, показали аналогичное линейное распределение в отливке. С учетом выше сказанного допущения расчет коэффициента теплоотдачи между отливкой и охлаждающей жидкостью производили по формуле

$$\alpha = -\lambda \frac{T_1(t) - T_2(t)}{l_2} \cdot \frac{1}{T_1(t) - \frac{l_1}{l_2}(T_2(t) - T_1(t)) - T_{\text{ж}}}$$

где λ — теплопроводность алюминия; $T_1(t)$ и $T_2(t)$ — показания ТП в точках 1 и 2 (рис. 3); $T_{\text{ж}}$ — температура охлаждающей жидкости. Принимаем $\lambda = 213 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ [9].

Результаты расчетов коэффициентов теплоотдачи при различных ширине кольцевой щели и расстоянии между отверстиями в экране представлены на рис. 5.

Из него следует, что наибольший коэффициент теплоотдачи между отливкой и охлаждающей жидкостью достигается при ширине кольцевой щели 10 мм и расстоянии между отверстиями в экране 20 мм.

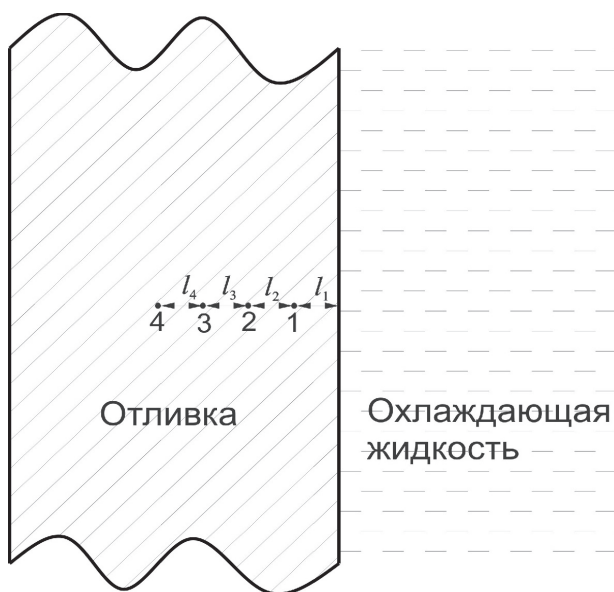


Рис. 3. Схема расположения ТП в отливке $l_1 = l_2 = l_3 = l_4 = 5 \text{ мм}$

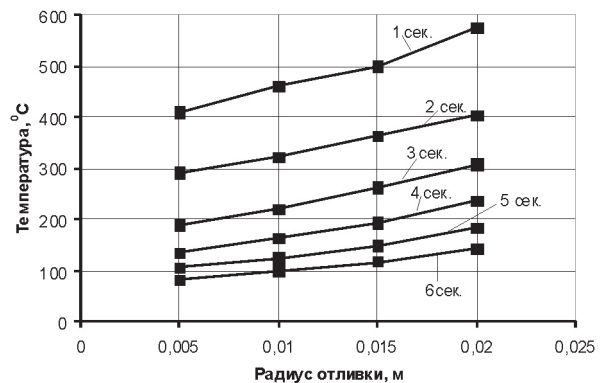


Рис. 4. Распределение температуры в отливке при ширине кольцевой щели 10 мм и расстоянии между отверстиями в экране 20 мм в различные моменты времени охлаждения

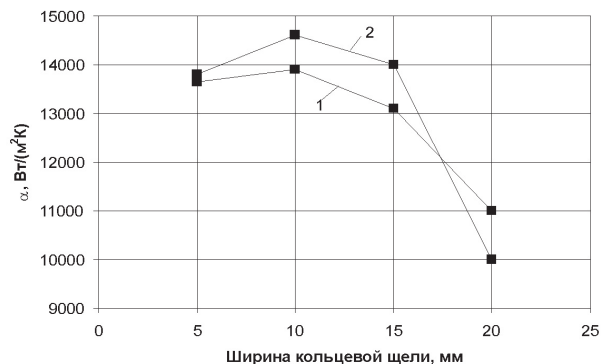


Рис. 5. Зависимость коэффициента теплоотдачи от ширины кольцевой щели УЗСВО: 1 — расстояние между отверстиями в экране 10 мм; 2 — 20 мм

Таким образом, максимальная охлаждающая способность устройства затоплено-струйного вторичного охлаждения достигается при ширине кольцевой щели 10 мм и расстоянии между отверстиями в экране 20 мм. Микроструктура заготовок, полученных при этих параметрах УЗСВО, приведена на рис. 6.

Для проведения исследований заготовки из силуминов с высокодисперсной микроструктурой получали на опытной установке литья закалочным затвердеванием. Расплавы готовили в электропечи сопротивления марки «Snol-1300» в шамото-графитовом тигле. В качестве шихтовых материалов использовали чушковый сплав АК12, лигатуры Al + 40 % Si и Al + 33 % Cu. При температуре 800 °С металл заливали в струйный кристаллизатор и получали отливки диаметром 50 мм и высотой 160 мм из сплавов АК12, АК15 и АК18.

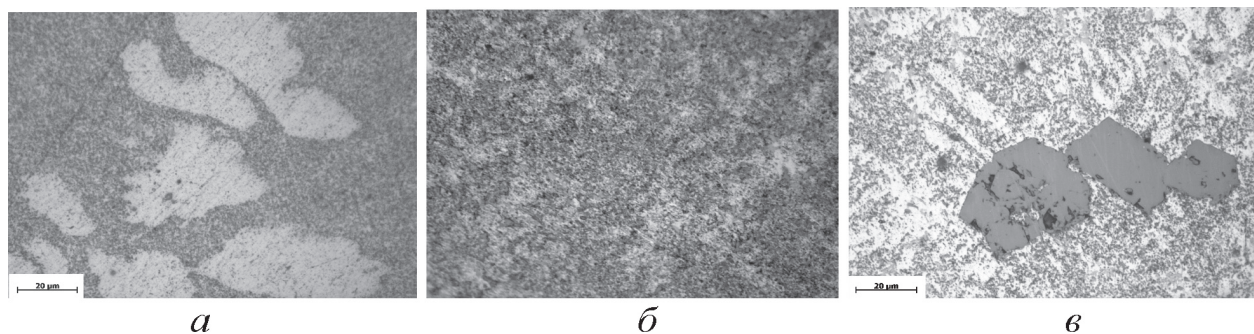


Рис. 6. Микроструктура отливок из силумина: а — АК12; б — АК15; в — АК18

Для исследования микроструктуры отливок из них вырезали поперечные шлифы. После их шлифовки, полировки и химического травления водным раствором кислот 2 % HCl + 3 % HNO₃ + 1 % HF микроструктуру анализировали с помощью аппаратно-программного комплекса на базе микроскопа «Carl Zeiss Axiotech vario». Твердость образцов измеряли на твердомере ТШ-2М.

Отливки из сплава АК12 состояли из первичных кристаллов α-фазы средней толщиной 17 мкм и кристаллов эвтектического кремния глобулярной формы средней дисперсностью 1,2 мкм (рис. 6, а). Размер равномерно распределенных глобулярных кристаллов эвтектического кремния в образцах сплава АК15 в среднем составлял 1,2 мкм. Кристаллы первичного кремния со средним размером 30 мкм так же были равномерно распределены, при 100-кратном увеличении в поле зрения окуляра находились 1–2 включения (рис. 6, б). Микроструктура опытных заготовок из сплава АК18 была представлена равномерно распределенными кристаллами глобулярного эвтектического кремния со средним размером 1,6 мкм и кристаллами первичного кремния со средним размером 35 мкм (рис. 6, в).

Исследования на фрикционную износостойкость образцов из антифрикционных силуминов проводились на машине трения СМЦ-2 в условиях сухого трения по схеме вал – втулка с нагрузкой 0,6 МПа и скоростью скольжения образца относительно стального шлифованного вала (сталь 45) твердостью 58 HRC 0,38 м/с. Продолжительность испытания каждого образца составляла 3 ч. Износ контртела оценивался с помощью микрометра с ценой деления 0,01 мм. Расчет скорости износа образцов проводили по следующей формуле:

$$V = \frac{\Delta M}{S \cdot \rho \cdot \tau},$$

где ΔM — разность массы образца до и после износа; S — площадь рабочей поверхности образца; ρ — плотность образца; τ — время износа.

Взвешивание образцов проводили на электронных весах марки «Stratorius BP1S» с точностью до 0,0001 г.

Для определения режима испытаний силуминовых образцов на машине трения был проведен следующий эксперимент. Изготовили образец для испытания на фрикционную износостойкость из сплава АК12 с припаянным термоэлектрическим преобразователем ТХА-1199/51Н, диаметр неизолированного рабочего спая ТП — 0,6 мм, диаметр защитного корпуса — 1,5 мм.

С помощью механизма нагружения выбиралась нагрузка, при которой температура образца не превышала 100 °С. Было установлено, что при нагрузке 0,6 МПа и скорости скольжения образца относительно стального шлифованного 0,38 м/с образец нагревается не выше 98 градусов. Все последующие эксперименты проводились при этих условиях.

Исследования показали, что средняя скорость износа образцов из сплава АК12 составила 0,1376 мм/ч, АК15 — 0,1235 мм/ч, АК18 — 0,1050 мм/ч. После испытаний сплавов АК12 и АК15 износ контртела не наблюдался. Образцы из сплава АК18 изнашивают контртело со средней скоростью 0,006 мм/ч.

Установлено, что повышение концентрации кремния в составе силумина увеличивает его износостойкость. Наличие в микроструктуре отливок кристаллов первичного кремния отрицательно сказывается на процессе прирабатываемости. Поэтому наиболее приемлемым содержанием кремния в износостойком силумине является 15%.

Для определения влияния структурной дисперсности заготовок из сплава АК15 на их фрикционную износостойкость методом литья в струйный кристаллизатор были изготовлены

отливки диаметром 50 мм и высотой 160 мм. Микроструктура этих отливок состояла из равномерно распределенных в алюминиевой матрице кристаллов эвтектического кремния глобулярной формы со средним диаметром 1,2 мкм. Для получения кристаллов эвтектического кремния различной дисперсности заготовки подвергались гомогенизации при температуре 520 °С и выдержке 1–10 ч. В результате были получены образцы из силумина АК15 со средними диаметрами глобулярного эвтектического кремния 2–7 мкм (рис. 7).

Каждый из полученных образцов проходил испытания на фрикционную износостойкость в течение 3 ч. Результаты приведены в табл. 1.

Из данных табл. 1 следует, что увеличение диаметра глобулярных кристаллов эвтектического кремния в сплаве АК15 с 1,2 мкм до 3,2–3,9 мкм позволяет повысить фрикционную износостойкость образцов на 9–14 %, а их дальнейшее укрупнение не приводит к значительному повышению износостойкости образцов. Наиболее приемле-

мым размером включений шаровидного кремния для антифрикционного эвтектического силумина является 3–4 мкм, т. к. такая дисперсность кристаллов эвтектики позволяет существенно повысить износостойкость заготовок и не требует длительной термообработки.

Известно, что легирование силуминов медью позволяет повысить механические свойства заготовок. Поэтому для исследования влияния содержания меди на фрикционную износостойкость эвтектического антифрикционного силумина литьем в струйный кристаллизатор были изготовлены отливки диаметром 50 мм и высотой 160 мм из сплава АК15 с содержанием меди 1, 2, 3 и 4 %. Их термообработку проводили по режиму T5: нагрев до температуры 520 °С, выдержка в течение 4 ч, закалка в воде и последующее искусственное старение в течение 6 ч при температуре 175 °С. Время испытания образцов на фрикционную износостойкость составляло 3 ч. Результаты испытаний приведены в табл. 2.

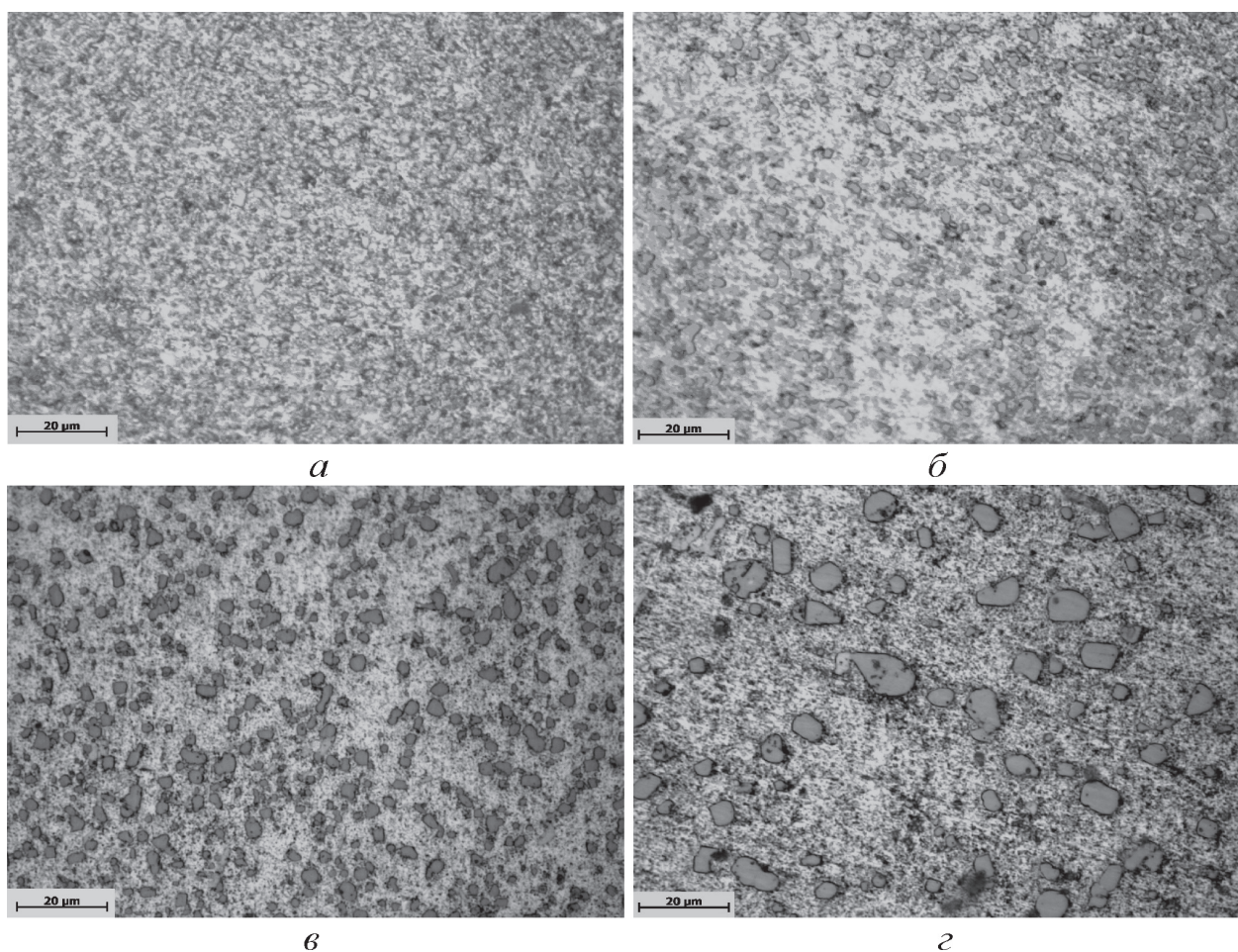


Рис. 7. Микроструктура гомогенизированных образцов из сплава АК15:
 а — 520 °С, 1 ч; б — 520 °С, 4 ч; в — 520 °С, 6 ч; г — 520 °С, 10 ч

Табл. 1

Влияние дисперсности глобулярных кристаллов кремния на фрикционную износостойкость сплава АК15

№ образца	Температура гомогенизации, °С	Время гомогенизации, ч	Дисперсность кристаллов эвтектического кремния, мкм	Твердость, НВ	Средняя скорость износа, мм/ч
0	–	–	1,2	72,6	0,1235
1	520	1	2,2	72,6	0,1172
2	520	3	3,2	72,6	0,1126
3	520	5	3,9	72,6	0,1065
4	520	10	7,0	72,6	0,1029

Табл. 2

Влияние содержания меди на твердость и фрикционную износостойкость сплава АК15

№ образца	Материал образца	Режим термообработки	Средняя дисперсность кристаллов эвтектического кремния, мкм	Твердость, НВ	Средняя скорость износа, мм/ч
5	АК15	гомогенизация 520 °С, 4 ч	3,7	72,6	0,1134
6	АК15М1	Т5	3,5	77,9	0,1132
7	АК15М2	Т5	3,6	98,2	0,0991
8	АК15М3	Т5	3,8	113,8	0,0835
9	АК15М4	Т5	3,7	129,0	0,0811

Из табл. 2. следует, что наиболее рациональным содержанием меди в антифрикционном силумине АК15 является 3–4 %, т. к. обеспечивает повышение твердости заготовок в среднем в 1,7 раза и износостойкости более чем на 20 %.

Полученные заготовки проходили цикл сравнительных триботехнических испытаний в Санкт-Петербургском институте машиностроения на кафедре триботехники. В условиях сухого трения образцы исследовались при нормальном напряжении 12,8 Н и вращении со скоростью 620 об./мин, а в условиях смазки И20А — при нормальном напряжении 200 Н и вращении со скоростью 300 об./мин. Материал контртела — закаленная сталь 45. В качестве образцов сравнения были изготовлены аналогичные образцы из бронзы БрОЦС5-5-5.

В результате проведенных испытаний установлено, что при сухом трении коэффициент трения образцов сплава АК15М3 в 1,65 раза, а линейный износ — в 7 раз ниже, чем аналогичных из БрОЦС5-5-5 (рис. 8).

При трении в условиях смазки коэффициент трения образцов из силумина АК15М3 в 1,35 раза ниже, чем аналогичных из бронзы, при этом линейный износ в 23 раза ниже (рис. 9).

В настоящее время заготовки из алюминиево-кремниевого сплава внедрены в производство и поставляются на предприятия Республики Беларусь: ОАО «Завод «Оптик» (г. Лида), ОАО «Белшина» (г. Бобруйск), РУПП «Станкозавод «Красный Борец» (г. Орша), ОАО «Бобруйсксельмаш» (г. Бобруйск), ПО «Гомсельмаш» (г. Гомель). Стоимость заготовок из антифрикционного алюминиево-кремниевого сплава в среднем в 2 раза ниже, чем аналогичных из бронз.

Таким образом, разработано устройство затоплено-струйного охлаждения, которое обеспечивает высокую скорость затвердевания отливкам из силуминов и позволяет получать заготовки с дисперсностью кристаллов эвтектического кремния 1,2 мкм. Определены рациональный состав и режим термообработки эвтектического антифрикционного силумина, которые обеспечивают ему максимальную износостойкость при фрикционном трении.

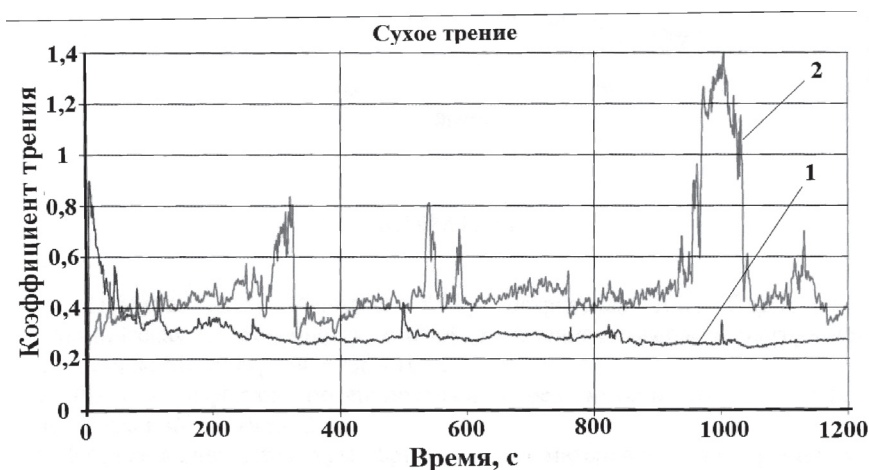


Рис. 8. График изменения коэффициента трения от времени при сухом трении:
1 — силумин АК15М3; 2 — бронза БрОЦС5-5-5

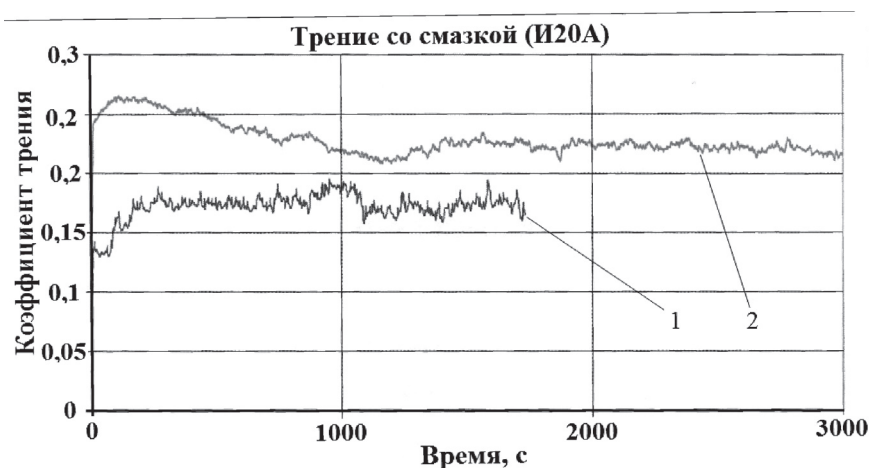


Рис. 9. График изменения коэффициента трения от времени при трении в условиях смазки И20А:
1 — силумин АК15М3; 2 — бронза БрОЦС5-5-5

Литература

1. Строгонов, Г.Б. Сплавы алюминия с кремнием / Г.Б. Строгонов, В.А. Ротенберг, Г.Б. Гершман. — М.: Металлургия, 1977. — 267 с.
2. Альтман, М.Б. Повышение свойств стандартных литейных алюминиевых сплавов / М.Б. Альтман, Н.П. Стромская. — М.: Металлургия, 1984. — 128 с.
3. Марукович, Е.И. Повышение эффективности модифицирования / Е.И. Марукович, В.Ю. Стеценко // Литье и металлургия. — № 2. — 2006. — С. 151–153.
4. Марукович, Е.И. Модифицирование сплавов / Е.И. Марукович, В.Ю. Стеценко. — Минск: Беларус. Навука, 2009. — 192 с.
5. Марукович, Е.И. Получение литейных сплавов с инвертированной структурой / Е.И. Марукович, В.Ю. Стеценко // Литье и металлургия. — № 4. — 2001. — С. 36–39.
6. Марукович, Е.И. Особенности структурообразования при литье заэвтектического силумина с инвертированной структурой / Е.И. Марукович, В.Ю. Стеценко // Литье и металлургия. — № 4. — 2001. — С. 40–42.
7. Марукович, Е.И. Литье заэвтектических силуминов с инвертированной структурой / Е.И. Марукович, В.Ю. Стеценко // Литье и металлургия. — № 4. — 2000. — С. 54.
8. Стеценко, В.Ю. Расчет затвердевания отливки АК12 в устройстве затоплено-струйного охлаждения / В.Ю. Стеценко, А.И. Ривкин, Р.В. Коновалов // Литье и металлургия. — 2008. — № 3. — С. 218–219.
9. Баландин, Г.Ф. Основы теории формирования отливки / Г.Ф. Баландин. — Ч. I. — М.: Машиностроение, 1979. — 328 с.

УДК 621.1:621.89:629.7.081

РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗРАБОТОК ПО ТРИБОТЕХНИКЕ В БЕЛОРУССКОЙ ЧАСТИ КОСМИЧЕСКОЙ ПРОГРАММЫ СОЮЗНОГО ГОСУДАРСТВА

¹Н.К. Мышкин, ²В.А. Белый, ³В.Л. Басинюк, ¹А.Я. Григорьев

¹Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси,
г. Гомель, Беларусь

²Физико-технический институт НАН Беларуси

³Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси
г. Минск, Беларусь

Рассмотрены вопросы аппаратно-методического обеспечения космических и наземных испытаний материалов на трение и износ. Приведены основные характеристики используемого в эксперименте триботехнического оборудования.

Введение

Дальнейшее освоение околоземного пространства не может быть обеспечено только наращиванием числа и частоты вывода на орбиту объектов космической техники даже при использовании перспективных средств их доставки. Успешное решение этой задачи неразрывно связано с увеличением надежности и ресурса орбитальных аппаратов. В этой связи основные направления развития космической техники следующего поколения предусматривают значительное увеличение сроков ее эксплуатации. Одной из задач, возникающих при реализации этих требований, является обеспечение необходимого ресурса работы узлов трения, работающих в открытом космосе.

По условиям эксплуатации многие узлы трения орбитальной техники — зубчатые передачи и подшипники антенных платформ, петли люков, приводы различных механизмов, резьбовые соединения, замковые механизмы, контактные уплотнения, работают вне герметизированных отсеков. Трение в этих узлах происходит при воздействии целого ряда неблагоприятных факторов космического пространства (ФКП), к главным из которых относят отсутствие окислительной среды и паров воды, значительных перепадов тем-

пературы (170–420 К), ионизирующего и ультрафиолетового излучения, пучков ионов и тяжелых частиц. В таких условиях механизмы трения и изнашивания существенно отличаются от наземных, что не позволяет использовать традиционные (наземные) решения для обеспечения требуемых характеристик и параметров надежности узлов трения.

С момента первых запусков космических аппаратов этой проблеме уделялось самое пристальное внимание. Однако в наземных условиях невозможно провести адекватные по совокупности действующих ФКП испытания триботехнических материалов. Во-первых, очень трудно подобрать условия испытаний, идентичные условиям эксплуатации, и, во-вторых, не все ФКП известны и могут быть воспроизведены. По этим причинам невозможно обойтись без проведения натурных исследований.

Первое триботехническое испытание в космосе

Первый, и пока единственный эксперимент по исследованию трения и изнашивания материалов в открытом космосе был проведен в ходе выполнения научной программы Луна-4 (1974). Для его реализации на НПО им. С.А. Лавочкина был

создан прибор — имитатор трения (ИТ), установленный снаружи космического аппарата Луна-24, выведенного на орбиту Луны [1]. С помощью этого прибора был решен ряд наиболее актуальных задач космического трибоматериаловедения [2]. Испытания в вакуумных камерах и на космическом корабле производились по одним и тем же схемам испытаний.

В комплект имитатора трения входили: автономный прибор ИТ (габариты: 315×230×180 мм, масса—4,0 кг); два пятиканальных тензометрических преобразователя (габариты: 225×170×120 мм, масса — 1,5 кг); блок управления испытываемыми узлами (габариты: 240×180×60 мм, масса — 1,5 кг).

Автономный прибор ИТ показан на рис. 1, а. Он состоит из герметичного электромеханического привода 1 и блока узлов трения 2. В приборе ИТ использовались две схемы испытаний на трение: схема «диск – палец» 1 (рис. 1, б) и схема «вал – втулка» 2 (рис. 1, б). Одновременно испытываются девять узлов трения: три узла «вал – втулка» и шесть узлов «диск – палец».

Согласно техническому заданию, продолжительность работы прибора ИТ на борту космического аппарата должна была ограничена 120–150 ч из-за обширной общей научной программой по исследованию Луны и окололунного пространства и ограниченности числа каналов телеме-

три. Испытаниям подвергалось широко применяемое в узлах трения механизмов космических аппаратов твердое смазочное покрытие (ТСП) ВНИИ НП-212, смазочным компонентом которого является MoS₂.

Образцы изготавливались из алюминиевых сплавов марок Д16Т и АМГ-6, причем в качестве подложки под покрытие использовался менее твердый из этих сплавов АМГ-6. Для пары «вал – втулка» твердое смазочное покрытие наносилось на вал, а для пары «диск – индентор» — на диск. Толщина покрытия составляла 15±5 мкм. Материалы для испытываемых образцов были выбраны таким образом, чтобы за короткое время эксперимента успеть реализовать все стадии процесса трения, начиная с момента приработки трущихся поверхностей и заканчивая выходом из строя механического узла. Критериями оценки работоспособности испытываемого узла являлись величина коэффициента трения и продолжительность работы (ресурс) антифрикционного покрытия. Резкое необратимое увеличение коэффициента трения ($f > 0,3$) характеризовало износ покрытия и возникновение металлического контакта между трущимися поверхностями.

Скорость вращения выходного вала с закрепленными образцами составляла 21 об./мин, что соответствовало скоростям скольжения для пары «вал – втулка» 0,008 м/с, а для пары «диск – индентор» — 0,01 м/с. Такая малая скорость вращения выбрана для того, чтобы свести к минимуму влияние скорости деформирования поверхностного слоя, приводящей к изменению прочностных свойств ТСП ВНИИ НП-212.

Наземным лабораторным испытаниям подвергались два прибора ИТ, поочередно помещаемых в вакуумную камеру. Средние результаты наземных лабораторных испытаний приведены в табл. 1.

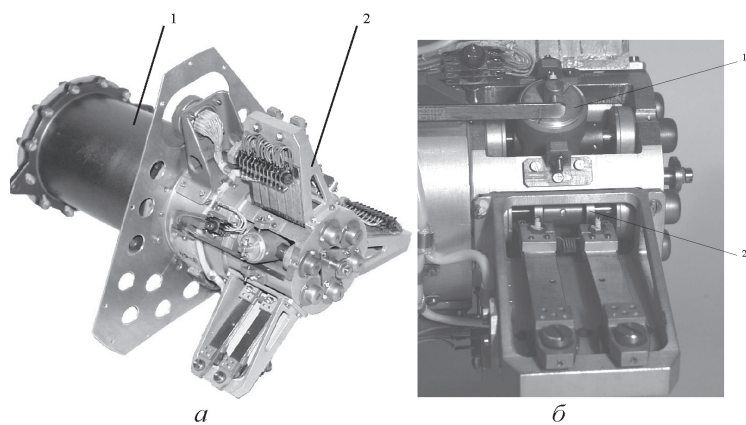


Рис. 1. Фотография имитатора трения

Табл. 1

Наземные лабораторные испытания приборов ИТ

Пара трения	Среда давление, Па	Значения коэффициентов трения			Время работы, ч
		при пуске	установившийся	инимимальный	
Вал – втулка	Воздух, 1·10 ⁵	0,26	0,24	0,22	0,033
	Вакуум, 1·10 ⁻⁴	0,23	0,06–0,08	0,05	143
Диск – индентор	Воздух, 1·10 ⁵	0,17	0,16	0,14	0,033
	Вакуум, 1·10 ⁻⁴	0,15	0,04–0,06	0,03	118

Результаты испытаний на воздухе покрытия ВНИИ НП-212 на основе MoS_2 показали, что оно обладает достаточно большой величиной коэффициента трения. Это вызвано наличием влаги в воздухе, которая ухудшает смазочные свойства MoS_2 . Различия в коэффициентах трения покрытия, полученных на двух типах испытательных узлов, объясняются различиями в коэффициенте взаимного перекрытия трущихся поверхностей.

Летный прибор ИТ с помощью специальной рамы был установлен на внешней части корпуса космического аппарата, предназначенного для запуска на орбиту Луны. К телеметрическому комплексу были присоединены два тензопреобразователя с подключенными к ним 9 тензобалками испытуемых узлов трения. Кроме этого, к телеметрической системе были подключены: электродвигатель привода, датчик для измерения давления внутри корпуса привода и четыре датчика для определения температуры на корпусе прибора ИТ и двух тензопреобразователях.

На протяжении 15 месяцев активного существования космического аппарата испытательные узлы трения с твердым смазочным покрытием прибора ИТ подвергались многофакторному воздействию окружающей среды дальнего космоса. За это время с прибором ИТ было проведено 18 сеансов связи. За указанный период суммарное время работы прибора составило 128 ч.

Первые секунды работы испытуемых узлов трения показали практически те же самые величины моментов трения, которые были получены на стартовой позиции. Через 1,5–2,0 мин испытаний узлы коэффициент трения составил для схемы вал-втулка 0,24–0,22, для схемы «диск – индентор» 0,16–0,15. К концу работы первого сеанса связи коэффициент трения снизился для схемы «вал – втулка» до 0,14–0,10, для схемы «диск – индентор» до 0,10–0,09.

Усредненные значения коэффициентов трения, полученные с орбиты вокруг Луны, представлены в табл. 2.

После 15-месячного пребывания в космическом пространстве прибор ИТ полностью сохра-

нил свою работоспособность, но сам космический аппарат исчерпал свой ресурс, и связь с ним прекратилась.

Сравнивая результаты наземных испытаний ТСП ВНИИ НП-212 в приборе ИТ с летными результатами, можно определить некоторые различия в коэффициенте трения и ресурсе. Меньший коэффициент трения получен с КА «Луна-22». Ресурс работы твердого смазочного покрытия в наземной вакуумной установке составил для узла «вал – втулка» 143 ч, для узла «диск – индентор» — 118 ч. Общее время работы прибора ИТ в условиях космоса составило 128 ч. За это время ресурс смазочного покрытия полностью не был исчерпан.

Несколько лучшие триботехнические характеристики ТСП ВНИИ НП-212, полученные с КА «Луна-22», можно объяснить тем, что наличие локальной собственной атмосферы в рабочей зоне трения является более благоприятным условием для трения при работе узла в космическом вакууме, чем в технологическом вакууме лабораторной установки. Кроме того, в космосе в условиях невесомости, оторвавшись от поверхности трения, частички износа MoS_2 в результате микрогравитации «облаком» окружают зону трения и некоторые из них повторно вовлекаются в процесс трения, улучшая тем самым смазку рабочих поверхностей как «закрытого», так и «открытого» узлов.

Эксперимент на Международной космической станции

Несмотря на значительные результаты, полученные при проведении исследований как на орбите, так и в наземных лабораториях, существуют определенные пробелы в современных представлениях о процессах трения и изнашивания в космосе. Новые возможности в этой области открылись с началом эксплуатации Международной космической станции (МКС). В рамках программы Союзного государства Россия – Беларусь планируется проведение на МКС испытаний перспективных антифрикционных и износостойких материалов космической техники.

Табл. 2

Коэффициенты трения на орбите вокруг Луны

Пара трения	Средние значения коэффициентов трения			
	при пуске	установившийся	через 10 ч работы	через 15 месяцев работы
Вал – втулка	0,24–0,27	0,12–0,14	0,10–0,12	0,03–0,04
Диск – индентор	0,16–0,18	0,09–0,10	0,07–0,08	0,02–0,03

Постановка этого эксперимента предусматривает решение целого комплекса задач, включающих создание испытательной аппаратуры, разработки новых материалов, наземных и бортовых методик испытаний [3–5].

Планируемый эксперимент отличает значительное расширение исследовательской программы по сравнению с предшествующими подобными испытаниями. Тем не менее, бортовые испытания ограничены как по времени, так и по числу регистрируемых параметров. Поэтому для увеличения объема информации предусматривается проведение серии имитационных наземных экспериментов с расширенной исследовательской программой. По ряду объективных причин, а также в силу того, что не все факторы космического пространства известны или могут быть промоделированы, имитационные испытания следует считать некоторым приближением бортовых. Поэтому достижение поставленных целей невозможно без решения задачи оценки эквивалентности бортовых и наземных экспериментов.

В триботехнике используются различные схемы проведения испытаний, отличающиеся геометрией контактирующих образцов и кинематикой

их взаимного движения. Выбор той или иной схемы определяется конструктивными и эксплуатационными параметрами узлов трения, в которых планируется использование испытуемых материалов. Обычно получение полного набора триботехнических характеристик требует проведения испытаний по различным схемам в широком диапазоне нагрузочно-скоростных параметров. К сожалению, при проведении космического эксперимента реализовать полнофакторные исследования невозможно. По этой причине при проектировании испытательного оборудования был использован ряд технических решений, существенно расширяющих его возможности по сравнению с традиционными наземными приборами.

Разработанные для реализации космического эксперимента приборы предназначены для проведения испытаний по двум геометрическим схемам контактирования образцов: «диск – палец» (индентор) и «вал – конформный вкладыш» (рис. 2, а, б). Как показал проведенный анализ, эти две схемы позволяют осуществлять моделирование большинства используемых в настоящее время узлов трения космической техники. Оба прибора имеют общую схему компоновки и близкие массогабаритными характеристиками.

На рис. 2, в приведена схема прибора (трибометра) для проведения испытаний по схеме «диск – палец». Испытуемый материал изготавливается в виде диска 1 или наносится в виде покрытия на него. С каждой стороны к диску прижимаются по три индентора 2, которые имеют плоскую или сферическую форму торцов. Требуемая нагрузка P создается упругими элементами 3, попарно соединяющими инденторы, расположенные на противоположных сторонах диска. Каждая пара инденторов находится на разных расстояниях от центра диска r . Значения нормальной нагрузки и возникающих при вращении диска сил трения регистрируются

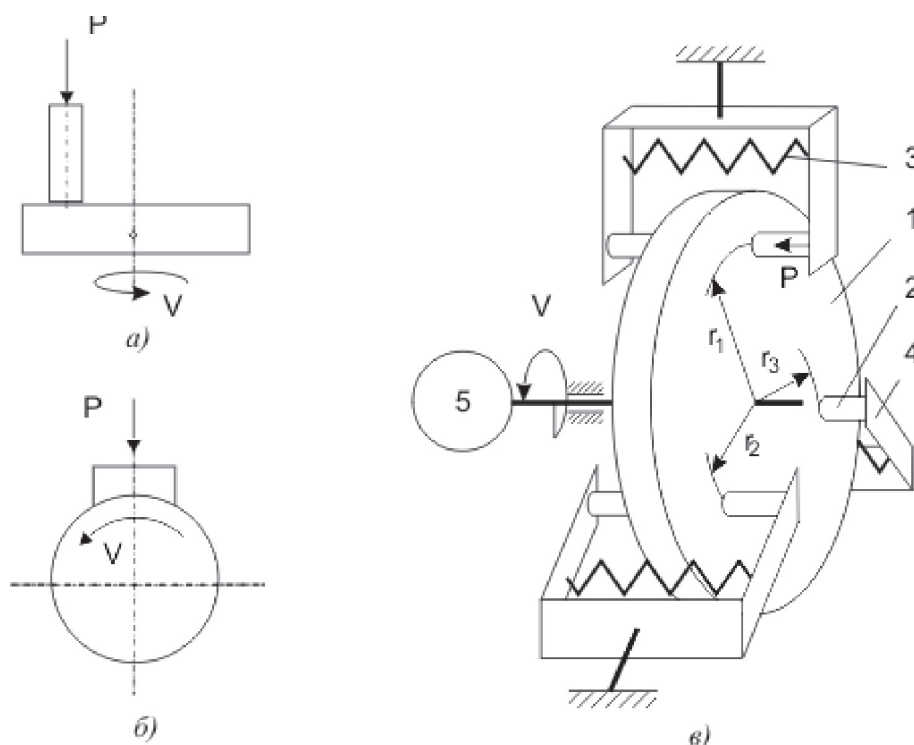


Рис. 2. Схемы испытаний материалов на трение и износ, используемые в космическом эксперименте:
 а — «диск – палец (индентор)»; б — «вал – конформный вкладыш»;
 в — кинематическая схема бортового трибометра

тензометрическими балками 4. Вращение диска 2 осуществляется двигателем 5.

Основной особенностью разработанных приборов является использование в них синхронного безколлекторного двигателя с возбуждением от редкоземельных постоянных магнитов и цифровым управлением, созданного в КБТЭМ-СО и ОИМ НАН Беларуси. Преимуществом данного типа привода является возможность реализации с его помощью нескольких схем и методик триботехнических испытаний, осуществление которых обычно требует применения различных по своей конструкции приборов. Привод обеспечивает работу прибора в условиях действия ФКП при температурах от 170 до 420 К и вакууме до 0,01 Па.

При проведении испытаний управляемыми параметрами являются: нагрузка P угловая скорость вращения ω ; угловая координата перемещений φ ; закономерность изменения ω и φ во времени t . В процессе проведения испытаний осуществляется контроль коэффициентов трения, температуры и износ каждого индентора.

Поскольку инденторы расположены на разных расстояниях от центра вращения диска 1 и к каждому из них может быть приложена различная нагрузка, то один эксперимент позволяет получить данные при трех различных значениях P и скоростях V для 6 видов испытываемых материалов.

Для постановки космического эксперимента по исследованию перспективных материалов узлов трения разработаны и изготовлены два типа

приборов бортовой трибометр и модуль подшипников скольжения (рис. 3, а, б). Первый из них в большей мере ориентирован на решение научных задач, а второй — для испытаний перспективных материалов узлов трения космической техники.

Приборы в ходе испытаний располагаются на наружной технологической площадке МКС. Данные передаются на Землю в режиме реального времени по телеметрическим каналам. Предусматривается, что в ходе эксперимента экипаж МКС периодически будет менять материалы и режимы испытаний.

Наземные испытания будут проводиться по двум схемам. Первая схема основана на максимальном приближении к условиям работы бортового трибометра — т. н. имитационные испытания в криовакуумной камере на идентичном бортовому приборе (рис. 2, б), а вторая предполагает проведение исследований в нормальных наземных условиях с помощью кинематического аналога бортового трибометра (рис. 2, в) и микро-трибометра (рис. 2, г), работающего в диапазоне нагрузок от 10 мН до 1 Н и скоростях скольжения 0,1–10 мм/с. Целью проведения наземных исследований является:

- расширение параметрической базы эксперимента, т. е. дополнение результатов космического эксперимента данными, полученными в ходе наземных испытаний;

- оценка влияния факторов космического пространства на триботехнические характеристики антифрикционных и износостойких материалов.

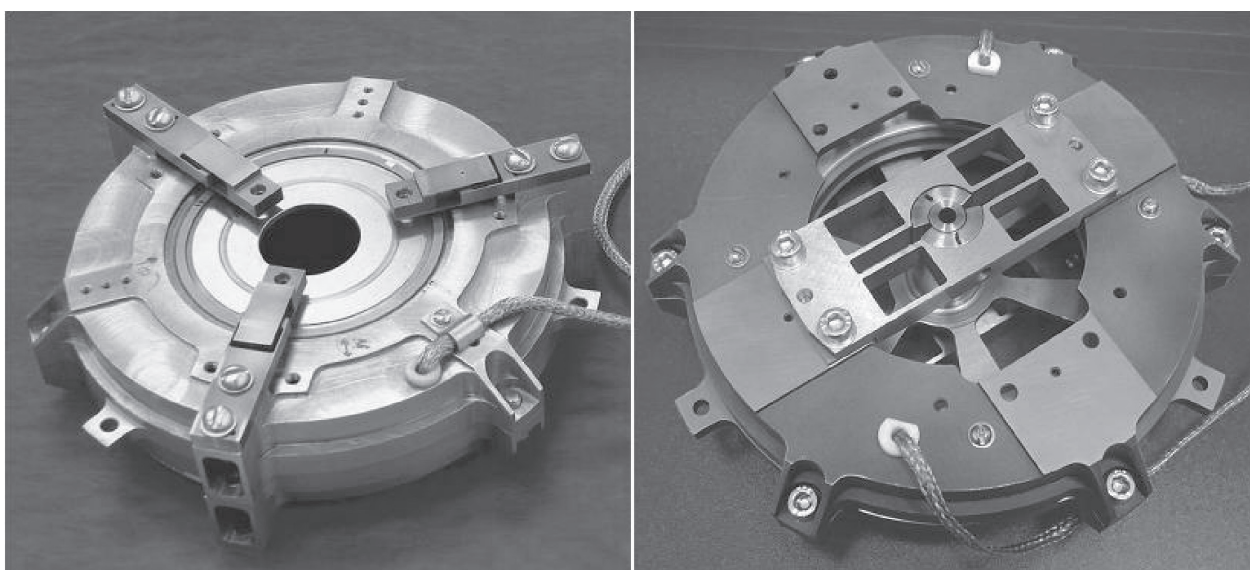


Рис. 3. Оборудование для проведения испытаний материалов на трение и износ: а — бортовой трибометр; б — модуль подшипников скольжения

Общая схема проведения эксперимента представлена на рис. 4. В соответствии с данной схемой, наземный эксперимент проводится по расширенной программе в условиях, идентичных бортовым испытаниям и нормальным физическим. Расширенная программа предусматривает реализацию полнофакторного эксперимента (при всех возможных нагрузочно-скоростных параметрах), регистрацию целого ряда дополнительных параметров (измерение раздельного износа диска и инденторов, трибоакустической эмиссии, работы выхода электронов и др.) и проведение постэкспериментальных исследований образцов, включающих изучение морфологии частиц износа и следов трения, микрорентгеноспектрального и рентгеноструктурного анализа и многих других современных методов изучения поверхностных слоев твердых тел.

При эквивалентности условий проведения наземных и бортовых испытаний это позволяет расширить параметрическую базу космического

эксперимента. Однако обеспечение такой эквивалентности подразумевает моделирование действия ФКП, контроль которых в полном объеме в ходе бортовых испытаний по техническим причинам невозможен. Таким образом, возникает задача обеспечения параметрической эквивалентности наземного эксперимента в условиях неполной информации об условиях проведения бортовых испытаний. Помимо обеспечения эквивалентности бортовых и имитационных наземных испытаний это позволит изучить влияние ФКП на механизмы трения и изнашивания, что в перспективе обеспечит создание материалов узлов космической техники с заданными свойствами и ресурсом работы на основе исследований в наземных лабораториях.

Для решения этой проблемы предлагается производить косвенную оценку параметров ФКП по результатам рассогласования имитационных и натуральных испытаний.

Полученные в ходе выполнения совместного

российско-белорусского проекта результаты могут быть использованы во многих других системах аэрокосмического, транспортного и машиностроительного назначения, работающих в экстремальных внешних условиях. В частности, в настоящее время ведутся работы по внедрению разработанных вспомогательных механизмов перспективного гибридного трактора «Беларус». В ходе разработки была создана теоретическая, технологическая и испытательная база, позволяющая проектировать подобные двигатели для работы в широком диапазоне мощностей и точности позиционирования, в частности, создан целый ряд компонентов мехатроники для координатных систем технологического оборудования (рис. 5).

В выполнении работы принимают участие це-

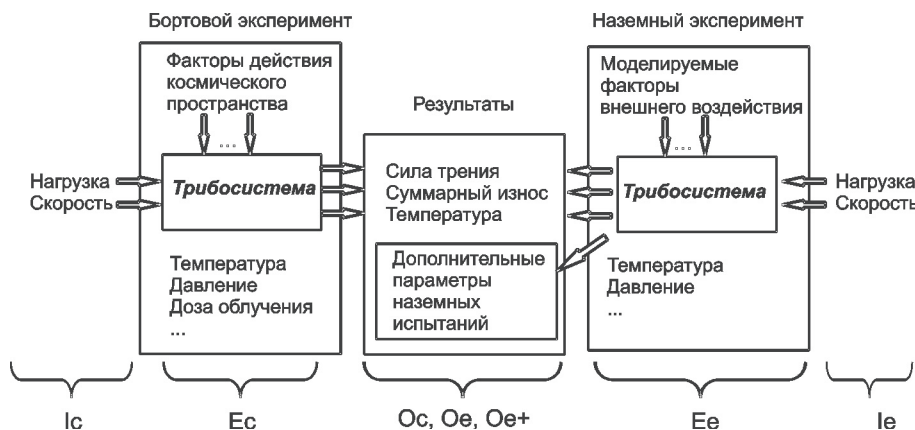


Рис. 4. Схема космического эксперимента по исследованию триботехнических свойств материалов: I_c , I_e — задаваемые параметры испытаний; E_c , E_e — внешние факторы воздействия;

O_c , O_e , O_e^+ — измеряемые параметры. Индексы «с», «е» относятся к бортовому и наземному экспериментам соответственно

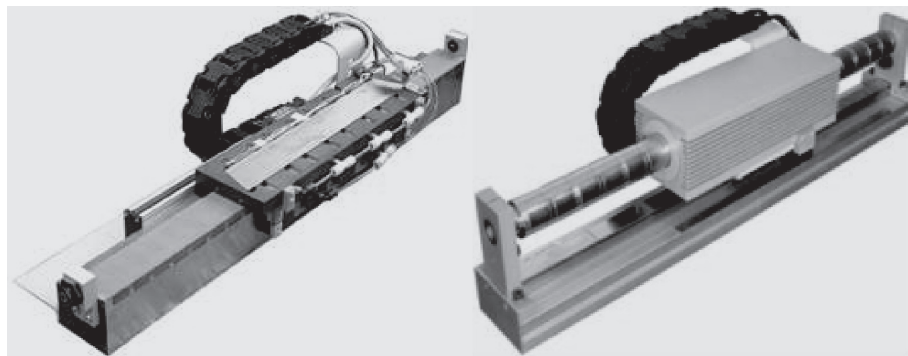


Рис. 5. Приводы линейного движения компонентов мехатроники

лый ряд учреждений Национальной академии наук и промышленных предприятий Беларуси: Институт механики металлополимерных систем, Объединенный институт машиностроения; «КБТМ СО», Физико-технический институт, Институт порошковой металлургии НАН Беларуси. Работа белорусской стороны выполняется в тесном сотрудничестве с организациями России: постановщиком космиче-

ского эксперимента — Центральным научно-исследовательским институтом машиностроения; разработчиком аппаратуры — Институтом проблем механики РАН; Научно-производственным объединением им. С.А. Лавочкина; Ракетно-космической корпорацией «Энергия» им. С.П. Королева; Научно-исследовательским институтом космических проблем им. А.А. Максимова.

Литература

1. Имитатор трения / Н.Е. Богорад [и др.] // Современные методы и средства измерения внешнего трения: сб. науч. трудов. — М.: НИИ ФТРИ, 1977. — С. 8–10.
2. Ярош, В.М. Исследование материалов на трение и износ в открытом космическом пространстве и на орбите вокруг Луны / В.М. Ярош, А.А. Моишев, М.А. Броневец // Трение и износ. — 2003. — Т. 24. — № 6. — С. 626–635.
3. Мышкин, Н.К. Разработка оборудования для выполнения космического эксперимента «Материал – Трение» / Н.К. Мышкин, А.Я. Григорьев, М.А. Броневец // Труды Второго белорусского космического конгресса; Минск, 25–27 окт. 2005 г. — С. 50–54.
4. Разработка материалов и покрытий для космической техники, экспериментального оборудования, методик и программного обеспечения для проведения триботехнических испытаний / Н.К. Мышкин [и др.] // Трение и износ. — 2004; спец. выпуск. — С. 4–27.
5. Наземные и бортовые испытания материалов на трение в космосе / Н.К. Мышкин [и др.] // Информатика, 2007. — № 3. — С. 41–50.

УДК: 544.022.342 + 544.022.344.2 + 544.032.6

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИАЦИОННЫХ ДЕФЕКТОВ В МЕТАЛЛАХ

С.Г. Псахье, К.П. Зольников, Д.С. Крыжевич, А.В. Корчуганов
Учреждение Российской академии наук Институт физики прочности
и материаловедения Сибирского отделения РАН
г. Томск, Россия

Введение

Эволюция структурных повреждений в материалах в условиях радиационного облучения представляет значительный интерес с точки зрения долговременных предсказаний изменений их механических свойств. Одним из основных проявлений радиационного воздействия на материал является генерация каскадов атомных смещений, что ведет к формированию структурных дефектов и изменению физико-механических свойств

материала. Отметим, что моделирование каскадов атомных смещений, анализ образующихся дефектов, изучение их эволюции и формирование относительно устойчивых радиационных дефектов, как правило, проводится для материалов с идеальной структурой [1–4]. Однако хорошо известно, что наличие протяженных границ раздела может оказать существенное воздействие на многие свойства материала [5, 6]. В частности, присутствие протяженных границ раздела, например

межзеренных, может оказать влияние не только на особенности зарождения радиационных дефектов, но и на характер их накопления и последующие процессы деградации механических свойств материала [7, 8].

В связи с вышесказанным в данной работе проведено молекулярно-динамическое моделирование влияния межзеренных границ на характер развития каскадов атомных смещений и формирование радиационных дефектов в кристаллитах ванадия. Для исследований были выбраны наклонные симметричные границы, отличающиеся между собой энергией. Выбор кристаллитов ванадия в качестве объекта исследования обусловлен тем, что сплавы на основе ванадия сегодня являются одними из наиболее перспективных в атомной энергетике. В рамках поставленной задачи изучалось влияние удаленности первично выбитого атома (ПВА) от границы зерна (ГЗ) на характер развития каскадов.

Формализм расчетов

Молекулярно динамические вычисления проводились на основе программы Lammmps, разработанной в Sandia National Laboratories министерства энергетики США, представленной на <http://lammmps.sandia.gov>. Для описания межатомного взаимодействия в кристаллитах ванадия был использован межатомный потенциал, рассчитанный в рамках приближения Финниса-Синклера (Finnis-Sinclair), предоставленный Менделевым М.И. и также представленный на <http://lammmps.sandia.gov>. Используемый потенциал был протестирован и показал достаточно высокую точность описания характеристик важных при моделировании каскадов атомных соударений, таких как параметр решетки, упругие модули, энергии образования и миграции точечных дефектов и т. д.

Моделируемые кристаллиты содержали наклонные симметричные границы двух типов: $\Sigma 13$ (320)[001] и $\Sigma 17$ (410)[001]. Выбор данных типов границ обусловлен тем, что наклонные симметричные границы в виду периодичности их структуры позволяют использовать периодические граничные условия. Отметим, что данные межзеренные границы строились по алгоритму, приведенному в работе [9].

Для моделирования каскадов атомных смещений в данной работе использовались периодические граничные условия. Выбор размера моделируемого кристаллита зависел от величины энергии ПВА. В настоящих расчетах число атомов в расчетной ячейке менялось от 65 000 (для значе-

ний энергии ПВА меньших 500 эВ) до 450 000 (для энергий ПВА больших 500 эВ).

В процессе моделирования, используя специальные средства визуализации, анализировалась эволюция зон повреждения с целью выявления возможного перекрытия различных частей каскада. Анализ был основан на общих соображениях о перекрытии частей каскада, поскольку до настоящего времени не существует однозначного критерия для определения каскадного перекрытия. Анализ поврежденности моделируемого кристаллита проводился с учетом количества пар Френкеля и заселенности кластеров, сформированных каскадом [2]. При моделировании каскадов атомных смещений точечные дефекты могут возникать в непосредственной близости друг от друга. Если расстояние между ближайшими точечными дефектами меньше некоторого порогового расстояния, то они считаются принадлежащими одному кластеру. В данной работе пороговое расстояние полагалось равным радиусу второй координационной сферы в идеальной решетке ванадия [2].

Каскады атомных смещений в идеальной решетке ванадия

Моделируемые кристаллиты ванадия перед генерацией в них каскадов атомных смещений, релаксировались при температуре 10 К. Сразу после инициирования ПВА в образце начинает развиваться «цепная» последовательность атомных смещений. Число смещенных атомов и размеры радиационно-поврежденной зоны растут одновременно до тех пор, пока энергия, переданная ПВА, не распределится по объему образца таким образом, что не останется атомов с энергией, превышающей энергию порогового смещения. Этот этап называется баллистическим и его окончание характеризуется достижением максимума числа дефектов, сформированных атомными смещениями. После этого начинается рекомбинационный этап (фаза релаксации), в течение которого число дефектов уменьшается до некоторой относительно стабильной величины, после которого только диффузионные процессы будут менять число и характер распределения дефектов в образце. Этот этап называется основным состоянием радиационного повреждения. Следует отметить, что кинетическая температура на стадии рекомбинации в области каскада достигает высоких значений, а ее максимальное значение называется температурным пиком.

Изменение числа дефектов в области каскада атомных смещений в кристаллите ванадия с

идеальной структурой в зависимости от времени представлены на рис. 1. Направление исходной скорости ПВА совпадало с кристаллографическим направлением [100].

Основными характеристиками баллистического этапа развития каскада являются: 1) максимальное значение числа генерируемых дефектов; 2) время достижения «пика» (максимального значения числа генерируемых дефектов); 3) объем области, в которой развился каскад; 4) плотность каскада (число дефектов на единицу объема каскадной области для времени «пика»). Все эти характеристики зависят от величины энергии ПВА.

Время «пик», как функция энергии каскада, приведена на рис. 2. Из рисунка видно, что зависимость данной величины замедляет свой рост с увеличением энергии ПВА. По-видимому такое поведение связано с расщеплением основного каскада на субкаскады, которые инициируются вторично выбитыми атомами с энергией меньшей, чем энергия ПВА. Эти вторично выбитые атомы формируют каскады с меньшими временами «пик», чем основной каскад, и, в целом, понижают «пиковое» время.

Максимальное количество дефектов в области каскада атомных смещений в зависимости от энергии ПВА приведено на рис. 3, а. Эта зависимость имеет практически линейный характер, при этом число дефектов в каскаде возрастает с возрастанием энергии каскада. В тоже время зависимость числа генерируемых дефектов в отрелаксированном кристаллите от энергии ПВА носит нелинейный характер (рис. 3, б). Уменьшение скорости роста кривой с увеличением энергии ПВА (рис. 3, б) может быть связана с расщеплением основного каскада на субкаскады.

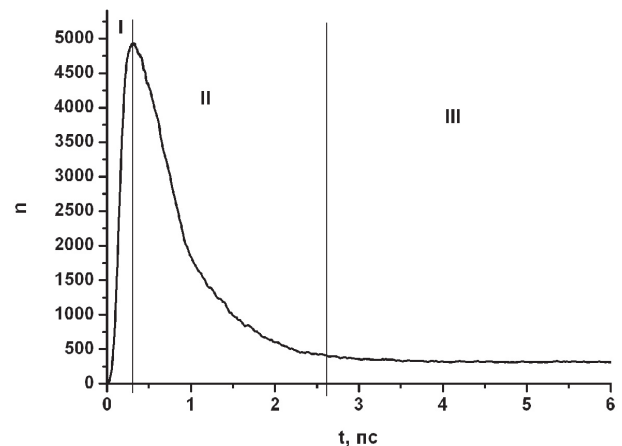


Рис. 1. Изменение числа точечных дефектов (n) от времени для энергии ПВА 10 кэВ. Баллистическая стадия развития каскада обозначена цифрой — I; рекомбинационная — II; основное состояние — III

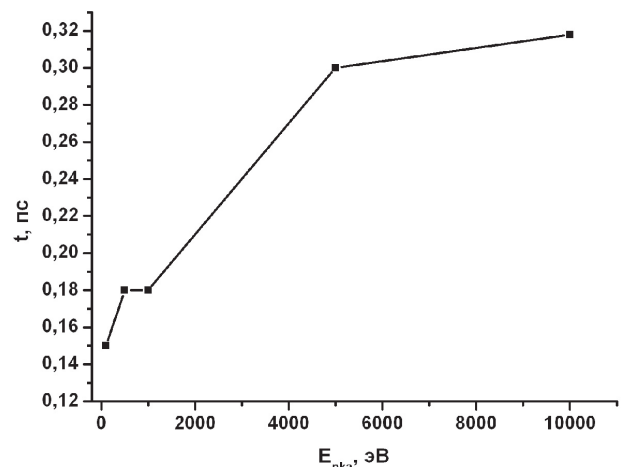


Рис. 2. Зависимость времени «пик» (t) от энергии ПВА (E_{pka})

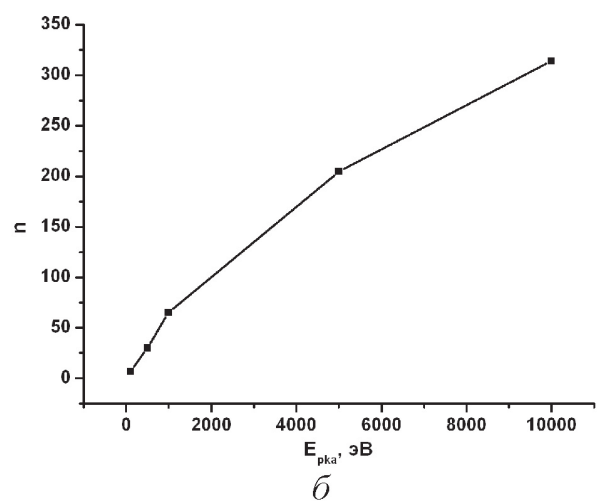
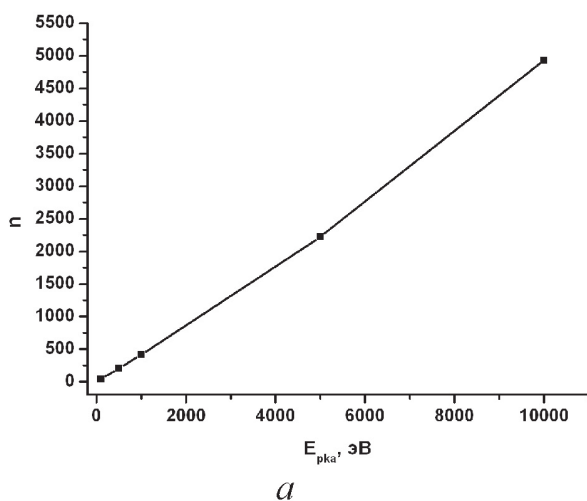


Рис. 3. Зависимость числа точечных дефектов (n) от энергии ПВА на: а — пике; б — на основном этапе

Влияние межзеренных границ на формирование атомных смещений в каскаде

Симметрично наклонные или двойниковые ГЗ, образующиеся из двух кристаллов с зеркально симметричной структурой, являются наиболее простыми среди всех межзеренных границ. В работе были протестированы несколько типов межзеренных границ. Наибольшей энергией характеризуются межзеренная граница (410) [001] $\Sigma 17$, а наименьшим значением E_{GB} межзеренная граница (320) [001] $\Sigma 13$. Поэтому именно эти две границы были выбраны для изучения влияния протяженных границ раздела на характер развития каскадов атомных смещений и последующее образование радиационно-поврежденных областей. Как правило, ширина межзеренной границы составляет несколько атомных слоев. Вследствие разупорядоченности этих слоев после релаксации многие физические свойства (тепловое расширение, электросопротивление, упругие модули и т. д.) вблизи межзеренной границы могут существенно отличаться от соответствующих объемных свойств и обладать высокой степенью анизотропии. Ширина межзеренной области может быть определена из расчетов изменения энергии атомной связи E_p в направлении перпендикулярном к плоскости границы зерна.

Развитие каскада атомных смещений начинается с момента времени, когда произошла генерация ПВА. Для того, чтобы выяснить влияние межзеренных границ на развитие каскадов, исследовалась удаленность ПВА от границы раздела. Энергия ПВА во всех случаях составляла 1 кэВ, а направление скорости ПВА выбиралось перпен-

дикулярным к плоскости границы. Расстояния от ПВА до плоскости межзеренной границы варьировались от 10 до 45 Å.

Особенности развития каскадов атомных смещений в материалах с границами раздела во многом схожи с аналогичными процессами в образцах с идеальной структурой. В частности, наибольшее количество дефектов в обоих случаях генерируется в первую половину пикосекунды (рис. 4). В этот интервал времени избыточная энергия ПВА передается моделируемому образцу, при этом его энергия испытывает наибольшие флуктуации. По истечении этого отрезка времени флуктуации энергии и число сгенерированных дефектов идут на убыль. Примерно через 3–4 пс число радиационных дефектов в материале стабилизируется.

Из рис. 4 видно, что характер изменения числа дефектов (число дефектов на пике, скорость спада кривых, число устойчивых дефектов на конечном этапе моделирования и соответствующие характерные времена) в образцах с различным типом межзеренных границ примерно одинаковы.

Рис. 5 показывает различные стадии развития моделируемых каскадов в кристаллитах ванадия с ГЗ $\Sigma 13$ для ПВА, удаленных от плоскости ГЗ на 18.1 Å. Начальная скорость ПВА совпадает с кристаллографическим направлением [320]. Расчеты показали, что большая часть атомных смещений, приводящих к формированию точечных дефектов, локализуется в области границы зерна. Отметим, что значительно меньшая часть точечных дефектов, включая стадию релаксации, проходит через межзеренную границу. Такое поведение каскада атомных смещений обусловлено

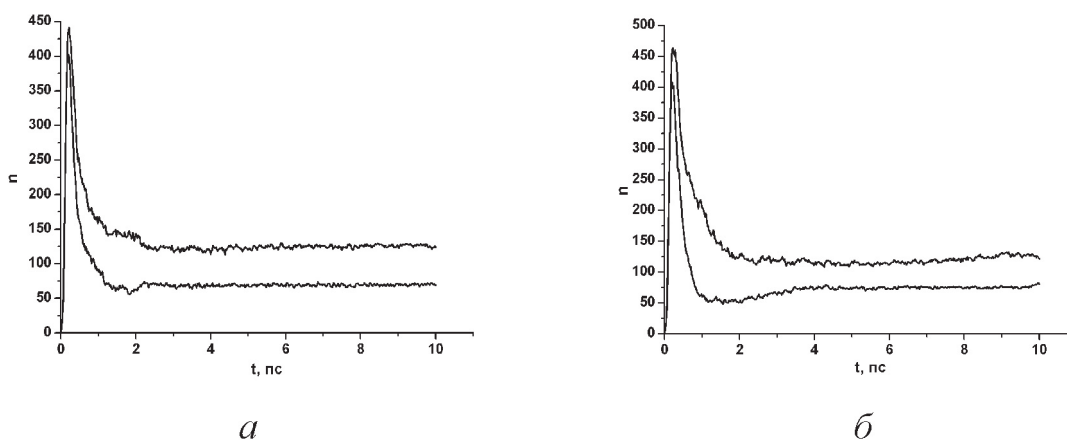


Рис. 4. Зависимость числа точечных дефектов (n) от времени. Образец с ГЗ $\Sigma 13$ (а); верхняя кривая соответствует ПВА, удаленному на расстояние 10.4 Å от ГЗ, нижняя кривая — на 31.6 Å. Образец с ГЗ $\Sigma 17$ (б); верхняя кривая соответствует ПВА, удаленному от ГЗ на расстояние 18.4 Å, нижняя кривая — на 38.7 Å

тем фактом, что в области границы зерна дефекты формируются как за счет атомных перестроек зернограничных атомов, так и за счет внедрения извне в эту область межузельных атомов. Для расстояния примерно 18 Å от ПВА до межзеренной границы почти 90 % сгенерированных дефектов лежит в области границы, тогда как при удаленности ПВА примерно на 38 Å число дефектов уменьшается до 55 % для обоих типов ГЗ.

Начиная с расстояний примерно 38 Å для удаленности ПВА от межзеренной границы, каскады атомных смещений практически не пересекают область межзеренной границы. Аналогичная картина наблюдается и для образца с межзеренной границей $\Sigma 17$.

Результаты расчетов показывают, что существует зависимость между числом устойчивых дефектов, сформированных на завершающем этапе релаксации, и удаленностью ПВА от межзеренной границы. Чем дальше ПВА удален от границы, тем меньше дефектов формируется в образце. По мере удаленности от границы их число стремится к величине характерной для материала с идеальной структурой.

Важной характеристикой радиационно-поврежденной зоны является количество сформированных в ней кластеров точечных дефектов. Кластером считается группа точечных дефектов, расстояние между ближайшими из которых не превосходит величину радиуса второй координационной сферы в идеальной решетке ванадия. Результаты расчетов показывают, что на этапе основного состояния в кристаллите формируется относительно малое число кластеров. Отметим, что значительную долю в общем количестве кластеров занимают кластеры из трех дефектов. Анализ этих кластеров показывает, что они представляют собой гантели, ориентированные вдоль кристаллографического направления [111]. Это характерно как для образцов с идеальной структурой, так и для образцов, содержащих межзеренную границу. Следует отметить, что для образцов с границей зерен на основной стадии развития каскада характерно формирование в зернограничной области одного или двух кластеров достаточно больших размеров. При этом чем ближе располагался ПВА к межзеренной границе, тем большего размера кластер в ней формировался.

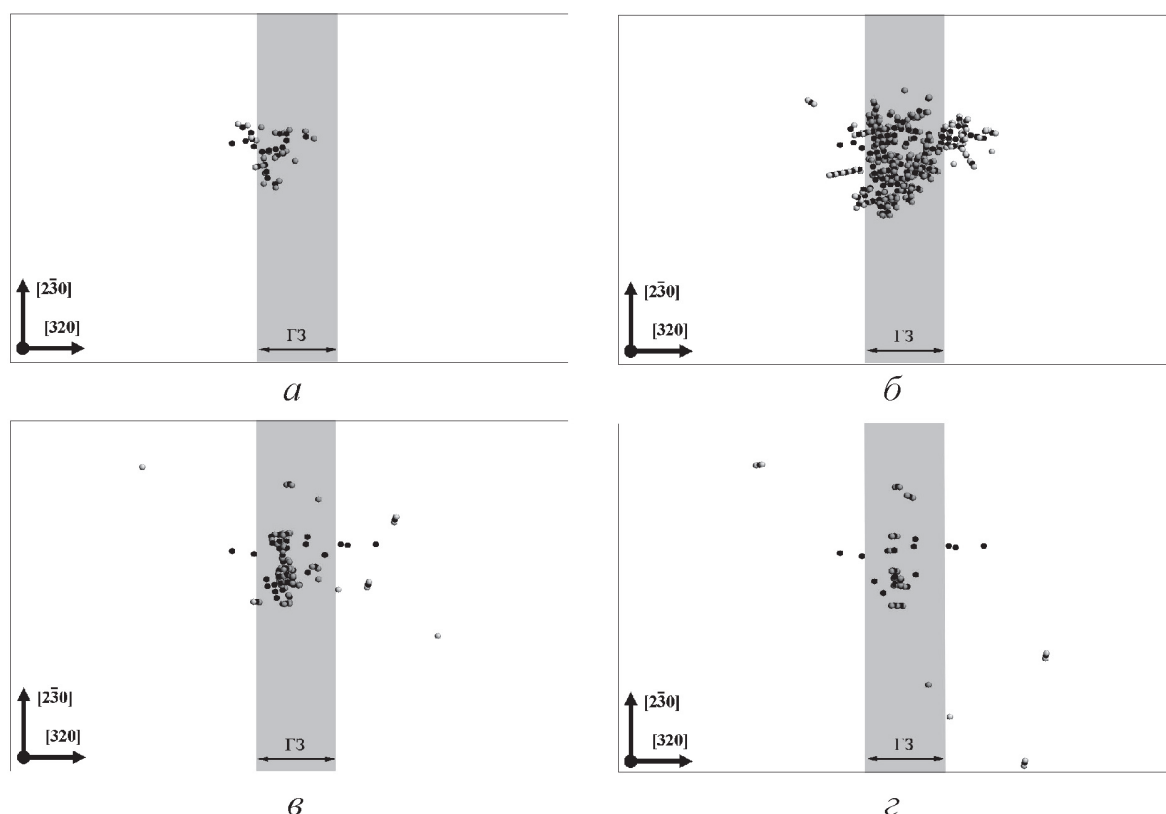


Рис. 5. Проекция дефектной структуры на плоскость (001) в различные моменты времени: а — 0,06 пс; б — 0,2 пс; в — 1 пс; г — 10 пс. Светлые кружки — вакансии, темные — межузельные атомы

Заключение

На основании проведенных исследований можно заключить, что наличие протяженных границ раздела в материалах оказывает существенное влияние на характер развития каскадов атомных смещений, возникающих при радиационном облучении. В частности, такие границы аккумулируют в своей области значительную долю радиационных дефектов, среди которых могут формироваться кластеры достаточно большого размера, и в значительной степени препятствуют распространению каскадов атомных смещений по другую сторону границы. По-видимому, для

каждой энергии ПВА существует некоторая пороговая величина его удаленности от границы раздела. Начиная с этого порогового расстояния и более него, граница раздела данного типа становится непроницаемым барьером на пути каскада атомных смещений, который генерируется ПВА с меньшей энергией.

Работа выполнена в рамках Программы фундаментальных исследований СО РАН, 2010–2012 гг., III.20.2. «Научные основы создания материалов и покрытий с неравновесными структурно-фазовыми состояниями на основе многоуровневого подхода» и при частичной финансовой поддержке проекта СО РАН № 51.

Литература

1. Simulation of damage production and accumulation in vanadium / E. Alonso [et. al.] // Journal of Nuclear Materials. — 2000. — V. 276. — P. 221–229.
2. Dependence of radiation damage accumulation in iron on underlying models of displacement cascades and subsequent defect migration / A. Souidi [et. al.] // Journal of Nuclear Materials. — 2006. — V. 355. — P. 89–103.
3. Computer simulation of displacement cascades and the defects they generate in metals / D.J. Bacon [et. al.] // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B. — 1999. — V. 153. — P. 87–98.
4. Osetsky, Yu.N. Defect cluster formation in displacement cascades in copper / Yu.N. Osetsky, D.J. Bacon // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B. — 2001. — V.180. — P. 85–90.
5. Javier Perez Perez, F. Modelling radiation defects at grain boundaries in bcc iron / F.Javier Perez Perez, Roger Smith // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B. — 1999. — V. 153. — P. 136–141.
6. Computer Simulation of Displacement Damage Cascade Formation near Sigma 5 Twist Boundary in Silver / K. Sugio [et. al.] // Journal of the Physical Society of Japan. — 1998. — V. 67 — No 3. — P. 882–889.
7. Влияние состояния границ размера зерен на механизмы ползучести субмикроструктурного никеля / Ю.П. Колобов [и др.] // Физика металлов и металловедение. — 2001. — Т. 91. — № 5. — С. 107–112.
8. Зернограничная диффузия и свойства наноструктурных материалов / Ю.П. Колобов [и др.]. — Новосибирск: Наука, 2001. — 231 с.
9. Suzuki, A. Atomistic Modeling of Point Defects and Diffusion in Copper Grain Boundaries / A. Suzuki, Y. Mishin // Interface science. — 2003. — V. 11. — No 1. — P. 131–148.

УЗНАЕМ, УЧИМСЯ И СОТРУДНИЧАЕМ С ЗАРУБЕЖНЫМИ ПАРТНЕРАМИ

Линчук И.В.

Инженер-преподаватель, г. Витебск.

(Продолжение. Начало см. в № 49)

Учеба

Боливарианская республика Венесуэла (БРВ) имеет довольно развитую нефтегазовую отрасль. Поскольку без квалифицированного персонала невозможны добыча, первичная обработка, транспортировка и вторичная переработка нефти и газа, инженерно-технический персонал и рабочие нефтегазовой отрасли регулярно повышают квалификацию. Специалисты получают первичное образование в профильных учреждениях образования не только в БРВ, но и за ее пределами, чаще всего в развитых европейских странах — Германии, Франции и др. Однако научно-технический прогресс постоянно заставляет нас обращаться ко все более высокопроизводительным, экономичным и экологичным технологиям и оборудованию. А значит, сохраняется необходимость постоянного дополнительного образования для инженеров и для обслуживающего персонала.

В 2008 г. ГИПК «ГАЗ-ИНСТИТУТ» — одно из авторитетных учреждений образования нашей республики, где обучают и повышают квалификацию слушателей, занятых в газовой промышленности, преимущественно по газоэнергетическим и газотехническим дисциплинам, — заключили контракт с компанией «PDVSA GAS», которая активно присутствует на рынке Венесуэлы и занимается вопросами нефти и газа (кстати, контракт в 2011 г. продлен). Совместный проект позволил организовать курсы обучения в различных городах Венесуэлы, и преимущественно в тех регионах, где наиболее

развита нефтегазовая промышленность, а также ведется строительство систем газоснабжения и газопотребления (имеется в виду природный газ) производственных объектов и жилого сектора. Тем самым слушатели получают возможность сразу после теоретического курса закрепить полученные знания на практике, т. е. на непосредственно действующих или строящихся объектах. Подобный подход к обучению наиболее целесообразен и экономически оправдан.

Аудиторные занятия (лекции, семинары, различные формы активного обучения) и экзамены проходят в учебных классах, укомплектованных жидкокристаллическими проекторами (ЖКП), персональными компьютерами, изучаемым оборудованием и, что немаловажно для таких стран, как Венесуэла, — кондиционерами. Дополнительно организованы места для инструктора-преподавателя и ассистента-переводчика. Обучение персонала, задействованного в нефте-



Выполнение письменного задания в учебном классе

газовой отрасли, проводится регулярно. Кроме руководителя курсов подготовкой и общим руководством учебного процесса занимаются заместитель руководителя, кураторы-организаторы (методисты), инструкторы-преподаватели, преподаватели из числа наиболее технически грамотных и опытных специалистов практиков.

Теоретические занятия начинаются в 7.30 или 8.00, а заканчиваются в 16.30 или 17.00. На обеденный перерыв отводится 1,5 ч.

Венесуэльцы любят учиться.

Большинство слушателей очень серьезно относятся к учебе: ведут конспекты, активно участвуют в ролевых играх, прилежно выполняют письменные задания, пробуют себя в роли педагога, чтобы закрепить пройденный материал, и не стесняются задавать вопросы. Наибольший интерес вызывают те занятия, на которых применяются формы активного обучения (мозаичная система, круглый стол, ролевая игра) или решаются практические задачи.

Для *практических и выездных занятий* заблаговременно подготавливается спецодежда, обувь, средства индивидуальной защиты, т. к. на производстве следует находиться в соответствующей экипировке. За обеспечением следят кураторы-организаторы и представители от производства. Непосредственно перед отъездом на объект слушатели инструктируются и дают им задания. Слушатели также получают питьевую воду, сок. Сбор назначают на раннее утро. Сопровождают группу, как правило, два человека — представитель офиса и охранник, а на производственном объекте — инженер по охране труда и технике безопасности либо один из



Проведение ролевой игры



Газорегуляторный пункт



Работа в газовом колодце



Измерение плотности сжиженного углеводородного газа



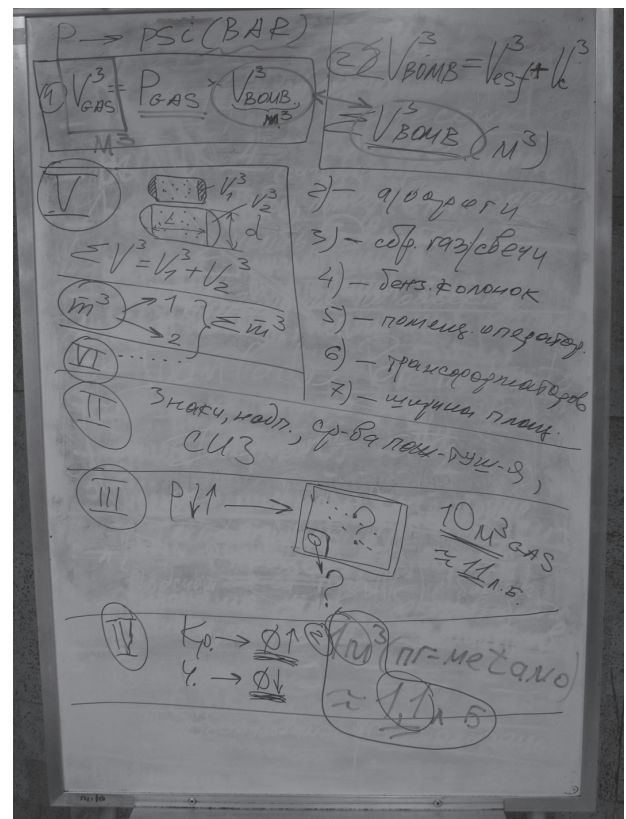
Знаки безопасности на автогазонаполнительной компрессорной станции (АГНКС)

руководителей. Прежде чем попасть на территорию объекта, слушатели, педагог-инструктор и переводчик в течение примерно часа проходят инструктаж. Практическое обучение проводится на нефтегазоперерабатывающих предприятиях; газораспределительных, газокomppressorных и газонаполнительных станциях; автогазозаправках; газоснабжающих емкостных установках сжиженного газа; строительстве объектов систем газоснабжения и газопотребления.

Работники предприятий охотно общаются с группами практикантов и представителями белорусской стороны. Интерес вызывает процесс организации работы на аналогичных белорусских предприятиях — нормы безопасности, ГОСТы, технологии.

На строительных площадках и производственных объектах при проведении работ постоянно присутствует бригада медицинских работников на спецавтомобиле.

Слушатели составляют отчеты после посещения каждого производственного объекта. Данный подход позволяет не только углубить и закрепить знания, но и наиболее качественно подготовиться к экзаменам.



Задания по объекту

Результаты учебного процесса отображают в специальной таблице, которую рисуют прямо на аудиторной доске. После завершения курса обучения на основании данных из таблицы составляют отчеты, после чего их направляют в офис руководству «PDVSA GAS».

На практических занятиях есть возможность ближе познакомиться с техникой, оборудованием, инструментами и приемами выполнения технологических операций. Достаточно часто встречается техника и оборудование из США, Китая, Германии, Франции, Италии и других стран: фрезерные агрегаты и траншеекопатели для формирования траншеи, трубогибы для труб больших диаметров на базе мощной дизельной техники, трубоукладчики, бульдозеры, краны, экскаваторы, бетономешалки, бетоноукладчики на базе мощных автомобилей. Используются и импортные, и собственного производства газопроводные полиэтиленовые трубы для наружного газопровода подземного исполнения. На некоторых газонаполнительных станциях сжиженного углеводородного газа встречаются газовые баллоны не только стальные, но и изготовленные из пластмассы (наружная часть) и композитных материалов (внутренняя часть), которые поставляют Венесуэле Португалия, Дания, Китай.

Построенные подземные газопроводы имеют своеобразную маркировку — непосредственно на забетонированной поверхности (над газопроводом) крепят металлические жетоны, на которых нанесено условное обозначение.

Венесуэльцы на объектах работают аккуратно, соблюдая требования технологии и техники безопасности.

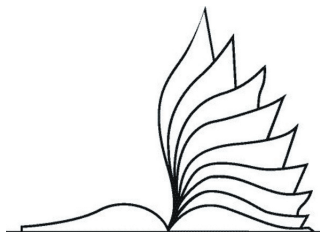
После завершения программного курса кураторы-организаторы иногда проводят анкети-

рование с целью получить информацию о пользе программы, доступности обучения, качестве преподавания, организации учебного процесса, особенно практических и выездных занятий. С нашей стороны проводится анкетирование в некоторых группах не только по вопросам учебы, но и по вопросам межнационального общения с целью дальнейшего укрепления связей и расширения сотрудничества и отношений между народами наших стран.



Траншеекопатель

НАЦИОНАЛЬНАЯ БИБЛИОТЕКА БЕЛАРУСИ



Национальная библиотека Беларуси, являясь особо ценным объектом культурного наследия белорусского народа, выполняет свою миссию — собирать, хранить и предоставлять в пользование обществу универсальный фонд документов, отражающих знания человечества и имеющих, прежде всего, отношение к Беларуси и ее национальным интересам.

В новом здании созданы все необходимые условия для сохранности уникальных фондов библиотеки, неисчислимы богатства которой вобрала в себя мудрость человеческой цивилизации. Сегодня Национальная библиотека Беларуси — главная библиотека страны, удовлетворяющая информационные потребности общества. С развитием современных информационных технологий на библиотеку возложены новые задачи и требования. В равной степени важно сохранять как электронные, так и печатные документы, чтобы не потерять наше культурное наследие в ущерб детям и внукам. Новая библиотека — современный информационный центр, осуществляющий формирование и эффективное использование информационных ресурсов, надежный инструмент информационного обеспечения всех сфер деятельности общества.

Национальная библиотека Беларуси выполняет также миссию социокультурного центра, предлагающего своим посетителям широкий спектр услуг в данной области.

Интеграция страны в общемировые информационные, инновационные и культурные процессы, содействие информатизации общества выводят библиотеку на качественно новый уровень информационного обеспечения интеллектуального потенциала общества.

В новом здании библиотеки 20 читальных залов, дифференцированных по разным признакам: с учетом образовательного уровня пользователей, отрасли знаний, вида документов. Залы рассчитаны

на 2 тыс. мест и размещены на трех этажах. Все они оснащены электронными кафедрами выдачи документов, современным оборудованием, позволяющим осуществлять сканирование и копирование документов, печать с электронных копий. В залах частично компьютеризированы рабочие места для пользователей.

Залы первого этажа библиотеки предназначены для массового читателя: общий читальный зал, зал специалистов с высшим образованием, залы периодических изданий, отдел межбиблиотечного абонемена и доставки документов.

На втором этаже расположены читальные залы, предназначенные для углубленной научной работы: зал белорусской литературы, зал диссертаций, научные читальные залы, зал докторов наук, зал правовой информации, зал документов международных организаций, зал малотиражной литературы. На этом же этаже находятся зал каталогов и картотек, зал информационно-справочного обслуживания, выставка новых поступлений и интернет-центр.

На третьем этаже размещены залы документов по искусству, зал нотных и аудиодокументов, зал рукописей, редких и старопечатных книг.

Большинство залов объединено в своеобразные комплексы, имеющие аванзал, где располагаются кафедры выдачи, стеллажи, закрытая часть подсобного фонда. Количество мест в зале зависит от профиля зала и потенциального потока посетителей. Самыми большими залами являются общий читальный зал и зал специалистов с высшим образованием.



Историческая справка

Национальная библиотека Беларуси (НББ) была основана Постановлением Совета Народных Комиссаров БССР от 15 сентября 1922 г. как Белорусская государственная и университетская библиотека. Она входила в состав Белорусского государственного университета (БГУ), но исполняла все функции главной библиотеки республики. Первым директором библиотеки стал Иосиф Бенцианович Симановский, возглавлявший ее почти 40 лет.

На момент открытия фонды библиотеки насчитывали всего 60 тыс. экземпляров, которыми пользовались 1,1 тыс. человек. Первым собственным зданием библиотеки стал Юбилейный дом (см. фото на обложке) на Захарьевской улице (сегодня это проспект Независимости). Но уже в 1926 г. 5,5 тыс. читателей могли воспользоваться 300-тысячным фондом, представлявшим собой крупнейшее универсальное библиотечное собрание по всем отраслям знаний и в первую очередь по белорусоведческой тематике. Постоянными пользователями библиотеки стали деятели искусства и науки БССР, представители государственных, партийных и общественных организаций. Библиотека становится деятельным участником культурно-национального строительства, процессов белорусизации, развития государственной структуры.

Такое расширение функций, рост фондов, увеличение читательской активности требовали изменения статуса библиотеки. Постановлением СНК БССР от 14 мая 1926 г. библиотека была выведена из состава БГУ и реорганизована в Белорусскую государственную библиотеку. Этим же постановлением библиотеке предоставлялось право открытия своих филиалов в городах страны. Областные филиалы, открытые в Витебске, Могилеве, Гомеле, а также при ДOME правительства в Минске, образовали систему крупных центральных публичных библиотек республики. В дальнейшем на их базе были организованы Правительственная (сейчас Президентская) и областные библиотеки.

В 1932 г. в связи с 10-летием библиотеке было присвоено имя В.И. Ленина. В тот же год библиотека получила новое здание (см. фото на обложке), ставшее ее лицом на следующие 70 лет. Автором проекта был ведущий белорусский архитектор Г. Лавров, предложивший интересное решение в модном тогда конструктивистском стиле. В составе библиотеки был организован Библиографический институт БССР.

На начало 1941 г. в фонде библиотеки было уже более 2 млн томов, количество читателей составляло 15 тыс. человек. Дальнейшее ее развитие было прервано Второй мировой войной. Боевые действия и три года оккупации практически полностью уничтожили библиотеку. После освобождения Минска из двухмиллионного фонда библиотеки уцелело только 320 тыс. экземпляров. Во время войны было уничтожено богатое специальное оборудование библиотеки. Сохранилось лишь здание, которое очень пострадало. Надо было создавать государственную библиотеку во второй раз за четверть века.

Еще в 1943 г. при эвакуированной Академии наук БССР в Москве была создана рабочая группа по формированию книжного фонда. Огромная помощь как в восстановлении фонда, так и в первоначальной его организации была оказана многими библиотеками союзных республик. В июле 1944 г. сразу после освобождения Минска было принято правительственное решение о восстановлении работы библиотеки, а в октябре 1944 г. открылись ее читальные залы.

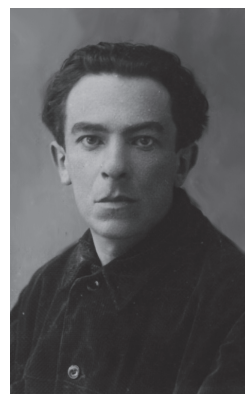
С весны 1945 г. начался систематический поиск вывезенных книг в Германии, Польше, Чехословакии, Венгрии. В 1947 г. фонды библиотеки были численно восстановлены и достигли довоенного уровня, хотя многие лакуны в них не удалось заполнить до сих пор.

Работа библиотеки в 1950–1980 гг. отмечена постоянным увеличением объема фондов, ростом числа читателей, развитием международных связей, организационными изменениями, отражающими новые функции библиотеки. В 1962 г. библиотека получила новый корпус на улице Кирова, который позволил на время решить хроническую проблему недостатка площадей для работы читателей и хранения фондов. В 1972 г. в связи с 50-летним юбилеем библиотека была награждена орденом Трудового Красного Знамени — высшей общественной и государственной наградой советского государства.

После обретения Республикой Беларусь государственной независимости и суверенитета библиотека возглавила библиотечную систему страны. Изменение ее статуса, повышение значимости в культурном и социальном развитии государства и нации отразилось в переименовании 19 мая 1992 г. Государственной библиотеки БССР имени В.И. Ленина в Национальную библиотеку Беларуси.

К этому времени возникла настоятельная необходимость строительства для библиотеки нового здания. Еще в 1989 г. был проведен международный конкурс на лучшее архитектурное решение здания. Победителем конкурса стал проект творческого коллектива М.К. Виноградова и В.В. Крамаренко, предложивших оригинальное сочетание функциональности и эффективности «белорусского алмаза». Проект был реализован только через 13 лет.

7 марта 2002 г. Президент Республики Беларусь А.Г. Лукашенко подписал Указ «О строительстве здания государственного учреждения «Национальная библиотека Беларуси»». Закладка фундамента нового здания библиотеки состоялась 1 ноября 2002 г.



*И.Б. Симановский —
первый директор
библиотеки (1926 г.)*

Комфортные условия для работы в читальных залах обеспечиваются специальным техническим оснащением: системой контроля микроклимата, освещением, оборудованием для комплексной работы с документами на носителях различных видов. В аванзалах предусмотрены условия для отдыха посетителей.

В библиотеке созданы условия для пользователей с ограниченными физическими возможностями, рабочие места для слабовидящих и слепых пользователей оснащены специальным оборудованием.

Современное состояние

Новое здание Национальной библиотеки Беларуси, в возведении которого принимала участие вся страна, открылось для пользователей 16 июня 2006 г. На церемонии торжественного открытия Президент Республики Беларусь А.Г. Лукашенко сказал: «Это уникальное здание сочетает строгую красоту современной архитектуры и новейшие научно-технические решения». Здесь предусмотрен широкий доступ к мировым информационным ресурсам, созданы условия для сохранения и использования научных и культурных достижений прошлого и настоящего, для работы, отдыха и проведения важных международных мероприятий. Национальная библиотека — воплощение мощи и процветания Родины, созидательной силы и энергии белорусского народа, один из главных интеллектуальных и культурных центров нашей страны. Сегодня Национальная библиотека Беларуси — уникальный архитектурно-строительный и программно-технический комплекс, построенный в соответствии с новейшими научно-техническими разработками и направленный на удовлетворение информационных и социокультурных потребностей общества.

Новое здание Национальной библиотеки Беларуси находится на главной транспортной магистрали столицы республики — проспекте Независимости — в уникальной ландшафтной зоне с особыми водной и парковой системами (см. фото на обложке). Перед его фасадом на небольшой площадке размещается отлитый из



Памятник Ф. Скорине

бронзы памятник белорусскому первопечатнику Франциску Скорине. Внешне здание напоминает приближенный к шару облицованный стеклом многогранник — «бриллиант», возвышающийся в центре 3-этажной подставки (стилобата). Форма здания символизирует собой ценность знаний и бесконечность познавательного мира (авторы архитектурного проекта — М.К. Виноградов и В.В. Крамаренко).

Основные параметры нового здания

- общая площадь здания — 113669 кв. м;
- в том числе фондохранилища — 54960 кв. м;
- строительный объем здания — 420558 куб. м;
- в том числе фондохранилища — 200580 куб. м;
- высота здания — 73,670 м;
- вместительность фондохранилища — 14 млн единиц хранения;
- количество читательских мест — 2000;
- количество читальных залов — 20;
- количество автоматизированных рабочих мест пользователей и персонала — более 1500.

Оснащение Центра международных встреч и переговоров на уровне глав государств и правительств специальной связью и многофункциональным современным оборудованием обеспечивает проведение крупных политических, культурных, образовательных мероприятий на высоком техническом и профессиональном уровнях.



Большое внимание уделяется в библиотеке экскурсионной деятельности. Особую популярность получили обзорные экскурсии, знакомящие посетителей непосредственно с новым зданием библиотеки и дающие наиболее полное представление о работе библиотеки, ее архитектурных особенностях, художественном оформлении, техническом уровне. На крыше библиотеки размещается обзорная площадка, куда посетителей доставляет панорамный лифт и где они могут любоваться прекрасными видами Минска.

Государственное учреждение «Национальная библиотека Беларуси» — современная библиотека, сочетающая функции информационного, социокультурного и социополитического центра. Новое здание библиотеки — визитная карточка нашей страны.

В состав социокультурного центра входят конференц-зал, комплекс художественных галерей, музей книги, обзорная площадка, физкультурно-оздоровительный комплекс, детская игровая комната, зоны рекреации.

В библиотеке проводятся культурные и образовательные акции с участием представителей дипломатических миссий, международных правительственных и общественных профессиональных организаций.

Одним из основных направлений деятельности социокультурного центра является экспозиционная деятельность галерейного комплекса, состоящего из 4 галерей — «Атриум», «Лабиринт», «Ракурс» и «Панорама». Наряду с художественными галереями важным элементом



Интернет-центр



Обзорная площадка



Детская игровая комната

социокультурного центра является музей книги, созданный с целью ознакомления посетителей с развитием белорусского книгопечатания в контексте мировой истории книги. Основное направление его деятельности — раскрытие посредством постоянных и временных экспозиций, экскурсионной и научно-исследовательской деятельности 70-тысячной книжной коллекции редких и старопечатных книг, знакомство посетителей с раритетами, хранящимися в библиотеке. Музей оснащен современным выставочным оборудованием. Специальная аппаратура позволяет поддерживать необходимую температуру и влажность в помещении.

Уникальные архитектурно-строительные и программно-технологические особенности нового здания библиотеки способствуют реализации ее миссии как социополитического и социокультурного центра. В соответствии с протоколом поручений Главы государства от 15 апреля 2005 г. на базе здания Национальной библиотеки Беларуси создан Центр международных встреч и переговоров на уровне глав государств и правительств, включающий Овальный и Круглый залы для международных заседаний, конференц-зал, международный пресс-центр. Важнейшей целью центра является организация и проведение международных переговоров, деловых встреч, конференций, симпозиумов и форумов политической, экономической и правовой тематики.

*Информация с официального сайта
Национальной библиотеки Беларуси,
<http://nlb.by>*

БИБЛИОТЕКА В БОЛЬШОМ ГОРОДЕ

Андрей Шаранов



New York
Public
Library

Уникальное собрание Нью-Йоркской публичной библиотеки доступно и ученым, и обывателям. Одно из крупнейших американских книгохранилищ существует во многом благодаря благодотворителям

Шел первый год моей жизни в Нью-Йорке. Ранним утром коллега вдруг вскрикнула, как падающая с обрыва Катерина из «Грозы» Островского, и выпорхнула вон из офиса. Я поспешил следом, подозревая, что пожар.

— Сегодня, оказывается, 15 апреля! — объяснила девушка на бегу причину паники. — Это последний день сдачи налоговой декларации!

Я испугался еще больше. Когда ты новичок в стране и мало что знаешь, опасность подстерегает повсюду. Вдруг меня за неуплату налогов вышлют из Штатов?

— В библиотеку! — решительно скомандовала забывчивая налогоплательщица.

Мы побежали по Бродвею. Оказалось, что в последний день подачи деклараций волонтеры налоговых служб, участники программы *VITA (Volunteer Income Tax Assistance)*, помогают гражданам отчитаться о доходах в городских библиотеках. Как, впрочем, и в главных почтовых отделениях города. Уж очень много американцев «тянут» с уплатой налогов в надежде избежать проверки. А в последнюю минуту не могут заполнить декларацию без ошибок.

Вход в библиотеку, как и в любое другое общественное здание города, свободный. Книжку без электронной «вы-

писки» вынести все равно невозможно: каждый томик снабжен меткой радиоэлектронного учета. Воротца на выходе непременно зазвонят...

— Нет, вам не надо... — сочувственно скрикнул консультант, узнав о скудном размере моего годового заработка. Я втиснул пустую налоговую форму обратно в стендовую ячейку. Рядом дождалась библиотекаря тележка сданных книг. Я вдруг заметил на одном из корешков русские буквы. Это был томик Фазиля Искандера. Оказалось, что в районной библиотеке в центре Манхэттена был шкаф книг на русском языке, как, впрочем, на китайском, французском и иврите.

Пока моя коллега уныло подсчитывала долг родине, я предъявил свои водительские права. И тотчас получил карточку читателя Нью-Йоркской публички, или *NYPL (New York Public Library)*, позволяющую помимо обычных книжек еще и загружать в свой компьютер электронные материалы библиотеки. Мне было особенно приятно обнаружить, что на карточке после иероглифов и арабской вязи значилось по-русски: «Библиотека».

Научная и публичная

В самом читающем городе Америки, Нью-Йорке, среди образованной публики распространено мнение, что чтение бумажных книг — это варварство. Ради них губят деревья, отравляют землю-

Лидеры

Большая пятерка

Помимо Нью-Йоркской публичной в пятерку крупнейших библиотек США входит, разумеется, и Библиотека Конгресса, чье собрание насчитывает свыше 32 миллионов каталогизированных изданий.

Интересно, что две другие крупнейшие библиотеки США расположены по соседству — это Бостонская публичная библиотека (22,3 миллиона изданий) и библиотека Гарвардского университета (16 миллионов изданий). Замыкает пятерку библиотека Йельского университета с 12,5 миллиона изданий.

Университетские собрания книг воистину стали костяком библиотечной системы Америки — вслед за уже упомянутой пятеркой следуют библиотеки Иллинойского, Калифорнийского, Колумбийского и Техасского университетов.

матушку ядовитыми типографскими красками. А таскать и хранить книжные тома тяжело, неудобно. Поэтому теперь народ не скупится на электронные читалки, покупает, скачивает новинки в цифровом формате. Несмотря на то, что стоят они ненамного дешевле бумажных версий. В нью-йоркском метро, по моим подсчетам, по дороге с работы всяческие киндлы и айпады, то есть устройства для чтения от разных фирм, читает или слушает уже примерно каждый двадцатый. Но вот парадокс — в прошлом году число посетителей научных центров *NYPL* подскочило на 20%, а оборот книг — на 12. По статистике за год ее районные отделения посещают более 16 миллионов человек, научные — 2,4 миллиона. Иными словами, сюда приходит больше людей, чем во все другие культурные учреждения Нью-Йорка, вместе взятые. Конечно, в период роста безработицы у людей больше свободного времени. Но дело, наверное, еще и в том, что *NYPL*, как и другие американские учреждения культуры, пытается переосмыслить свою роль в компьютеризированном мире. И измениться, чтобы выжить.

Такой знаменитой организации, как Нью-Йоркская публичная библиотека, проще простого надуться гордостью и лишь «хранить богатые культурные традиции». Да и трудно меняться огромному организму. Ведь это четвертая по величине научная библиотека мира (после Библиотеки Конгресса США, Британской библиотеки и Парижской национальной библиотеки) с фондом в 20 миллионов одних только книг, основанная еще в 1895 году. А с учетом периодики, рукописей, CD-DVD, нот, микрофильмов и предметов изобразительного искусства здесь содержится свыше 50 миллионов единиц хранения. *NYPL* — огромная сеть из 86 районных, 4 центральных, 4 специализированных библиотек (по социальным наукам, театру, истории чернокожей Америки, а также экономике и бизнесу). Кроме того, существует еще и отдельный филиал аудиокниг и книг, набранных шрифтом Брайля, — в дополнение к тому, что, согласно федеральному закону об американцах с физическими недостатками, многие филиалы *NYPL* оборудованы увеличителями компьютерных экранов, программными речевыми синтезаторами и текстотелефонами для слабослышащих.



Отдел картографии в главном здании NYPL не только один из самых крупных (430000 карт и 20000 книг и атласов), но и самых красивых в мире

В США, как и во многих других странах, существует четкое разграничение двух видов библиотек. Исследовательские предназначены для студентов и ученых, публичные — для широкого круга читателей. Фонды первых обычно намного богаче и разнообразнее, чем собрания публичек, но в них не найти бестселлеров популярных авторов, самоучителей или глянцевого издания. *NYPL* же благодаря договору благотворителей и городских властей стала уникальным «гибридом».

Ее главное отличие от других крупных книгохранилищ мира, таких как, например, Библиотека Конгресса (в Вашингтоне), заключается в том, что это библиотека не только для академических исследователей, но и для простых горожан с их каждодневными нуждами и интересами. Она до сих пор обслуживает три из пяти районов Большого Нью-Йорка — Манхэттен, Бронкс и Стейтен-Айленд (Квинс и Бруклин сохраняют отдельные библиотечные сети). Содержащий 8 миллионов названий интернет-каталог (<http://catalog.nypl.org/>), как и исследовательский каталог (www.nypl.org/collections) с его 14 миллионами книг позволяют любому пользователю по ключевому слову мгновенно «запеленговать» нужное издание в фондах библиотеки. Обладатели библиотечной карточки могут взять до 50 книг на срок до трех недель. И даже попросить, чтобы заказ привезли в филиал, расположенный поближе к дому. А потом в случае необходимости продлить срок пользования на сайте. Вернуть книжки или DVD можно в любом филиале *NYPL*.

Набирает обороты и электронная библиотека — читатели могут скачивать на определенный срок любую книжку, выходящую в мире (самой популярной из них остается «Девушка с татуировкой дракона» Стига Ларссона). Благодаря Интернету, читатели *NYPL*, используя номер карточки и пароль, могут в удаленном доступе не только «пролистать» базы данных тысяч оцифрованных газет, журналов и энциклопедий, но и прочитать любую книгу, вышедшую в мире. А цифровая библиотека изображений *NYPL* <http://digitalgallery.nypl.org/nypldigital/>, состоящая из более 700000 «картинок», еще в 2005 году была названа журналом «Тайм» в числе 50 самых интересных веб-страничек мира. Библиотека своими силами оцифровывает около 50000 наименований в год и участвует в проекте *Google Books Library Project*, в рамках которого коллекции главных книгохранилищ мира бесплатно выставляются в Интернете.

Благодаря благотворителям

Секрет мобильности и чуткости *NYPL* к веяниям времени — в ее истории. В отличие от большинства крупных библиотек мира, ее создало и содержит не государство, а жители Города (именно так и с большой буквы — *The City* — называют американцы Манхэттен).

С середины XIX века в Нью-Йорке уже работали две библиотеки. Первая (исследовательская, не выдававшая книжки на дом) была создана в 1849 году на благотворительные 400000 долларов Джона Астора. Он приехал в Новый Свет из Германии нищим, нажил состояние на торговле пушниной и недвижимостью и умер самым богатым человеком Америки своего времени (в нынешних деньгах его состояние оценивалось бы в 120–130 миллиардов долларов). Вторая, по сути, была коллекцией раритетов, оставленной городу библиофилом-миллионером Джеймсом Леноксом (хотя изучать ее редкие книжки, не выходя из здания, можно было бесплатно, для посещения библиотеки нужно было взять специальный билет).

В 1886 году мрачный затворник-холостяк Сэмюэл Тилден, бывший губернатор штата Нью-Йорк и кандидат Демократической партии на выборах президента США 1876 года, завещал 2,4 миллиона долларов на строительство бесплатной библиотеки с читальным залом. Сумма эта с учетом инфляции составила бы сегодня около 56,5 миллиона долларов.

Адвокат и душеприказчик Тилдена Джон Бигелю предложил руководителям двух городских библиотек объединиться в сеть. Библиотеки Астора и Ленокса к тому времени испытывали

финансовые трудности, удержать их на плаву по отдельности становилось все сложнее. В мае 1895 года книгохранилища наконец договорились и образовали Нью-Йоркскую публичную библиотеку. Спустя шесть лет она слилась с Бесплатной абонементной библиотекой города, финансируемой из городских налогов.

И владельцы огромных состояний, и простые американские граждане никогда не скупались на благотворительность. В 1901 году благодаря пятимиллионному пожертвованию стального магната Эндрю Карнеги и договору с мэрией *NYPL* взяла на себя управление 39 карнегиевскими филиалами общедоступной городской библиотеки (всего на деньги Карнеги в мире построено около 3000 библиотек). А 10 лет спустя на перекрестке 5-й авеню и 42-й стрит, где пустовал резервуар городского водопровода, появилось главное здание *NYPL*. Строили его 9 лет. Два года ушло лишь на то, чтобы 500 рабочих разобрали водохранилище. Зато архитекторы Джон Каррере и Томас Хастингс возвели одну из жемчужин Нью-Йорка, шедевр в стиле *Beaux-Arts* и одно из крупнейших в США строений из мрамора.

Читальный зал *NYPL* шириной 24 м и длиной 90 м с расписным потолком высотой 16 метров поражает своим величием. А расположившиеся у входа львы из разового теннессийского мрамора, созданные скульптором Эдвардом Поттером, стали символом не только библиотеки, но и самого Нью-Йорка. Возле них, а то и на них, любят фотографироваться дети и туристы. Львов этих во время парадов во что только не одевали.

Сначала ньюйоркцы дали им имена в честь создателей основных фондов — «Лео Астор» и «Лео Ленокс». Но во времена Великой депрессии мэр Нью-Йорка Фьорелло Ла Гвардия предложил переименовать их в «Терпение» и «Стойкость». Новые имена прижились.



Лев у входа в библиотеку

При открытии главного здания Нью-Йоркской публички 23 мая 1911 года на книжных полках читателей ожидало свыше миллиона книг. На следующий день сюда пришли более 30000 человек. А первой выданной книгой оказалось издание на иностранном языке. Русском. Это было сочинение Николая Грота, посвященное сравнению философии Льва Толстого и Фридриха Ницше, «Нравственные идеалы нашего времени», которое неизвестный читатель получил через шесть минут после заказа. Сегодня фонды библиотеки прирастают примерно на 10000 томов в неделю. Районные филиалы покупают книги централизованно, у продавца *Baker and Taylor*, своеобразного *Amazon* для библиотек. Научные отделы накопили связи в своих областях и приобретают интересные издания по специализированным каталогам.

Закрытый отдел

Полистать самые древние и ценные раритеты может каждый, в том числе и иностранец, предварительно заполнив коротенькую анкету на сайте библиотеки и получив приглашение на определенный день. В читальный зал редких книг можно заходить только с ноутбуком и карандашом, даже листочки для заметок выдаст библиотекарь. Местная служба безопасности, кстати, обладает правом ареста наравне с полицией. Впрочем, никаких беспорядков, кроме эвакуации из-за забытой кем-то сумки, здесь не припоминают.

Коллекция редких книг английской и американской литературы, подаренная в 1940 году хирургом Альбертом Бергом, разрослась сегодня до 30000 книг, а также нескольких тысяч литературных архивов более чем 400 писателей, включая Вальтера Скотта, Роберта Бернса, Джорджа Байрона, Перси Биша Шелли, Роберта Льюиса Стивенсона. Особенно здесь гордятся привезенным из Швейцарии личным архивом классика американской литературы, которого мы знаем как классика русской литературы, — Владимира Набокова. Отдел рукописей хранит свыше 3000 частных архивов с документами начала XVIII — конца XX века, в том числе бумаги Вашингтона Ирвинга, Уолта Уитмена, Генри Джеймса, Марка Твена.

Собрание Уильяма Спенсера, утонувшего в 1912 году вместе с «Титаником», содержит иллюстрированные издания со всего мира — от японских свитков и индийских миниатюр до альбомов скульптур эпохи Возрождения. В отделе редких книг хранится свыше 130000 раритетов, включая

Место для избранных

Тайная комната

С 1958 года в главном здании Нью-Йоркской публично библиотеки находится секретная, вечно запертая комната, ключ от которой выдается лишь избранным. Доступ в нее разрешен в течение года 40–50 труженикам пера. Комната, названная в честь историка Фредерика Аллена, предназначена для... писательского уединения. В ее девяти кубиках трудятся писатели, получившие на год возможность творить в тишине и покое. Однако избранные отшельники нередко жалуются, что их коллеги в разгар рабочего дня... громко храпят.

«Космографию» Клавдия Птолемея 1482 года, книги и атласы известных путешественников капитана Джона Смита, Джеймса Кука, исследователей Луизианы Меривезера Льюиса и Уильяма Кларка. Кроме того, в столетней истории библиотеки отчетливо прослеживается увлекательный русский след. Если в 1854 году в собрании Астора хранилось около 40 томов на венгерском и некоторых славянских языках, то столетие спустя славяно-балтийский отдел библиотеки превратился в крупнейшее общедоступное собрание русских книг и предметов искусства Западного полушария (одних только книг свыше 300000). В «русский читальный зал» прилежный читатель Николай Бухарин привел своего соратника Льва Троцкого, который, как мне рассказали, провел три месяца «во-он за тем столиком у окна» перед возвращением в Петроград в 1917 году. А почти четверть века спустя сюда подавал свое резюме, надеясь найти работу в Нью-Йорке, Владимир Набоков. После революции с помощью Владимира Маяковского и Алексея Крученых была создана уникальная коллекция книг, журналов, плакатов и рукописей русского авангарда (преимущественно футуристов и конструктивистов). Не жалели денег на материалы о современном искусстве, благодаря чему появилась коллекция эскизов, фотографий, театральных программ, книг и журналов о дягилевском балете, включая рабочую записную книжку Сергея Дягилева. В то же время советское правительство за бесценно продавало музейные ценности на Запад. Так в *NYPL* попали тысячи книг из Зимнего дворца и Царского Села. Только из библиотеки великого князя Владимира Александровича удалось приобрести, а по сути спасти 2200 томов и рукописных журналов, включая богато иллюстрированные военные и географические издания XVIII и XIX веков.



Благодаря широкому остеклению пять этажей открытого в 2006 году центра NYPL в Бронксе большую часть дня освещаются солнечным светом, сводя к минимуму затраты электроэнергии. Спецпокрытие крыши не дает зданию сильно нагреваться, а воздушные «экономайзеры» позволяют охладить его без использования кондиционеров. Одной из первых зеленых библиотек мира Совет зеленых зданий США присвоил серебряный статус

Серьезный ответ на курьезный вопрос

Трудятся в библиотеке около 3500 человек. Зарплата у них хоть и не нищенская — от 35000 до 60000 долларов в год, но семью на нее в Манхэттене тянуть сложно.

А ведь еще и долг за образование в колледже надо выплачивать, что составляет не один десяток тысяч долларов. Так что нередко за библиотечной стойкой остаются работать истинные подвижники.

За прошлый год сайт www.nypl.org посетили 29 миллионов человек. Главная, на мой взгляд, приманка — это возможность напрямую спросить библиотекаря о чем угодно в разделе Ask NYPL 24 часа в сутки, 7 дней в неделю, из любой точки мира, зная только английский или испанский.

Что произойдет с населением Земли, если вдруг взорвется Луна? Какой номер телефона самый старый в Нью-Йорке? Использовалось ли когда-нибудь человеческое грудное молоко в кулинарных рецептах? Это, по свидетельству интернет-ответчика NYPL Ника, реальные вопросы, которые ему недавно задавали. И на все эти вопросы граждане получили ответы.

Услуга «Спроси NYPL» появилась в 1968 году, тогда на вопросы любопытных читателей отвечали по телефону. Но и сегодня в библиотеку можно позвонить по номеру 917-275-6975 (в лю-

бой день, кроме воскресенья), чтобы спросить о чем угодно. Курьезные и серьезные вопросы с ответами опубликованы в справочнике Барбары Берлинер «Книга ответов: самые необычные и забавные вопросы телефонной службе Нью-Йоркской публичной библиотеки» (*Barbara Berliner. «Book of Answers: The New York Public Library Telephone Reference Service's Most Unusual and Entertaining Questions». Fireside, 1992*). А для любителей интересных фактов есть и другая книга: «Настольного справочника Нью-Йоркской публичной библиотеки» (*«The New York Public Library Desk Reference». MacMillan Reference, 1998*) продано уже свыше миллиона экземпляров.

Борьба за бюджет

Как и большинство американских учреждений культуры, NYPL — не-профитная, то есть не получающая прибыли, организация. Управляет ею совет директоров. Вот уже 17 лет библиотекой руководит Пол ЛеКлерк, видный исследователь творчества Вольтера, возглавлявший до NYPL Хантер-колледж, старейший колледж Нью-Йоркского университета.

Работа районных библиотек Нью-Йорка на 80 % оплачивается из городского бюджета, немного добавляют штат Нью-Йорк и федеральное правительство. Расходы на сеть районных библиотек NYFL составляют 186 миллионов долларов в год. А вот с ее научными центрами картина чуть иная: город, штат и федеральное казначейство берут на себя только треть расходов, достигших в прошлом году 177 миллионов долларов. Прямые пожертвования покрывают четверть затрат, остальные деньги поступают из доходов от биржевых акций, переданных в дар благотворителями. При этом 80–85 % всего бюджета тратится на зарплату персонала и только 7–9 % на покупку новых книг. Остальные деньги идут на зарплату руководства, рекламные кампании и ремонт многочисленных зданий.

Недавний финансовый кризис вынудил руководство NYPL к решительным действиям. Ценой отчаянной борьбы после многочисленных кампаний протеста с привлечением читателей библиотеке удалось добиться сохранения ассигнований от городских властей. Сокращение средств, поступающих из городского бюджета, составило за

последние два года лишь 7 %. Однако на 2011 год город планирует урезать финансирование почти на четверть. Библиотеке уже пришлось сократить штат — славяно-балтийский и азиатский отделы были соединены с отделом редких книг. За 59 миллионов долларов пришлось продать расположенную в центре Манхэттена библиотеку Доннелла, на месте которой построят гостиницу, и даже выставить сокровища из запасников на аукцион *Sotheby's*, в том числе два портрета Джорджа Вашингтона кисти основоположника американской портретной школы Гилберта Стюарта (1755–1828). За один из них анонимный покупатель не пожалел 8 миллионов долларов. Случилась и «продажа» иного рода: главное здание библиотеки назвали именем финансового магната Стивена Шварцмана, пожертвовавшего *NYPL* в 2008 году 100 миллионов долларов — самое крупное благотворительное пожертвование в области культуры за всю историю Нью-Йорка.

Впрочем, без частной поддержки библиотека уже давно бы зачахла. В одном только списке дарителей, передавших библиотеке в 2009 году больше пяти миллионов долларов, 14 имен и названий корпораций, а от миллиона до пяти — 21 даритель.

В авангарде

На вызовы времени библиотека ответила «встречным ударом» — амбициозным пятилетним планом перестройки стоимостью в 1,2 миллиарда долларов. С помощью известного британского архитектора Нормана Фостера западное крыло главного здания, где прежде хранились редкие книги, будет перестроено под читальные залы, что позволит почти в три раза увеличить ежегодное число посетителей: с 1,2 миллиона до 3,5 миллиона. А фонд редких книг переведут в подземный «город-хранилище» под парком Брайант. На севере Манхэттена и Стейтен-Айленда возведут «осевые» корпуса, своеобразные региональные библиотечные центры. Оцифруют и сделают доступным онлайн большинство фондов. Кроме того, *NYPL* уже сейчас использует новейшие технологии. В 2009 году местные библиотекари вручную отсортировали 11 миллионов книг. Теперь же этим занята специальная машина.



Отдел гравюр NYPL содержит более 200000 гравюр, а также 15000 томов по истории книгопечатания

В новом техническом центре недавно был открыт самый большой в мире компьютеризированный автомат-конвейер стоимостью 2,3 миллиона долларов, который сортирует 7500 томов в час. В роли городского культурного центра библиотека чуть ли не ежемесячно проводит крупные выставки и семинары. Тематика выставок разнообразна: от истории Гарлема до нью-йоркской индустрии моды, от Библии Гутенберга до истории Винни-Пуха и его друзей. Только на занятия о том, как быстро и эффективно найти работу, составлять резюме и проходить собеседования, в прошлом году пришли 25000 ньюйоркцев. В специализированном Отделении науки, промышленности и бизнеса учат инвестировать в ценные бумаги, составлять бизнес-план, искать данные о компаниях, в которых можно найти работу.

Президент *NYPL* ЛеКлерк недавно заметил: «В современном мире нет другого культурного центра, который бы затрагивал жизнь людей так непосредственно, как Нью-Йоркская публичная библиотека».

Вполне очевидно, что сегодня все библиотеки мира стоят на распутье. Какими они станут в недалеком будущем? Музеями печатной книги или моллами-универсами по выдаче информации? Нью-Йоркская публичка явно стремится соответствовать вызову современности — и благодаря этому остаться не только нужной, но жизненно необходимой своим читателям и Большому Городу.

*Из журнала «Вокруг света»
№ 2 (2845), февраль 2011*

ИЗ СТУДЕНТОВ-НЕДОУЧЕК — В ГЛАВНЫЕ КОНСТРУКТОРЫ

Часть вторая

Клеванец Ю.В.

Некоторые сведения из истории авиации

Игорь Сикорский начал заниматься летательными аппаратами как раз в то время, когда в истории авиации происходила своя «смена эпох»: конструирование методом максимального подражания птицам и летучим мышам сменилось так называемым «искусством конструирования». Соответственно летательные аппараты «птеродактили» постепенно вытеснились аппаратами «этажерками». Вадим Шавров, конструктор и историк авиации, определяет это время словами: в те годы студенты-практики знали дело лучше маститых авторитетов. Он же приводит и такую фразу из начала XX в.: самолет — не машина, рассчитать его нельзя.

Какие же события предопределили эту самую смену эпох?

Во-первых, в городе Дюрен в Германии в 1909 г. был получен новый сплав алюминия и меди, который был назван «дюралюминий». Одновременно также ходило название «дуралюминий» от латинского слова *dura* — «твердый», «крепкий», «суровый». Этот последний термин в нашей стране не прижился из-за нехороших ассоциаций. Между прочим, одним из первых, кто стал применять дюраль в конструкции самолетов, стал наш знакомый Борис Луцкой.

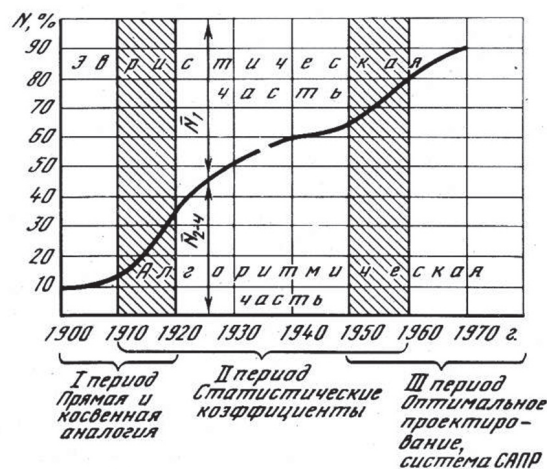
Во-вторых, во Франции в том же году был получен раствор целлюлозы в ацетоне — «эмалит», который до сегодняшнего дня применяется в авиационной промышленности как компонент красок и лаков для пропитки матерчатых обтяжек и так далее.

Еще одно, может быть, не столь определяющее, но тем не менее важное событие 1909 г. произошло в Германии: уже известный нам Борис Луцкой построил там аппарат, который назвал «геликоплан». Это был вертолето-самолет — то,

что сейчас называют «конвертоплан». Оси винтов этого аппарата могли качаться в вертикальной плоскости, что должно было, по идее, обеспечивать возможность взлетать без разбега и вести себя в полете «по-самолетному». «Геликоплан» Луцкого был первой машиной подобного типа в мире и первым летательным аппаратом, оснащенным двумя моторами. На испытаниях он смог только оторваться от земли.

Надо заметить, что до сего дня конвертопланы так и остались исследовательскими машинами, ни одного серийного образца так и не построено. Слишком сложной оказывается всякий раз на практике механическая часть и непредсказуемо поведение аппарата на «промежуточных» режимах полета (то есть когда винты переустанавливаются из горизонтального положения в вертикальное и наоборот).

Определяющими и концептуальными событиями был отмечен и следующий 1910 г.



Изменение характера процесса проектирования самолетов

Таблица удельного веса «вдохновения» и «науки» в разные годы при проектировании самолетов

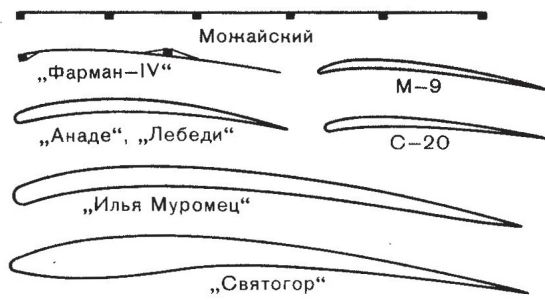
В этом году в Германии была напечатана работа Н.Е. Жуковского «О контурах поддерживающих поверхностей аэропланов». Автор доказывал, что крыльевые выпукло-вогнутые профили («контуры» по тогдашней терминологии), что применялись в начале XX в. на всех аэропланах во всем мире, отнюдь не самые лучшие как с точки зрения практики постройки самолетов, так и по аэродинамическим характеристикам. На самом деле выпукло-вогнутый профиль, как правило, не скоростной, при повышении скорости набегающего потока на нем повышается вероятность срывов. Кроме того, крыло («поддерживающая поверхность») с таким профилем нетехнологично, особенно при деревянно-матерчатых конструкциях. Тканевая обшивка на нижней, вогнутой поверхности такого крыла провисает и постоянно стремится оторваться. В крыле с выпукло-вогнутым профилем из-за малой строительной высоты сложно располагать силовые элементы — лонжероны. Такое крыло требует дополнительных усилений — растяжек или подкосов, особенно для деревянных самолетов.

Конечно, плоско-выпуклые профили, предложенные Жуковским и используемые и по сей день в значительной части конструкций самолетов, куда как лучше.

Тем не менее, выпукло-вогнутые профили крыла, «подсмотренные» у птиц, еще несколько лет владели умами конструкторов. Работа Жуковского не нашла никаких откликов, никакого интереса в России, пришлось ее печатать в Германии. Немцы и были первыми, кто применил на практике выводы Жуковского уже в Первую мировую войну.

В настоящее время выпукло-вогнутые профили применяются только на дельтапланах и летающих моделях самолетов.

В том же 1910 г. была впервые передана радиограмма с борта самолета (пилотом был американец Дж. Мак Криди).



Примеры крыльевых профилей самолетов начала XX в. Заметно, что со временем они становятся все более «плоскими» и более «толстыми» (самолет Можайского — XIX в., «Святогор» — самолет 1916 г.)

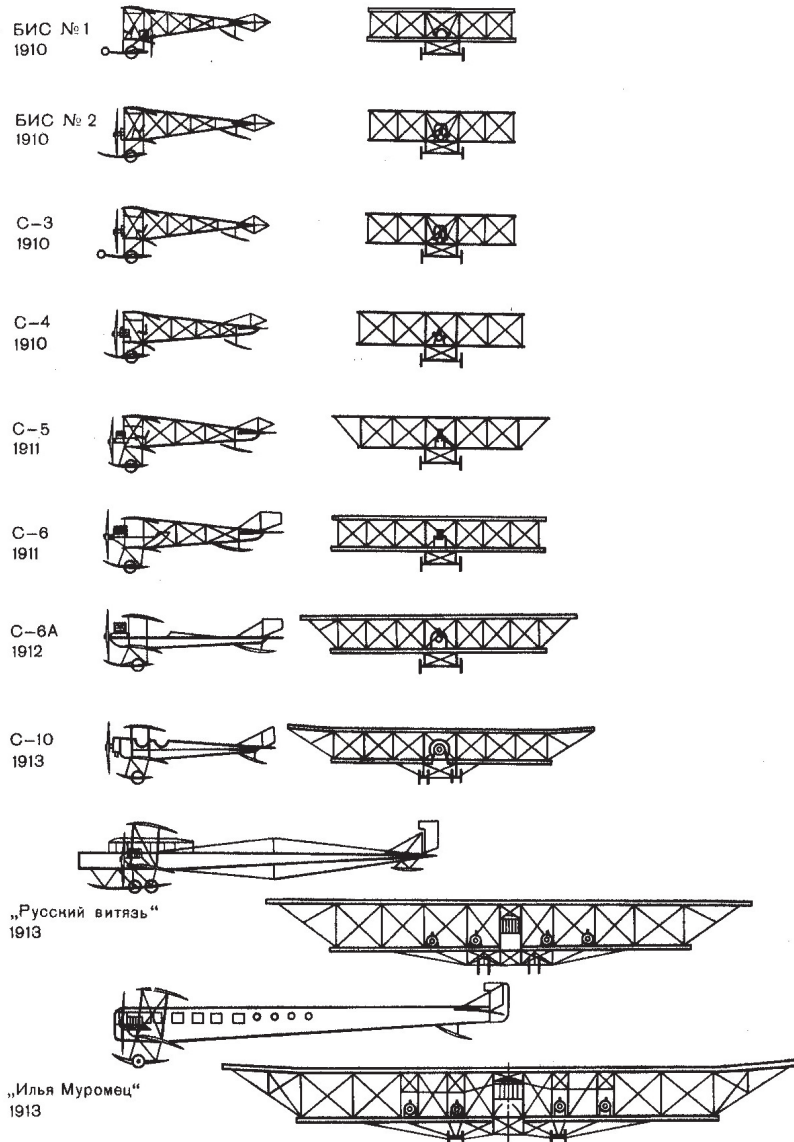


Таблица развития «семейства» самолетов Сикорского — от простого к сложному

Тогда же А.В. Школин в России и Б.Г. Луцкой в Германии провели первые удачные эксперименты с установкой на самолет винта изменяемого шага.

В следующем 1911 г. Борисом Николаевичем Юрьевым была предложена классическая схема вертолета с автоматом перекоса (о нем здесь уже говорилось) и рулевым винтом. Тогда же произошло первое применение авиации на войне — во время конфликта Италии и Турции в Северной Африке.

Борис Луцкой «отметился» и в 1912 г.: он построил самый большой самолет в мире — с двумя моторами на крыле. Тем самым была проторена дорожка для героя нашего рассказа.

Несколько фактов развития авиационной науки.

В 1904 г. на средства миллионера Рябушинского была открыта многопрофильная аэродинамическая лаборатория в селе Кучине под Москвой.

В 1909 г. начали действовать лаборатории Эйфеля в Париже, Прандтля в Геттингене и в Москве — в Высшем техническом училище. Вот, пожалуй, и все основные события, которые определили путь развития авиации на последующие 20–30 лет.

К изделиям мирового уровня

Но вернемся к герою нашего очерка. Впрочем, надо сразу сказать, что наш герой не обладал геройской внешностью. Отнюдь не статная фигура, простонародное лицо, ранняя лысина... Абсолютно неинтересный человек. Этот совсем еще молодой парень «из богатеньких» — а как известно, то ли на них природа отдыхает, то ли они отдыхают на природе — совершенно выбивается из своей среды. Он не посещает скачек, он не бывает в театре, он не крутит романов. Он строит самолеты. Строит, облетывает, переделывает, снова строит. Изо дня в день, не обращая внимания ни на погоду, ни на пору года. И писать-то о нем особо не разгонишься. Получается что-то телеграфное. Построил. Облетал. Поломал. Отремонтировал. Переделал. И все. Никаких развлечений, никакой личной жизни.

Итак, весной-летом 1911 г. Игорь Сикорский напряженно работает над постройкой и доводкой своего пятого самолета — такого, который не стыдно было бы показать царю, а затем, возможно, и поставлять для нужд армии.

По сравнению с С-4 на новом самолете был сильно увеличен размах верхнего крыла. Для обеспечения жесткости крыльевой коробки был введен силовой подкос, работавший на растяжение и на сжатие. Управление сделано по общепринятым нормам, т. е. движения в плоскостях

тангажа и крена обеспечивалось штурвалом, а повороты по курсу — педалями (на предыдущих самолетах вместо штурвала использовались рычаги). Двигатель «Аргус» в 50 л. с. Под него были изготовлены два вида радиаторов.

12 мая состоялся первый уверенный полет продолжительностью в 25 с на расстояние в 600 м. Через пять дней — первый полет по кругу продолжительностью 3 мин. Через месяц Игорь уже выполнял на своем самолете пикирование и восьмерки на высоте 300 м. В городе от такого зрелища останавливались трамваи. 30 июня были зафиксированы точные данные по прохождению мерного участка с четкими фотографиями. Это позволило переградуировать обыкновенный анемометр в спидометр. На самолете было установлено сиденье для пассажира (снятое с велосипеда) и фотоаппарат. 30 июля Сикорский впервые в стране провез пассажира по кругу (далее слово «впервые» мы будем писать все чаще). И уже перед самыми маневрами 18 августа был установлен еще один всероссийский рекорд — полет продолжительностью 36 мин.

Между тем, в августе для наблюдения за маневрами приехал Двор и делегация правительства во главе с премьер-министром Столыпиным. Здесь же, в киевском оперном театре, Столыпин и был убит...

Впервые в истории русской армии в маневрах должны были участвовать две «официальные» аэропланноты — одна работала на «своих», а вторая — на «чужих».

26 августа Сикорский сдал экзамен на право быть пилотом перед членами Российского императорского аэроклуба и получил свидетельство за № 64. Вместе со свидетельством ему вручили официальное приглашение к участию в маневрах наряду с военными летчиками. Первый «боевой» вылет бы совершен 31 августа. В этот день на аэроплане Сикорского было установлено 4 всероссийских рекорда: высота полета 500 м, дальность — 85 км, скорость 125 км/ч и время в пути 52 мин. Аппарат С-5 вышел на тот уровень, на котором можно было конкурировать с иностранными самолетами. Ими и были вооружены авиационные части русской армии. Аэроплан Сикорского был предоставлен в распоряжение офицеров-пилотов для заключения о возможности закупки.

Надежды конструктора опять не оправдались: отзывы были отрицательными. По-видимому, это было следствием того, что офицеры имели побочный бизнес, лоббируя закупки аппаратов иностранных фирм.

Однако при заключительном построении войск, участвовавших в маневрах, «Государь император изволил заметить Сикорского и всемилоостивийше удостоил его разговором» (так писали тогда в газетах).

Беседа имела свои положительные следствия. На «фирме» Сикорского сразу прибавилось заказов. Мастерская резко увеличила производство винтов и радиаторов под двигатели водяного охлаждения. Самолет С-5 был признан Всероссийским аэроклубом достижением в масштабе всей страны, а его конструктор через полгода после маневров был награжден медалью Императорского технического общества. Впрочем, долги все равно росли, как снежный ком. Отец конструктора уже подумывал закладывать дом.

Осенью того же 1911 г. в Киеве прошла так называемая «Авиационная неделя», что-то вроде шоу и соревнований, где выступали самодельные авиаторы-спортсмены. По итогам «недели» Сикорский разделил первое место с графом Кампо-Сципио, летавшем на «Моране», что было подтверждением выхода киевского конструктора на мировой уровень в деле создания самолетов.

Несколько поправив за призовые финансовое положение своей фирмы, осенью 1911 г. Игорь Сикорский с помощью Луцкого покупает двигатель «Аргус» мощностью в 100 л. с. (заметим в скобках: если французские производители сами старались продать свои моторы, то у немцев их нужно было «доставать», помощь Луцкого в этом деле была весьма полезной).

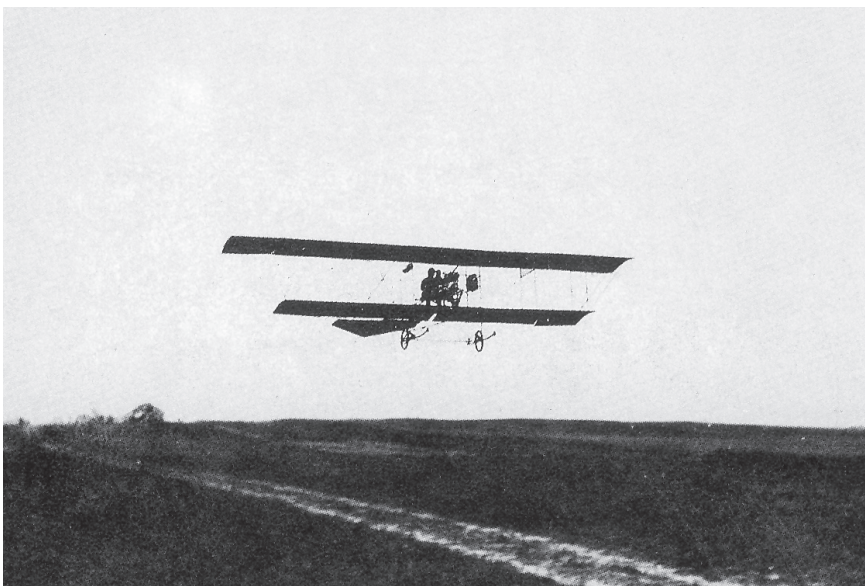


Рис. 4. Взлетает самолет С-5

Еще раньше, в августе, началось проектирование еще более крупного самолета — трехместного биплана С-6. Цель постройки была прежней — добиться заказа от армии.

Экипаж на С-6 помещался в гондole, выклеенной из фанеры. Сразу за мотором было место механика, за ним сидел наблюдатель (аппарат, еще раз повторю, предназначался для армии, а военные тогда считали наиважнейшей задачей авиации разведку), последним был пилот.

Крылья имели больший размах, чем у С-5 и соответственно соединялись уже четырьмя парами стоек-поперечин.

Для пропитки обшивок использовался новый состав: первый слой — разогретый мебельный мездровый клей в смеси с олифой, а поверх после высыхания первого слоя наносился слой копалового лака (этот лак производился из природных ископаемых смол, которые добывались в Африке и Южной Америке). Радиатор был выполнен в виде алюминиевой трубы и подвешивался под верхним брусом фермы фюзеляжа. Диски колес со спицами закрывались колпаками.

29 декабря 1911 г. С-6 совершил первый полет. В последующих полетах он вышел на новый российский рекорд: с тремя человеками на борту показал скорость в 111 км/ч. Однако конструктор уже хотел большего. После некоторых раздумий и экспериментов он решил переделать аппарат. Было изготовлено новое верхнее крыло еще большего размаха и с подкосами, а вместо фюзеляжной фермы был изготовлен нормальный фюзеляж из фанеры. Под фюзеляжем крепилась труба радиатора. Надо заметить:

решение по облагораживанию аэродинамических форм было совершенно правильным: чем крупнее самолет, тем выше при прочих равных условиях должно быть аэродинамическое качество.

В кабине было установлено богатое по тем временам приборное оборудование. Это указатель крена (V-образная стеклянная трубка с катающимся в ней стальным шариком), спидометр (переградуированный анемометр), тахометр, компас.

Самолет, названный С-6А, совершил первый полет 10 марта 1912 г. С тремя чле-

нами экипажа была показана скорость 120 км/ч, посадочная скорость была 60 км/ч.

Дадим комментарий. Разница между посадочной и максимальной скоростями самолетов считается важным показателем качества проектирования. Чем больше эта разница, тем меньше напрягается пилот во время полета, тем больше у него возможностей парировать разнообразные возмущения, например — порывы встречного ветра. На первых аэропланах эта разница была незначительной, у самолетов искуснейших «мэтров» 1930-х гг. максимальная скорость в четыре раза превышала посадочную. По этому показателю самолет С-6А был в числе передовых в мире для своего времени.

14 марта было зафиксировано уже мировое достижение: самолет провез 5 человек (3 в кабине и 2 на крыле, общая масса 410 кг) со скоростью 108 км/ч.

Подводя черту под киевским периодом творчества Сикорского следует сказать, что он, как и прежде, строил самолеты для своих товарищей по институту или помогал в постройке. Заметен исследовательский момент в этой части работ авиационного гения: самолеты студентов Былинкина, уже упоминавшегося здесь, Карпеки и Фрейнмана подобны первым конструкциям самого Сикорского, но под другие двигатели и с некоторыми изменениями в конструкции. Игорь, по-видимому, пытался методом проб нащупать путь для своего дальнейшего движения. Так, за основу аппаратов Былинкина и Карпеки был взят С-3. На самолете Былинкина двигатель остался на месте, т. е. спереди, но был развернут на 180°. Длинный полый вал, проходящий под сиденьем пилота, соединял его с толкающим винтом. По-видимому, таким образом была сделана попытка избежать цепляния винтом земли при посадке — это во-первых. А во-вторых, предполагалось ис-

ключить придавливание пилота двигателем при аварии (такие случаи на самолетах с толкающим винтом тогда бывали).

На самолете, сделанном для Александра Карпеки, фюзеляжная ферма, характерная для всех первых аэропланов Сикорского, была повернута на 90°. Руль направления, таким образом, крепился к поперечине этой фермы, а стабилизатор — на верхних брусках ее.

Самолет Фрейнмана представлял собой переделанный моноплан БиС-2. Вместо показавших себя ненадежными интерцепторов, он был оснащен нормальными элеронами. Вообще говоря, старую и хорошую идею установки интерцепторов на крыло удалось реализовать только после Второй мировой войны, в частности на стратегическом бомбардировщике Б-52. До того никак не удавалось справиться с особенностью такого вида управления по крену: запаздыванием реакции на управляющее движение штурвала или ручки.

Замечу еще, что в 1970-х гг. в Московском авиационном институте был построен самолет «Квант» с интерцепторами, который считался спортивно-пилотажной машиной. Проблема с запаздыванием реакции в управлении по крену на этом самолете была снята полностью.

Еще несколько слов нужно сказать о студенте Александре Карпеке. Он показал себя весьма способным инженером и организатором, сам был автором нескольких конструкций самолетов. Правда, особой оригинальностью творчество конструктора Карпеки не отличалось: он был в плену идей Сикорского.

Вообще говоря, Киевское общество воздухоплавания вошло в историю Российской и мировой авиации: на его счету несколько рекордов, более 30 конструкций самолетов, вертолетов и даже один дирижабль «Киев».

Продолжение следует