



## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

**ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР А. Л. ГУСЕВ**

Руководитель группы компаний «Водород»

А/я 683, 687, Саров, Нижегородская обл., 607183, Россия

Тел.: +7(83130) 94472, 63107, 91846, 90708, +79047884477; факс: +7 (83130) 63107, 90708 E-mail: gusev@hydrogen.ru

## НАУЧНЫЙ СОВЕТ

- С.М. Алдошин**, акад. РАН (ИПХФ РАН, Черноголовка, Россия), зам. главного редактора ISJAEE  
**О.М. Алифанов**, чл.-корр. РАН (МАИ, Москва, Россия)  
**Р.А. Амерханов**, д-р техн. наук, проф. (Кубанский гос. аграрный университет, Краснодар, Россия)  
**В.М. Андреев**, проф. (ФТИ им. Иоффе, С.-Петербург, Россия)  
**В.М. Арутюнян**, акад. НАН Армении (Ереванский гос. университет, Ереван, Армения)  
**А.М. Архаров**, д-р техн. наук (МГТУ им.Баумана, Москва, Россия)  
**Э.А. Бекироглу**, д-р техн. наук (ИВЭ НАН Украины, Киев, Украина)  
**Дж. О'М. Бокрис**, проф. (Гейнсвилль, США)  
**В.М. Бузник**, акад. РАН (ИТЦ РАН, Москва, Россия)  
**В.А. Бутузов**, д-р техн.наук («Южгеотепло», Краснодар, Россия)  
**Т.Н. Везироглу**, д-р, проф. (МАНЭ), зам. гл. ред. ISJAEE  
**Е.А. Везироглу**, д-р, проф., главный редактор International Journal of Hydrogen Energy (IJHE)  
**А.Г. Галеев**, проф. (ФКП НИЦ РКП, Сергиев Посад, Россия)  
**А.А. Гарибов**, д-р хим. наук (ИРП НАН Азербайджана)  
**С.А. Григорьев**, д-р техн. наук (Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва, Россия)  
**Е.А. Гудилин**, член-корр. РАН (МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия), зам. главного редактора ISJAEE  
**Ю.А. Добровольский**, д-р хим. наук (ИПХФ РАН, Черноголовка, Россия)  
**А.М. Домашенко**, канд. техн. наук (ОАО «Криогенмаш», Москва, Россия)  
**В.В. Елистратов**, д-р техн. наук (НОЦ «Возобновляемые источники энергии» СПбГПУ, Санкт-Петербург, Россия)  
**О.Н. Ефимов**, канд. хим. наук (ИПХФ РАН, Черноголовка, Россия)  
**А.З. Жук**, д-р физ.-мат. наук (ОИВТ РАН, Москва, Россия)  
**М.Иоелович**, д-р хим. наук (Designer Energy Company, Израиль)  
**Г.И. Исаков**, д-р физ.-мат. наук (Институт физики НАН Азербайджана, Азербайджан), зам. главного редактора ISJAEE  
**А.Г. Забродский**, чл.-корр. РАН (ФТИ им. Иоффе, С.-Пб, Россия)  
**Ю.К. Завалишин**, д-р техн. наук (НИЯУ МИФИ, Саров, Россия)  
**Ю.П. Зайков**, д-р хим наук (УрФУ)  
**М.А. Казарян**, акад. НАН Армении (Ереван, Армения)  
**Я.Клеперис**, д-р физ.-мат наук (Латвийский ун-т, Рига, Латвия)  
**А.С. Коротеев**, акад. РАН (ФГУП «Центр Келдыша», Москва, Россия)  
**Б.Н. Кузык**, член-корр. РАН (НИК НЭП, Москва, Россия)  
**С.О. Кудря**, д-р техн. наук (ИВЭ НАН Украины, Киев)  
**В.В. Куршева**, канд. хим. наук (НТЦ «ТАТА», Саров, Россия)  
**А.М. Липанов**, акад. РАН (УдНЦ УрО РАН, Ижевск, Россия)  
**В.М. Лятхер**, д-р техн. наук (New Energetics, Кливленд, США)  
**В.А. Лопота**, член-корр. РАН (РКК «Энергия» им. С.П. Королева, Россия)  
**В.В. Лунин**, акад. РАН (МГУ, Москва, Россия)  
**М. Лутовац**, акад, проф. (ФПИМ Университет «УНИОН», Белград, Сербия)  
**Ч. Марчетти**, проф. (Снеци, Италия)  
**Г.А. Месяц**, акад. РАН (Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва, Россия)  
**Н.Н. Мхитарян**, чл.-корр. НАН Украины (ИВЭ НАН Украины, Киев)  
**В.Е. Накоряков**, акад. РАН (Институт теплофизики СОРАН, Новосибирск-90, Россия)  
**И.М. Неклюдов**, акад. НАН Украины (Харьковский физико-технический институт, Харьков, Украина)  
**В.Н. Пармон**, акад. РАН (Институт катализа им. Г.К. Борескова СОРАН, Новосибирск, Россия)  
**А.М. Пенджикиев**, д-р с.-х. наук (Туркменский гос. архитектурно-строительный институт, Ашхабат, Туркменистан)  
**Н.Н. Пономарев-Степной**, акад. РАН (РНЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия)  
**О.С. Попель**, д-р техн. наук (Объединенный институт высоких температур РАН, Москва, Россия)  
**В.Я. Попова**, д-р хим. наук (АО «Байер», Москва, Россия)  
**М.А. Прелас**, проф. (У-т Миссури-Коламбия, Коламбия, США)  
**В.С. Рачук**, д-р техн. наук, проф. (ОАО «Конструкторское бюро химавтоматики», Воронеж, Россия)  
**П.Ф. Рзаев**, д-р техн. наук (ИРП НАН Азербайджана)  
**Ю.А. Рыжов**, акад. РАН (МИУ, Москва, Россия)  
**В.Ф. Резцов**, чл.-корр. НАНУ (ИВЭ НАН Украины, Киев)  
**О.М. Саламов**, канд. физ.-мат. наук (ИРП НАН Азербайджана)  
**П. Сан-Грегуйар**, проф. (Университет Тулон-Вара, Франция), зам. главного редактора ISJAEE  
**Е.В. Соломин**, д-р техн. наук (Южно-Уральский гос. университет, Челябинск, Россия)  
**А.Я. Столяревский**, д-р техн. наук (Центр КОРТЭС, Россия), зам. главного редактора ISJAEE  
**А.В. Стрелец**, канд. техн. наук (ФГБНУ «Дирекция научно-техн. программ», Москва, Россия)  
**Б.П. Тарасов**, канд. хим. наук (ИПХФ РАН, Черноголовка, Россия)  
**Ю.А. Трутнев**, акад. РАН (РФЯЦ – ВНИИЭФ, Саров, Россия), зам. главного редактора ISJAEE  
**В.Е. Фортгов**, Президент РАН (ОИВТ РАН, Москва, Россия)  
**М.Д. Хэмpton**, д-р, проф. (Университет Центральной Флориды, США), зам. главного редактора ISJAEE  
**А.Ю. Цивадзе**, акад. РАН (ИФХЭ им. А.Н. Фрумкина РАН, Москва, Россия)  
**Ю.Н. Шалимов**, д-р техн. наук (ВГТУ, Воронеж, Россия)  
**А.Р. Щекин**, ведущий сотрудник (ИВЭ НАН Украины, Киев), зам. главного редактора ISJAEE  
**С.Е. Щеклеин**, д-р техн. наук, проф. (УрФУ, Россия)

Импакт-фактор РИНЦ с учетом переводной версии (2014) – 0,577; двухлетний импакт-фактор РИНЦ (2014) – 0,555.  
 Журнал зарегистрирован Международным центром ЮНЕСКО в 2000 г. (название: "Al'ternativnaya energetika i ekologiya", краткое название: "Al'tern. energ. ecol."), ISSN 1608-8298. Тематика журнала одобрена Международной ассоциацией водородной энергетики (МАНЭ) и Международным центром развития водородной энергетики Департамента по вопросам промышленного развития ООН (UNIDO-ICHET). Журнал включен в диссертационный перечень ВАК.  
 Журнал индексируется в Google Scholar (GS - 18000); в Российском индексе научного цитирования (РИНЦ - 2462).  
 Общее число цитирований по годам (РИНЦ): 2011 - 222; 2012 - 353; 2013 - 452; 2014 - 835.  
 Индекс Хирша за 10 лет - 10; индекс Херфиндаля по организациям авторов - 261  
 Журнал включен в базу данных CROSSREF (Цифровой идентификатор DOI) в 2014 г.  
 Награды журнала: Медаль Рентгена (2007 г.), Диплом Фонда им. В.И. Вернадского и Комитета по экологии Государственной Думы ФС РФ (2007 г.), Премия "Российский Энергетический Олимп – 2008". Журнал включен в Реферативный журнал и Базы данных ВИНИТИ.  
 Журнал включен в каталоги: "Роспечать" (индекс 20487), Объединенный каталог "Пресса России. Российские и зарубежные газеты и журналы" (индекс 41935), "Интерпочта-2003".  
 Полные электронные версии статей представлены на сайте Научной электронной библиотеки <http://e-library.ru>, на сайте Международного научного журнала АЭЭ <http://isjaee.hydrogen.ru>, а также на сайте Международного научного и образовательного портала "Водород" <http://www.hydrogen.ru>.  
 Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия (свидетельство ПИ № ФС77-21881) от 14 сентября 2005 г.  
 Показатель Международного научного журнала «Альтернативная энергетика и экология» в рейтинге SCIENCE INDEX за 2012 г. – 9740. Место Международного научного журнала АЭЭ в общем рейтинге SCIENCE INDEX за 2012 г. – 291; по тематике «Охрана окружающей среды. Экология человека» - 7; по тематике «Энергетика» - 1  
 Переводная версия журнала включена в Scopus (IF = 3,5) и Web of Science (IF = 1,5). Транслитерация списка литературы по ISO 9:1995.





## EDITORIAL BOARD

### EDITOR-IN-CHIEF A. L. GUSEV

Leader of «Hydrogen» Group of Companies

Post Box Office 683, 687, Sarov, Nizhny Novgorod region, 607183 Russia

Phone: +7(83130)94472, 63107, 90708, 91846, +79047884477; Fax: +7 (83130) 63107, 90708

E-mail: gusev@hydrogen.ru

### SCIENTIFIC EDITORIAL BOARD

- S.M. Aldoshin, Acad. RAS (IPCP RAS, Chernogolovka, Russia), deputy editor-in-chief of ISJAE
- O.M. Alifanov, Member Corr. RAS (MAI, Moscow, Russia)
- R.A. Amerkhanov, Prof. (Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia)
- V.M. Andreev, Prof. (A.F. Ioffe PhTI of RAS, St.-Petersburg)
- A.M. Arharov, Prof. (Bauman MSTU, Moscow, Russia)
- V.M. Aroutiounian, Acad. RAS of Armenia (Yerevan State University, Yerevan, Armenia)
- E.A. Bekirov, Prof. (IRE of NAS of Ukraine, Kyev)
- J.O'M. Bockris, Prof. (Gainesville, USA)
- V.A. Butuzov, Prof. ("Uuzhgeoteplo", Krasnodar, Russia)
- V.M. Buznik, Acad. RAS (ITC RAS, Moscow, Russia)
- Yu.A. Dobrovolskiy, Prof. (IPCP RAS, Chernogolovka, Russia)
- A.M. Domashenko, Prof. («Kriogenmash», Moscow, Russia)
- O.N. Efimov, Dr. (IPCP RAS, Chernogolovka, Russia)
- V.V. Elistratov, Prof. (SEC "RES", S.-Peterburg, Russia)
- V.E. Fortov, Prezident RAS (JIHT RAS, Moscow, Russia)
- A.G. Galeev, Prof. (Science and research center of rocket and space production, Sergiev Posad, Russia)
- A.A. Garibov, Prof. (IRP NAS, Azerbaijan)
- E.A. Goodilin, Member Corresponding RAS (FMS MSU, Moscow, Russia), deputy editor-in-chief of ISJAE
- S.A. Grigoriev, PhD, DSc (National Research University "Moscow Engineering Institute", Moscow, Russia)
- M.D. Hampton, Prof. (University of Central Florida, USA), deputy editor-in-chief of ISJAE
- M.Ioelovich, D.Sc. (Designer Energy Company, Izrael)
- G.I. Isakov, Prof. (Institute of Physics of NAS of Azerbaijan, Azerbaijan), deputy editor-in-chief of ISJAE
- M.A. Kazaryan, Acad. NAS of Armenia (Yerevan, Armenia)
- J.Kleperis, Dr. phys. (University of Latvia, Riga, Latvia)
- A.S. Koroteev, Acad. RAS (Keldysh Research Center, Moscow, Russia)
- S.O. Kudrya, Prof. (IRE of NAS of Ukraine, Kyev)
- V.V. Kursheva, Dr. (STC "TATA", Sarov, Russia)
- B.N. Kuzyk, Member Corresponding RAS (NIK NEP, Moscow, Russia)
- A.M. Lipanov, Acad. RAS (UdSC UrB RAS, Izhevsk, Russia)
- V.A. Lopota, Member Corresponding RAS (S.P. Korolev Rocket and Space Corporation "Energia", Russia)
- V.V. Lunin, Acad. RAS (MSU, Moscow, Russia)
- M. Lutovaz, Acad. (FPIM University "UNION", Belgrade, Serbia)
- V.M. Lyatkher, Prof. (New Energetics Inc., Cleveland, USA)
- Ch. Marchetti, Prof. (Siecchi, Italy)
- N.N. Mkhitarjan, Member Corr. NASU (IRE of NAS of Ukraine, Kyev)
- G.A. Mesyats, Acad. RAS (Physics Institute of them. P.N. Lebedev of RAS, Moscow, Russia)
- V.E. Nakoryakov, Acad. RAS (Kutateladze Institute of thermophysics SB RAS, Novosibirsk-90, Russia)
- I.M. Neklyudov, Acad. RAS of Ukraine (Khar'kov Physical Technical Institute, Khar'kov, Ukraine)
- V.N. Parmon, Acad. RAS (Boreskov Institute of Catalysis of SD RAS, Novosibirsk, Russia)
- A.M. Penjiev, Prof. (Turkmen state architecturally-building institute, Ashgabat, Turkmenistan)
- N.N. Ponomaryov-Stepnoy, Acad. RAS (RRC "Kurchatov Institute", Moscow, Russia)
- O.S. Popel', Prof. (UIHT of RAS, Moscow, Russia)
- V.Ya. Popkova, Prof. of Chemistry (A/O Bayer, Moscow, Russia)
- M.A. Prelas, Prof. (Univ. of Missouri-Columbia, Columbia, USA)
- V.S. Rachuk, Prof. (OSC KBKhA, Voronezh, Russia)
- V.F. Reztsov, Member Corr. NASU (IRE of NASU, Kyev)
- Yu.A. Ryjov, Acad. RAS (Int. University of Engineering, Moscow, Russia)
- P.F. Rzaev, Prof. (IRP NAS, Azerbaijan)
- P. Saint-Gregoire, Prof. (University of Toulon and Var, France), deputy editor-in-chief of ISJAE
- O.M. Salamov, PhD (IRP NAS, Azerbaijan)
- Y.N. Shalimov, Prof. (VSTU, Voronezh, Russia)
- S.E. Shcheklein, Prof. (UrFU, Russia)
- A.R. Shchekin (IRE of NAS of Ukraine, Kyev), deputy editor-in-chief of ISJAE
- E.V. Solomin, Prof. (South Ural State University, Russia)
- A.Ya. Stolyarevsky, Prof. (Center CORTES, Russia), deputy editor-in-chief of ISJAE
- A.V. Strelets, Dr. (FCSTP, Moscow, Russia)
- B.P. Tarasov, Dr. (IPCP RAS, Chernogolovka, Russia)
- Yu.A. Trutnev, Acad. RAS (RFNC-VNIIEF, Russia), deputy editor-in-chief of ISJAE
- A.Yu. Tsvadze, Acad. RAS (A.N. Frumkin Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry, Moscow, Russia)
- T.N. Veziroglu, Prof. (International Association for Hydrogen Energy (IAHE), deputy editor-in-chief of ISJAE)
- E.A. Veziroglu, Prof., editor-in-chief of International Journal of Hydrogen Energy (IJHE)
- A.Z. Zhuk, Prof. (ITPhES RAS, Moscow, Russia)
- Yu.P. Zaikov, Prof. (UrB RAS, Russia)
- Yu.K. Zavalishin, Prof. (SRNU MEPhU)
- A.G. Zabrodsky, Member Corr. RAS (A.F. Ioffe Physical-Technical Institute of RAS, St.-Petersburg)

Impact Factor of Russian Science Citation Index (2014) together with the translated version is 0,577. Two-year Impact Factor of Russian Science Citation Index (2014) - 0,555. h-index for 10 years - 10. Herfindahl index of the authors' organizations - 261.

The journal is registered in UNESCO in ISSN International Centre in 2000 (key title: "Аl'ternativnaâ énergetika i èkologiâ", abbreviated key title: "Аl'tern. énerg. ècol."), ISSN 1608-8298. The subjects of the journal are approved by International Association for Hydrogen Energy (IAHE). The journal has been included into the "List of leading reviewed scientific journals and editions in which the basic scientific results of dissertations on competition of scientific degrees of Doctors and Candidate of Sciences (Ph.D. and Sc.D.) should be published" according to the decision of Presidium of the Higher Certifying Commission.

The journal has been included into catalogues: "Rospechat" (20487), Joined catalogue "Press of Russia. Russian and foreign newspapers and journals" (41935), "Interpochta-2003".

Journal awards: Röntgen Medal (2007), Award of V.I. Vernadskyi fund and RF State Committee for Ecology (2007). The Premium "Russian Energetic Olympus - 2008".

The journal has been included into the abstract journal and data base VINITI. Information on the journal is annually published in the international reverence system of periodical of current issues "Ulrich's Periodicals Directory".

Full version of papers has been presented at Scientific electronic library <http://e-library.ru>, web-site of International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology <http://isjaee.hydrogen.ru>, and International Information and Education Portal "Hydrogen" <http://www.hydrogen.ru>.

The journal has been registered at Russian Federal Service on Supervision of Observance of the Legislation in Sphere of Mass Communications and Protection of a Cultural Heritage (Certificate PI NoFC77-21881) September 14, 2005.

Position of ISJAE in SCIENCE INDEX rating for 2012 - 9740; in General Rating for 2012 - 291; on the topic "Environmental Protection. Human Ecology" - 7; on the topic "Energy" - 1

Translated version of International Journal of Hydrogen Energy is included into Scopus (IF = 3,5) and Web of Science (IF = 1,5) as well as international databases.



## МЕЖДУНАРОДНЫЙ РЕДАКЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

Председатель: академик РАН В.Е.Фортов

Сопредседатель: член.-корр. РАН Е.А.Гудилин

Члены Международного редакционного комитета (МРК) представлены на стр. 183-196 по закрепленным тематическим направлениям и тематическим секциям

## МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНО-КОНСУЛЬТАТИВНЫЙ СОВЕТ РЕДАКЦИИ

Председатель: академик РАН Н.Н.Пономарев-Степной

Сопредседатели: академик РАН В.Н.Пармон,  
академик РАН С.М.Алдошин

Члены Международного научно-консультативного совета редакции (МНКСР) представлены на стр. 183-196 по закрепленным тематическим направлениям и тематическим секциям

## СОВЕТ ЭКСПЕРТОВ

Председатель: А.Л.Гусев

Сопредседатели:

Б.П.Тарасов, З.Р.Исмагилов

Р.А. Америкханов (Россия, Краснодар)  
Л.Ф. Беловодский (Россия, Саров)  
А.Г. Галеев (Россия, Сергиев Посад)  
Е.А. Гудилин (Россия, Москва)  
А.М. Домашенко (Россия, Балашиха)  
О.С. Попель (Россия, Москва)  
В.А. Хуснутдинов (Россия, Москва)

## М Е М О Р И А Л

Я.Б. Данилевич  
А.В. Елютин  
С.П. Капица  
В.И. Куприянов  
А.А. Макаров  
С.П. Мальшенко  
Ю.Д. Третьяков

## МЕЖДУНАРОДНЫЙ СОВЕТ РЕЦЕНЗЕНТОВ

Председатель: Т.Н.Везироглу

Р.А. Америкханов (Россия, Краснодар)  
В.М. Арутюнян (Армения, Ереван)  
П.Г. Бережко (Россия, Саров)  
В.А. Бугузов (Россия, Краснодар)  
М.В. Воробьева (Россия, Москва)  
А.Г. Галеев (Россия, Сергиев Посад)  
В.А. Гольцов (Украина, Донецк)  
Л.Ф. Гольцова (Украина, Донецк)  
Е.А. Гудилин (Россия, Москва)  
А.Л. Гусев (Россия, Саров)  
А.Л. Дмитриев (Россия, С.-Петербург)  
А.М. Домашенко (Россия, Балашиха)  
О.Н. Ефимов (Россия, Черногловка)  
Г.И. Исаков (Азербайджан, Баку)  
З.Р. Исмагилов (Россия, Новосибирск)  
Ф. Караосманоглу (Турция, Стамбул)  
Я. Клеперис (Латвия, Рига)  
Ю.С. Нечаев (Россия, Москва)  
А.Т. Пономаренко (Россия, Москва)  
О.С. Попель (Россия, Москва)  
Л.В. Спивак (Россия, Пермь)  
Б.В. Спицын (Россия, Москва)  
А.Я. Столяревский (Россия, Москва)  
Е.М. Тарараева (Россия, Москва)  
Б.П. Тарасов (Россия, Черногловка)  
Г.Л. Хорасанов (Россия, Обнинск)  
М.Д. Хэмптон (США, Орlando)  
Ю.М. Шульга (Россия, Черногловка)  
Ю.Шунман (Голландия, Делфт)

## INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD

Chairman: Academician of the RAS V.E. Fortov

Co-Chairman: Member Corresponding of the RAS E.A. Goodilin

Members of the International Editorial Board (IEB) on specified topics and topical sections are presented on pages 183-196

## INTERNATIONAL EDITORIAL ADVISORY BOARD

Chairman: Academician of the RAS N.N. Ponomaryov-Stepnoy

Co-Chairmans: Academician of the RAS V.N. Parmon,  
Academician of the RAS S.M. Aldoshin

Members of the International Editorial Advisory Board (IEAB) on specified topics and topical sections are presented on pages 183-196

## INTERNATIONAL REVIEWERS BOARD

Chairman: T.N. Veziroglu

R.A. Amerkhanov (Russia, Krasnodar)  
V.M. Aroutiounian (Armenia, Yerevan)  
P.G. Berezhko (Russia, Sarov)  
V.A. Butuzov (Russia, Krasnodar)  
A.L. Dmitriev (Russia, S.-Petersburg)  
A.M. Domashenko (Russia, Balashikha)  
O.N. Efimov (Russia, Chernogolovka)  
A.G. Galeev (Russia, Serгиеv Posad)  
V.A. Gol'tsov (Ukraine, Donetsk)  
L.F. Gol'tsova (Ukraine, Donetsk)  
E.A. Goodilin (Russia, Moscow)  
A.L. Gusev (Russia, Sarov)  
M.D. Hampton (USA, Orlando)  
G.I. Isakov (Azerbaijan, Baku)  
Z.R. Ismagilov (Russia, Novosibirsk)  
F. Karaosmanoglu (Turkey, Istanbul)  
G.L. Khorasanov (Russia, Obninsk)  
J. Kleperis (Latvia, Riga)  
Yu.S. Nechaev (Russia, Moscow)  
A.T. Ponomarenko (Russia, Moscow)  
O.S. Popel' (Russia, Moscow)  
Yu.M. Shul'ga (Russia, Chernogolovka)  
Yu. Shoonman (Netherlands, Delft)  
B.V. Spitsyn (Russia, Moscow)  
L.V. Spivak (Russia, Perm')  
A. Ya. Stolyarevskiy (Russia, Moscow)  
E.M. Tararaeva (Russia, Moscow)  
B.P. Tarasov (Russia, Chernogolovka)  
M.V. Vorobyova (Russia, Moscow)

## EXPERTS BOARD

Chairman: A.L. Gusev

Co-Chairmans:

В.П.Тарасов, З.Р.Исмагилов

Р.А. Америкханов (Russia, Krasnodar)  
Л.Ф. Беловодский (Russia, Sarov)  
А.М. Домашенко (Russia, Balashikha)  
А.Г. Галеев (Russia, Serгиеv Posad)  
Е.А. Гудилин (Russia, Moscow)  
В.А. Хуснутдинов (Russia, Moscow)  
О.С. Попель' (Russia, Moscow)

## М Е М О Р И А Л

Ya.B. Danilevich  
A.V. Elyutin  
S.P. Kapitza  
V.I. Kupriyanov  
A.A. Makarov  
S.P. Malysenko  
Yu.D. Tretiyakov

## МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНЫЙ И ДЕЛОВОЙ КЛУБ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ И ЭКОЛОГИИ INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND BUSINESS CLUB FOR ALTERNATIVE ENERGY AND ECOLOGY

Международный центр развития водородной энергетики Департамента по вопросам промышленного развития ООН



United Nations Industrial Development Organization International Centre for Hydrogen Energy Technologies

Международная ассоциация водородной энергетики



International Association for Hydrogen Energy

Институт водородной экономики



Institute of Hydrogen Economy

Российская академия наук



Russian Academy of Sciences

Министерство образования и науки РФ



Ministry of Education and Science of the RF

Факультет наук о материалах МГУ им. М.В. Ломоносова



Faculty of Materials Science of MSU

Консорциум «Водород»



Consortium "Hydrogen"

Институт проблем химической физики РАН



Institute of Problems of Chemical Physics of RAS

Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН



Borekov Institute of Catalysis SB RAS

Исследовательский центр им. М.В. Келдыша



Keldysh Research Center

Российский научный центр «Курчатовский институт»



Russian Scientific Center "Kurchatov Institute"

НИИ Научно-производственное объединение «Луч»



Scientific Research Institute Research and Production Association "Luch"

Научная электронная библиотека



Scientific Electronic Library

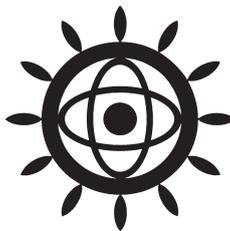
Научно-технический центр «ТАТА»



Scientific Technical Centre "TATA"



В ЭТОМ НОМЕРЕ



IN THIS ISSUE

ВОЗОБНОВЛЯЕМАЯ  
ЭНЕРГЕТИКА



RENEWABLE  
ENERGY

НЕВОЗОБНОВЛЯЕМАЯ  
ЭНЕРГЕТИКА



NONRENEWABLE  
ENERGY

ТЕРМОЯДЕРНАЯ  
ЭНЕРГЕТИКА



THERMONUCLEAR  
ENERGY

ВОДОРОДНАЯ  
ЭКОНОМИКА



HYDROGEN  
ECONOMY

КОНСТРУКЦИОННЫЕ  
МАТЕРИАЛЫ



STRUCTURAL  
MATERIALS

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ  
ОСНОВЫ АЭЭ



THERMODYNAMIC  
BASICS OF AEE

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ  
ЭНЕРГЕТИКИ



ENVIRONMENTAL ASPECTS  
OF ENERGY

ЗАКОНОДАТЕЛЬНАЯ БАЗА, СМИ,  
ПОДДЕРЖКА ГОСУДАРСТВА



LEGISLATIVE BASIS,  
MASS MEDIA, STATE SUPPORT

КАДРОВОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ  
И ОБРАЗОВАНИЕ



PERSONNEL MANAGEMENT  
AND EDUCATION

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ  
АЭЭ



ECONOMIC ASPECTS  
OF AEE

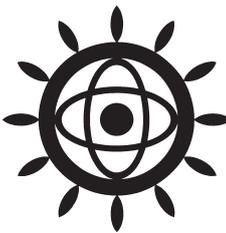
ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ,  
ТЕХНОЛОГИИ, УСТРОЙСТВА  
И ИХ ВНЕДРЕНИЕ



INNOVATION SOLUTIONS,  
TECHNOLOGIES, FACILITIES  
AND THEIR INNOVATION



В ЭТОМ НОМЕРЕ



IN THIS ISSUE

<b>ТРАНСПОРТНЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА</b>		<b>ENVIRONMENTAL VEHICLES</b>
<b>ДОБЫЧА ПРИРОДНЫХ ИСКОПАЕМЫХ</b>		<b>RECOVERY TECHNIQUES</b>
<b>КАТАЛИЗ В АЭЭ</b>		<b>CATALYSIS FOR AEE</b>
<b>ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ</b>		<b>ENERGY SAVING</b>
<b>ПРОБЛЕМЫ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА</b>		<b>PROBLEMS OF OIL-AND-GAS COMPLEX</b>
<b>ОПТИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ И УСТРОЙСТВА</b>		<b>OPTICAL PHENOMENA AND FACILITIES</b>
<b>ГАЗОТУРБИННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ</b>		<b>GAS-TURBINE TECHNOLOGIES</b>
<b>ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫЕ ПРОИЗВОДСТВА</b>		<b>ENVIRONMENTALLY CONSCIOUS FACTORIES</b>
<b>ПРОБЛЕМЫ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА</b>		<b>ISSUES OF AGRICULTURE</b>
<b>НАУКИ О ЗЕМЛЕ</b>		<b>EARTH SCIENCES</b>
<b>ИНФОРМАЦИЯ В ОБЛАСТИ АЭЭ</b>		<b>INFORMATION FOR AEE</b>



# СОДЕРЖАНИЕ

Приветственное слово д-р. техн. наук, проф., генерального директора ООО Новая Энергетика (Москва, РФ), президента New Energetics Inc.(Cleveland, USA) <i>В.М. Лятхера</i> (США).....	12
Обращение вице-президента международной ассоциации водородной энергетики (МАВЭ) <i>А.Ю. Раменского</i> .....	13

## I. Возобновляемая энергетика

### 1. Солнечная энергетика

#### 1-2-1-0 Материалы для солнечно-водородной энергетики

<i>Бабаев Б.Д.</i> Новые фазопереходные материалы для теплового аккумулирования энергии возобновляемых источников и их экологическая безопасность .....	14
<i>doi 10.15518/isjaee.2015.20.001</i>	

### 3. Морская гидроэнергетика

#### 3-2-0-0 Энергетика морских волн

<i>Гринкруг М.С., Ткачёва Н.А.</i> Экспериментальные исследования модели волнового генератора.....	19
<i>doi 10.15518/isjaee.2015.20.002</i>	

Акция «Архивные номера».....	24
------------------------------	----

<i>Архипкин В.С., Васьков А.Г., Киселева С.В., Мысленков С.А., Темеев С.А., Темеев А.А., Умнов П.М.</i> Оценка потенциала волновой энергии прибрежной акватории полуострова Крым.....	25
<i>doi 10.15518/isjaee.2015.20.003</i>	

## II. Невозобновляемая энергетика

### 9. Атомная энергетика

#### 9-1-0-0 Атомно-водородная энергетика

<i>Шаманин И.В., Каренгин А.Г., Новоселов И.Ю., Зубов В.В.</i> Плазмохимический синтез оксидных композиций урана и тория из смесевых нитратных растворов.....	36
<i>doi 10.15518/isjaee.2015.20.004</i>	

## IV. Водородная экономика

### 12. Водородная экономика

#### 12-2-0-0 Безопасность водородной энергетики

<i>Родченко В.В., Галеев А.Г., Попов Б.Б., Галеев А.В.</i> Исследование систем обеспечения безопасности испытаний кислородно-водородных двигательных установок на стенде.....	42
<i>doi 10.15518/isjaee.2015.20.005</i>	



## V. Конструкционные материалы

### 13. Наноструктуры

- Грановский А.Б., Калинин Ю.Е., Ситников А.В., Стогней О.В.  
Транспортные и магнитные явления в наногетерогенных структурах.....53  
doi 10.15518/isjaee.2015.20.006

## VII. Экологические аспекты энергетики

### 17. Энергетика и экология

#### 17-3-0-0 Экология воздушной среды и космического пространства

- Чувашев С.Н., Чувашева Е.С., Кутырев М.В., Браун Е.С.  
Исследование способа снижения энергозатрат и тепловых нагрузок  
при высокоскоростном движении.....74  
doi 10.15518/isjaee.2015.20.007

## XII. Транспортные экологические средства

### 30. Мультирежимные транспортные средства

- Лятхер В.М.  
Транспортное средство абсолютной проходимости (карфлаинг).....92  
doi 10.15518/isjaee.2015.20.008
- Информация о конференции: Ever Monaco Conference 2016.....101

### 32. Литий-ионные источники тока и суперконденсаторы

- Михайлова А.М., Зубцова К.С., Прудников Н.В., Дуброва Т.В., Горская Н.И.  
Суперионные проводники на основе полиакрилатов для преобразователей  
энергии и информации.....102  
doi 10.15518/isjaee.2015.20.009
- Сигейкин Г.И., Михайлова А.М., Ковынёва Н.Н., Михайлов Е.Д.  
Интеркалированные оксиды никеля в твердофазных преобразователях энергии.....110  
doi 10.15518/isjaee.2015.20.010

## XXII. Информация в области АЭЭ

### 41. Информация

#### 41-4-0-0 Научные фонды, научные проекты

- Раменский А.Ю.  
Проект ВТЭК (Екатеринбург-2015). Проект создания на основе национальных стандартов  
водородного транспортно-энергетического комплекса (ВТЭК) и организации его опытной  
эксплуатации в городе Екатеринбурге на автобусном маршруте  
ж/д вокзал – аэропорт «Кольцово».....117



41-5-0-0 Международные научные конференции

XV Российский энергетический форум (Уфа, 2015).....	131
Нефтегазовый форум и XXIV Международная выставка «Газ. Нефть. Технологии-2016».....	132
«Водородные» амбиции немецких энергетиков. О прошедшей в Берлине конференции <b>Power to Gas 2015</b> .....	134

41-6-0-0 Рекламные материалы научных организаций, инвестиционных фирм  
и фирм-производителей

Научно-технический центр «ТАТА» (Россия) осуществляет поставку заказчикам графеновых материалов: оксид графена, редуцированный оксид графена (RGO) в виде порошка, водной суспензии, пасты.....	137
<b>РОСНАНО</b> и Новосибирская область продолжают развитие завода « <b>Лиотех</b> ».....	144

41-9-0-0 Энциклопедия альтернативной энергетики  
Термины и определения

Солнечная энергетика. Термины и определения (по ГОСТ Р 51594-2000)( <i>продолжение</i> ).....	145
--	-----

41-15-0-0 Новости науки и техники

Новости по тематике журнала.....	148
----------------------------------	-----

На 1-й стр. обложки: 4-й блок (БН 800) БАЭС (фото сотрудника ЦОИ БАЭС Сергея Тена).

Импакт-фактор РИНЦ с учётом переводной версии (2014) – 0,577; двухлетний импакт-фактор РИНЦ (2014) – 0,555.  
Индекс Хирша за 10 лет – 10; индекс Херфиндаля по организациям авторов – 261.  
Переводная версия журнала International Journal of Hydrogen Energy входит в Scopus и Web of Science, а также в международные базы данных. Транслитерация списка литературы по ISO 9:1995.  
Показатель Международного научного журнала «Альтернативная энергетика и экология» в рейтинге SCIENCE INDEX за 2010 г. – 3158, за 2011 г. – 5273, за 2012 – 9740.  
Место Международного научного журнала АЭЭ в рейтинге SCIENCE INDEX за 2012 г. по тематике «Охрана окружающей среды. Экология человека» - 7  
Место Международного научного журнала АЭЭ в рейтинге SCIENCE INDEX за 2012 г. по тематике «Энергетика» - 1  
Место Международного научного журнала АЭЭ в общем рейтинге SCIENCE INDEX за 2012 г. – 291



**Учредитель, издатель и редакция**  
Научно-технический центр «ТАТА»  
Генеральный директор А.Л. Гусев  
E-mail: gusev@hydrogen.ru  
Почтовый адрес:  
607183, Россия, Нижегородская обл., Саров,  
а/я 687, НТЦ «ТАТА»  
Тел.: 8(83130) 63107, 94472, факс: 8(83130) 63107  
http://www.hydrogen.ru



**Основной партнер**  
Институт водородной экономики  
Генеральный директор А.Л. Гусев  
E-mail: gusev@hydrogen.ru  
Почтовый адрес:  
607183, Россия, Нижегородская обл., Саров, а/я 683  
Тел.: 8(83130) 91846, 90708, факс: 8(83130) 63107  
http://www.hydrogen.ru

Все права принадлежат ООО НТЦ «ТАТА».

**Заведующий редакцией, гл. редактор сайта** <http://isjaee.hydrogen.ru>  
Александр Леонидович Гусев (Россия, Саров)  
E-mail: gusev@hydrogen.ru,  
redactor@hydrogen.ru

**Художественный редактор**  
Виктор Иванович Немышев (Россия, Саров)

**Редактор, корректор**  
Максимова Полина Александровна  
(Россия, Саров)

**Переводчики**  
Александр Рудольфович Володько (Россия, Саров)  
Татьяна Викторовна Зезулина (Россия, Саров)

**Научные обозреватели**  
Ольга Борисовна Баклицкая-Каменева  
(Россия, Москва)  
Вера Владимировна Куршева (Россия, Москва)

**Компьютерная верстка**  
Максимова Полина Александровна  
(Россия, Саров)

**Контент-менеджер сайта**  
<http://isjaee.hydrogen.ru>  
Наталья Владимировна Фотина  
(Россия, Саров)

**Компьютерная графика**  
Валентин Александрович Гусев  
(Россия, Саров)



# CONTENTS

Greeting of DSc (engineering), professor, President of Clean Energy Co. (USA),  
General Director of New Energetic Ltd. (Russia) *V.M. Lyatkher*.....12

Address of vice-president of the International Association for Hydrogen Energy (IAHE)  
*A.Yu. Ramenskiy*.....13

## I. Renewable Energy

### 1. Solar Energy

1-2-1-0 Materials for Solar-Hydrogen Energy

*Babaev B.D.*

New Phase-Transition Heat-Accumulating Materials for Renewable Energy Storage  
and Environmentally Sound.....14  
*doi: 10.15518/isjaee.2015.20.001*

### 3. Marine Hydroenergetics

*Grinkrug M.S., Tkacheva N.A.*

Experimental Research on Wave Generator Model.....19  
*doi: 10.15518/isjaee.2015.20.002*

Sale "Archive Journal Issues".....24

*Arhipkin V.S., Vas'kov A.G., Kiseleva S.V., Mislenkov S.A., Temeev S.A., Temeev A.A., Umnov P.M.*

Assessing the Potential of Wave Energy in Coastal Waters of Crimea Peninsula.....25  
*doi: 10.15518/isjaee.2015.20.003*

## II. Nonrenewable Energy

### 9. Atomic Energy

9-1-0-0 Atomic-Hydrogen Energy

*Shamanin I.V., Karengin A.G., Novoselov I.Yu., Zubov V.V.*

Plasma-Chemical Synthesis of Uranium and Thorium Oxides Compounds  
from Nitric Solutions.....36  
*doi 10.15518/isjaee.2015.20.004*

## IV. Hydrogen Economy

### 12. Hydrogen Economy

12-2-0-0 Safety of Hydrogen Energy

*Rodchenko V.V., Galeev A.G., Popov B.B., Galeev A.V.*

Study of Security Systems of Oxygen-Hydrogen Propulsion Plant Test on the Stand.....42  
*doi 10.15518/isjaee.2015.20.005*



## V. Structural Materials

### 13. Nanostructures

*Granovsky A.B., Kalinin Yu.E., Sitnikov A.V., Stognei O.V.*

Transport and Magnetic Phenomena in Nanoheterogeneous Structures.....53  
doi 10.15518/isjaee.2015.20.006

## VII. Environmental Aspects of Energy

### 17. Energy and Ecology

#### 17-3-0-0 Ecology of Air Atmosphere and Space

*Chuvashhev S.N., Chuvashева E.S., Braun E.S., Kutyrev M.V.*

Research on Reduction of Fuel Consumption and Aerodynamic Heating Load  
at High Speed.....74  
doi 10.15518/isjaee.2015.20.007

## XII. Environmental Vehicles

### 30. Multy Mode Vehicles

*Lyatkher V.M.*

Versatile Transport Facility with New Engine (Carflying).....92  
doi: 10.15518/isjaee.2015.20.008

Information about the Conference: Ever Monaco Conference 2016.....101

### 32. Lithium-Ion Current Sources for AEE

*Mihailova A.M., Zubtsova K.S., Prudnikov N.V., Dubrova T.V., Gorskaya N.I.*

Polyacrylate Superionic Conductors for the Converter of Energy and Information .....102  
doi: 10.15518/isjaee.2015.20.009

*Sigeikin G.I., Mikhailova A.M., Kovyneva N.N., Mikhailov E.D.*

The Intercalated Oxides of Nickel in Solid Phase Power Converters.....110  
doi: 10.15518/isjaee.2015.20.010

## XXII. Information for AEE

### 41. Information

#### 41-4-0-0 Scientific Funds and Scientific Projects

*Ramenskiy A.Yu.*

Hydrogen Transport and Energy Complex Project (Ekaterinburg-2015).....117

<b>XV Russian Energy Forum (Ufa, 2015)</b> .....	131
Oil and Gas Forum and XXIV International Exhibition “ <b>Gas. Oil. Technologies-2016</b> ”.....	132
“Hydrogen” ambitions of the German Power Industry. On Conference <b>Power to Gas-2015</b> in Berlin.....	134

41-6-0-0 Advertising Matters of Investment Companies and Manufacturers

Scientific Technical Centre “TATA” (Russia) Delivers Graphene Materials: Graphene Oxid, Reduced Graphene Oxid (RGO) in the Powder, Aqueous Suspension, and Paste Forms.....	137
---	-----

RUSNANO and the Novosibirsk Region Continue to Develop of the Liotech Plant.....	144
--	-----

41-9-0-0 Encyclopedia of Renewable Energy.  
Terms and Definitions

Solar Power Engineering. Terms and Definition (according to the Russian State Standard P 51594-2000).....	145
--	-----

41-15-0-0 News

News.....	148
-----------	-----

*1st of cover: 4<sup>th</sup> Unit of Balakovo Nuclear Power Plant (photograph by Sergey Ten, an employee of Public Information Center of Balakovo Nuclear Power Plant)*

Translated version of International Journal of Hydrogen Energy is included into Scopus and Web of Science and too in international databases.  
Position of ISJAEE in SCIENCE INDEX rating for 2010 – 3158, for 2011 – 5273, for 2012 – 9740  
Position of ISJAEE in SCIENCE INDEX rating for 2012 on the topic “Environmental Protection. Human Ecology” – 7  
Position of ISJAEE in SCIENCE INDEX rating for 2012 on the topic “Energy” – 1  
Position of ISJAEE in General Rating of SCIENCE INDEX for 2012 – 291



**Founder and publisher**  
Scientific Technical Centre “TATA”  
General manager A.L.Gusev  
E-mail: gusev@hydrogen.ru  
607183, Russia, Nizhni Novgorod region, Sarov,  
P.O.B.687, STC “TATA”  
Ph.: +7(83130)63107,94472, fax:+7(83130) 63107  
http://www.hydrogen.ru



**General cooperation**  
Institute for Hydrogen Economy  
General manager A.L.Gusev  
E-mail: gusev@hydrogen.ru  
607183, Russia, Nizhni Novgorod region, Sarov,  
P.O.B.683  
Ph.: +7(83130)91846, 90708, fax: +7(83130) 63107  
http://www.hydrogen.ru

All rights reserved at STC «TATA».

**Chief-in-Board, Editor-in-Chief**  
of <http://isjaee.hydrogen.ru>  
Alexander Leonidovich Gusev (Russia, Sarov)  
E-mail: gusev@hydrogen.ru,  
redactor@hydrogen.ru

**Art-Editor**  
Viktor Ivanovich Nemyshev (Russia, Sarov)

**Editor, Proof-reader**  
Maximova Polina Alexandrovna  
(Russia, Sarov)

**Translators**  
Alexander Rudolfovich Volod'k o(Russia, Sarov)  
Tatyana Viktorovna Zeyulina (Russia, Sarov)

**Scientific Repoters**  
Ol'ga Borisovna Baklitskaya-Kameneva  
(Russia, Moscow)  
Vera Vladimirovna Kursheva  
(Russia, Moscow)

**Computer design**  
Maximova Polina Alexandrovna  
(Russia, Sarov)

**Content-manager of <http://isjaee.hydrogen.ru>**  
Nataliya Vladimirovna Fotina (Russia, Sarov)

**Graphic design**  
Valentin Alexandrovich Gusev (Russia, Sarov)



## Перспективы экологии и энергетики

*В.М. Лятхер*

Международная ассоциация «Альтернативная энергетика и экология», ее международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» играют важную роль в оптимизации направлений развития всех ветвей современной энергетики. Необходимость такой оптимизации с каждым десятилетием становится все более ощутимой как для отдельных стран, так и для человечества в целом. На Земле становится тесновато, а в природных ресурсах проявляются признаки ограниченности, поэтому проблемы экологической чистоты проектов и возобновляемости ресурсов весьма актуальны. При этом некоторые традиционные решения, которые на первый взгляд казались перспективными в части экологической чистоты, на практике обнаружили свои теневые стороны. Так, бурное развитие ветроэнергетики в США и Европе выявило избыточную материалоемкость традиционных решений, чрезмерный расход земельных площадей, некомфортность ландшафтных картин и акустических излучений. В связи с этим своевременным является переход на новые схемы агрегатов большой единичной мощности с безредукторным преобразованием энергии через линейные генераторы с бесконтактным магнитным подвесом, вынос ветрогенераторов в высотные слои атмосферы и на морские просторы, что уже началось на практике.

Новые оптимизационные задачи ждут своей постановки и в такой старой отрасли возобновляемой энергетики, как гидроэнергетика. Опустошительные паводки прошлых лет на реке Амур заставили вернуться к оптимизации схемы строительства ГЭС в бассейне этой реки. Однако сама постановка задачи нуждается в обсуждении и уточнении: нельзя оставаться в рамках рассмотрения только обычных схем сосредоточенной концентрации мощностей и емкостей регулирования в отдельных крупных гидроузлах с большими зонами затоплений. Полезно было бы разобрать и варианты рассредоточенных мощностей с минимальными затоплениями и нетрадиционными схемами аккумуляции и перераспределения энергии во времени. Ведь известно, что для почти полного использования гидропотенциала бассейна реки достаточно увеличить время пребывания воды в реке всего в 2–3 раза.

Важным направлением, нашедшим отражение в публикациях журнала, является водородная энергетика. Ее особая роль может проявиться при развитии транспортных средств абсолютной проходимости – так называемых летающих автомобилей, снабженных двигателями с контролируемым вектором тяги (патент РФ2558716 по заявке 2014119114/06(030106) от 13.05.2014). Для России и Африки с их низкой плотностью автомобильных дорог и авиационных маршрутов реализация этого направления могла бы качественно изменить темпы развития и уровень жизни населения.

Желаю активистам Ассоциации и труженникам журнала благополучия и новых успехов в их благородном деле!

д-р. техн. наук, проф., лауреат премии Совета Министров СССР,  
генеральный директор ООО Новая Энергетика (Москва, РФ),  
президент New Energetics Inc.(Cleveland, USA)



В.М. Лятхер





international association for hydrogen energy

5794 SW 40<sup>th</sup> St. # 303, Miami, FL 33155, U.S.A.

www.iahe.org



## ОБРАЩЕНИЕ

Вице-президента Международной ассоциации водородной энергетики (МАВЭ), Президента Национальной ассоциации водородной энергетики (НАВЭ РФ) А.Ю. Раменского, связанное с необходимостью продвижения в России водородных технологий и топливных элементов

Уважаемые коллеги!

Более сорока лет я и мои друзья, члены Международной ассоциации водородной энергетики, продвигаем идею применения водорода в качестве экологически чистого топлива для автомобилей. За это время усилиями наших коллег во всем мире водородные автомобили превратились из экзотического транспортного средства в серийно выпускаемую продукцию, которую можно приобрести неограниченному кругу потребителей, в том числе и в России.

В соответствии с действующими международными и национальными стандартами водородные автомобили рассматриваются как одна из разновидностей экологически безопасных электромобилей с энергоустановкой на топливных элементах.

Единственным сдерживающим фактором внедрения водородных экологически чистых электромобилей во всем мире является отсутствие необходимого количества водородных заправочных станций. Сегодня работа по созданию водородной инфраструктуры проводится во всех промышленно развитых странах Азии, Америки и Европы.

Российская Национальная ассоциация водородной энергетики (НАВЭ) разработала проект первого в России водородного транспортно-энергетического комплекса ВТЭК–2015, включающего в себя водородную заправочную станцию и парк водородных автобусов, который в проекте рассматривается применительно к одному из маршрутов г. Екатеринбурга и предлагался для реализации в рамках Международной промышленной выставки ИННОПРОМ-2015. Проект ВТЭК-2015 является типовым и с незначительными изменениями может быть применен в других регионах России и странах СНГ.

ВТЭК–2015 опирается на национальные и межгосударственные стандарты Таможенного союза, гармонизированные с международными стандартами ИСО и МЭК. Учитывая это обстоятельство, для его реализации может быть как разработана и произведена отечественная продукция, так и приобретены на международном рынке любые машины и оборудование иностранного производства, связанные с водородными технологиями и топливными элементами. Важной особенностью такого международного сотрудничества является обмен разработками в этой инновационной области. Наши коллеги во всем мире продвигают идею широкой международной кооперации при разработке и коммерциализации водородных технологий и топливных элементов. В этом плане российские ученые и инженеры, которые накопили значительный опыт в этой области науки и техники, могли бы быть полезны мировому водородному сообществу в продвижении идей водородной экономики. С другой стороны, многолетний мировой опыт ведущих экономически развитых стран мог бы быть незаменим для отечественных научно-исследовательских и промышленных предприятий. Технический комитет Росстандарта ТК 29 «Водородные технологии» частично реализовал такой опыт при имплементации международных стандартов в области водородных технологий и топливных элементов в российскую нормативно-техническую базу, создав уникальные условия для международного сотрудничества в этой сфере.

Призываю всех, кто заинтересован в развитии водородных технологий и топливных элементов в нашей стране, поддержать реализацию проекта НАВЭ ВТЭК-2015 в г. Екатеринбурге на маршруте автобуса «Ж/Д вокзал – Аэропорт «Кольцово»».

Президент НАВЭ,  
член Общественного совета Росстандарта,  
канд. техн. наук

А.Ю. Раменский



**ВОЗОБНОВЛЯЕМАЯ  
ЭНЕРГЕТИКА**



**RENEWABLE  
ENERGY**



**СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГЕТИКА**

**SOLAR ENERGY**

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СОЛНЕЧНО-ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

MATERIALS FOR SOLAR-HYDROGEN ENERGY

Статья поступила в редакцию 14.09.15. Ред. пер. № 2356

The article has entered in publishing office 14.09.15. Ed. reg. No. 2356

УДК 620.92.004.4; 620.93

## **НОВЫЕ ФАЗОПЕРЕХОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ТЕПЛООВОГО АККУМУЛИРОВАНИЯ ЭНЕРГИИ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ И ИХ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

***Б.Д. Бабаев***

ФГБОУ ВПО «Дагестанский государственный университет»  
РФ 367025, Махачкала, ул. Магомеда Гаджиева, 43а  
тел.: 89884689985; e-mail: bdbabaev@yandex.ru

*doi: 10.15518/isjaee.2015.20.001*

Заключение совета рецензентов: 15.09.15    Заключение совета экспертов: 17.09.15    Принято к публикации: 18.09.15

В статье даны термодинамические характеристики новых, полученных экспериментально, эвтектических составов и выявленных программой реакций в многокомпонентных системах на основе солей щелочных и щелочноземельных металлов. Показана перспективность и экологическая безопасность их использования в качестве фазопереходных и термохимических теплоаккумулирующих материалов в энергоустановках на базе возобновляемых источников энергии по сравнению с гидроаккумуляцией.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, аккумулятор тепла, теплоаккумулирующая система, фазопереходный теплоаккумулирующий материал.

## **NEW PHASE-TRANSITION HEAT-ACCUMULATING MATERIALS FOR RENEWABLE ENERGY STORAGE AND ENVIRONMENTALLY SOUND**

***B.D. Babaev***

Daghestan State University  
43a Magomed Gadzhiev str., Makhachkala, 367025 Russian Federation  
ph.: 89884689985; e-mail: bdbabaev@yandex.ru

*doi: 10.15518/isjaee.2015.20.001*

Referred 15 September 2015    Received in revised form 17 September 2015    Accepted 18 September 2015



The article provides new thermodynamic characteristics obtained experimentally, and the eutectic compositions identified program reactions in multi-component systems based on salts of alkali and alkaline earth metals. The prospects and environmental safety of their use as phase-transition and thermo chemical heat storage materials in power plants based on renewable energy are compared with hydraulic accumulation.

Keywords: renewable energy, accumulator heat, heat storage system, heat storage in phase transition material.



Бабаев Баба Джабраилович  
Baba D. Babaev

**Сведения об авторе:** доцент кафедры «Возобновляемые источники энергии» Дагестанского государственного университета. Стаж работы в данной области 25 лет.

**Образование:** Московский инженерно-строительный институт (МИСИ).

**Область научных интересов:** химические методы преобразования и аккумулирования энергии.

**Публикации:** 125 статей и 15 патентов.

тел.: 8988 468 99 85;

e-mail: bdbabaev@yandex.ru

**Information about the author:** associate professor of Dagestan State University. 25 years of experience.

**Education:** Moscow Engineering and Construction Institute.

**Research area:** chemical methods for the conversion and energy storage.

**Publications:** 125 articles and 15 patents.

ph.: 8988 468 99 85,

e-mail: bdbabaev@yandex.ru

## Введение

Большая часть мировой энергетики (95 %) базируется на сжигании органического и атомного топлива. Эти способы получения первичного тепла подвергаются жесткой и справедливой критике в связи с недопустимым воздействием на окружающую среду. Использование органического и атомного топлива приводит к критическому, вследствие антропогенного фактора, потеплению климата из-за выброса в атмосферу добавочного тепла, количество которого начинает составлять заметную долю от общей солнечной радиации, и загрязнению атмосферы парниковыми газами. Принятый международным сообществом «Киотский протокол» предполагал реальное ограничение развития промышленности передовых в техническом отношении стран, достигших разумных пределов в выбросах в атмосферу парниковых газов. Однако возникший в последние годы мировой экономический кризис если не остановил действие «Киотского протокола», то в значительной мере затормозил его выполнение, что чревато дальнейшим усугублением экологической обстановки.

В любом случае потребности человечества в энергии будут возрастать с каждым годом, и при этом энергетика должна развиваться более высокими темпами, чем другие отрасли, поскольку она обеспечивает не только прогресс общественного производства, но и быстро растущую бытовую нагрузку населения, пропорциональную росту его численности и общего уровня жизни.

Современная энергетика, ориентированная на преимущественное использование органического топлива, является самым сильным загрязнителем окружающей среды, воздействующим на биотопы, биоценозы и на человека как часть биосферы [1, 2].

Более того, современная энергетика оказывает влияние на биосферу в целом и весьма значительно на геоэкологическую составляющую окружающей среды (биотопы практически всех иерархических уровней): в планетарном масштабе – на атмосферу, гидросферу, литосферу – и на локальном уровне за счет потребления кислорода, выброса газов, влаги, золы, тепла и т.д.; потребления воды, создания водохранилищ, сбросов загрязняющих и нагретых вод, жидких отходов и др.; изменения почв и подстилающих грунтов, ландшафтов и их составляющих,



потребления ископаемых видов топлива, выброса токсинов и т.д.

Но человечество не может существовать без использования ресурсов планеты, многие из которых, в частности энергоносители, при нынешнем развитии техники и технологий по ряду прогнозов могут быть исчерпаны в исторически обозримой перспективе. Это, в свою очередь, окажет прямое негативное влияние на условия существования как будущих поколений, так и на дальнейшее функционирование биосферы. Следовательно, исчерпание природных ресурсов имеет и общегуманитарный аспект: нынешнее поколение не имеет права оставить будущих обитателей без любого, даже малозначимого, составляющего планеты.

### Преимущества возобновляемых источников энергии

Одно из самых актуальных направлений формирующейся во многих странах системы экологической безопасности и безусловного ресурсосбережения – реализация программ по освоению нетрадиционных источников энергии. Солнечное излучение с энергетической и термодинамической точек зрения является высококачественным первичным источником энергии, допускающим принципиальную возможность ее преобразования в другие виды энергии (тепло-, электроэнергию и др.) с высоким коэффициентом полезного действия, включая обеспечение *экологической безопасности* нашей планеты, в том числе и на фоне глобального потепления климата [1, 2].

Использование возобновляемых источников (солнечной, ветровой и т. т.) энергии – это:

- экономия органических энергоресурсов со снижением нагрузки на окружающую среду от вредных выбросов, в частности, группы газов, вызывающих парниковый эффект;
- исключение выделения добавочного тепла в окружающую среду.

Таким образом, исследование повышения эффективности устройств, преобразующих солнечную и ветровую энергию, есть задача не только техническая, но и экологическая.

Необходимо отметить, что применение солнечной энергии для теплоснабжения имеет широкие перспективы, поскольку КПД солнечных тепловых коллекторов достигает 60–80 %.

Одно из возможных мероприятий, которое позволит более эффективно использовать тепловую энергию в различных областях народного хозяйства, – аккумулярование тепла посредством применения тепловых аккумуляторов (ТА) различной конструкции.

### Фазопереходные теплоаккумулирующие материалы

Уже сегодня в солнечных системах теплоснабжения для аккумулярования вместо бака с водой предлагаются фазопереходные теплоаккумулирующие материалы (ФТАМ), в которых тепловая энергия накапливается не только за счет теплоемкости, но и за счет скрытой теплоты фазового перехода  $\Delta H$ .

Энергоаккумулирующая способность ФТАМ определяется по формуле:

$$W_{\text{ак}} = m \left[ c_{\text{ак}}^T (t_{\text{фп}} - t_0) + \Delta H + c_{\text{ак}}^K (t_{\text{к}} - t_{\text{фп}}) \right], \text{ кДж}$$

где  $m$  – масса ТАМ;  $t_0, t_{\text{к}}$  – начальная и конечная температура ФТАМ соответственно,  $^{\circ}\text{C}$ .

Экспериментально выявленные наиболее энергоемкие составы эвтектик двух-, трех-, четырех- и пятикомпонентных систем, входящих в Li, Na, Ca, Ba || F, MoO<sub>4</sub>, а также их теплоемкости, рассчитанные по экспериментальным данным об энтальпии, приведены в табл. 1. В таблице использовались следующие обозначения:  $t_{\text{пл}}$  – температура плавления;  $\Delta_f G_{298}^{\circ}$  – энергия Гиббса образования вещества при стандартных условиях;  $\Delta_f H_{298}^{\circ}$  – энтальпия образования вещества при стандартных условиях;  $\Delta H_{\text{пл}}$  – энтальпия плавления вещества;  $C_p$  – изобарная теплоемкость вещества [3].

Из табл. 1 и анализа перспективных теплоаккумулирующих материалов [4] видно, что наиболее энергоемкими в многокомпонентных системах являются эвтектические составы сечений в стабильных симплексах солевых расплавов, содержащих фториды, хлориды, нитраты и сульфаты щелочных и щелочноземельных металлов. Предлагается применять также энергоемкие обратимые химические реакции, протекающие между вышеуказанными солями.

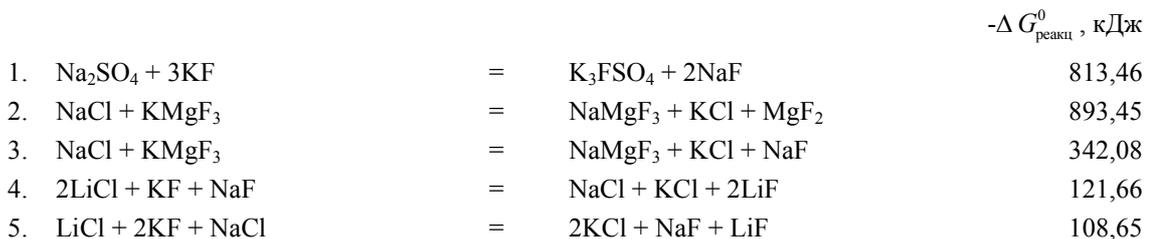


Таблица 1

Эвтектические составы многокомпонентных систем, полученных экспериментально, и их термодинамические свойства  
Table 1  
Eutectic compositions of multicomponent systems, obtained experimentally, and their thermodynamic properties

Система	Состав эвтектики в весовых %					$t_{пл}$ , °C	$\Delta H_{пл}$ , кДж/кг, экспе- римент	$C_p$ , кДж/кг К, расчет		
	Номер компонента системы							экспе- римент	твердая фаза, $t =$ 298°C	жидкая фаза, $t = t_{пл}$
	1	2	3	4	5					
(LiF) <sub>2</sub> -CaMoO <sub>4</sub>	40	60	-	-	-	738	770	1,06	1,45	
(LiF) <sub>2</sub> -BaMoO <sub>4</sub>	45,1	54,9	-	-	-	770	782	0,99	1,40	
(LiF) <sub>2</sub> -Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub>	4,3	95,7	-	-	-	558	462	0,73	0,98	
(LiF) <sub>2</sub> -CaMoO <sub>4</sub> -BaMoO <sub>4</sub>	32,4	40,4	27,2	-	-	726	655	0,93	1,25	
(LiF) <sub>2</sub> -CaF <sub>2</sub> -BaMoO <sub>4</sub>	34,8	30,3	34,9	-	-	748	625	0,98	1,42	
(LiF) <sub>2</sub> -Li <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> -BaMoO <sub>4</sub>	15,4	67	17,6	-	-	558	430	0,95	1,18	
(LiF) <sub>2</sub> -BaF <sub>2</sub> -BaMoO <sub>4</sub>	28	43,2	28,8	-	-	750	604	0,76	1,10	
(LiF) <sub>2</sub> -Li <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> -CaMoO <sub>4</sub>	16,5	80,3	3,2	-	-	570	320	1,03	1,28	
(LiF) <sub>2</sub> -CaF <sub>2</sub> -CaMoO <sub>4</sub>	41,7	11,1	47,2	-	-	730	694	1,09	1,53	
(LiF) <sub>2</sub> -Li <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> -Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub>	1,4	49,8	48,8	-	-	424	420	0,82	1,01	
(LiF) <sub>2</sub> -(NaF) <sub>2</sub> -Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub>	1,1	5,0	93,9	-	-	550	410	0,72	0,97	
Li <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> -Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> -CaMoO <sub>4</sub>	48,8	47	4,2	-	-	442	189	0,80	0,98	
Li <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> -Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> -BaMoO <sub>4</sub>	45,4	43,9	10,7	-	-	432	199	0,77	0,94	
Li <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> -CaMoO <sub>4</sub> -BaMoO <sub>4</sub>	86,4	2,2	11,4	-	-	622	236	0,86	1,00	
Li <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> -Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> -CaMoO <sub>4</sub> -	43,6	43,2	4,1	9,1	-	428	203	0,77	0,94	
(LiF) <sub>2</sub> -Li <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> -CaMoO <sub>4</sub> -BaMoO <sub>4</sub>	14,8	64,9	2,9	17,4	-	554	333	0,94	1,17	
(LiF) <sub>2</sub> -CaF <sub>2</sub> -BaF <sub>2</sub> -BaMoO <sub>4</sub>	27	20,7	42,8	9,5	-	704	528	0,83	1,23	
(LiF) <sub>2</sub> -CaF <sub>2</sub> -CaMoO <sub>4</sub> -BaMoO <sub>4</sub>	27,1	4,9	44,3	23,7	-	724	609	0,89	1,20	
(LiF) <sub>2</sub> -(NaF) <sub>2</sub> -CaF <sub>2</sub> -BaF <sub>2</sub> -BaMoO <sub>4</sub>	20,4	31,2	15,8	6,3	26,3	536	655	0,96	1,40	

Ниже приведены некоторые из выявленных программой ЭВМ [5] реакций, которые могут быть использо-  
ваны для термохимического аккумулирования:



Таким образом, применение ФТАМ – это более энергоемкий и эффективный способ, повышающий стабильность энергоснабжения от возобновляемых источников энергии.

Кроме того, необходимо отметить, что влияние перечисленных ФТАМ на окружающую среду минимально, так как соли используются в замкнутых системах. При работе тепловых аккумуляторов происходит плавление и кристаллизация, которые могут

повторяться от 2 000–3 000 раз для кристаллогидратов и до бесчисленного количества раз для неразлагающихся солей, и при этом отсутствуют выбросы в атмосферу. Более того, эти соли – хлориды, сульфаты, нитраты, карбонаты – залегают в земной коре, и их сброс после обработки также не влияет на окружающую среду.

Приведем сравнительный анализ экологической безопасности ФТАМ на основе солей с наиболее

часто предлагаемыми системами для промышленного аккумулирования энергии – гидроаккумулирования и применения (для повышения стабильности энергоснабжения) дизель-генераторов.

Во-первых, использование гидроаккумулирующих электростанций (ГАЭС) для теплового аккумулирования энергии (солнечной и ветровой) возобновляемых источников может иметь низкий КПД, так как в данном случае преобразование энергии проходит несколько стадий, и с каждой из них общий КПД снижается. Общий КПД аккумулирования, например, солнечной энергии на ГАЭС  $\eta_{\text{ГАЭС}}$  можно определить по формуле:

$$\eta_{\text{ГАЭС}} = \eta_{\text{СвЭ}} \cdot \eta_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{т}} \cdot \eta_{\text{г}} \cdot \eta_{\text{Эвт}}$$

где  $\eta_{\text{СвЭ}}$  – КПД преобразования солнечной энергии в электрическую в ФЭП;  $\eta_{\text{н}}$  – КПД насоса;  $\eta_{\text{т}}$  – КПД турбины;  $\eta_{\text{г}}$  – КПД генератора;  $\eta_{\text{Эвт}}$  – КПД преобразования электрической энергии в тепловую.

При существующих на сегодняшний день технических устройствах преобразования общей тепловой КПД  $\eta_{\text{ГАЭС}} = 0,13$  (не учитывая потери при передаче электроэнергии). ГАЭС имеют и другие недостатки:

- дорогое обслуживание оборудования;
- затопление или отвод земель;
- изменение местной экосистемы, экосистемы реки.

В то же время использование для повышения стабильности энергоснабжения потребителя дизель-генераторов не снимает экологические проблемы, связанные со сжиганием органических видов топлива, так как в дизель-генераторах также осуществляются многостадийные процессы преобразований для получения тепловой энергии, производятся выбросы вредных для окружающей среды газов, создается шум при работе, требуется постоянный уход и обслуживание.

### Заключение

Таким образом, эвтектические составы исследованных многокомпонентных систем на основе солей щелочных и щелочноземельных металлов имеют большие значения теплоты плавления ( $\Delta H_{\text{пл}}$  до 782 кДж/кг) и тепловых эффектов в химических реакциях между ними ( $-\Delta G_{\text{реакц}}^0$  до 893,45 кДж), которые могут быть использованы в качестве теплоаккумулирующих материалов в энергоустановках на базе возобновляемых источников энергии. Они, по сравнению с гидроаккумулированием, меньше влияют на окружающую среду и более энергоэффективны.

### Список литературы

1. Волшаник В.В., Пешнин А.Г., Хаманджода У., Щенникова Г.Н. Экологические основы использования возобновляющихся источников энергии // Вестник МГСУ. 2010. Т. 2, № 4. М.: МГСУ. С. 108–119.
2. Соренсен Б. Преобразование, передача и аккумулирование энергии: Учебно-справочное руководство. Долгопрудный: Издательский дом «Интеллект», 2011. 296 с.
3. Бабаев Б.Д. Высокотемпературные фазопереходные теплоаккумулирующие материалы на основе системы Li, Na, Ca, Ba || F, MoO<sub>4</sub> и их свойства // Теплофизика высоких температур. 2014. Т. 52, № 4. С. 568–571.
4. Бабаев Б.Д. Принципы теплового аккумулирования и используемые теплоаккумулирующие материалы // Теплофизика высоких температур. 2014. Т. 52, № 5. С. 760–776.
5. Свид. о гос. рег. программы для ЭВМ № 2005610201 «Описание термохимических реакций в многокомпонентных взаимных системах "Тепловой эффект в зависимости от температуры"» / Б.Д. Бабаев, Г.М. Халиллуллаев // Зарег. в Реестре программ для ЭВМ 21.01.2005.

### References

1. Volshanik V.V., Peshnin A.G., Hamandzhoda U., Shchennikova G.N. Èkologièeskie osnovy ispol'zovaniâ vozobnovlâiûsihsâ istoènikov ènergii. *Vestnik MGSU*, 2010, vol. 2, no. 4. Moscow: MGSU Publ., pp. 108–119 (in Russ.).
2. Sorensen B. Preobrazovanie, peredaèa i akkumulirovanie ènergii: Uèebno-spravoènoe rukovo-dstvo [Conversion, transmission and energy storage : Training and Reference Guide]. Dolgoprudnyj: Izdatel'skij dom «Intel-lect» Publ., 2011, 296 p.
3. Babaev B.D. Vysokotemperaturnye fazoperehodnye teploakkumuliruûsie mate-rialy na osnove sistemy Li, Na, Ca, Ba || F, MoO<sub>4</sub> i ih svojstva. *Teplofizika vysokih temperatur*, 2014, vol. 52, no. 4, pp. 568–571 (in Russ.).
4. Babaev B.D. Principy teplovogo akkumulirovaniâ i ispol'zuemye teploakkumuliruûsie materialy [Principles of thermal storage and heat storage materials used] // *Teplofizika vysokih temperatur*, 2014, vol. 52, no. 5, pp. 760–776 (in Russ.).
5. Babaev B.D., Halilullaev G.M. The certificate of state registration of the computer program № 2005610201 «Opisanie termohimièeskikh reakcij v mnogokomponentnyh vzaimnyh sistemah "Teplovoj èffekt v zavisimosti ot temperatury"» ["Description of thermochemical reactions in multi-component mutual systems" thermal effect depending on the temperature"] // registered in the register of computer programs 21.01.2005 (in Russ.).

Транслитерация по ISO 9:1995





## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МОДЕЛИ ВОЛНОВОГО ГЕНЕРАТОРА

*М.С. Гринкруг, Н.А. Ткачёва*

ФГБОУ ВПО «Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет»  
РФ 681013, Хабаровский край, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27  
тел.: 8(4217) 24-12-33; e-mail: grin@knastu.ru

doi: 10.15518/isjaee.2015.20.002

Заключение совета рецензентов: 04.09.15 Заключение совета экспертов: 10.09.15 Принято к публикации: 17.09.15

Авторы данной статьи предлагают волновой поплавковый генератор для автономных потребителей энергии, находящихся около водных акваторий далеко от систем централизованного электроснабжения. В работе рассмотрены экспериментальные исследования модели волнового генератора и описана методика проведенного эксперимента. Исследования показали, что волновой генератор может быть использован в качестве источника электрической энергии в автономных системах электроснабжения.

Ключевые слова: волновой генератор, экспериментальные исследования, математическая модель.

## EXPERIMENTAL RESEARCH ON WAVE GENERATOR MODEL

*M.S. Grinkrug, N.A. Tkacheva*

Komsomolsk-on-Amur State Technical University  
27 Lenin ave., Khabarovsk reg., Komsomolsk-on-Amur, 681013 Russian Federation  
ph.: 8(4217) 24-12-33; e-mail: grin@knastu.ru

doi: 10.15518/isjaee.2015.20.002

Referred 4 September 2015 Received in revised form 10 September 2015 Accepted 17 September 2015

The authors of this article offer the float wave generator for autonomous energy consumers located around water areas far away from centralized power systems. The paper deals with the experimental study of the wave generator model and describes the methodology of the experiment. Studies have shown that the wave generator may be used as a source of electric power in autonomous power systems.

Keywords: wave generator, experimental studies, mathematical model.





Гринкруг Мирон Соломонович  
Miron S. Grinkrug

**Сведения об авторе:** канд. техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Общая физика» ФГБОУ ВО «КнАГТУ».

**Образование:** Комсомольский-на-Амуре политехнический институт (1979 г.).

**Область научных интересов:** энергетика, энергосбережение.

**Публикации:** 203.

**Information about the author:** PhD (engineering), professor, head of General Physics department of Komsomolsk-on-Amur State Technical University.

**Education:** Komsomolsk-on-Amur Polytechnic Institute (1979).

**Research area:** power engineering, energy saving.

**Publications:** 203.



Ткачёва Нина Алексеевна  
Nina A. Tkacheva

**Сведения об авторе:** аспирант электротехнического факультета ФГБОУ ВО «КнАГТУ»; направление подготовки «Электро- и теплотехника», направленность подготовки «Электротехнические комплексы и системы».

**Образование:** Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет (2014).

**Область научных интересов:** альтернативная энергетика, энергосбережение.

**Публикации:** 11.

**Information about the author:** graduate student of Electrical Engineering faculty of Komsomolsk-on-Amur State Technical University.

**Education:** Komsomolsk-on-Amur State Technical University (2014).

**Research area:** alternative energy, energy saving.

**Publications:** 11.

## Введение

Одним из актуальных направлений альтернативной энергетики является использование энергии морских волн. Данное направление имеет большое преимущество, так как плотность потока энергии морских волн существенно больше плотности потока солнечной и ветровой энергии. Вследствие этого при одинаковой мощности источников электрической энергии, размеры, а значит, и стоимость генераторов, использующих энергию волн, будут существенно меньше, чем у ветрогенераторов и генераторов, использующих солнечную энергию.

Эти факторы позволяют говорить о перспективности и актуальности разработок в данной области.

В настоящее время имеется много конструкций волновых генераторов, но очень мало экспериментальных работ по данной тематике.

В этой статье рассматриваются экспериментальные исследования модели волнового генератора, и описывается методика проведенного эксперимента.

Цель работы – проверка разработанной в статье [1] математической модели волнового генератора и проведенных расчетных исследований по влиянию парамет-

ров волн и конструктивных особенностей волнового генератора на его характеристики.

## Особенности конструкции модели волнового генератора

Основной особенностью конструкции модели волнового генератора является двойное преобразование движения при получении электроэнергии. Первоначальное движение колеблющегося поплавка преобразуется во вращательное движение в паре винт-гайка. В дальнейшем вращательное движение преобразуется в колебательное движение катушки относительно магнитов. Данное движение характеризуется малой амплитудой и большей скоростью, что необходимо для эффективной работы волнового генератора при меняющейся амплитуде волн.

На рисунке 1 представлен общий вид поплавкового волнового генератора.

Устройство работает следующим образом. При наличии волн поплавок 2 совершает вертикальные движения вдоль собственной оси, при этом прикрепленный к поплавку шток 23 совершает возвратно-поступательное перемещение относительно каркаса 1. Винтовая часть

штока при вертикальном перемещении вверх с осевой силой, развиваемой поплавком 2, создает крутящий момент, передаваемый ротору 10, тем самым преобразуя поступательное движение штока 23 во

вращательное движение закрепленного в корпусе 13 ротора 10. При движении вниз шток 23 опускается под действием собственной силы тяжести и сил тяжести катушки 5 и поплавка 2.

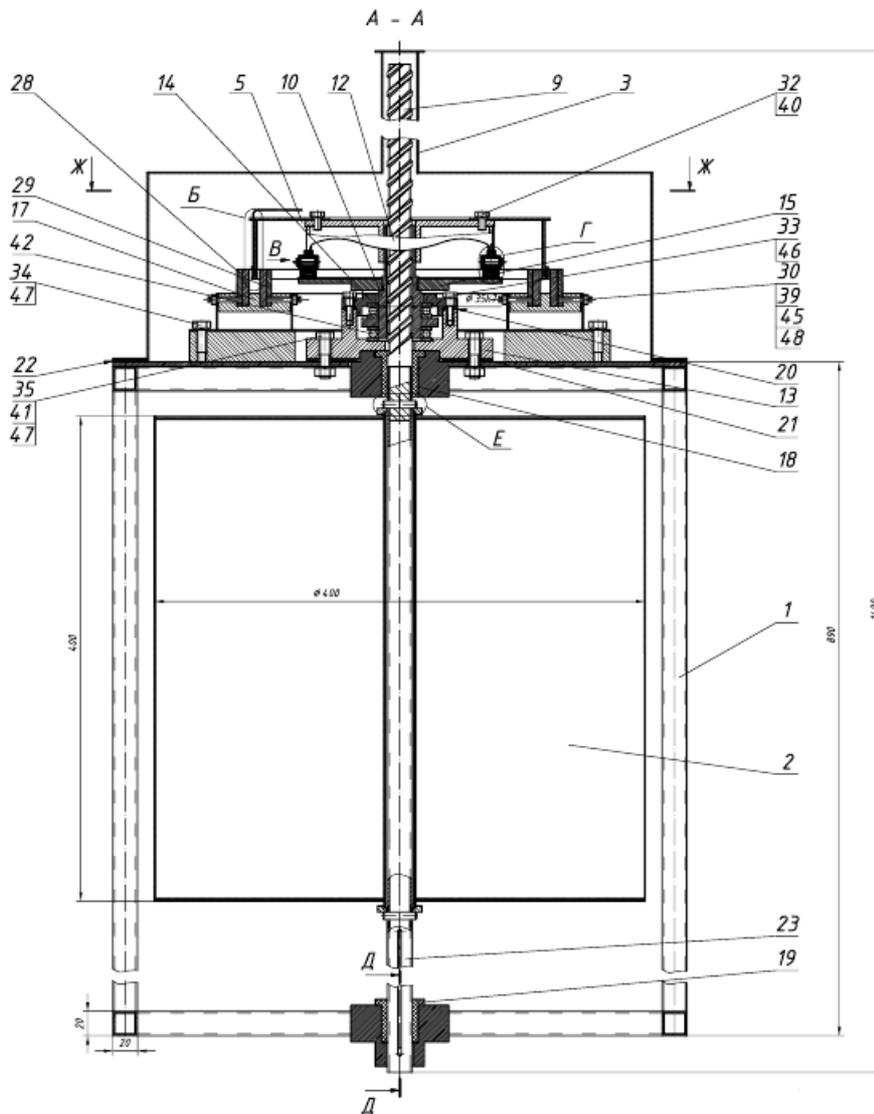


Рис. 1. Общий вид поплавкового волнового генератора:

1 – каркас; 2 – поплавок; 3 – кожух; 5 – катушка; 9 – винт; 10 – ротор; 11 – площадка; 12 – стакан; 13 – корпус; 14 – крышка; 15 – гайка опорная; 17 – основание; 18, 19 – втулка; 20, 21, 22 – прокладка; 23 – шток; 28, 29 – обойма наружная; 30 – винт установочный; 32, 33, 34, 35 – болт; 39, 40 – гайка; 42 – подшипник; 45, 46, 47, 48 – гайка

Fig. 1. General view of the float wave generator:

1 – framework; 2 – float; 3 – case; 5 – spool; 9 – bolt; 10 – rotor; 11 – platform; 12 – cartridge; 13 – pack; 14 – cap; 15 – nut; 17 – base; 18, 19 – bush; 20, 21, 22 – spacer; 23 – rod; 28, 29 – cage; 30 – screw; 32, 33, 34, 35 – bolt; 39, 40 – nut; 42 – bearing; 45, 46, 47, 48 – nut

При перемещении штока 23 вниз создается крутящий момент, передаваемый ротору 10, который вращается в противоположную сторону. При этом масса поплавка 2 должна быть выбрана таким образом, чтобы обеспечивался постоянный контакт подшипников 42 с обкатываемой поверхностью площадки 11. При вращении ротора 10, в результате обкатывания подшипниками 42 поверхности, имеющей периодический профиль переменной кривизны, площадка 11 вместе с установлен-

ной на ней катушкой 5 совершает возвратно-поступательные движения, в результате чего в обмотке возникает электрический ток, который подается на объект преобразования, потребления или аккумуляции электрической энергии. Для исключения возможности вращения штока предусмотрен фиксатор 24, а для исключения повреждений от атмосферных воздействий конструкция закрыта кожухом 3.

Предлагаемое устройство имеет ряд преим-

ществ:

– достигается эффективная генерация электроэнергии на волнах любой амплитуды независимо от скорости вертикального движения волн за счет увеличения частоты возвратно-поступательных перемещений катушки генератора по сравнению с вертикальным движением поплавка;

– повышается эффективность работы вследствие большого числа витков, намотанных на катушку.

**Результаты экспериментальных исследований модели волнового генератора**

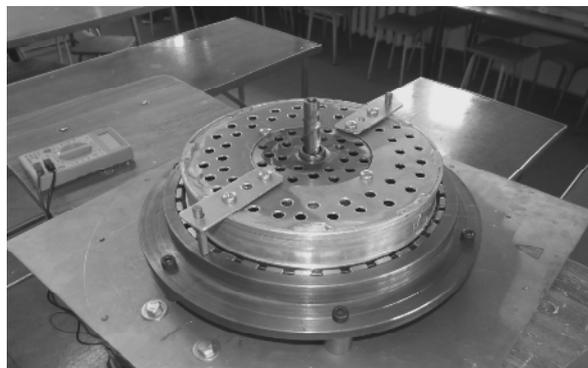
Для сопоставления результатов расчетных исследований с истинными характеристиками волнового генератора были проведены экспериментальные исследования с целью проверки математической модели волнового генератора.

На рисунке 2 представлена модель волнового генератора в сборе перед испытаниями.

Первоначально выходы генератора были соединены с электронным осциллографом. Это позволило наблюдать форму сигнала выходного напряжения волнового генератора и оценить его амплитуду.

В дальнейшем проводились замеры выходного напряжения волнового генератора вольтметром пе-

ременного тока. Одновременно секундомером с точностью 0,2 секунды проводились замеры времени хода штока для определения средней скорости движения.



**Рис. 2.** Модель волнового генератора в сборе перед испытаниями

**Fig. 2.** Assembly wave generator model before testing

Результаты (табл. 1–2) были сопоставлены с результатами расчетов, полученными на основе математической модели.

Результаты расчета

Calculation results

Таблица 1

Table 1

Время, с	Напряжение волнового генератора, В
1,5	10,18
2	7,63
2,5	6,1
3	5,1
3,5	4,36
4	3,81
4,5	3,4

Результаты эксперимента

Experiment results

Таблица 2

Table 2

Время, с	Напряжение волнового генератора, В
1,6	8,7
1,8	8,7
2	7,1
2	7,6
2,6	6,1
2,6	5,9
2,8	4,9
3	4,9
3	4,9
3	4,9
3,8	3,7
4	3,1
4	3,2
4,2	3,25
4,2	3,26



Графики экспериментальных и расчетных значений показаны на рисунках 3–4.

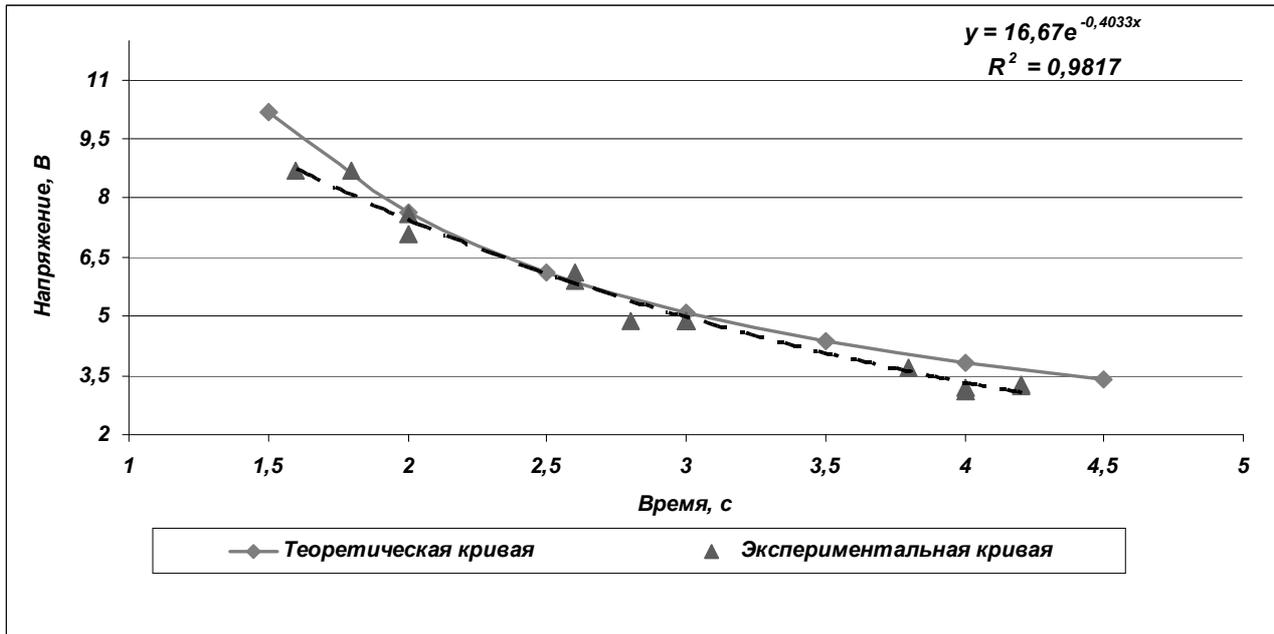


Рис. 3. Графические зависимости напряжения волнового генератора от времени движения штока  
Fig. 3. Graphic dependences of wave generator voltage on time of rod movement

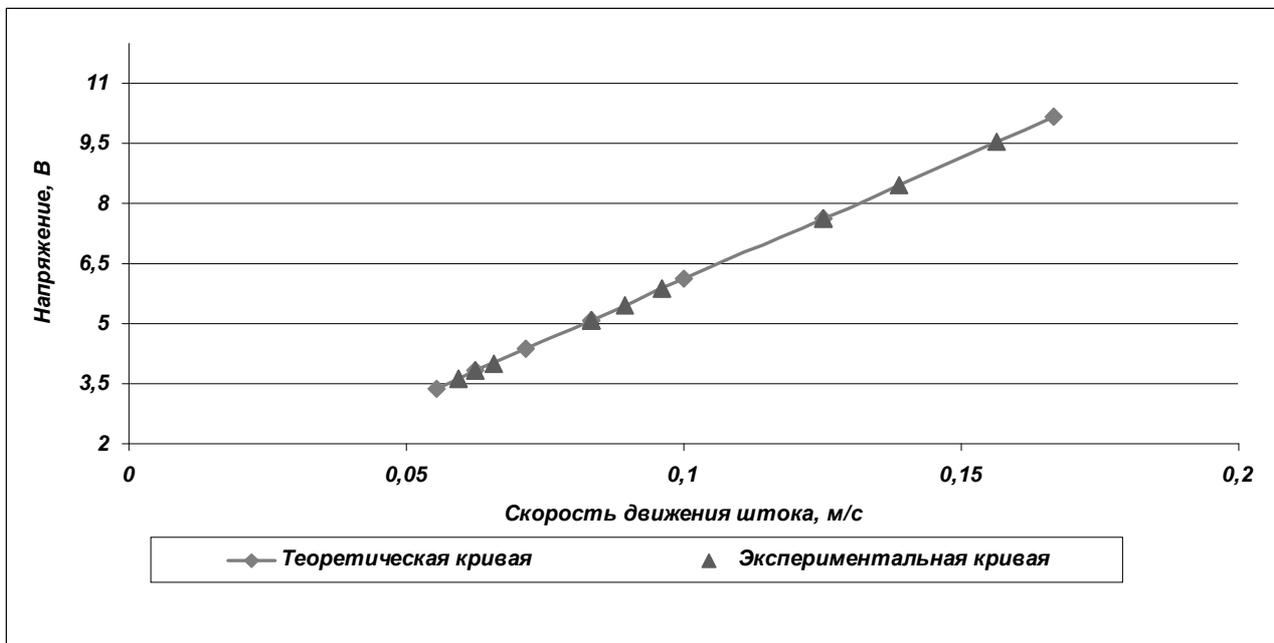


Рис. 4. Графические зависимости напряжения волнового генератора от средней скорости движения штока  
Fig. 4. Graphic dependences of wave generator voltage on average speed of rod movement

### Выводы

Проведенные экспериментальные исследования разработанной модели волнового генератора показали:

1. Экспериментальные значения выходного напряжения практически совпадают с расчетными, что говорит об адекватности математической модели.

2. Для улучшения характеристик волнового генератора при различных видах волн требуется разработка конструкции поплавка некруглого сечения, а также его автоматического поворота относительно направления движения волн в зависимости от их амплитуды.

### Список литературы

1. Гринкруг М.С., Патлина О.В., Ткачёва Н.А. Динамика волнового генератора с цилиндрическим поплавком на плоской волне // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEE). 2013. № 14. С. 45–48.

2. Гринкруг М.С., Ткачёва Н.А., Гордин С.А.

Автономная система электроснабжения на базе волнового генератора // Материалы Международной конференции «Возобновляемая энергетика. Прикладные аспекты разработки и практического использования» (г. Черноголовка). 2014. С. 62.

### References

1. Grinkrug M.S., Patlina O.V., Tkacheva N.A. Dinamika volnovogo generatora s cilindričeskim poplavkom na ploskoj volne. *International Scientific Journal "Alternativnaâ ènergetika i èkologiâ" (ISJAEE)*, 2013, no. 14, pp. 45–48 (in Russ.).

2. Grinkrug M.S., Tkacheva N.A., Gordin S.A. Avtonomnaâ sistema èlektrosnabženiâ na baze volnovogo generatora. *The proceedings of International Conference «Vozobnovlâemâ ènergetika. Prikladnye aspekty razrabotki i praktičeskogo ispol'zovaniâ»* (Chernogolovka), 2014, p. 62 (in Russ.).

Транслитерация по ISO 9:1995



### АКЦИЯ «АРХИВНЫЕ НОМЕРА 2000–2013»:

**Научно-технический центр «ТАТА»  
предлагает приобрести архивные номера журналов**

1. Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEE) (2000–2013);
2. Международный научный журнал «Письма в «АЭЭ»» (№ 1, 2014);
3. Международный научный журнал «Космонавтика» (№ 1, 2011; № 1-2 и № 3-4, 2012);
4. Международный научный журнал «Фундаментальная и прикладная физика» (№ 1, 2012)
5. Международный научный журнал «История оружия и военное искусство» (№ 1-2, 2012).

стоимость одного номера – 360 руб. (почтовые расходы на территории РФ включены);

стоимость комплекта из 6 номеров (любых) – 1 860 руб. (почтовые расходы на территории РФ включены);

стоимость комплекта из 12 номеров (любых) – 3 000 руб. (почтовые расходы на территории РФ включены).

**количество журналов ограничено!**

по вопросам приобретения обращаться  
e-mail: p.maximova@hydrogen.ru  
(Максимова Полина Александровна)

УДК:620.91

## ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛА ВОЛНОВОЙ ЭНЕРГИИ ПРИБРЕЖНОЙ АКВАТОРИИ ПОЛУОСТРОВА КРЫМ

*В.С. Архипкин<sup>1</sup>, А.Г. Васьков<sup>2</sup>, С.В. Киселева<sup>1</sup>, С.А. Мысленков<sup>1</sup>,  
С.А. Темеев<sup>3</sup>, А.А. Темеев<sup>3</sup>, П.М. Умнов<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова  
РФ 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1

тел.: (495) 939-42-57; e-mail: k\_sophia\_v@mail.ru

<sup>2</sup>ФГБ ОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»

РФ 111250, г. Москва, ул. Красноказарменная, д. 14

тел.: (495)362-72-51; e-mail: VaskovAG@mpei.ru

<sup>3</sup>ООО «Компания «Прикладные технологии»

РФ 117292, Москва, ул. Профсоюзная, 16/10-301

тел./факс: +7(499)125-22-25; e-mail: atecom@atecom.ru; web: www.atecom.ru

doi: 10.15518/isjaee.2015.20.003

Заключение совета рецензентов: 04.09.15 Заключение совета экспертов: 11.09.15 Принято к публикации: 18.09.15

В работе сделан краткий обзор использованных ранее методик оценки волновой энергии и представлены результаты этих оценок для окраинных морей РФ. В настоящее время в зарубежной практике для оценки волновых энергетических ресурсов активно применяются методы, основанные на обработке данных реанализа (скорость ветра) и математическом моделировании (характеристики волнения). Этот подход позволяет проводить детальный анализ волновых энергетических характеристик как для значительных акваторий, так и для отдельных точек или локальных областей. Для выделенной точки акватории Черного моря авторами были проведены оценки энергетических характеристик волнения с использованием спектральной модели ветрового волнения третьего поколения SWAN (Simulating Waves Nearshore). При расчетах учитывались поля ветра на высоте 10 м, полученные из реанализа NCEP/NCAR, с шагом по времени 6 часов и пространственным разрешением 1,875° по долготе и 1,9046° по широте за период с 1948 по 2010 гг. Для конкретной даты построена карта высот значительных волн и транспорта энергии на акватории Черного моря. Набор таких карт или карты распределения среднесезонного потока энергии, созданные на основе современных методов оценки, могут быть использованы для выявления акваторий, наиболее перспективных для размещения волновых энергетических установок.

Ключевые слова: волновая энергия, методы оценки ресурсов, статистический и спектральный подходы, реанализ, математическое моделирование, спектральная волновая модель SWAN, акватория Черного моря, карты.

## ASSESSING THE POTENTIAL OF WAVE ENERGY IN COASTAL WATERS OF CRIMEA PENINSULA

*V. Arhipkin<sup>1</sup>, A. Vas'kov<sup>2</sup>, S. Kiseleva<sup>1</sup>, S. Myslenkov<sup>1</sup>, S. Temeev<sup>3</sup>, A. Temeev<sup>3</sup>, P. Umnov<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography

1 Leninskiye Gory, Moscow, 119991 Russian Federation

ph.: (495) 939-42-57; e-mail: k\_sophia\_v@mail.ru

<sup>2</sup>National Research University "Moscow Power Engineering Institute"

14 Krasnokazarmennaya str., Moscow, 111250 Russian Federation

ph.: (495)362-72-51; e-mail: VaskovAG@mpei.ru

<sup>3</sup>Applied Technologies Company Ltd.

16/10-301 Profsoyuznaya str., Moscow, 117292 Russian Federation

ph.: (499) 125-2225 e-mail: atecom@atecom.ru

doi: 10.15518/isjaee.2015.20.003

Referred 4 September 2015 Received in revised form 11 September 2015 Accepted 18 September 2015

The present study reviews the previously used methods of wave energy evaluation and the results of these evaluations for the marginal seas of the Russian Federation. Currently in the international practice the methods based on the processing of data reanalysis (wind speed) and the mathematical modeling (characteristics of the waves) are widely used for the wave energy evaluation. This approach allows scientists carrying out a detailed analysis of the wave energy for large water areas, individual points or local areas. For a selected point of the Black Sea the authors have conducted assessment of the wave energy using the third generation spectral model for the wind waves SWAN (Simulating Waves Nearshore). The calculations used the wind field at a height of 10 m, derived from reanalysis NCEP / NCAR, with a time step of 6 hours, and the spatial resolution of 1,875 ° (in longitude) and 1,9046 ° (latitude) for the period from 1948 to 2010. For a specific date the map of significant wave heights and transport of energy in the Black Sea was created. A set of such maps or maps of the average annual energy flow based on modern methods of evaluation can be used for identifying water area that are most relevant to accommodate the wave power plants.

Keywords: wave energy, resource assessment methods, statistical and spectral approaches, reanalysis, mathematical modeling, spectral wave model SWAN, the water area of the Black Sea, maps.



Архипкин Виктор Семенович  
Victor S. Arhipkin

**Сведения об авторе:** канд. географ. наук, доцент кафедры океанологии географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова.

**Образование:** географический факультет МГУ.

**Область научных интересов:** физические свойства морской воды, прибрежная океанография, гидрология внутренних морей, моделирование ветрового волнения и прибрежной циркуляции вод.

**Публикации:** более 150, среди них 9 монографий и учебных пособий, два государственных патента на базы данных по волнению.

**Information about the author:** PhD (geography), assistant professor at the Oceanology department, Geography faculty, MSU.

**Education:** Geography faculty, MSU.

**Research area:** physical properties of seawater, coastal oceanography, hydrology of inland seas, wind waves modeling, coastal currents modeling.

**Publications:** more than 150, including 9 monographs, 2 state wave data bases patent.



Васьков Алексей Геннадиевич  
Alexey G. Vas'kov

**Сведения об авторе:** канд. техн. наук, доцент кафедры «Гидроэнергетика и возобновляемые источники энергии» ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ».

**Образование:** НИУ Московский энергетический институт (2010).

**Область научных интересов:** управление режимами работы энергокомплексов на основе ВИЭ.

**Публикации:** более 20 работ, 1 авторское свидетельство.

**Information about the author:** PhD (engineering), associate professor at the Hydropower and Renewable Energy department.

**Education:** National Research University "Moscow Power Engineering Institute" (2010).

**Research area:** mode control of power complexes based on renewable energy

**Publications:** over 20, 1 copyright certificate



Киселева Софья Валентиновна  
Sofia V. Kiseleva

**Сведения об авторе:** канд. физ.-мат. наук, ведущий научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории возобновляемых источников энергии географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова.

**Образование:** физический факультет МГУ (1987) и аспирантура того же факультета (1990).

**Область научных интересов:** возобновляемые источники энергии, оценка ресурсов ВИЭ, лабораторное моделирование динамических процессов в океане.

**Публикации:** более 80, в том числе патентов на изобретения.

**Information about the author:** PhD (physics and mathematics), senior researcher of the Renewable Energy Sources Laboratory (Lomonosov Moscow State University, Geography faculty).

**Education:** Physics faculty of Lomonosov Moscow State University.

**Research area:** renewable energy sources: resource evaluation, ecology-geographical aspects of renewable energy; laboratory modeling of ocean and atmosphere's dynamical process.

**Publications:** over 80, including patents.





Мысленков Станислав Александрович  
Stanislav A. Myslenkov

**Сведения об авторе:** старший научный сотрудник кафедры океанологии географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова.

**Образование:** географический факультет МГУ (2007).

**Область научных интересов:** морское волнение, морские течения, экспериментальная океанография.

**Публикации:** 18 научных работ, два государственных патента на базы данных по волнению.

**Information about the author:** senior researcher at the Oceanology department of Geography faculty, MSU.

**Education:** Geography faculty, MSU (2007).

**Research area:** wind waves, ocean currents, experimental oceanography.

**Publications:** 18 publications, 2 state wave data bases patent.



Темеев Александр Архипович  
Alexandr A. Temeev

**Сведения об авторе:** канд. техн. наук, директор ООО «Компания «Прикладные технологии».

**Образование:** Московский авиационный институт (1967); канд. техн. наук (физика и химия плазмы, 1975); доцент по кафедре физики (1982).

**Область научных интересов:** разработка компонентов экологически чистой энергосистемы на базе возобновляемых ресурсов мирового океана; преобразователи энергии волн в электроэнергию и установки для получения водорода путем электролиза морской воды; исследование процесса возбуждения микроволновых колебаний в плазменно-пучковых электроразрядных устройствах.

**Публикации:** более 90 работ и патентов.

**Information about the author:** PhD (engineering), director of the Applied Technologies Company Ltd.

**Education:** Moscow Aviation Institute (1967); PhD (plasma physics and chemistry, 1975); associate professor (physics, 1982).

**Research area:** development of the components of ecologically safe power-industrial systems based on renewable resources of the oceans: a unique offshore Float Wave Energy Electric Power Station as an efficient means for sea wave energy conversion and technology for the production of hydrogen using seawater electrolysis; the study of the excitation of microwave oscillations in a plasma-beam discharge unit.

**Publications:** more than 90 scientific papers and patents.



Темеев Сергей Александрович  
Sergey A. Temeev

**Сведения об авторе:** канд. техн. наук, заместитель директора ООО «Компания «Прикладные технологии».

**Образование:** НИУ Московский авиационный институт, аэрокосмический факультет (1997), аспирантура МАИ, кафедра «Механика сплошных сред» (2001).

**Область научных интересов:** разработка новых устройств и энергопромышленных систем на базе преобразования энергии морских волн; водородная энергетика.

**Публикации:** 9 и 2 патента.

**Information about the author:** PhD (engineering), deputy director of the Applied Technologies Company Ltd.

**Education:** Moscow Aviation Institute (MAI); Aerospace faculty (1997); PhD (oceanology, 2010).

**Research area:** the development of new devices and systems based on the sea wave energy conversion; hydrogen energy.

**Publications:** 9 and 2 patents.





Умнов Павел Михайлович  
Pavel M. Umnov

**Сведения об авторе:** начальник отдела ИТ географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова.

**Образование:** радиотехнический факультет МЭИ (1992).

**Круг научных интересов:** разработка и производство приборов охранно-пожарной сигнализации.

**Information about the author:** the head of IT department, Geography faculty, MSU.

**Education:** Radio Engineering faculty of MPEI.

**Research area:** development and production of equipment of fire alarm.

## Введение

При оценке ресурсов возобновляемых источников энергии (ВИЭ) на территории СССР в 1970–1990 гг. активно проводилось изучение ресурсов энергии волн [1–6]. Это было обусловлено, в частности, огромной общей протяженностью береговой линии России (порядка 43 000 км), достаточно высокой по сравнению с другими ВИЭ плотностью волновой энергии и значительным КПД устройств, преобразующих энергию волн в полезные виды энергии (до 90 %). Кроме того, активное вовлечение в хозяйственную деятельность удаленных регионов, лишенных централизованного энергоснабжения и имеющих выход на акватории северных и дальневосточных морей, также определяло внимание исследователей к оценкам потенциала волновой энергии. Следует отметить и общий высокий уровень интереса к различным направлениям возобновляемой энергетики в СССР в те годы. В настоящее время устройства волновой энергетики значительно уступают по востребованности фотоэлектрическим преобразователям (ФЭП), ветроэнергоустановкам (ВЭУ) и т.п. Это связано с общепринятым мнением о том, что волновая энергия не может обеспечить значимые объемы выработки для снабжения потребителей, расположенных на прибрежных территориях России. В то же время происходит активное развитие технологий волновой энергетики и рост числа различных автономных объектов – на побережье, в шельфовой зоне морей, в открытом океане – с невысоким уровнем энергопотребления, например: морские платформы различного назначения, океанологические системы наблюдения и мониторинга [7, 8] и другие объекты.

В представленной работе в качестве региона исследований рассматривается прибрежная зона полуострова Крым. Согласно данным Минэнерго РФ [9], полуостров Крым обеспечен собственными генерирующими мощностями электроэнергетики на 25–30 % с учетом солнечных и ветровых источников. Одним из возможных путей развития может стать дальнейшее наращивание имеющихся на полуострове мощностей солнечной, ветровой энергетики, а также более ши-

рокое использование других ВИЭ. В этой связи важно проанализировать ресурсы различных видов возобновляемых источников энергии, в том числе и волновой энергии.

Разработка устройств, с помощью которых энергия волн может быть преобразована в электроэнергию без какого-либо ущерба для окружающей среды, ведётся уже на протяжении нескольких десятилетий. Концепции, положенные в основу работы преобразователей энергии волн, главным образом сводятся к нескольким признанным базовым моделям [10]: колеблющийся водяной столб, переливные устройства, пассивные вертикально или горизонтально колеблющиеся устройства, качающиеся и рычажные устройства. Однако до настоящего времени устройства, создаваемые на базе известных технических решений, не позволяли адекватно решить эту задачу, так как энергопроизводительность данных устройств в большой степени зависит от постоянства длины, интенсивности и направления распространения волн, и в силу вероятностного характера процесса волнообразования их эффективность не может быть высокой.

Очевидно, что наилучшим механизмом отбора энергии волн является колебательный, соответственно, ключевым элементом преобразователя энергии должно быть колебательное устройство, согласованное с внешним волновым полем. Этот принцип был реализован в проекте поплавковой волновой электростанции (ПВЭС), где в качестве одного из основных блоков используется колебательный привод [11, 12].

## Устройство и преимущества поплавковой волновой электростанции (ПВЭС)

Модуль ПВЭС представляет собой продолговатую осесимметричную капсулу-поплавок, располагающуюся на поверхности моря и ориентированную в направлении местной вертикали (рис. 1). Основными элементами устройства, находящимися внутри герметичной капсулы, являются механический преобразователь энергии волн 1, электрогенератор 2 и вспомогательный накопитель энергии 3. Механический преобразователь энергии волн состоит из упру-



го маятника, подвешенного к капсуле, и приводного механизма, сцепленного с грузом маятника и обеспечивающего пондеромоторное возбуждение тока в электрогенераторе.

Под действием волн капсула и маятник находятся в непрерывном колебательном движении, а привод обеспечивает раскрутку якоря электрогенератора.

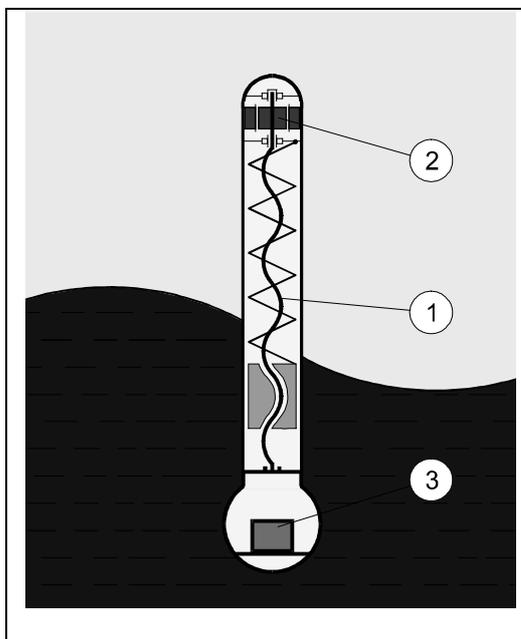


Рис. 1. Схема модуля ПВЭС  
Fig. 1. Module outline of the float wave station

Основными достоинствами, отличающими ПВЭС от всех других разрабатываемых в мире волноэнергетических преобразователей, являются:

- Использование в преобразователе колебательного привода, который позволяет согласовывать работу устройства с внешним волновым полем, обеспечивая тем самым наилучшие условия для отбора энергии.
- Возможность размещения энергоустановок и энергопромышленных комплексов прямо в морях и океанах, в местах мало или совсем не пригодных для обитания человека или мореплавания; возможность изменения места размещения установок в зависимости от волновой активности морской акватории и сезонно-синоптических условий.
- Эффективная и надежная работа при любых длинах, скоростях, интенсивностях и направлениях распространения морских волн; возможность подстройки параметров устройства под внешние изменяющиеся условия.

В зависимости от назначения, можно создавать как одномодульные, рассчитанные на мощность до 50 кВт, так и многомодульные установки в виде сети, которые могут быть собраны из большого количества модулей с суммарной электрической мощно-

стью в десятки мегаватт для питания энергоемких потребителей.

Проектирование волновой установки или системы для конкретной акватории требует проведения оценки потенциала волновой энергии. Энергия волн распределяется весьма неоднородно в пространстве и времени, поэтому, поскольку ее использование имеет перспективы прежде всего в автономных энергосистемах и установках, наиболее востребованными являются локальные (реже – региональные) оценки ресурсов. В настоящее время развитие средств математического моделирования и метеорологических реанализов позволяет осуществлять не только общие оценки волновой энергии на основе осредненных по большой акватории характеристик волнения, но и расчеты для отдельных точек и ограниченных участков заданной акватории с учетом сезонных вариаций характеристик волнения. В представленной статье рассматриваются методы оценки ресурсов волновой энергии и приводятся некоторые первичные результаты, полученные в приложении к прибрежным акваториям полуострова Крым. Данные методологические подходы могут быть использованы в дальнейшем для анализа волнового потенциала различных акваторий, оценок средней производительности и ее сезонных вариаций для волновых установок различного типа.

#### Ранее проведенные оценки потенциала волновой энергии прибрежных акваторий России

Подробный анализ работ, проведенных ранее в СССР и России в области оценки ресурсов волновой энергии, а также обзор методов оценки волновой энергии – статистический и спектральный – представлены в [13]. Ввиду того что поток энергии определяется высотой и длиной волны, которые в свою очередь изменяются во времени и пространстве, в рамках статистического подхода (по аналогии с оценками, например, ветровых ресурсов) используются двумерные функции плотности вероятности высот и периодов волн (метод Матушевского [5]). Спектральный подход подразумевает использование стационарных частотных спектров, предложенных, в частности, в работах Ю.М. Крылова, Д. Неймана, И.Н. Давидана и относящихся к различным стадиям развития волнения. При этом следует отметить, что ранее в качестве исходных данных выступали результаты визуальных наблюдений. Кроме того, характеристики волнения оценивались на основе параметрических зависимостей от скорости ветра и разгона волны. В [13, 14] приведены результаты расчетов потоков волновой энергии для акваторий внутренних (Азовское, Черное, Каспийское) и окраинных морей России (Охотское, Баренцево, Белое, Балтийское, Японское). Суммарные технические ресурсы волновой энергии Баренцева и Белого морей, расчи-



танные с учетом КПД волновых установок в пределах 30–80 %, оцениваются в 450 млрд. кВтч в год. Технические ресурсы волновой энергии только Мурманской области в прибрежной зоне Кольского полуострова (полосе шириной 10 км) могут составить 1,2 млрд. кВтч в год на побережье Баренцева моря и около 0,4 млрд. кВтч в год на побережье Белого моря. Для сравнения, согласно проведенным на основе базы данных NASASSE [15] оценкам, технический потенциал ветровой энергии для территории Мурманской области (высота 50 м) составляет порядка 150 млрд. кВтч в год.

### Современные подходы и методы в оценках ресурсов волновой энергии

Приведенные выше результаты оценок ресурсов волновой энергии были получены преимущественно на основе данных о среднемноголетних высотах волн [16, 17]. Однако практически во всех морях России сезонная изменчивость параметров волнения очень высока, следовательно, для оценки реального потенциала волновой энергии необходим анализ суточной и сезонной изменчивости энергетических характеристик волнения, расчета числа дней с минимальным волнением и т.д.

В то же время в последние десятилетия в зарубежной практике для оценки волновых энергетических ресурсов активно применяются другие методы, основанные на обработке данных реанализа (скорость ветра) и математическом моделировании (характеристики волнения). Обширный перечень работ по оценке волнового энергетического потенциала приведен, в частности, в работе [18]. При этом активизацию исследований в этой области связывают с целым рядом преимуществ использования волновой энергии. К таковым авторы причисляют относительную простоту конструкции волновых преобразователей, их невысокую удельную стоимость [18], возможность локализации производства, а также возможность их использования не только в энергетических целях, но и, например, для защиты береговой линии от разрушающего воздействия волн.

В публикациях, посвященных оценкам ресурсов волновой энергии вблизи побережья Балтийского моря, Калифорнии, Индии, Аргентины, Гавайских островов, Австралии, Португалии, Швеции, Корейского полуострова, Испании, Ирана, атлантического побережья юго-востока США и т.п., применялись спектральные модели волн и данные реанализа ветра. В [19] оценивались плотности энергии ветровых волн акватории морей восточного побережья Китая на основе спектральной волновой модели SWAN (Simulating Waves Nearshore):

$$J = \rho g \int_0^{2\pi} \int_0^{\infty} C_g E(\sigma, \theta) d\sigma d\theta.$$

Здесь  $J$  – плотность потока энергии (Вт/м фронта волны);  $E(\sigma, \theta)$  – спектральная плотность энергии;  $C_g$  – групповая скорость волн;  $\theta$  – угол, характеризующий направление распространения волн;  $\sigma$  – частота волн. Спектральная плотность потока энергии, необходимая для оценки  $J$ , является одной из выходных характеристик расчета по модели SWAN. Скорость и направление ветра для расчета волновых параметров были получены с помощью мезомасштабной модели WRF (Weather Research and Forecasting Model). Результаты расчета энергетических характеристик волнения были пространственно охарактеризованы, рассмотрена динамика энергии волн во времени, и, что немаловажно, проведена верификация результатов расчетов по наблюдениям на 7-и станциях в изучаемой акватории. При этом верификация была проведена как для всего периода расчетов (22 года – с января 1990 г. по декабрь 2012 г.), так и для многомесячных периодов на основе спектральной волновой модели этого временного интервала. Средний по всем станциям и сравниваемым периодам коэффициент корреляции оказался более 0,77, что позволило авторам говорить о возможности дальнейшего использования результатов моделирования волнения. В рамках спектрального подхода в [19] было также предложено проводить расчеты потока волновой энергии для глубокого моря по известной формуле

$$J = \frac{\rho g^2}{64\pi} T_e H_s^2 c_0$$

с средними значениями значительных высот  $H_s$  и периодов волн  $T_e$  в данной точке, определенных на основе спектральной плотности энергии  $E(\omega, \theta)$ . Таким образом, в [19] с помощью современных методов расчета параметров волнения был проведен детальный анализ волновых энергетических характеристик как для значительных акваторий, так и для отдельных точек или локальных областей. Результаты проведенных исследований могут быть использованы для проектных решений при размещении волновых установок.

### Оценки энергетических характеристик волнения в прибрежных акваториях полуострова Крым

В работе [20] на основе аналогичных [19] подходов с помощью модели SWAN были проведены оценки волнового потенциала для юго-восточного побережья Черного моря. В [21] указанный подход был распространен на всю акваторию Черного моря. Ранние оценки ветрового и волнового климата для этой акватории проводились странами, выходящими на акваторию Черного моря. При этом использовались достаточно ограниченные по пространственному охвату и частоте наблюдений данные. В работе [21] были использованы результаты международного исследовательского проекта NATOTU-WAVES и моделей волнения METU3 и WAM [22, 23]. В итоге был разработан Атлас ветров и волнения в глубоководной зоне, однако полученные результаты не дают



точной оценки производительности энергоустановок, в связи с чем в исследовании потенциала волновой энергии в работах по Черному морю обоснованно продолжили применять модель SWAN. Численная модель SWAN обеспечивает реалистичную оценку параметров волнения в прибрежной зоне, озерах и эстуариях рек при заданных ветровых условиях, рельефе дна и течениях. Выходными параметрами модели являются высоты значительных волн, средние направления движения волн, средние периоды волн и другие параметры, рассчитываемые на основе спектральных характеристик волнения. Таким образом, в [21] приведены результаты расчета средних за 15 лет (1995–2009 гг.) высот значительных волн для акватории Черного моря и плотности потока волновой энергии (среднегодовые и сезонные значения). В [20] на основе тех же методов и данных реанализа проведены расчеты энергетических характеристик волнения для юго-восточного региона Черного моря, а также верификация полученных результатов по натурным измерениям 7-и буйковых станций, которые подтвердили адекватность данной модели.

Подробный обзор полученных авторами [20] результатов не входит в задачи этого исследования, однако приведенное описание работы позволяет говорить о необходимости развивать аналогичные подходы для более подробной и адекватной оценки

энергетических характеристик волн и потенциала волновой энергии в акваториях морей России.

Для изучения особенностей ветрового волнения у южного берега Крыма авторами настоящей статьи была использована база данных ветрового волнения Черного моря, в основу которой легли результаты численных расчетов параметров ветрового волнения с использованием спектральной модели ветрового волнения третьего поколения SWAN [24, 25, 26]. Модель SWAN уже неоднократно применялась исследователями для Черного моря, и результаты моделирования показывали хорошее соответствие с инструментальными наблюдениями [24, 25, 27, 28].

В базе данных содержатся: значительная высота волны, период, длина, высота зыби и транспорт волновой энергии [24]. Дискретность записи этой информации в файл составляет 3 часа. Шаг сетки волновой модели 5 км. При расчетах учитывались поля ветра на высоте 10 м, полученные из реанализа NCEP/NCAR, с шагом по времени 6 часов и пространственным разрешением  $1,875^\circ$  по долготе и  $1,9046^\circ$  по широте за период с 1948 по 2010 гг. Этот реанализ был выбран из-за более протяженного временного интервала по сравнению с большинством других реанализов. Результаты проведенной авторами этой статьи оценки волнения приводятся для точки с координатами 34 в.д. 44,25 с.ш., глубина в точке составляет около 100 м (рис. 2).



Рис. 2. Точка, для которой были проведены расчеты энергетических характеристик волнения  
 Fig. 2. Point for which calculations of the waves energy characteristics were carried out

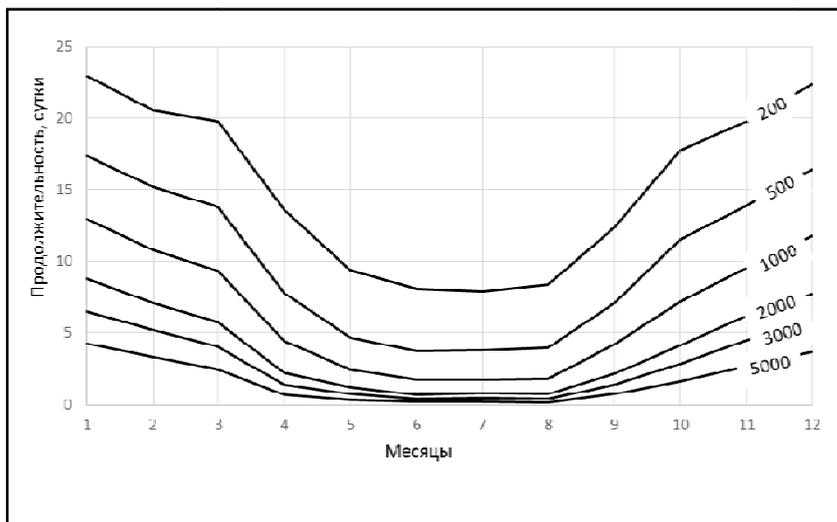
Для каждого месяца в пределах расчетного периода (1948–2010 гг.) были подсчитаны среднегодовые значения интегрального переноса энергии, превышающие заданные. В итоге получена средне-

месячная обеспеченность энергии волн (время, когда энергия волн превышала заданные значения). Видно, что в анализируемой точке максимальная удельная энергия (более 5 000 Вт/м фронта волны) наблюдает-



ся в основном в зимние периоды (рис. 3), однако бывают дни, когда волнение отсутствует, поэтому превышение 500 Вт/м наблюдается только в 20–25 днях месяца. Результаты позволяют утверждать, что существенные значения удельной мощности волнения (более 1 000 Вт/м) можно получать только в течение половины зимних месяцев, а в остальные дни потенциал волновой энергии небольшой. В летний период более 30 % времени энергия волн не превышает 500

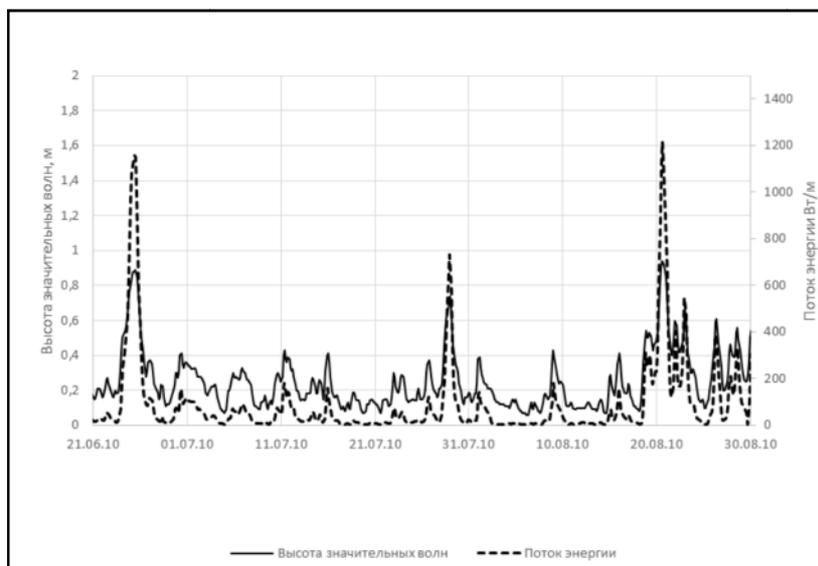
Вт/м, что связано с низкими скоростями ветра и отсутствием волнения летом, что является нормой для этого района. Результаты обработки данных показали, что среднегодовые значения волновой энергии для Черного моря нельзя использовать для теоретических расчетов потенциала, так как в этом случае не учитываются периоды времени, когда волнение отсутствует.



**Рис. 3.** Среднемесячная продолжительность периодов времени с удельной энергией волн, превышающей заданные значения (цифры на кривых)  
**Fig. 3.** The average monthly long period of time with specific energy waves exceeds a predetermined value (the numbers on the curves)

На рис. 4 представлена значительная высота волн и перенос энергии для летних месяцев в пределах расчетного периода. На графиках присутствуют два пика, когда высота волн превышала 1 м и транспорт

энергии значительно увеличивался. В остальное время наблюдается либо штиль, либо слабое бризовое волнение, причем продолжительность периодов со слабым волнением может составлять 10–20 дней.



**Рис. 4.** Типичное распределение средних суточных высот волн и переноса энергии (июнь – август 2010 г.)  
**Fig. 4.** Typical distribution of mean daily wave heights and energy transfer (June – August 2010)



Интересно также рассмотреть пространственную неоднородность распределения высоты волн и транспорта энергии. На рис. 5 представлено распределение значительной высоты волн на акватории Черного моря для 28.08.2010, соответствующее максимуму на графике рис. 3. Как видно на рисунке 5,

акватории, примыкающие к западному побережью Крыма, характеризуются более значительным волнением, чем восточные акватории, что связано с юго-западным ветром, генерирующим распространение волнения в северо-восточном направлении.

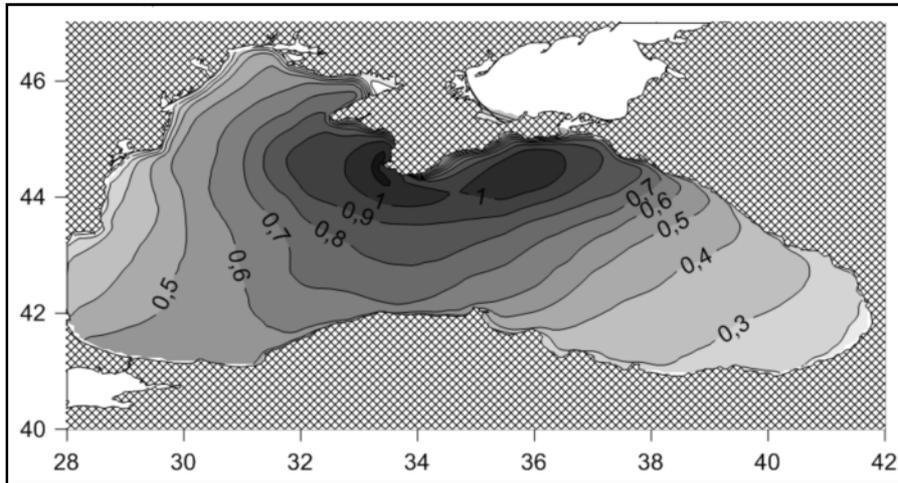


Рис. 5. Высота значительных волн на акватории Черного моря (20.08.2010)  
Fig. 5. Height of significant waves on the Black Sea (20.08.2010)

Подобная картина наблюдается в пространственном распределении энергии (рис. 6). Набор таких карт или карты распределения среднемноголетнего

потока энергии могут быть использованы для выявления акваторий, наиболее перспективных для размещения волновых энергетических установок.

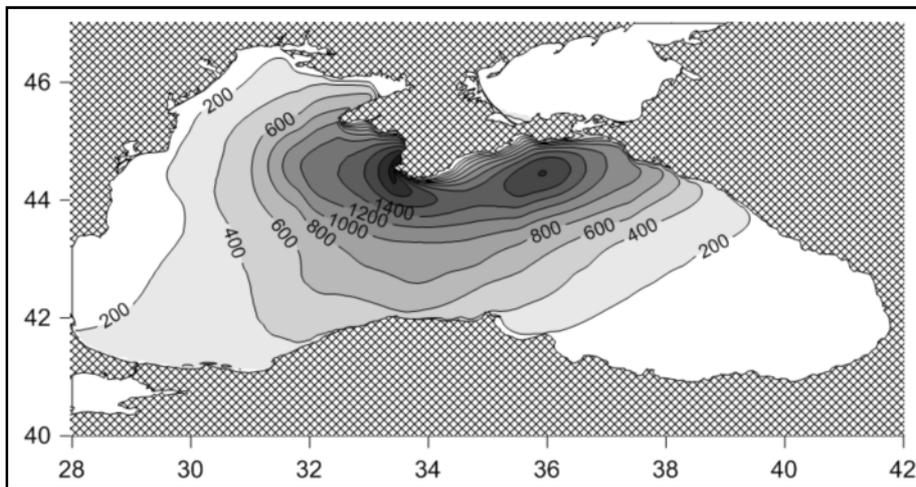


Рис. 6. Поток волновой энергии на единицу фронта волны (Вт/м, 20.08.2010)  
Fig. 6. Wave energy flux per unit wave front (Wt/m, 20.08.2010)

### Выводы

Таким образом, в настоящей статье с использованием модели ветрового волнения третьего поколения SWAN и данных реанализа NCEP/NCAR были проведены оценки характеристик волнения в заданной точке акватории Черного моря, а также сезонной динамики повторяемости значительных высот волн. Показано, что максимальной волновой энергией ха-

рактеризуется зимний период: в январе и декабре порядка 23 суток в месяц энергия волн превышает 500 Вт/м волнового фронта, в летние месяцы указанная продолжительность падает до 8 суток. Однако при дальнейших расчетах для акваторий, примыкающих к крымскому побережью, требуется верификация с привлечением архивных данных, а также результаты наблюдения на стационарных объектах, таких как исследовательская платформа п. Кацивели



(Республика Крым). Эти исследования позволят в дальнейшем перейти к широким оценкам волнового потенциала и его динамики на основе современных моделей и массивов данных для различных морей России. Ввиду существенной сезонной динамики волновой энергии большое значение приобретает комплексный анализ ресурсов волновой, ветровой и солнечной энергии в акваториях морей как базы для проектирования гибридных установок.

### Список литературы

1. Ветер и волны в океанах и морях: Справочные данные. Л.: Транспорт, 1974.
2. Волшаник В.В., Зубарев В.В., Франкфурт М.О. Использование энергии ветра, океанских волн и течений // Итоги науки и техники. Сер. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. М.: ВИНТИ, 1983. Т. 1. 100 с.
3. Волшаник В.В., Матушевский Г.В. Энергия морских ветровых волн и принципы ее преобразования // Гидротехническое строительство. 1985. № 4. С. 41–45.
4. Дьяков А.Ф., Морозкина М.В. Проблемы использования энергии волн. М.: Энергоатомиздат, 1993.
5. Матушевский Г.В. Новый тип режимной функции распределения параметров волн // Метеорология и гидрология. 1977. № 3. С. 66–72.
6. Матушевский Г.В. Оценка энергозапасов ветрового волнения в морях СССР. М.: Деп. в ИЦ ВНИИГМИ – МЦД. 1982. N 14 5 ГМ-д 82. 1982.
7. Горлов А.А. Энергетика ветрового волнения океанских течений // Энергия: экономика, техника, экология. 2015. № 2. С. 30–39.
8. Горлов А.А. Возобновляемая энергия для океанологических исследований // Энергия: экономика, техника, экология. 2014. № 3. С. 28–36.
9. Сайт Министерства энергетики РФ [Электронный ресурс] [http://www.minenergo.gov.ru/press/kfo/2686.html?sphrase\\_id=31822](http://www.minenergo.gov.ru/press/kfo/2686.html?sphrase_id=31822) (дата обращения: 11.06.2015)
10. Temeev A.A. High Efficient Ecologically Pure Wave Electric Power Stations and Its Applications // Proceedings of the 32-th Intersociety Energy Conversion Engineering Conference. Honolulu, Hawaii, USA. 1997. Vol. 3. P. 2001–2004.
11. Темеев А.А., Сладков О.С., Темеев С.А. Динамическая модель поплавкового преобразователя энергии волн // Теплоэнергетика. 2008. № 12. С. 27–34.
12. Минин В.А., Дмитриев Г.С. Перспективы освоения нетрадиционных и возобновляемых источников энергии на Кольском полуострове. Мурманск, 2007. С. 58–67.
13. Гентова А. Технические аспекты использования возобновляемых источников энергии и энергоэффективности / Сборник работ победителей конкурса научных исследований в области возобновляемых источников энергии и энергоэффективности для молодых учёных, студентов и аспирантов рос-

сийских вузов в 2013/2014 учебном году. СПб.: Беллона, 2014. С. 5–24.

14. NASA Surface meteorology and Solar Energy. Atmospheric science data center. [Электронный ресурс] <https://eosweb.larc.nasa.gov/> (дата обращения: 10.09.2014).

15. Справочные данные по режиму ветра и волнения Баренцева, Охотского и Каспийского морей. СПб.: Российский морской регистр судоходства, 2003.

16. Лопатухин Л.И., Бухановский А.В., Иванов С.В., Чернышова Е.С. Справочные данные по режиму ветра и волнения Балтийского, Северного, Черного, Азовского и Средиземного морей. Российский морской регистр судоходства. СПб, 2006.

17. Русецкий А.Н. Быстроокупаемая экологичная экстремальная энергетика – мегаватты и гигаватты – от морских и океанских волн и ветра. [Электронный ресурс] <http://www.sciteclibrary.ru/texts/rus/izobret/gr20/energetica.htm> (дата обращения: 27.07.2015).

18. Bingchen Liang, Fei Fan, Fushun Liu, Shanhong Gao, Hongyan Zuo. 22-Year wave energy hindcast for the China East Adjacent Seas // Renewable Energy. 2014. No 71. P. 200–207.

19. Lemonis G. Report on the EC contract № ICA2-CT-2000-10049, 2006.

20. Adem Akpınar, Murat Ihsan Komurcu Wave energy potential along the south-east coasts of the Black Sea // Energy. 2012. No 42. P. 289–302.

21. Adem Akpınar, Murat Ihsan Komurcu Assessment of wave energy resource of the Black Sea based on 15-year numerical hindcast data // Applied Energy. 2013. No 101. P. 502–512.

22. Ozhan E, Abdalla S. Wind-wave climate of the Black Sea and the Turkish coast (NATO TU-WAVES project) // In: 5th International workshop on wave hindcasting and forecasting, Melbourne, Florida, USA, Proceedings; January 1998. P. 71–82.

23. Abdalla S, Ozhan E. METU models for wind-wave prediction. METU-KLARE Special report. Middle East Technical University, Ankara, Turkey; 1994.

24. Arkhipkin V.S., Gippius F.N., Koltermann K.P. and Surkova G.V. Wind waves in the Black Sea: results of a hindcast study // Natural Hazards and Earth System Sciences Discussions. 2014. Vol. 14. P. 2883–2897.

25. Booij N., Ris R.C., Holthuijsen L.H. A third-generation wave model for coastal regions I. Model description and validation // Journal of Geophysical Research C: Oceans. 1999. No 104. P. 7649–7666.

26. The SWAN team. SWAN user manual (Cycle III version 40.72AB). Delft: Delft University of Technology, 2009.

27. Rusu E., Rusu L., Guedes Soares C. Prediction of extreme wave conditions in the Black Sea with numerical models // JCOMM Technical Report No. 34 / WMO-TD. 2006. № 1368.

28. Valchev N., Davidan I., Belberov Z., Palazov A., Valcheva N., Chin D. Hindcasting and assessment of the western Black sea wind and wave climate // J. Environ. Prot. Ecol. 2010. No 11. P.1001–1012.

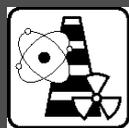


## References

1. Veter i volny v okeanah i morâh: Spravočnye dannye. Leningrad: Transport Publ., 1974 (in Russ.).
2. Volshanik V.V., Zubarev V.V., Frankfurt M.O. Ispol'zovanie ènergii vetra, okeanskih voln i tečenij. *Itogi nauki i tehniki. Ser. Netradicionnye i vozobnovlâemye istočniki ènergii*. Moscow: VINITI, 1983, vol. 1, 100 p. (in Russ.).
3. Volshanik V.V., Matushevsky G.V. Ènergiâ morskikh vetrovyh voln i principy ee preobrazovaniâ. *Gidrotehničeskoe stroitel'stvo*, 1985, no. 4, pp. 41–45 (in Russ.).
4. D'yakov A.F., Morozkina M.V. Problemy ispol'zovaniâ ènergii voln. Moscow: Ènergo-atomizdat Publ., 1993 (in Russ.).
5. Matushevsky G.V. Novyj tip režimnoj funkicii raspredeleniâ parametrov voln. *Meteorologîâ i gidrologîâ*, 1977, no. 3, pp. 66–72 (in Russ.).
6. Matushevsky G.V. Ocenka ènergozapasov vetrovogo volneniâ v morâh USSR. Moscow: Dep. v IC VNIIGMI – MCd, 1982, N 14 5 GM-d 82, 1982 (in Russ.).
7. Gorlov A.A. Ènergetika vetrovogo volneniâ okeanskih tečenij. *Ènergiâ: èkonomika, tehnika, èkologîâ*, 2015, no. 2, pp. 30–39 (in Russ.).
8. Gorlov A.A. Vozobnovlâemaâ ènergiâ dlâ okeanologičeskikh issledovanij. *Ènergiâ: èkonomika, tehnika, èkologîâ*, 2014, no. 3, pp. 28–36 (in Russ.).
9. Website of Ministry of Energy of the Russian Federation Available at: [http://www.minenergo.gov.ru/press/kfo/2686.html?sphrase\\_id=31822](http://www.minenergo.gov.ru/press/kfo/2686.html?sphrase_id=31822) (11.06.2015) (in Russ.).
10. Temeev A.A. High Efficient Ecologically Pure Wave Electric Power Stations and Its Applications. *Proceedings of the 32-th Intersociety Energy Conversion Engineering Conference*, Honolulu, Hawaii, USA, 1997, vol. 3, pp. 2001–2004 (in Eng.).
11. Temeev A.A., Sladkov O.S., Temeev S.A. Dinamičeskââ model' poplavkovogo preobrazovatelâ ènergii voln. *Teploènergetika*, 2008, no. 12, pp. 27–34 (in Russ.).
12. Minin V.A., Dmitriev G.S. Perspektivy osvoeniâ netradicionnyh i vozobnovlâemyh istočnikov ènergii na Kol'skom poluostrrove. Murmansk, 2007, pp. 58–67 (in Russ.).
13. Gentova A. Tehničeskije aspekty ispol'zovaniâ vozobnovlâemyh istočnikov èner-gii i ènergoèffektivnosti. Sbornik rabot pobeditelej konkursa naučnyh issledovanij v oblasti vozobnovlâemyh istočnikov ènergii i ènergoèffektivnosti dlâ molodyh učenyh, studentov i aspirantov rossijskikh vuzov v 2013/2014 učebnom godu. Saint Petersburg: Bellona, 2014, pp. 5–24 (in Russ.).
14. NASA Surface meteorology and Solar Energy. Atmospheric science data center. Available at: <https://eosweb.larc.nasa.gov/>(10.09.2014) (in Eng.).
15. Spravočnye dannye po režimu vetra i volneniâ Barenceva, Ohotskogo i Kaspijskogo morej. Saint Petersburg: Rossijskij morskoy registr sudohodstva Publ., 2003 (in Russ.).
16. Lopatuhin L.I., Buhanovsky A.V., Ivanov S.V., Chernyshova E.S. Spravočnye dannye po režimu vetra i volneniâ Baltijskogo, Severnogo, Černogo, Azovskogo i Sredizemnogo morej. Rossijskij morskoy registr sudohodstva. Saint Petersburg: 2006 (in Russ.).
17. Rusetsky A.N. Bystrookupaemaâ èkologičnaâ èkstremaal'naâ ènergetika – megavatty i gigavatty – ot morskikh i okeanskih voln i vetra. Available at: <http://www.sciteclibrary.ru/texts/rus/izobret/gr20/energetica.htm> (27.07.2015) (in Russ.).
18. Bingchen Liang, Fei Fan, Fushun Liu, Shanhong Gao, Hongyan Zuo. 22-Year wave energy hindcast for the China East Adjacent Seas. *Renewable Energy*, 2014, no. 71, pp. 200–207 (in Eng.).
19. Lemonis G. Report on the EC contract # ICA2-CT-2000-10049, 2006 (in Eng.).
20. Adem Akpınar, Murat Ihsan Komurcu Wave energy potential along the south-east coasts of the Black Sea. *Energy*, 2012, no. 42, pp. 289–302 (in Eng.).
21. Adem Akpınar, Murat Ihsan Komurcu Assessment of wave energy resource of the Black Sea based on 15-year numerical hindcast data. *Applied Energy*, 2013, no. 101, pp. 502–512 (in Eng.).
22. Ozhan E, Abdalla S. Wind-wave climate of the Black Sea and the Turkish coast (NATO TU-WAVES project). *5th International workshop on wave hindcasting and forecasting*, Melbourne, Florida, USA, Proceedings; January, 1998, pp. 71–82 (in Eng.).
23. Abdalla S., Ozhan E. METU models for wind-wave prediction. METU-KLARE Special report. Middle East Technical University, Ankara, Turkey; 1994 (in Eng.).
24. Arkhipkin V.S., Gippius F.N., Koltermann K.P. and Surkova G.V. Wind waves in the Black Sea: results of a hindcast study. *Natural Hazards and Earth System Sciences Discussions*, 2014, vol. 14, pp. 2883–2897 (in Eng.).
25. Booij N., Ris R.C., Holthuijsen L.H. A third-generation wave model for coastal regions 1. Model description and validation. *Journal of Geophysical Research C: Oceans*, 1999, no. 104, pp. 7649–7666 (in Eng.).
26. The SWAN team. SWAN user manual (Cycle III version 40.72AB). Delft: Delft University of Technology, 2009 (in Eng.).
27. Rusu E., Rusu L., Guedes Soares C. Prediction of extreme wave conditions in the Black Sea with numerical models. *JCOMM Technical Report*, No. 34 / WMO-TD, 2006, no. 1368 (in Eng.).
28. Valchev N., Davidan I., Belberov Z., Palazov A., Valcheva N., Chin D. Hindcasting and assessment of the western Black sea wind and wave climate. *J. Environ. Prot. Ecol.*, 2010, no. 11, pp. 1001–1012 (in Eng.).

Транслитерация по ISO 9:1995





АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

ATOMIC ENERGY

АТОМНО-ВОДОРОДНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

ATOMIC-HYDROGEN ENERGY

Статья поступила в редакцию 31.08.15. Ред. рег. № 2317

The article has entered in publishing office 31.08.15. Ed. reg. No. 2317

УДК 533.9

## ПЛАЗМОХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ОКСИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ УРАНА И ТОРИЯ ИЗ СМЕСЕВЫХ НИТРАТНЫХ РАСТВОРОВ

*И.В. Шаманин, А.Г. Каренгин, И.Ю. Новоселов, В.В. Зубов*

Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
РФ 634050, Томск, пр. Ленина, 30  
тел.: (3822) 606-112; e-mail: shiva@tpu.ru

doi: 10.15518/isjaee.2015.20.004

Заключение совета рецензентов: 07.09.15 Заключение совета экспертов: 14.09.15 Принято к публикации: 21.09.15

В статье представлены результаты исследования процесса получения оксидных композиций урана и тория в воздушной плазме из горючих водно-органических композиций на основе их смесевых нитратных растворов и этилового спирта (ацетона). Определены составы горючих композиций и режимы их обработки в воздушной плазме, обеспечивающие прямое и энергоэффективное получение оксидных композиций  $UO_2-ThO_2$ . Полученные результаты могут быть использованы для создания плазменной технологии получения гомогенных оксидных композиций урана и тория для ториевого топлива.

Ключевые слова: плазма, смесевой нитратный раствор, водно-органическая композиция, оксидная композиция, уран, торий.

## PLASMA-CHEMICAL SYNTHESIS OF URANIUM AND THORIUM OXIDES COMPOUNDS FROM NITRIC SOLUTIONS

*I.V. Shamanin, A.G. Karengin, I.Yu. Novoselov, V.V. Zubov*

National Research Tomsk Polytechnic University  
30 Lenin ave., Tomsk, 634050 Russian Federation  
ph.: (3822) 606-112, e-mail: shiva@tpu.ru

doi: 10.15518/isjaee.2015.20.004

Referred 7 September 2015 Received in revised form 14 September 2015 Accepted 21 September 2015

The article shows results of research of obtaining uranium and thorium oxides in air plasma from burning water-organic compositions based on nitric solutions and ethanol (acetone). Authors estimate formulations of burning compositions and process modes that provide direct and energy-efficient obtaining oxide compositions  $UO_2-ThO_2$ . Findings could be used to create plasma technology of obtaining homogenous uranium and thorium oxide compounds for thorium fuel fabrication.

Keywords: plasma, nitric solution, water-organic composition, oxide compound, uranium, thorium.



Шаманин Игорь  
Владимирович  
Igor V. Shamanin

**Сведения об авторе:** д-р физ.-мат. наук, профессор, зав. кафедрой «Техническая физика» Национального исследовательского Томского политехнического университета.

**Образование:** Томский политехнический институт (1985).

**Область научных интересов:** ядерные физика и технологии.

**Публикации:** 272, в том числе 4 монографии.

**Information about the author:** DSc (physics and mathematics), professor, Head of Applied Physics Engineering department, National Research Tomsk Polytechnic University.

**Education:** Tomsk Polytechnic Institute (1985).

**Research area:** nuclear physics and technologies.

**Publications:** 272, including 4 monographs.



Каренгин Александр  
Григорьевич  
Alexander G. Karengin

**Сведения об авторе:** канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры «Техническая физика» Национального исследовательского Томского политехнического университета.

**Образование:** Томский политехнический институт (1974).

**Область научных интересов:** ядерные физика и технологии, физика плазмы.

**Публикации:** 156, в том числе 1 монография.

**Information about the author:** PhD (physics and mathematics), associate professor of Applied Physics Engineering department, National Research Tomsk Polytechnic University.

**Education:** Tomsk Polytechnic Institute (1974).

**Research area:** nuclear physics and technologies, plasma physics.

**Publications:** 156, including 1 monograph.



Новоселов Иван Юрьевич  
Ivan Yu. Novoselov

**Сведения об авторе:** инженер-исследователь кафедры «Техническая физика» Национального исследовательского Томского политехнического университета.

**Образование:** Томский политехнический университет (2013).

**Область научных интересов:** ядерные физика и технологии, физика плазмы.

**Публикации:** 33.

**Information about the author:** research engineer of Applied Physics Engineering department, National Research Tomsk Polytechnic University.

**Education:** Tomsk Polytechnic University (2013).

**Research area:** nuclear physics and technologies, plasma physics.

**Publications:** 33.



Зубов Виктор  
Вячеславович  
Viktor V. Zubov

**Сведения об авторе:** студент Национального исследовательского Томского политехнического университета.

**Область научных интересов:** ядерные физика и технологии, физика плазмы.

**Публикации:** 5.

**Information about the author:** student of National Research Tomsk Polytechnic University.

**Research area:** nuclear physics and technologies, plasma physics.

**Publications:** 5

## Введение

В двадцать первом веке значительную часть ядерной энергетики будут составлять электростанции с реакторами на тепловых нейтронах, которые необходимо обеспечить недорогим топливом на весь

период эксплуатации. С учетом ограниченности ресурса урана-235 использование тория-232 в составе ядерного топлива таких реакторов открывает новые перспективы.

Применяемая технологическая схема получения гранулированного оксидного уран-ториевого топли-

ва методом внешнего гелеобразования (золь-гель процесс) включает целый ряд стадий [1,2]:

- приготовление исходного раствора;
- приготовление рабочего раствора;
- диспергирование рабочего раствора в раствор аммиака и образование микросфер;
- промывка микросфер раствором аммиака;
- сушка микросфер;
- прокаливание микросфер;
- водородное восстановление микросфер для получения оксидной композиции  $\text{ThO}_2\text{-UO}_2$ .

К недостаткам золь-гель процесса следует отнести:

- многостадийность;
- продолжительность;
- низкую производительность;
- большие затраты на химические реагенты;
- неоднородное распределение фаз в оксидной композиции  $\text{ThO}_2\text{-UO}_2$ .

Плазмохимическая технология прямого получения смесевых оксидных композиций из диспергированных смешанных нитратных растворов урана и тория (СНР) обладает важными особенностями, выгодно отличающими ее от золь-гель процесса и технологии, основанной на механическом смешении компонентов [3]. Этими особенностями являются:

- одностадийность;
- высокая скорость процесса;
- чистота получаемых твердых дисперсных продуктов с гомогенным распределением компонентов и заданным стехиометрическим составом;
- возможность активно влиять на морфологию частиц.

К существенным недостаткам этой технологии следует отнести:

- высокие энергозатраты на переработку 1 т СНР (до 2,0 МВт·ч/т);
- получение в условиях дешевого воздушного плазменного теплоносителя только смесевых оксид-

ных композиций  $\text{ThO}_2\text{-U}_3\text{O}_8$ , что требует дополнительного водородного восстановления этих композиций до  $\text{ThO}_2\text{-UO}_2$ .

Указанные недостатки могут быть устранены при плазменной обработке СНР в воздушно-плазменном потоке в виде горючих диспергированных водно-солеорганических композиций (ВСОК), например, СНР-этиловый спирт и СНР-ацетон, обладающих высокой взаимной растворимостью.

Данный способ, обладая преимуществами плазмохимической технологии прямого получения смесевых оксидных композиций из диспергированных СНР, в воздушно-плазменном потоке дает возможность прямого получения смесевых оксидных композиций  $\text{ThO}_2\text{-UO}_2$ , обеспечивает существенное снижение энергозатрат на переработку 1 т СНР (до 0,1 МВт·ч/т СНР) и высокую производительность процесса (до 1 т/ч).

### Теоретическая часть

На первом этапе определена возможность получения из СНР в воздушной плазме оксидной уран-ториевой композиции  $\text{ThO}_2\text{-UO}_2$  в конденсированной фазе. Для расчёта равновесных составов газообразных и конденсированных продуктов плазменной обработки СНР использовалась лицензионная программа TERRA. Расчёты проведены при атмосферном давлении (0,1 МПа), в широком диапазоне температур (300–4 000) К и массовых долей воздушного плазменного теплоносителя (0,1–0,9).

На рисунке 1 представлены характерные равновесные составы основных газообразных (а) и конденсированных (б) продуктов плазменной обработки только СНР в воздушной плазме при массовой доле воздушного теплоносителя 50 % и исходном составе СНР (U : Th = 95 % : 5 %).

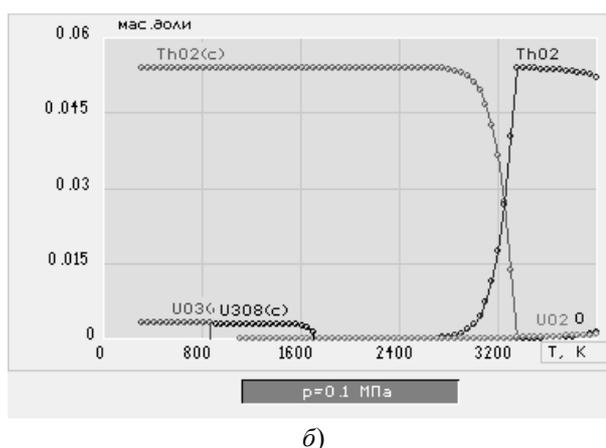
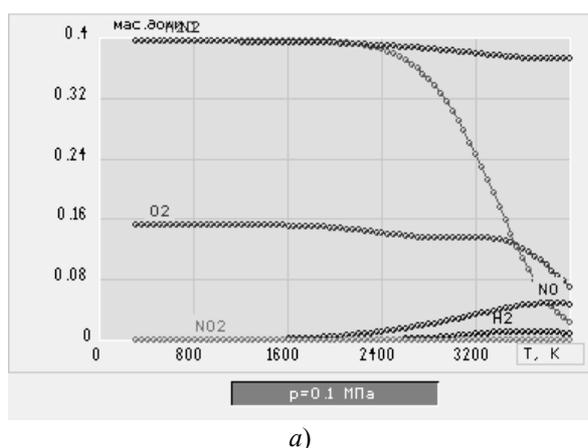


Рис. 1. Равновесный состав газообразных (а) и конденсированных (б) продуктов плазменной обработки СНР: (50 % Воздух : 50 % СНР)

Fig. 1. Equilibrium composition of gaseous (a) and condensed (b) MNS plasma recycling products (50% air : 50% MNS)

В результате проведенных расчетов установлено, что плазменная обработка только СНР во всем интервале изменения массовых долей воздушного теплоносителя и температурах от 800 до 1 600 К в газовой фазе приводит в основном к образованию  $N_2$ ,  $O_2$  и  $H_2O$ , а в конденсированной фазе – оксидной композиции  $U_3O_8$ – $ThO_2$  вместо требуемой композиции  $UO_2$ – $ThO_2$ .

Оксидные уран-ториевые композиции требуемого состава могут быть получены при плазменной обработке СНР в воздушной плазме в виде горючих водно-солеорганических композиций. Объективным показателем горючести таких композиций является их адиабатическая температура горения [3]:

$$T_{ад} = \frac{Q_n^p + c_{отх} t_{отх} + \alpha \vartheta_{ок}^o c_{ок} t_{ок}}{\nu c + \frac{W c_w}{100} + \frac{A c_A}{100}},$$

где

$$Q_n^p = \frac{(100 - W - A) Q_n^c}{100} - \frac{2,5W}{100} - \text{низшая теплота}$$

сгорания композиции, МДж/кг;

$Q_n^c$  – низшая теплота сгорания горючего компонента композиции, МДж/кг;

$W$  и  $A$  – содержание соответственно воды и негорючих минеральных веществ в ВОК, %;

2,5 – скрытая теплота испарения воды при 0 °С, МДж/кг;

$c_{отх}$  – средняя массовая теплоемкость композиции, МДж/(кг·град);

$t_{отх}$  – температура композиции, °С;

$\alpha$  – коэффициент расхода окислителя;

$\vartheta_{ок}^o$  – теоретический расход окислителя,  $m^3/m^3$ ;

$c_{ок}$  – средняя теплоемкость окислителя, (МДж/ $m^3$ ·град);

$t_{ок}$  – температура окислителя, °С;

$\nu$  и  $c$  – соответственно выход и средняя объемная теплоемкость продуктов сгорания горючих компонентов композиции,  $m^3/кг$  и МДж/( $m^3$ ·град);

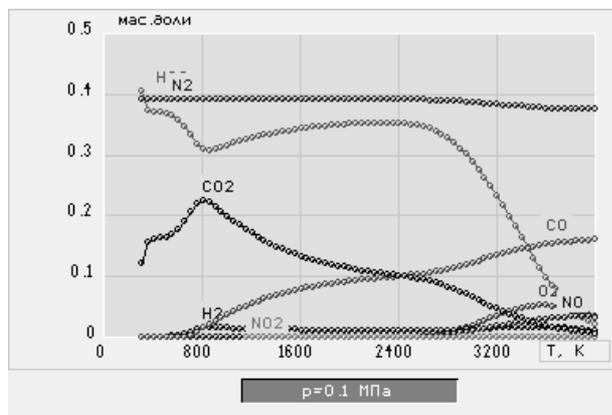
$C_w$  и  $C_A$  – средняя массовая теплоемкость водяных паров и негорючих минеральных веществ композиции соответственно, МДж/(кг·град).

В данной работе рассмотрены композиции «СНР – вода – этиловый спирт» и «СНР – вода – ацетон», обладающие высокой взаимной растворимостью.

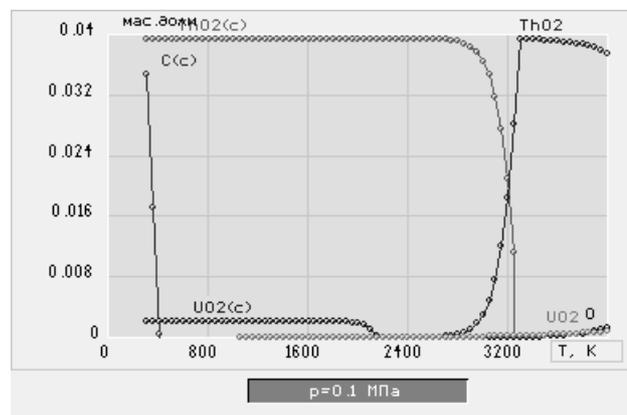
По результатам проведенных расчетов определены горючие композиции, имеющие  $T_{ад} \approx 1200$  °С,  $Q_n^p \approx 6,0$  МДж/кг, и обеспечивающие энергоэффективную обработку СНР в воздушной плазме:

- ВСОК-1 (73 % СНР : 27 %  $C_2H_6O$ );
- ВСОК-2 (76 % СНР : 24 %  $C_3H_8O$ ).

На рисунке 2 представлены характерные равновесные составы основных газообразных (а) и конденсированных (б) продуктов плазменной обработки СНР в воздушной плазме в виде ВСОК-1 на основе спирта при массовой доле воздушного теплоносителя 50 %.



а)



б)

**Рис. 2.** Равновесный состав газообразных (а) и конденсированных (б) продуктов плазменной обработки СНР: (50 % воздух : 50 % ВСОК-1)

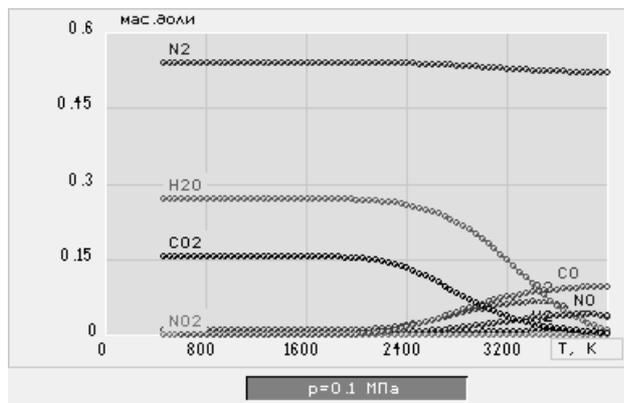
**Fig. 2.** Equilibrium composition of gaseous (a) and condensed (b) MNS plasma recycling products (50% air : 50% WSOC-1)

Из анализа равновесных составов следует, что при массовой доле воздушного теплоносителя 50 % и температурах от 800 до 1 600 К в газовой фазе в основном образуются  $N_2$ ,  $CO_2$  и  $H_2O$ , а в конденсированной фазе – оксидная композиция  $UO_2$ – $ThO_2$  требуемого состава.

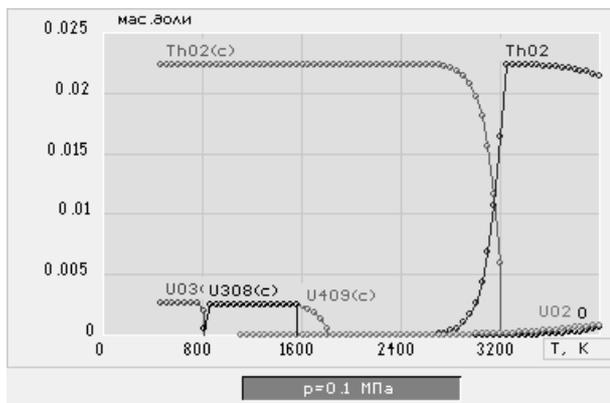
В результате проведенных расчетов установлено, что снижение массовой доли воздушного теплоносителя менее 50 % в конденсированной фазе приводит к образованию и повышению массовой доли сажи С(с) в составе продуктов.

Повышение массовой доли воздушного теплоносителя выше 70 % (рис. 3) в конденсированной фазе

ведет к образованию оксидной композиции  $U_3O_8$ – $ThO_2$  вместо требуемой композиции  $UO_2$ – $ThO_2$ .



а)



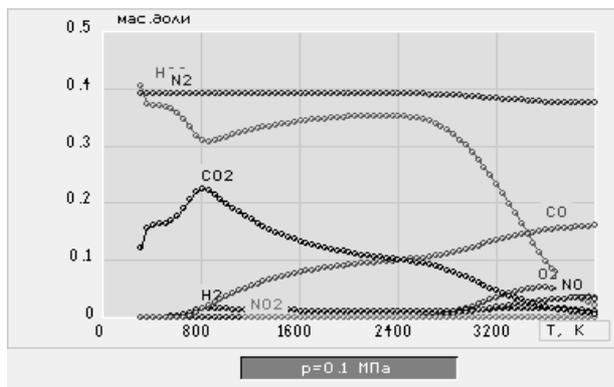
б)

Рис. 3. Равновесный состав газообразных (а) и конденсированных (б) продуктов плазменной обработки СНР: (70 % воздух : 30 % ВСОК-1)

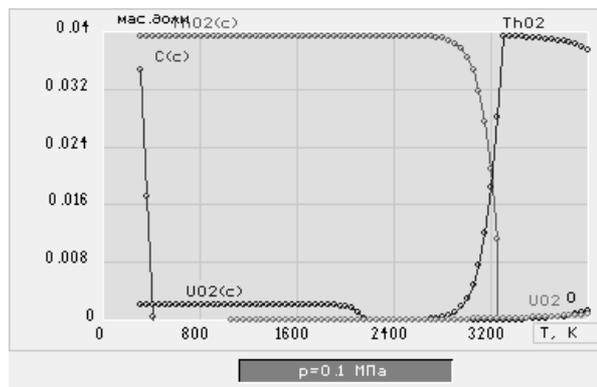
Fig. 3. Equilibrium composition of gaseous (a) and condensed (b) MNS plasma recycling products (50% air : 50% WSOC-1)

На рисунке 4 представлены характерные равновесные составы основных газообразных (а) и конденсированных (б) продуктов плазменной переработки

СНР в виде оптимальной по составу горючей композиции ВСОК-2 на основе ацетона при массовой доле воздушного плазменного теплоносителя 50 %.



а)



б)

Рис. 4. Равновесный состав газообразных (а) и конденсированных (б) продуктов плазменной обработки СНР в воздушной плазме в виде горючей композиции ВСОК-2 (50 % Воздух : 50 % ВСОК-2)

Fig. 4. Equilibrium composition of gaseous (a) and condensed (b) MNS plasma recycling products (50% air : 50% WSOC-2)

Из анализа и сравнения полученных равновесных составов следует, что при равной массовой доле воздушного плазменного теплоносителя 50 % состав продуктов обработки СНР в воздушной плазме в виде ВСОК-2 и ВСОК-1 существенно не изменяется и включает в конденсированной фазе требуемую оксидную композицию  $UO_2$ – $ThO_2$ .

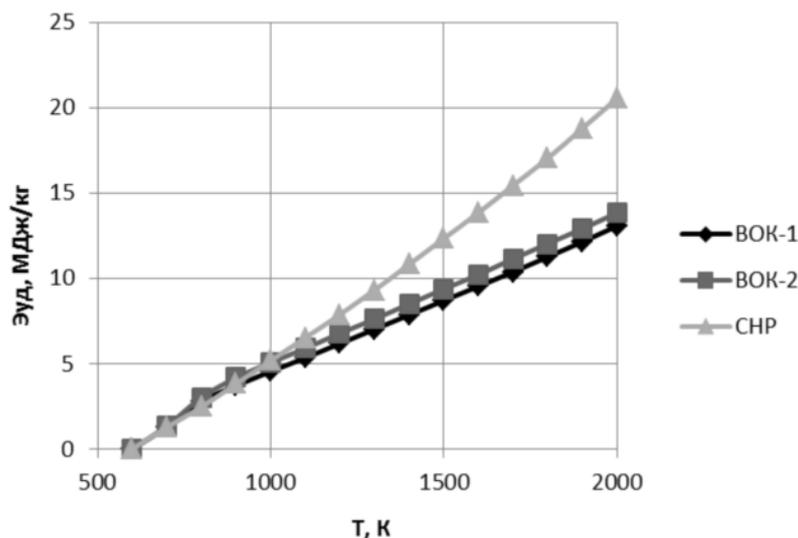
По результатам расчетов проведена сравнительная оценка удельных энергозатрат в процессе плазменной обработки СНР в воздушной плазме.

Повышение массовой доли воздушного теплоносителя выше 70 % при обработке СНР в воздушной плазме в виде ВСОК-2 также приводит к образова-

нию в конденсированной фазе оксидной композиции  $U_3O_8$ – $ThO_2$  вместо требуемой композиции  $UO_2$ – $ThO_2$ .

На рисунке 5 показано влияние температуры на удельные энергозатраты в процессе плазменной обработки только СНР, а также СНР в виде горючих композиций ВСОК-1 и ВСОК-2 при массовой доле воздушного плазменного теплоносителя 50 %.





**Рис. 5.** Влияние температуры на удельные энергозатраты в процессе плазменной обработки СНР в воздушной плазме при массовой доле воздушного теплоносителя 50 %  
**Fig. 5.** Influence of temperature on specific energy consumption on MNS plasma recycling in air plasma (air mass fraction 50%)

Из анализа полученных зависимостей следует, что повышение температуры приводит к значительному увеличению энергозатрат на получение 1 кг уран-ториевой оксидной композиции. При этом плазменная обработка СНР в виде горючей композиции ВСОК-1 обеспечивает при температурах выше 1 000 К меньшие энергозатраты на процесс получения 1 кг требуемой оксидной уран-ториевой композиции (8,7 МДж/кг), чем при плазменной обработке СНР в виде ВСОК-2 (9,4 МДж/кг).

### Заключение

С учётом полученных результатов для практической реализации процесса плазменной обработки смесевых нитратных растворов урана и тория в воздушной плазме могут быть рекомендованы следующие оптимальные режимы:

- ВСОК-1 (0,8 %  $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  : 17,6 %  $\text{Th}(\text{NO}_3)_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  : 0,2 %  $\text{HNO}_3$  : 54,4 %  $\text{H}_2\text{O}$  : 27 %  $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ );
- массовое отношение фаз (50 % Воздух : 50 % ВСОК-1);
- температура (1 500 ± 100) К.

Результаты проведенных исследований могут быть использованы при создании энергоэффективной технологии плазменной обработки смесевых нитратных растворов для получения оксидных уран-ториевых композиций.

### Список литературы

1. Бойко В.И., Власов В.А., Жерин И.И., Маслов А.А., Шаманин И.В. Торий в ядерном топливном цикле. М.: Издательский дом «Руда и металлы», 2006. 360 с.
2. Toumanov I.N., Sigailo A.V. Plasma Synthesis of Disperse Oxide Materials from Disintegrated Solutions // *Materials Science and Engineering*. 1991. Vol. A140. P. 539–548.
3. Karengin A.G., Karengin A.A., Novoselov I.Yu., Tundeshev N.V. Calculation and Optimization of Plasma Utilization Process of Inflammable Wastes after Spent Nuclear Fuel Recycling // *Advanced Materials Research*. 2014. Vol. 1040. P. 433–436.

### References

1. Boiko V.I., Vlasov V.A., Zherin I.I., Maslov A.A., Shamanin I.V. Torij v âdernom toplivnom cikle. Moscow: Izdatel'skij dom "Ruda i metally" Publ., 2006, 360 p. (in Russ.).
2. Toumanov I.N., Sigailo A. V. Plasma Synthesis of Disperse Oxide Materials from Disintegrated Solutions. *Materials Science and Engineering*, 1991, vol. A140, pp. 539–548 (in Eng.).
3. Karengin A.G., Karengin A.A., Novoselov I.Yu., Tundeshev N.V. Calculation and Optimization of Plasma Utilization Process of Inflammable Wastes after Spent Nuclear Fuel Recycling. *Advanced Materials Research*, 2014, vol. 1040, pp. 433–436 (in Eng.).

Транслитерация по ISO 9:1995





## ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ИСПЫТАНИЙ КИСЛОРОДНО-ВОДОРОДНЫХ ДВИГАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК НА СТЕНДЕ

*В.В. Родченко<sup>1</sup>, А.Г. Галеев<sup>2</sup>, Б.Б. Попов<sup>2</sup>, А.В. Галеев<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>ФГБОУ ВПО «Московский авиационный институт» (национальный исследовательский университет)

РФ 125993, Москва, ГСП-3, А-80, Волоколамское ш., д. 4

тел.: (8-499) 158-91-36; e-mail: galant1992@mail.ru

<sup>2</sup>ФКП «Научно-испытательный центр ракетно-космической промышленности»

РФ 141320, г. Пересвет, Московская область, ул. Бабушкина, д. 9

e-mail: a.galeev@nic-rkp.ru

doi: 10.15518/isjaee.2015.20.005

Заключение совета рецензентов: 04.09.15 Заключение совета экспертов: 11.09.15 Принято к публикации: 18.09.15

Принятая технология позволяет проводить испытания двигательных установок (ДУ) на стенде с заправкой в топливный бак до 2 700 кг водорода с выполнением специальных мер безопасности и использованием систем аварийной защиты (САЗ), охватывающих до 60 % нештатных ситуаций.

В статье рассмотрены дополнительные меры безопасности, обеспечивающие испытания ДУ верхних ступеней ракет-носителей (РН) с увеличенными дозами заправки (до 7 000 кг), которые основаны на сохранении иерархического принципа построения программ испытаний. Ключевым фактором в повышении эффективности систем пожаро- и взрывопредупреждения (СПВП), САЗ и коэффициента охвата аварийных (нештатных) ситуаций (до 0,8–0,9) являются исследования систем более раннего обнаружения утечек водорода и применения ингибиторов с флегматизатором-азотом для предотвращения взрыва смесей водорода с воздухом (или кислородом).

Представлены результаты исследований систем раннего обнаружения утечек водорода и внедрения в эксплуатацию установок для сравнительных испытаний на быстрдействие, ресурс и селективность датчиков контроля опасных концентраций водорода.

Ключевые слова: двигательная установка, ракета-носитель, безопасность, система аварийной защиты, нештатная ситуация, утечка водорода, ингибитор.

## STUDY OF SECURITY SYSTEMS OF OXYGEN-HYDROGEN PROPULSION PLANT TEST ON THE STAND

*V.V. Rodchenko<sup>1</sup>, A.G. Galeev<sup>2</sup>, B.B. Popov<sup>2</sup>, A.V. Galeev<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Moscow Aviation Institute (National Research University)

4 Volokolamskoe drive, GSP-3, A-80, Moscow, 125993 Russian Federation

ph.: (8-499) 158-91-36; e-mail: galant1992@mail.ru

<sup>2</sup>Research and Testing Center of Rocket and Space Industry

9 Babushkin str., Peresvet, Moscow region, 141320 Russian Federation

e-mail: a.galeev@nic-rkp.ru

Adopted technology allows engineers to test of propulsion plant (PP) on the stand with filling the fuel tank up to 2700 kg of hydrogen with implementation of special security measures and the use of systems emergency safety (SES), covering up to 60% of emergency situations.

The paper considers the additional security measures ensuring the test for the rocket propulsion plant upper stages with increased doses of refueling (up to 7000 kg), based on the principle of preserving the hierarchical construction of test programs. A key factor to improve the efficiency of systems alert fire and explosion, SES and coefficient enrollment of emergency situations (0.8–0.9) is the research on systems of the earlier hydrogen leak detection and the use of inhibitors with nitrogen-deterrent to prevent an explosion of hydrogen and air (or oxygen) mixtures.

The paper demonstrates the research results of the earlier hydrogen leak detection systems and implementation of plants for comparative testing for sensors for hydrogen dangerous concentration monitoring.

Keywords: propulsion plant, rocket, security, emergency safety systems, emergency situation, a leak of hydrogen, inhibitors.



Родченко Владимир  
Викторович  
Vladimir V. Rodchenko

**Сведения об авторе:** д-р техн. наук, профессор, почетный работник высшей школы, действительный член Российской академии космонавтики им. К.Э. Циолковского, заместитель заведующего кафедрой «Управление эксплуатацией РКС» Московского авиационного института (национального исследовательского университета); научно-педагогический стаж более 40 лет.

Был руководителем и участвовал в выполнении ряда хозяйственных работ по заказам промышленности, в том числе по программам: «Энергия-Буран», «Магистраль», «Синева» и др.

**Образование:** Московский авиационный институт.

**Область научных интересов:** теория и практика создания реактивных устройств, способных двигаться в грунтах с высокими скоростями; отработка сложных технических систем.

**Публикации:** более 180, в том числе 7 монографий, 9 учебных пособий, 4 авторских свидетельства и патента на изобретения.

**Сведения об авторе:** д-р техн. наук, профессор, лауреат премии Совета Министров СССР в области науки и техники, действительный член Российской академии космонавтики им. К.Э. Циолковского, главный научный сотрудник ФКП «НИЦ РКП», профессор кафедры «Управление эксплуатацией ракетно-космических систем» Московского авиационного института (национального исследовательского университета); научно-педагогический стаж 40 лет.

Участвовал в отработке ряда систем по ракетно-космическим программам «Космос-1», «Космос-3», «Н1Л3», «Энергия-Буран», «GSLV», «Ангара» и др.

**Образование:** Казанский авиационный институт.

**Область научных интересов:** теория и практика наземных испытаний ракетных двигателей и двигательных установок, гидро- и газодинамика процессов в энергоустановках, исследования в области водородной технологии.

**Публикации:** более 180, в том числе 6 монографий, 6 учебных пособий, 44 авторских свидетельства и патента на изобретения.

**Information about the author:** DSc (engineering), professor, Honorary Worker of Higher School, member of the K.E. Tsiolkovsky Russian Academy of Cosmonautics, the deputy head of the “Management of operation of RSS” department of Moscow Aviation Institute (National Research University); scientific and pedagogical experience more than 40 years. He was a leader and participated in the implementation of a number of contractual works on the orders of the industry, including the following programs: “Energia-Buran”, “Magistral”, “Sineva”, etc.

**Education:** Moscow Aviation Institute.

**Research area:** theory and practice of jet devices that can move in the ground at high speeds; testing for complex technical systems.

**Publications:** more than 180, including 7 monographs, 9 textbooks, 4 patents for inventions.

**Information about the author:** DSc (engineering), professor, Laureate of Council of Ministers (USSR) in the field of science and technology, member of the K.E. Tsiolkovsky Russian Academy of Cosmonautics, chief researcher of the PCF “SIC RSI”, professor of “Management of operation of rocket and space systems” of Moscow Aviation Institute (National Research University); scientific and pedagogical experience of 40 years. He participated in working out a number of systems for missile and space programs “Space-1”, “Space-3”, “N1L3”, “Energia-Buran”, “GSLV”, “Angara” and others.

**Education:** Kazan Aviation Institute.

**Research area:** theory and practice ground tests for rocket engines and moving-enforcement units, hydro and gas dynamics processes in power plants, research in the field of water-native technology.

**Publications:** more than 180, including 6 monographs, 6 textbooks, 44 patents for inventions.



*Попов Борис Борисович*  
Boris B. Popov

**Сведения об авторе:** канд. техн. наук, начальник сектора ФКП «НИЦ РКП», участвовал в отработке ряда систем по ракетно-космическим программам «Н1Л3», «Энергия-Буран», «GSLV», «Ангара» и др.

**Образование:** Московский авиационный институт.

**Область научных интересов:** теория и практика наземных испытаний агрегатов РКС, технология контроля герметичности криогенных агрегатов.

**Публикации:** более 50, в том числе более 25 авторских свидетельств и патентов.

**Information about the author:** PhD (engineering), Head of department of the PCF "SIC RSI", participated in working out a number of systems for missile and space programs "N1L3", "Energia-Buran", "GSLV", "Angara" and others.

**Education:** Moscow Aviation Institute.

**Research area:** ensuring the reliability of the rocket and space technology, technology of leakproofness control of cryogenic aggregates.

**Publications:** more than 50, including more than 25 patents.



*Галеев Антон Валерьевич*  
Anton V. Galeev

**Сведения об авторе:** аспирант кафедры «Управление эксплуатацией РКС» Московского авиационного института (национального исследовательского университета).

**Образование:** Московский авиационный институт.

**Область научных интересов:** теория и практика наземных испытаний ракетных двигателей и двигательных установок.

**Публикации:** 4.

**Information about the author:** post-graduate of Management of RSS operation department Moscow Aviation Institute (National Research University).

**Education:** Moscow Aviation Institute.

**Research area:** theory and practice ground tests for rocket engines and propulsion systems.

**Publications:** 4.

## Введение

Проведение испытаний ДУ на стенде требует соблюдения определенных экологических правил, которые определяются:

- расположением испытательного комплекса относительно промышленных и жилых массивов, розой ветров для данной местности;
- технологией, характером и интенсивностью экспериментальных работ и применяемым испытательным оборудованием и системами;
- компонентами ракетного топлива (КРТ), схемой двигателя и совершенством процессов в них.

Большинство проводимых экспериментальных работ, в частности огневые испытания двигателей и ДУ, приравняются к взрывным работам, поэтому к

испытательным объектам и технологии испытаний предъявляются требования Федерального закона «О промышленной безопасности опасных производственных объектов».

Как известно, при испытаниях двигателя и ДУ возможны выбросы водорода в процессе запуска или при разгерметизации систем питания, и смеси водорода с воздухом (кислородом) могут взрываться при наличии источников иницирования. При этом опасность взрыва усугубляется тем, что пределы детонации находятся внутри области воспламенения. Так, водород и метан в смесях с кислородом и воздухом в широком диапазоне концентраций взрыво- и пожароопасны (нижние и верхние концентрационные пределы воспламенения и детонации приведены в табл. 1).

Пределы воспламенения и детонации топливных пар

Таблица 1

Limits of ignition and detonation of fuel vapor

Table 1

Топливные пары	Нижний предел, % H <sub>2</sub> по объему		Верхний предел, % H <sub>2</sub> по объему	
	Воспламенение	Детонация	Воспламенение	Детонация
H <sub>2</sub> -O <sub>2</sub>	4,6	15	94	90
H <sub>2</sub> -воздух	4,1	18,3	74,2	59
Метан - O <sub>2</sub>	5,6	15,0	60	61
Метан - воздух	5	6,3	13	15

В стендовых условиях выбросы водорода очень опасны и могут взрываться в смесях с кислородом (воздухом), так как на стенде всегда есть источники инициирования (струя двигателя, источники высокого давления, источники электропитания и др.).

Безопасность испытаний обеспечивается различными методами, основанными на повышенных требованиях к герметичности систем, контроле опасных накоплений водорода, исключении контакта водорода с воздухом и кислородом в коммуникациях изделия и стенда, применении систем контроля и дожигания водородных выбросов, систем аварийной защиты [1].

В связи с вышеизложенным, повышение эффективности и безопасности испытаний ДУ на стенде требует проведения исследований систем более раннего обнаружения утечек водорода и применения ингибиторов с флегматизатором – азотом – для предотвращения взрыва смесей водорода с воздухом (или кислородом).

### Исследования безопасности ДУ на стенде

Наиболее опасными являются стендовые испытания ДУ, так как в случае разгерметизации топливной системы работающий двигатель (выхлопная струя) может явиться инициатором взрыва смесей выброса (пролива) водорода с воздухом (или кислородом) при одновременном или раздельном разрушении топливных баков.

Безопасность испытания ДУ на стенде определяется количеством заправляемого водорода в топливный бак ДУ. При оценке безопасности применяется гипотеза мгновенного разрушения топливных баков окислителя и горючего, пролива и взрыва образуемых смесей водорода с воздухом (кислородом) с учетом тротиловых эквивалентов и коэффициента участия водорода во взрыве ( $z = 0,05 \dots 0,42$ ).

Применительно к стендовой отработке кислородно-водородных ракетных блоков, имеющих в топливных баках от 1 до 10 т жидкого водорода, в соответствии с моделью мгновенного развития событий проведены расчеты опасных зон. Давление во фронте ударной волны при взрыве на поверхности земли может быть оценено по формуле М.А. Садовского:

$$\Delta p_{взр} = \left( \frac{1,06}{R} + \frac{4,3 \cdot \sqrt[3]{B}}{R^2} + \frac{14 \cdot \sqrt[3]{B^2}}{R^3} \right) \cdot \sqrt[3]{B}, \quad (1)$$

где  $\Delta p_{взр}$  – давление во фронте ударной волны на расстоянии  $\sim R$  (м) от центра взрыва, бар;  $B$  – масса заряда тротила, определяемая соотношением  $B = z \cdot C_3 \cdot m_{H_2}$  (кг);  $z$  – коэффициент участия водорода во взрыве для случая истечения и смешения с  $Re \gg Re_{кр}$ ;  $Re$  – критерий Рейнольдса;  $C_3 = 10,4$  и  $13,3$  кг ТНТ/кг  $H_2$  – тротиловый эквивалент водородно-воздушной и водородно-кислородной смесей в стехиометрическом соотношении соответственно;  $m_{H_2}$  – масса выброшенного водорода при аварийной ситуации (кг) [2].

Формула (1) справедлива для значений приведенного расстояния от центра взрыва:

$$\bar{R} = \frac{R}{\sqrt[3]{B}} = 1 \dots 15. \quad (2)$$

При этих расчетах на ограниченном расстоянии от стенда (1 100 м) допускалось избыточное давление во фронте ударной волны, равное 2 кПа, при котором реализуется вторая степень безопасности и возможно частичное повреждение (менее 10 %) элементов остекления зданий и сооружений.

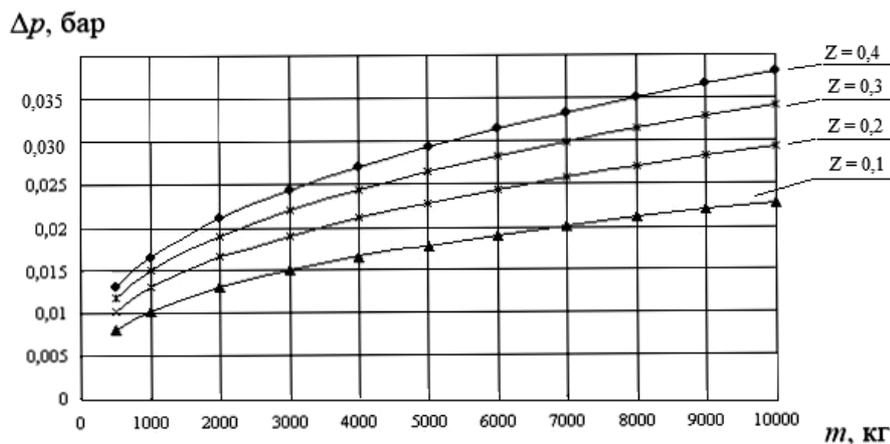


Рис. 1. Результаты расчета избыточного давления  $\Delta p$  во фронте ударной волны в зависимости от массы выброса водорода  $m_{H_2}$  и коэффициента участия его во взрыве  $z$  при расстоянии до жилого массива  $R = 1100$  м (водородно-кислородная смесь)

Fig. 1. The results of the calculation of excess pressure  $\Delta p$  in the shock front as a function of the hydrogen emissions mass  $m_{H_2}$  and its participation rate in an explosion at a distance  $z$  to the residential area  $R = 1100$  m (hydrogen-oxygen mixture)

Результаты расчетов для водородно-кислородной смеси с использованием соотношений (1) и (2) показаны на рис. 1 для разомкнутого (полностью открытого) рабочего объема стенда при коэффициенте использования водорода во взрыве  $z = 0,02 \dots 0,1$  и для замкнутого рабочего объема при  $z = 0,2 \dots 0,42$ .

На основании проведенных расчетов межотраслевой экспертной комиссией по безопасности испытаний в 1991 г было принято решение о возможности проведения холодных и огневых испытаний ДУ разгонных блоков на стенде НИЦ РКП с заправкой топливного бака ДУ жидким водородом в количестве 2 700 кг с риском  $10^{-4}$  (одна авария на 10 000 испытаний). В расчетах экспертами было принято значение  $z = 0,3$ . Указанные испытания должны проводиться при выполнении специальных мероприятий по безопасности и требований к системам ДУ, стенда и проведению испытаний [1, 2].

#### *Требования к испытаниям и ДУ:*

- для первых испытаний ДУ выполняется с упрочненными баками, при этом в баках ДУ должны быть установлены разделительные клапаны по магистралям питания окислителя и горючего, клапаны аварийного слива компонентов из баков, дополнительные дренажно-предохранительные клапаны, системы дополнительного наддува баков;
- двигатель должен иметь коэффициент надежности не ниже 0,98, подтвержденный при автономных испытаниях до начала испытаний в составе ДУ; на время испытаний двигатель отделяется от баков защитным устройством (бронеплитой);
- агрегаты и системы ДУ должны быть испытаны автономно на натуральных компонентах;
- огневые испытания должны предшествовать холодные испытания ДУ для проверки совместного функционирования систем;
- должно быть предусмотрено применение в ДУ систем пожаро- и взрывопредупреждения (СПВП) и аварийной защиты (САЗ).

#### *Требования к системам стенда:*

- обеспечение контроля опасных концентраций водорода и кислорода в отсеках стенда и ДУ газоаналитическими датчиками с инерционностью не более 2...4 секунд;
- обеспечение воспламенения и дожигания выбросов водорода из сопла двигателя;
- отвод дренируемого водорода на стендовый дожигатель;
- подача азота и воды в отсеки и огневой бокс стенда при аварийных ситуациях;
- максимальное раскрытие проемов в стенах и крыше стенда;
- контроль параметров и парирование нештатных ситуаций (НшС);
- блоки информационно-управляющих систем (ИУС) должны быть в искрозащищенном исполнении.

#### *Требования к организации испытаний:*

- обеспечение дистанционного проведения запорочных операций и испытания; укрытие персонала, участвующего в проведении испытания, в бункере; полного удаления людей из опасной зоны в радиусе  $R_{без}$ ; готовности служб пожарной охраны к спасательным работам по ликвидации последствий аварийных ситуаций;
- принятие мер по ограничению продолжительности первого испытания и количества заправляемого в бак ДУ водорода, которое определяется исходя из расположения испытательного стенда (расстояния до жилой зоны) и размерностью испытуемого двигателя.

Следует обратить внимание на то, что указанные выше расчеты проводились с использованием гипотетической модели развития аварийной ситуации, которые не учитывают динамику и кинетику процессов от начала разгерметизации системы до взрыва, а также уменьшение тротилового эквивалента при неполучении стехиометрической смеси. Вместе с тем статистика аварий, произошедших по причине выброса водорода, показывает, что процессы разгерметизации системы, смещения компонентов и взрыв происходят во времени и парирование аварийной ситуации возможно при достаточном быстродействии систем контроля утечек, а коэффициент участия водорода во взрыве  $z$  в большинстве случаев не превышает 0,1 [2].

Это позволяет рассматривать вопрос о проведении испытаний на стенде НИЦ РКП ДУ с заправкой блока второй ступени РН водородом (до 7 000 кг) при выполнении дополнительного комплекса мер обеспечения безопасности и парировании нештатных ситуаций, предусматривающих:

- сохранение иерархического принципа построения программ испытаний с постепенным их усложнением;
- внедрение диагностических методов контроля технического состояния двигателя после испытания для оценки остаточного ресурса его систем;
- оснащение САЗ двигателя высокочувствительными первичными преобразователями (датчиками), основанными, например, на оптоволоконной или изотопной технике и обеспечивающими контроль наиболее напряженных параметров криогенного двигателя (износа беговых дорожек узлов качения (подшипников) ТНА, температуры лопаток турбины и др.);
- оснащение САЗ двигателя каналами контроля виброперегрузок в наиболее теплонапряженных системах ДУ (ТНА и камера сгорания);
- внедрение датчиков контроля утечек водорода с инерционностью не более 2 с;
- применение активных средств флегматизации опасных смесей с добавками ингибиторов взрыва-



опасных смесей водорода с воздухом и кислородом в отсеках ДУ и стенда.

В частности, в работах ИСМАН [3] были предложены высокоэффективные составы ингибиторов, которые позволяют регулировать параметры горения и взрыва водородно-воздушных смесей: скорость горения, критические условия воспламенения, переход горения в детонацию. Чл.-корр. РАН В.В. Азатыаном было показано [3, 4], что в отличие от сложившихся представлений о чисто тепловой природе горения, лавинообразное размножение активных промежуточных частиц (атомов и радикалов) в ходе их реакций является основным фактором горения и взрыва газов не только при экзотически низких давлениях, но также при атмосферном и повышенном давлении при любом режиме саморазогрева. Поэтому даже в развившемся горении при искусственном прекращении разветвления цепей процесс горения немедленно прекращается, т.е. регулирование параметров горения и взрыва водородно-воздушных смесей достигается обрывом цепного характера воспламенения. В качестве ингибиторов были предложены и испытаны олефиновые соединения, в частности пропилен. Было установлено, что для предотвращения детонации водородно-воздушных смесей достаточная концентрация ингибитора составляет ~ 3 % объемных, а для прекращения процесса горения требуется несколько большее количество ингибитора (до 4 % по объему).

При этом вопросы более раннего обнаружения утечек водорода и применения ингибиторов для предотвращения взрыва смесей водорода с воздухом (или кислородом) являются ключевыми для повышения эффективности современных САЗ в обеспечении своевременного выключения ЖРД [2].

### Результаты исследования систем контроля опасных накоплений взрывоопасных газов

Из работ [1, 2] известно, что главными причинами аварийных ситуаций при стендовых испытаниях ЖРД и ДУ, использующих в качестве компонентов топлива жидкие водород и кислород, являются:

– конденсация и накопление твердых кристаллов воздуха или кислорода в жидком водороде, приводящие к последующему образованию пожаро- и взрывоопасных смесей кислорода в водороде при газификации продукта;

– образование пожаро- и взрывоопасных смесей при утечках или выбросах водорода в окружающем пространстве испытательного стенда, в отсеках стенда или объектах испытания (или коммуникациях изделия).

Аварийная ситуация в первом случае возникает, как правило, при многократном использовании системы с водородом, в результате чего происходит накопление твердого осадка кислорода, например в емкостях стендовых хранилищ, а во втором – она чаще происходит при стендовых испытаниях кислородно-водородных ЖРД и ДУ. В условиях испытательных стендов, насыщенных электрическими системами, системами высокого давления и дожигаания, вероятность воспламенения или детонации (взрыва) водородно-воздушных смесей очень велика, поэтому важно оснащать ДУ ракетных блоков СПВП. В свою очередь основным элементом СПВП является подсистема контроля опасных накоплений (СКОН) взрывоопасных газов (водорода и кислорода). Следует при этом отметить, что основным недостатком большинства применяемых датчиков (сигнализаторов) СКОН является большая инерционность и недостаточная селективность (могут реагировать на присутствие других газов, например, промышленные водородные полупроводниковые сигнализаторы типа ГА реагируют не только на водород, но и на присутствие кислорода и гелия, и обладают значительной инерционностью (до 30 с) [2, 5].

Проблема быстродействия и селективности сигнализаторов СКОН, контролирующих концентрации водорода в двигательном отсеке (ДО) блока 12КРБ при проведении стендовых испытаний, была решена в 2000 г посредством:

– основной системы с полупроводниковыми датчиками ИПКВ1 контроля опасных концентраций водорода (разработка МИФИ);

– дублирующей системы контроля температуры в ДО.

При возникновении нештатной ситуации в процессе испытания блока 12КРБ на стенде НИЦ РКП (на 721,3 с от команды «Старт») основная система с датчиком ИПКВ1 зафиксировала появление водорода в ДО с инерционностью 6 с (рис. 2) и дублирующая система контроля температуры – с инерционностью до 1 с (рис. 3) без количественной оценки концентраций водорода [1].



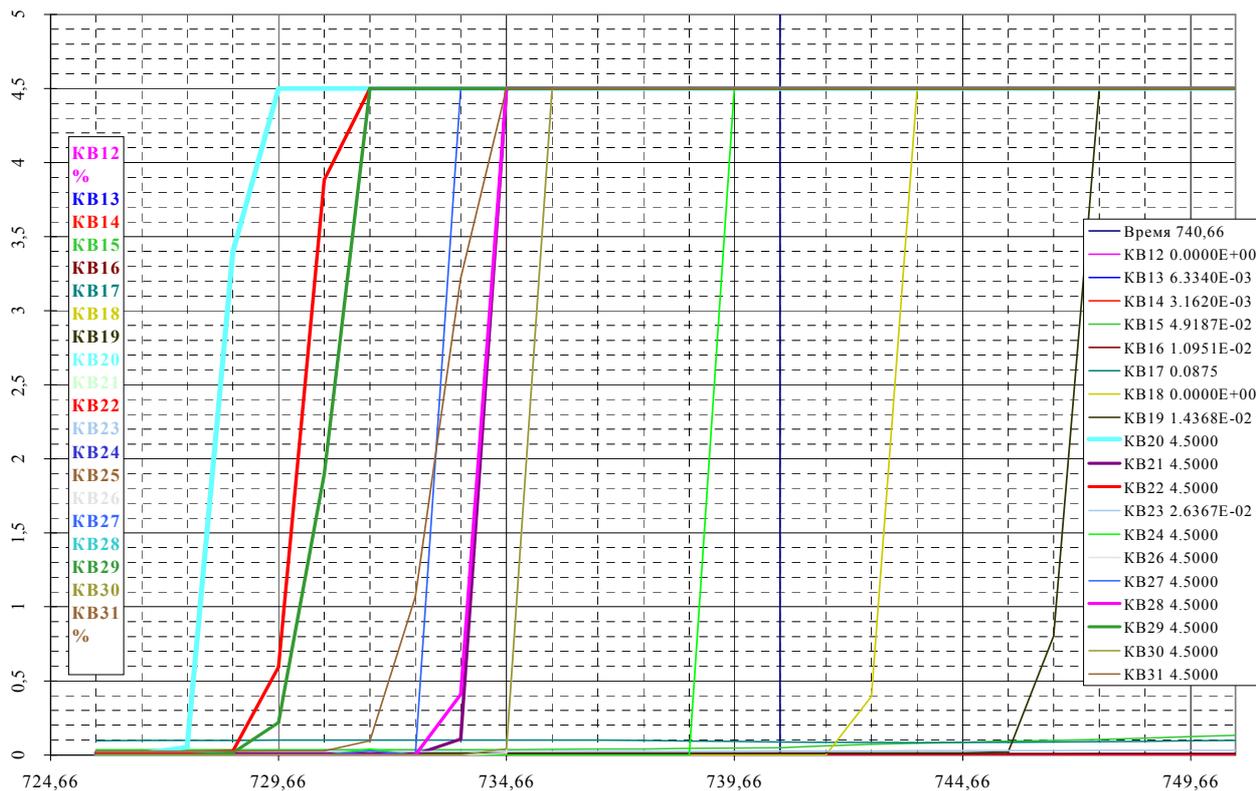


Рис. 2. Значения концентрации водорода в ДО блока и боксе стенда (при разгерметизации полости двигателя на 721,3 с)  
 Fig. 2. Concentrations of hydrogen in the engine bay and stand (depressurization cavity engine 721.3 c)

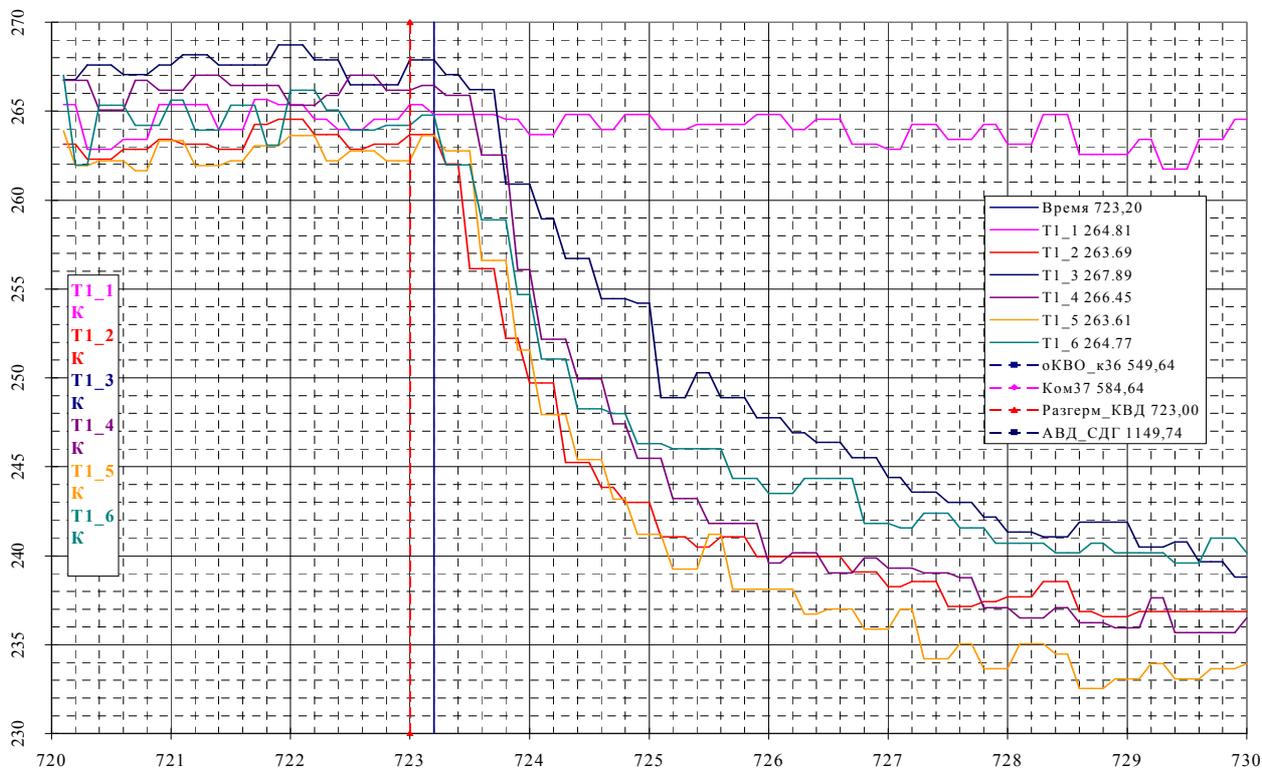


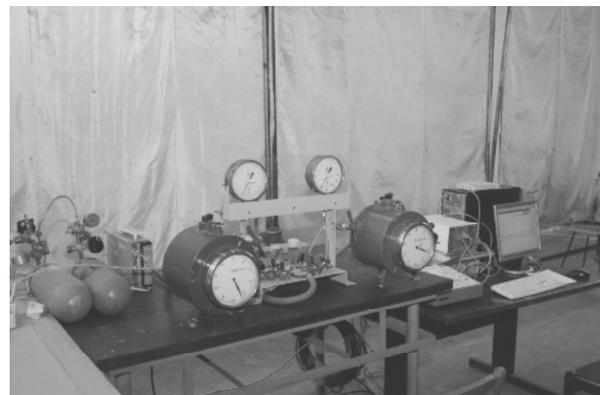
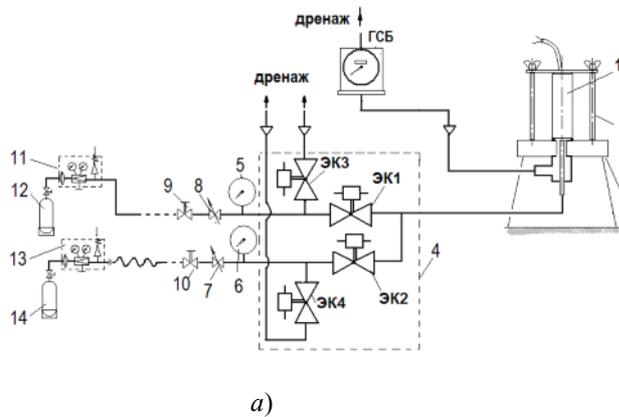
Рис. 3. Температура газовой среды в нише ДО при разгерметизации двигателя КВД1  
 Fig. 3. Temperature of the gaseous medium in the recess of the engine bay during depressurization KVD1

С учётом обобщения опыта отработки ЖРД и ДУ, функционирующих на жидких водороде и кислороде, были сформулированы главные требования к перспективному газоаналитическим датчикам водорода и кислорода, которые являются основным элементом СКОН, реализующей контроль утечек водорода и кислорода.

Таковыми требованиями являются: широкий диапазон измерения концентраций водорода в воздушной среде – от микропримесей до 100 % объемных; сохранение метрологических характеристик при нахождении чувствительного элемента ГА в стопроцентной водородной среде в течение определенного времени; быстрый возврат в рабочее состояние; нечувствительность к электромагнитным помехам, селективность к целевому компоненту – водороду в смесях с технологическими газами, в первую очередь с гелием.

Одно из главных требований – максимальное быстрое действие (инерционность до 2 с), так как СКОН является составной частью СПВП, которая должна оперативно и эффективно реагировать на аварийный выброс в атмосферу помещения испытательного стенда (ИС) или отсеки изделия водорода и воздействовать на этот выброс таким образом, чтобы исключить или снизить вероятность взрыва водородно-воздушной смеси.

Для проведения сравнительных испытаний датчиков СКОН на быстрое действие и селективность в условиях, приближенных к реальным условиям эксплуатации, на стенде ФКП «НИЦ РКП» смонтирована и внедрена установка УСИД1 (рис. 4). Установка реализует способ испытаний газоаналитических датчиков, описанный в работах [6, 7].



**Рис. 4.** Пневмогидравлическая схема (а) и общий вид испытательной установки УСИД1 (б):

- 1 – испытуемый датчик ГА; 2 – траверса для крепления и герметизации датчика; 3 – рабочий стол УСИД1;
- 4 – счетчик газа типа ГСБ-400; 5, 6 – манометры; 7, 8 – дроссели настройки расхода; 9, 10 – вентили запорные;
- 11, 13 – редукторы баллонные; 12 – баллон с контрольной смесью; 14 – баллон инертного газа-разбавителя;
- ЭК1, ЭК2, ЭК3, ЭК4 – электроклапаны запорные

**Fig. 4.** Pneumohydraulic scheme (a) and a general view of the test set USID1 (b):

- 1 – test sensor GA; 2 – crossmember for fixing and sealing the sensor; 3 – USID1 device; 4 – the type of gas meter GSB-400;
- 5, 6 – pressure gauges; 7, 8 – throttles flow setting; 9, 10 – shut-off valves; 11, 13 – balloon reducer; 12 – cylinder control mixture;
- 14 – inert diluent gas balloon; EK1, EK2, EK3, EK4 – locking solenoid

В установке УСИД1 были проведены сравнительные испытания ряда газоаналитических датчиков на быстрое действие и селективность, результаты представлены в табл. 2 [7].

Результаты сравнительных испытаний газоаналитических датчиков

Таблица 2

Table 2

Results of comparative tests of gas analytical sensors

Датчик	Разработчик и изготовитель	Быстродействие, с	Селективность
Датчик на основе диода Шоттки полупроводника n-InP	ФТИ им. А.Ф Иофе совместно с ООО «АИБИ», г. Санкт-Петербург	3–4 с	Не реагирует на другие газы (гелий, кислород)
Полупроводниковый датчик ИПКВ1	МИФИ	6–8 с	– “ –
Полупроводниковый датчик с чувствительным элементом на основе МДП-структур	ЗАО «ЛЭКИС», г. Москва	6–8 с	– “ –
Термохимический сигнализатор СТМ-10	Завод аналитических приборов, г. Смоленск	8 с	– “ –

Анализ проведенных испытаний показал:

– опытный образец установки УСИД1 обеспечивает проведение сравнительных испытаний на функционирование и быстродействие в пределах 1...30 с газоаналитических датчиков концентрации водорода в воздухе и в инертных газах типа азота;

– оптоэлектронный датчик водорода на основе диода Шоттки полупроводника *n*-InP имеет время стабилизации выходного сигнала датчика при возрастающей концентрации водорода в воздушной атмосфере в диапазоне 3...4 с;

– инерционность газоаналитических датчиков на основе МДП-структур [8] и датчиков ИПКВ1 разработки ЗАО «ЛЭКИС» и МИФИ, а также сигнализатора СТМ-10 термохимического принципа действия составляет 6...8 с.

Рассмотренные в работе [5, 8] варианты отечественных и зарубежных систем контроля опасных накоплений применяются в энергетике, нефтехимии, телекоммуникации и характеризуются в первую очередь низким быстродействием за счёт циклического опроса измерительных каналов и недостаточного быстродействия собственно датчиков системы.

Кроме того, указанные промышленно выпускаемые системы контроля опасных накоплений обладают низкой помехозащищённостью, не позволяющей применять их в составе стантовых ИУС, поэтому целесообразно использовать гибридную технологию построения быстродействующих высоконадёжных оптоэлектронных стантовых систем контроля опасных накоплений.

В основе гибридной технологии лежит использование микроэлектронных датчиков с оптоволоконными линиями связи, которые заменяют кабельные интерфейсы RS 485, применяющиеся в промышленных СКОН [9]. Технология оптоволоконных линий связи хорошо отработана, их промышленный выпуск

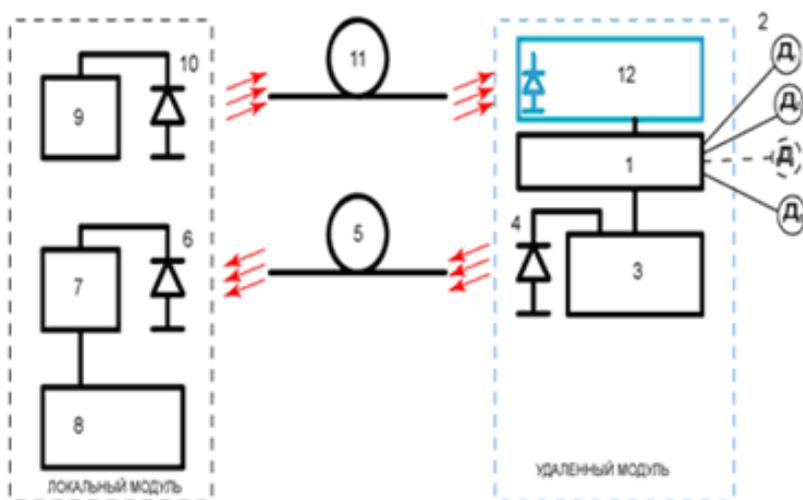
налажен четверть века назад. Преимущества оптических волокон в качестве среды передачи состоят в том, что они нечувствительны к электромагнитным помехам, что позволяет осуществлять помехоустойчивую передачу данных на большие расстояния.

Кроме того, само оптическое волокно не является источником электромагнитных помех, что позволяет с успехом применять его в средах, характеризующихся сложной электромагнитной обстановкой. Так как оптические волокна создаются на основе диэлектрических материалов (синтетический кварц или полимер), их применение позволяет осуществить полную гальваническую развязку между зоной измерения и операторской зоной, а также они обеспечивают измерения в загазованных зонах и установках высоких электрических напряжений. Наконец, при соблюдении определённых ограничений, оптические волокна, в отличие от проводных соединений, не могут быть источником воспламенения или взрыва, поскольку возникновение искры при эксплуатации оптических волокон исключено.

В свою очередь, применение в зоне измерений элементов микроэлектроники, включая разнообразные датчики, также обладает рядом преимуществ. Промышленностью выпускаются газоанализаторы (ГА), обладающие приемлемыми характеристиками по точности, чувствительности, селективности. Гибридные системы позволяют применять последние достижения современной электроники, благодаря чему технология измерений может быть исключительно гибкой.

Сочетание преимуществ оптических волокон и элементов микроэлектроники в составе гибридных оптоволоконных датчиков позволяют им успешно конкурировать с чисто волоконными датчиками [9, 10].

Принципиальная схема такого датчика изображена на рис. 5.



**Рис. 5.** Принципиальная схема гибридного оптоволоконного датчика:  
 1 – измерительный блок; 2 – датчики физических величин; 3 – блок кодирования и передачи измерительной информации;  
 4 – полупроводниковый лазер;  
 5 – оптическое волокно; 6 – фотодиод;  
 7 – декодер; 8 – блок отображения;  
 9 – блок управления полупроводникового лазера;  
 10 – мощный полупроводниковый лазер; 11 – оптическое волокно;  
 12 – блок фотоэлектрического преобразователя

**Fig. 5.** A schematic diagram of a hybrid fiber-optic sensor:  
 1 – measuring unit; 2 – sensors of physical quantities; 3 – coding block and signal transmission;  
 4 – semiconductor laser;  
 5 – optical fiber; 6 – photodiode;  
 7 – decoder; 8 – display unit;  
 9 – the control unit of a semiconductor laser;  
 10 – high-power semiconductor laser;  
 12 – unit photovoltaic converter

В датчике удаленный модуль принимает сигналы от измерительных блоков, представляющих собой традиционные чувствительные элементы. В измерительном блоке 1 эти сигналы подвергаются предварительной обработке и направляются в блок кодирования и передачи измерительной информации 3, где она кодируется в специальный формат. Далее в этом формате осуществляется модуляция тока накачки полупроводникового лазера 4, согласованного с оптическим волокном. Затем измерительная информация в световом формате передается по оптическому волокну 5 в локальный блок, находящийся в операторской зоне, где осуществляется обратное преобразование формата передачи информации и последующее отображение и/или использование данных измерений.

В Институте радиотехники и электроники РАН имени В.А. Котельникова совместно с ФКП «НИЦ РКП» разработана физическая модель оптоэлектронного датчика для контроля взрывоопасных газов (например, водорода или метана) по гибридной технологии на основе инфракрасного светодиода с длиной волны излучения в области 3,3 мкм [9].

Результаты проведенных лабораторных исследований физической модели оптоволоконных датчиков показали возможность разработки обоснованного ТЗ на проведение НИОКР по созданию быстродействующей волоконно-оптической СКОН взрывоопасных газов повышенной надёжности, ориентированной на их применение в системах аварийной защиты при стендовых испытаниях кислородно-водородного ЖРД РД0146Д и разгонного блока КВТК на стендах ФКП «НИЦ РКП».

### Выводы

1. Проведенные исследования показывают, что эффективность систем обеспечения безопасности испытаний ДУ определяется в основном быстродействием средств контроля взрывоопасных газов.

2. Проблема быстродействия и селективности анализаторов СКОН, контролирующих концентрации водорода в отсеках ДУ при проведении стендовых испытаний блока 12КРБ, была решена с помощью:

- основной системы с полупроводниковым датчиком контроля опасных концентраций водорода, которая зафиксировала опасные концентрации водорода в газах ДО с инерционностью 6 с;

- дублирующей системы контроля температуры в двигательном отсеке, которая зафиксировала появление водорода с инерционностью до 1 с (без количественной оценки концентраций водорода).

3. Применение в современных СКОН газоаналитических датчиков на основе МДП-структур с дублированием контроля температуры совместно с гибридными оптоволоконными датчиками, обладающими малой инерционностью (до 3...4 с), позволяет повысить эффективность САЗ и коэффициент охвата аварийных ситуаций.

4. Систему контроля опасных накоплений взрывоопасных газов с оптоволоконным датчиком рекомендуется использовать в системах аварийной защиты при стендовых испытаниях кислородно-водородного ЖРД РД0146Д и разгонного блока КВТК на стендах ФКП «НИЦ РКП».

Целесообразно продолжать испытания оптоволоконных и электронных датчиков (разработки ООО «АИБИ» и Института радиотехники и электроники РАН имени В.А. Котельникова) в ФКП «НИЦ РКП» с целью отработки конструктивных решений и обеспечения быстродействия до 2 с.

Для проведения сравнительных испытаний перспективных датчиков СКОН и получения их характеристик в условиях, приближенных к реальным условиям эксплуатации, целесообразно использовать экспериментальную установку УСИД1, внедренную в эксплуатацию на стенде ФКП «НИЦ РКП».

### Список литературы

1. Галеев А.Г. Об опыте отработки ракетных двигателей и энергетических установок на водородном топливе и проблемы обеспечения их безопасности // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEE). 2007. № 7. С. 8–14.
2. Галеев А.Г., Денисов К.П., Ищенко В.И., Лисейкин В.А., Сайдов Г.Г., Черкашин А.Ю. Испытательные комплексы и экспериментальная отработка жидкостных ракетных двигателей. М.: Машиностроение / Машиностроение-Полет, 2012.
3. Азатян В.В., Мержанов А.Г. Разветвлено-цепная природа горения водорода при атмосферном давлении // Хим. Физика. 2008. Т. 27, № 11. С. 93–96.
4. Азатян В.В., Галеев А.Г. Эффективные методы химического управления воспламенением и детонацией газовых смесей водорода с воздухом и кислородом // Сборник тезисов докладов Российской научнотехнической конференции «Ракетно-космическая техника и технология 2011». г. Самара, СГАУ. 2011. С. 124–127.
5. Попов Б.Б. Контроль концентраций водорода на стендах ракетно-космических систем // Полет. 2009. Специальный выпуск. С. 18–24.
6. Патент 89708 РФ МКИ J01N27/02. Установка для сравнительных испытаний газоаналитических датчиков с имитацией натуральных условий / Галеев А.Г., Попов Б.Б. // Изобретения. 2009. № 3.
7. Патент 2542604. РФ МКИ J01N27/02. Способ испытаний на быстродействие газоаналитических датчиков с временем отклика менее 4 секунд / Бережной В.Н., Городецкий А.П., Попов Б.Б., Ермолин А.Н. // Открытия. Изобретения. 2015. № 5.
8. Сравнительные испытания газоаналитических датчиков СКОН водорода. Технический отчет. ФКП «НИЦ РКП», инв. № ТО.106.ЛИАИ.164.13, 2013.



9. Емелин Е.В., Николаев И.Н. Чувствительность МДП-сенсоров к концентрациям различных газов в воздухе // Датчики и системы. 2005. № 10. С. 37.

10. Задворнов С.А., Соколовский А.А. О пожаровзрывобезопасности волоконно-оптических гибридных измерительных систем // Датчики и системы. 2007. № 3. С. 11–13.

11. Сайдов Г.Г., Поляхов А.Д., Катенин А.В. Повышение качества наземной обработки изделий ракетно-космической техники // Конференция «Вопросы образования и науки: теоретический и методический аспекты». Тамбов, 2014.

### References

1. Galeev A.G. Ob opyte otrabotki raketnyh dvigatelej i energetičeskijh ustanovok na vodorodnom toplive i problemy obespečeniâ ih bezopasnosti. *International Scientific Journal «Alternativnaâ energetika i ekologiâ» (ISJAE)*, 2007, no. 7, pp. 8–14 (in Russ.).

2. Galeev A.G., Denisov K.P., Ischenko V.I., Liseikin V.A., Saidov G.G., Cherkashin A.Yu. Ispytatel'nye komplekсы i èksperimental'naâ otrabotka židkostnyh raketnyh dvigatelej. Moscow: Mašinstroenie / Mašinstroenie-Polet Publ., 2012 (in Russ.).

3. Azatyán V.V., Merzhanov A.G. Razvetvleno-cepnaâ priroda goreníâ vodoroda pri atmosfernom davlenii. *Him. Fizika*, 2008, vol. 27, no. 11, pp. 93–96 (in Russ.).

4. Azatyán V.V., Galeev A.G. Èffektivnye metody himičeskogo upravleníâ vosplamneniem i detonaciej gazovyh smesej vodoroda s vozduhom i kislorodom.

*Sbornik tezisev dokladov Rossijskoj naučno-tehničeskoi konferencii “Raketno-kosmičeskââ tehnika i tehnologiâ 2011”*. Samara, SGAU, 2011, pp. 124–127 (in Russ.).

5. Popov B.B. Kontrol' koncentracij vodoroda na stendah raketno-kosmičeskijh sistem. *Polet*, 2009, special issue, pp. 18–24 (in Russ.).

6. Galeev A.G., Popov B.B. Patent 89708 RF MKI J01N27/02. Ustanovka dlâ sravnitel'nyh ispytanj gazoanalitičeskijh datčikov s imitaciej naturnyh uslovij. *Izobreteniâ*, 2009, no. 3 (in Russ.).

7. Berezhnoy V.N., Gorodecky A.P., Popov B.B., Ermolin A.N. Patent 2542604. RF MKI J01N27/02. Sposob ispytanj na bystrodejstvje gazoanalitičeskijh datčikov s vremenem otklika menee 4 sekund. *Otkrytiâ. Izobreteniâ*, 2015, no. 5 (in Russ.).

8. Sravnitel'nye ispytaniâ gazoanalitičeskijh datčikov SKON vodoroda. Tehničeskij očet. FKP «NIC RKP», inv. No. TO.106.LAI.164.13, 2013 (in Russ.).

9. Emelin E.V., Nikolaev I.N. Čuvstvitel'nost' MDP-sensorov k koncentraciâm različnyh gazov v vozduhe. *Datčiki i sistemy*, 2005, no. 10, pp. 37 (in Russ.).

10. Zadvornov S.A., Sokolovskij A.A. O požarovzryvobezopasnosti volokonno-optičeskijh gibridnyh izmeritel'nyh sistem. *Datčiki i sistemy*, 2007, no. 3, pp. 11–13 (in Russ.).

11. Saidov G.G., Polyahov A.D., Katenin A.V. Povyšenie kačestva nazemnoj otrabotki izdelij raketno-kosmičeskoi tehniki. *Conference of “Voprosy obrazovaniâ i nauki: teoretičeskij i metodičeskij aspekty”*, Tambov, 2014 (in Russ.).

Транслитерация по ISO 9:1995



### Содержание Международного научного журнала «Космонавтика» № 1, 2011 (в рамках акции «Архивные номера»)

Коротеев А.С.

Ядерная энергетика способна обеспечить качественный скачок в развитии космонавтики

Домашенко А.М.

Безопасные технологии обращения с водородом при его ожигении, хранении и транспортировании

Bolonkin A.

Converting matter to nuclear energy by ab-generator and its application for aerospace

Krinker M.

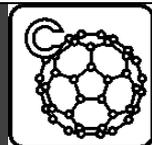
Review of new concepts, ideas and innovations in space towers

Nechaev Y.S.

High-density hydrogen within carbonaceous nanostructures: the very powerful vehicle and rocket fuel

Дмитриев В.С., Нестеренко Т.Г., Плотников И.В.

Экономические аспекты и перспективы развития космонавтики



**ТРАНСПОРТНЫЕ И МАГНИТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ  
В НАНОГЕТЕРОГЕННЫХ СТРУКТУРАХ**

*А.Б. Грановский<sup>1</sup>, Ю.Е. Калинин<sup>2</sup>, А.В. Ситников<sup>2</sup>, О.В. Стогней<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

РФ 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1  
тел.: 8(495)939-47-87; e-mail: granov@magn.ru

<sup>2</sup>Воронежский государственный технический университет

РФ 394026, Воронеж, Московский пр., 14  
тел.: 8(473)246-66-47; e-mail: kalinin48@mail.ru

doi: 10.15518/isjaee.2015.20.006

Заключение совета рецензентов: 14.09.15 Заключение совета экспертов: 21.09.15 Принято к публикации: 28.09.15

В области наногранулированных композитов ферромагнетик-полупроводник и мультислойных структур на их основе обсуждается ряд интересных эффектов, таких как гигантское магнитосопротивление, аномальный эффект Холла и др., природа которых до конца не исследована. В многослойных системах гранулированный суперпарамагнетик – полупроводник (металл) в определенном диапазоне толщин полупроводниковой прослойки экспериментально наблюдается новое физическое явление – упорядочение магнитных моментов гранул, природа которого пока теоретически не объяснена. Рассмотрены также весьма перспективные с практической точки зрения высокочастотные магнитные свойства. В слоевых композитах ферромагнетик-пьезоэлектрик наряду с магнитоэлектрическим эффектом наблюдается возникновение нечетной магнитной термо-ЭДС, что важно при разработке датчиков магнитного поля, которые могут не только измерять напряженность магнитного (или электрического) поля, но и его полярность.

Ключевые слова: магнитные и электрические свойства, нанокompозиты, многослойные структуры, магнитное упорядочение, магнитосопротивление, эффект Холла.

**TRANSPORT AND MAGNETIC PHENOMENA  
IN NANOHETEROGENEOUS STRUCTURES**

*A.B. Granovsky<sup>1</sup>, Yu.E. Kalinin<sup>2</sup>, A.V. Sitnikov<sup>2</sup>, O.V. Stognei<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Lomonosov Moscow State University

1 Leninskie gory, Moscow, 119991 Russian Federation  
ph.: 8(495)939-47-87, e-mail: granov@magn.ru

<sup>2</sup>Voronezh State Technical University

14 Moskovsky ave., Voronezh, 394026 Russian Federation  
ph.: 8(473)246-66-47, e-mail: kalinin48@mail.ru

doi: 10.15518/isjaee.2015.20.006

Referred 14 September 2015 Received in revised form 21 September 2015 Accepted 28 September 2015

A number of interesting effects such as giant magnetoresistance, the anomalous Hall effect and some others are observed in nanogranulated ferromagnet-semiconductor composites and multilayer-structures based on the composites. The nature of the effects is not fully investigated up to now. In some cases there is the discovery of new effects. For example, in granular superparamagnetic / semiconductor (metal) multilayer systems a new physical phenomenon (the ordering of the granules magnetic moments) was experimentally observed in a certain range of thickness of the semiconductor layers. The physical nature of the phenomenon has no theoretical explanation. Besides that these multilayer systems exhibit a very promising for practical application magnetic properties in high-frequency region. The odd magnetic thermoelectric power is expected to appearance in the laminate ferromagnetic-piezoelectric composite. This odd effect is important in the development of magnetic field sensors, which can not only measure the magnetic (or electric) field but also can measure its polarity.

Keywords: magnetic and electrical properties, nanocomposites, multilayer structures, magnetic ordering, magnetoresistance, Hall effect.



*Александр Борисович  
Грановский  
Alexander B. Granovsky*

**Сведения об авторе:** д-р физ.-мат. наук, профессор физики магнетизма физического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова.

**Образование:** физический факультет Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова.

**Область научных интересов:** физика магнитных явлений.

**Публикации:** 233.

**Information about the author:** DSc, professor of the Magnetism department, Lomonosov Moscow State University.

**Education:** Lomonosov Moscow State University.

**Research area:** physics of magnetic phenomena.

**Publications:** 233.



*Юрий Егорович  
Калинин  
Yury E. Kalinin*

**Сведения об авторе:** д-р физ.-мат. наук, профессор, зав. кафедрой физики твердого тела Воронежского государственного технического университета.

**Образование:** Воронежский политехнический институт (1976).

**Область научных интересов:** многослойные структуры, магнитные и электрические свойства, комплексная магнитная проницаемость, композиты.

**Публикации:** 322.

**Information about the author:** DSc, prof., Head of the Solid State Physics department, Voronezh State Technical University.

**Education:** Voronezh Polytechnic Institute (1976).

**Research area:** multilayer structures, magnetic and electrical properties, complex magnetic permeability, composites.

**Publications:** 322.



*Александр Викторович  
Ситников  
Aleksandr V. Sitnikov*

**Сведения об авторе:** д-р физ.-мат. наук, профессор кафедры физики твердого тела Воронежского государственного технического университета.

**Образование:** Воронежский политехнический институт (1983).

**Область научных интересов:** многослойные структуры, магнитные и электрические свойства, комплексная магнитная проницаемость, композиты.

**Публикации:** 266.

**Information about the author:** DSc, prof. of the Solid State Physics department, Voronezh State Technical University.

**Education:** Voronezh Polytechnic Institute (1983).

**Research area:** multilayer structures, magnetic and electrical properties, complex magnetic permeability, composites.

**Publications:** 266.



Олег Владимирович  
Стогней  
Oleg V. Stognei

**Сведения об авторе:** д-р физ.-мат. наук, профессор кафедры физики твердого тела Воронежского государственного технического университета.

**Образование:** Воронежский политехнический институт (1987).

**Область научных интересов:** многослойные структуры, магнитные и электрические свойства, комплексная магнитная проницаемость, композиты.

**Публикации:** 101.

**Information about the author:** DSc, prof. of the Solid State Physics department, Voronezh State Technical University.

**Education:** Voronezh Polytechnic Institute (1987).

**Research area:** multilayer structures, magnetic and electrical properties, complex magnetic permeability, composites.

**Publications:** 101.

## Введение

В текущем столетии стремительно развиваются исследования физических явлений в различных наноструктурированных материалах. Особое место среди них занимают наноструктурированные гетерогенные среды, к которым относятся нанокompозиты, однослойные и многослойные структуры, содержащие наночастицы, а именно: наногранулированные пленки металл-металл, металл-диэлектрик, металл-полупроводник и др. Широкий выбор компонент и геометрических параметров наночастиц и слоев, наличие интерфейсов, связанных как с поверхностями раздела наночастиц и окружающей их среды, так и с поверхностями раздела слоев, ярко выраженные классические и квантовые размерные эффекты, различные квантовые явления обуславливают актуальность исследования свойств этих материалов. К таким сравнительно новым феноменам относятся: эффекты близости в гетероструктурах сверхпроводник-ферромагнетик или ферромагнетик-полупроводник, упругое и неупругое резонансное туннелирование, образование кулоновской щели в спектре носителей тока, гигантское и туннельное магнитосопротивление, гигантский аномальный эффект Холла, магниторефрактивный эффект, магнитоплазменные эффекты усиления магнитооптических явлений и др.

Гранулированные нанокompозиты ферромагнетик-диэлектрик представляют собой искусственно созданные среды, состоящие из металлических гранул размером 2–10 нм, случайным образом распределённых в объеме диэлектрической матрицы. Такие композиты, благодаря уникальной наноструктуре и несложным технологическим приемам, позволяющим легко изменять концентрацию и размеры частиц, представляют собой почти идеальные системы для исследования многих физических свойств наноструктурированных материалов, а также применения этих материалов на практике. Впервые нанокompозитные структуры (cermets в англоязычной литературе) были получены в начале 70-х годов XX века как тонкопленочные высокоомные резистивные слои для микроэлектроники, и в этом же десятилетии были сформулированы основные модельные представле-

ния об электрических и магнитных свойствах композитов [1–5]. Повторный интерес к таким материалам проявился в 90-х годах XX века, когда возникла потребность в магнитных материалах для записывающей аппаратуры.

Исследования магнитных свойств нанокompозитов ферромагнитных гранул в диэлектрической матрице показали [6], что если объемная доля металла ниже перколяционного перехода, гранулы являются однодоменными, а композит в целом при комнатной температуре проявляет суперпарамагнитные свойства. В случае если объемная доля металла превышает порог перколяции, то гранулы образуют связанную фрактальную сетку, и композит проявляет магнитно-мягкие свойства в диапазоне высоких и сверхвысоких частот. Кроме того, было установлено, что композиты с ферромагнитными гранулами характеризуются наличием гигантского магнитосопротивления [7–9] (8 % при комнатной температуре [10]), а также аномальным эффектом Холла [11], высокими значениями магниторефрактивного эффекта [12–13] и эффекта Керра [14–15].

Настоящая работа посвящена краткому анализу современного состояния научных исследований гетерогенных систем такого рода.

## 1. Транспортные явления в гетерогенных наносистемах

Достаточно большое количество исследований было посвящено механизмам электрической проводимости в нанокompозитах, поскольку они существенно влияют на магнитотранспортные и магнитные характеристики материалов, а электрические свойства наногранулированных композитов радикальным образом зависят от соотношения металлической и диэлектрической фаз в материале. Существуют два принципиально разных режима проводимости в композитах, определяемых объёмным соотношением диэлектрической и металлической фаз и, соответственно, структурой материала: металлический режим и неметаллический [16–17].

Металлический режим проводимости реализуется тогда, когда объемная доля металлической фазы в материале превышает порог протекания, т.е. размеры



и количество гранул в единице объема возрастают настолько, что происходит формирование проводящих кластеров и сплошных металлических каналов (цепочек из взаимно контактирующих друг с другом гранул), пронизывающих весь материал и обеспечивающих преимущественно металлический тип проводимости. Между каналами существуют диэлектрические области, которые увеличивают общий уровень электросопротивления материала, но не влияют на механизм проводимости в целом. В этом режиме материал ведет себя как металлический проводник, хотя те его свойства, которые зависят от длины свободного пробега электрона, значительно изменены вследствие сильного рассеяния на границах гранул. Например, электрическая проводимость таких композитов в несколько раз меньше значений, характерных для чистых металлов или металлических сплавов [6].

Неметаллический режим проводимости реализуется тогда, когда объемная доля металлической фазы в композите меньше порога протекания. Структура такого материала состоит из электрически изолированных друг от друга металлических наногранул, разделённых диэлектрическими прослойками. Диэлектрический режим характеризуется высокими значениями удельного электрического сопротивления  $\rho$ , увеличивающимися на несколько порядков при уменьшении доли металла в композите от порога протекания до 0 %. При охлаждении электрическое сопротивление композитов возрастает, и в интервале температур  $4,2 \div 300$  К оно может измениться на нескольких порядков.

Как с фундаментальной, так и с практической точки зрения наибольший интерес представляет именно неметаллический режим проводимости. В этом случае для описания электрических свойств нанокompозитов предложено несколько механизмов проводимости, которые реализуются в различных температурных интервалах. Наиболее ранней моделью, которая объясняет механизм электропереноса в гранулированных композитах металл-диэлектрик, находящихся до порога протекания, – была модель активированного туннелирования электронов, предложенная в работах Шенга и Абелеса с сотрудниками [3, 18–19]. В ней предполагается, что перенос заряда осуществляется за счет туннелирования электронов непосредственно из одной гранулы в другую через диэлектрические барьеры, точно так же как это происходит при туннелировании через тонкую диэлектрическую прослойку между металлическими слоями. Туннельная проводимость экспоненциально зависит от параметров барьера, разделяющего металлические гранулы:

$$\sigma \propto \exp(-2(2\pi / \hbar)(2m\phi)^{1/2} s), \quad (1)$$

где  $\hbar$  – постоянная Планка;  $m$  – эффективная масса электрона;  $\phi$  – эффективная высота барьера;  $s$  – ширина барьера, равная кратчайшему расстоянию между границами гранул. Вклад температурного фактора вносится за счет изменения заряда гранул, возни-

кающего при туннелировании электронов. Поскольку размеры гранул в нанокompозитах малы и составляют единицы нанометров, то при переходе единичного электрона из одной гранулы в другую нарушается их электронейтральность, и электрону при туннелировании необходимо преодолеть энергетический барьер, величина которого пропорциональна энергии создания пары электрически заряженных гранул. Таким образом, несмотря на то, что механизмом электропереноса является туннелирование, принять участие в этом процессе могут лишь электроны, термически активированные выше барьера, который обусловлен кулоновским взаимодействием, так называемой кулоновской блокадой. Число термически активированных электронов, обладающих требуемой (кулоновской) энергией ( $E_C$ ), пропорционально бoльцмановскому фактору [18].

$$N \sim \exp(-E_C / kT), \quad (2)$$

где  $k$  – константа Больцмана;  $T$  – температура. Кулоновская энергия гранулы

$$E_C = \frac{e^2}{\varepsilon} \frac{s}{D^2(1/2 + s/D)}, \quad (3)$$

где  $\varepsilon$  – диэлектрическая проницаемость диэлектрика;  $D$  – диаметр гранулы. В модели Шенга-Абелеса постулировалось, что гранулы являются сферическими, а минимальное расстояние между ними пропорционально диаметру гранул, т.е.  $s/D = \text{const}$  для данного соотношения металлической и диэлектрической фаз [3].

Эти два процесса – туннелирование электронов между гранулами и необходимость приобретения электроном некоторой энергии  $E$  такой, что  $E_C \leq E$  – были приняты во внимание, что позволило получить следующее аналитическое выражение для электросопротивления наногранулированного композита:

$$\rho = \rho_0 \left( \exp(2\sqrt{C / k_B T}) \right), \quad (4)$$

где

$$C = (2\pi / \hbar)(2m\phi)^{1/2} s E_C \quad (5)$$

является энергией активации туннелирования.

Ранние экспериментальные результаты по температурной зависимости для композитов, содержащих простую металлическую фазу (Co-Al-O [10, 20–21] и Fe-SiO<sub>2</sub> [8, 20]), показали, что такой вид ( $\ln \rho \sim T^{1/2}$ ) действительно наблюдается и подтверждает адекватность предложенной модели.

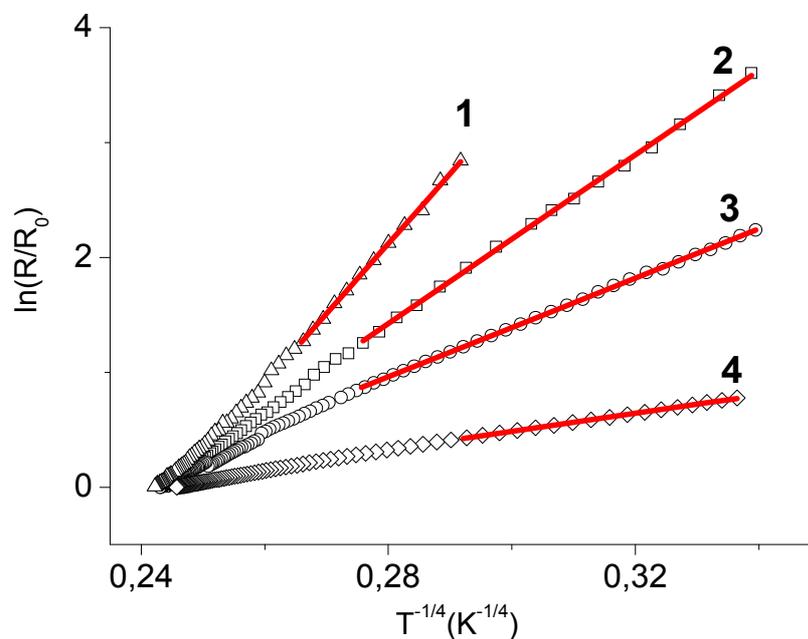
Несмотря на хорошее качественное описание температурной зависимости проводимости в рамках модели термоактивационного туннелирования, количественные оценки, полученные на базе модели, оказываются завышенными на несколько порядков относительно значений, определяемых эксперимен-

тально, поэтому предпринимались попытки построения более совершенных моделей, описывающих электрические свойства гранулированных композитов. В основе подходов лежат расчеты критических путей протекания электронов проводимости по случайной сетке из активных резисторов, моделирующих гранулированную структуру вблизи порога протекания. Оценка средних значений кулоновской энергии, расстояний между гранулами и их диаметрами (эти параметры рассматриваются независимо друг от друга), а также учет координационного числа (числа ближайших гранул, между которыми возможно туннелирование) позволили получить более точное выражение для проводимости в гранулированных композитах [23–24]. Расчетные значения оказываются соизмеримыми с экспериментальными, однако основная концепция модели термоактивационного туннелирования остается без изменений. К настоящему моменту данная модель электропереноса является наиболее популярной, поскольку позволяет вполне адекватно объяснить явление гигантского магнитосопротивления, наблюдающегося в гранулированных композитах [7–10].

Тем не менее модель термоактивационного туннелирования и её более поздние модификации не объясняют температурную зависимость электросопротивления композитов во всем интервале  $4,2 \div 300$  К. На практике во многих работах [25–27] наблюдалось отклонение температурной зависимости от предсказанной теоретически. Более того, в ряде эксперимен-

тов [28] при приближении к гелиевым температурам наблюдается абсолютное несоответствие с данной моделью, выражающееся в своеобразном насыщении электросопротивления композитов (отсутствие экспоненциального роста электросопротивления при понижении температуры). Не ясно также, какое влияние материал диэлектрической матрицы и материал металлической фазы оказывают на абсолютное значение электросопротивления композитов, хотя эти параметры являются важными для практического применения гранулированных нанокомпозитов. Поэтому в дальнейшем для объяснения экспериментальных результатов в гранулированных системах стали применять и другие модели.

В частности, проведенные авторами работ [29–30] исследования транспортных свойств в нанокомпозитах металл-диэлектрик показали, что при малой концентрации металлической фазы электрическая проводимость осуществляется не только за счет непосредственного туннелирования электронов между гранулами, но и посредством так называемой прыжковой проводимости. Установлено, что в доперколяционных композитах металл-диэлектрик в области низких температур ( $77 \div 180$  К) доминирующим механизмом переноса заряда является прыжковый механизм по локализованным состояниям вблизи уровня Ферми с переменной длиной прыжка. Экспериментально это подтверждается тем, что электрическая проводимость подчиняется закону  $1/4$  в низкотемпературном интервале  $80 \div 180$  К (рис. 1) [31].



**Рис. 1.** Температурные зависимости электрического сопротивления в координатах  $\ln(R/R_0) \propto (1/T)^{1/4}$  композитов  $(\text{Co}_{41}\text{Fe}_{39}\text{B}_{20})_x(\text{CaF}_2)_{100-x}$ , полученных в среде аргона, при разных концентрациях металлической фазы  $x$ , ат. %: 1 – 25; 2 – 30; 3 – 40; 4 – 45

**Fig. 1.** The temperature dependence of the electrical resistance of  $(\text{Co}_{41}\text{Fe}_{39}\text{B}_{20})_x(\text{CaF}_2)_{100-x}$  composites plotted in  $\ln(R/R_0)$  vs  $(1/T)^{1/4}$  coordinates. The samples were obtained in argon at different concentrations of the metallic phase  $x$ , at. %: 1 – 25; 2 – 30; 3 – 40; 4 – 45

Электрическую проводимость в этом случае можно описать следующим уравнением [41]:

$$\sigma = e^2 R^2 v_{ph} g \exp\left(-\frac{B}{T}\right)^{1/4}, \quad (6)$$

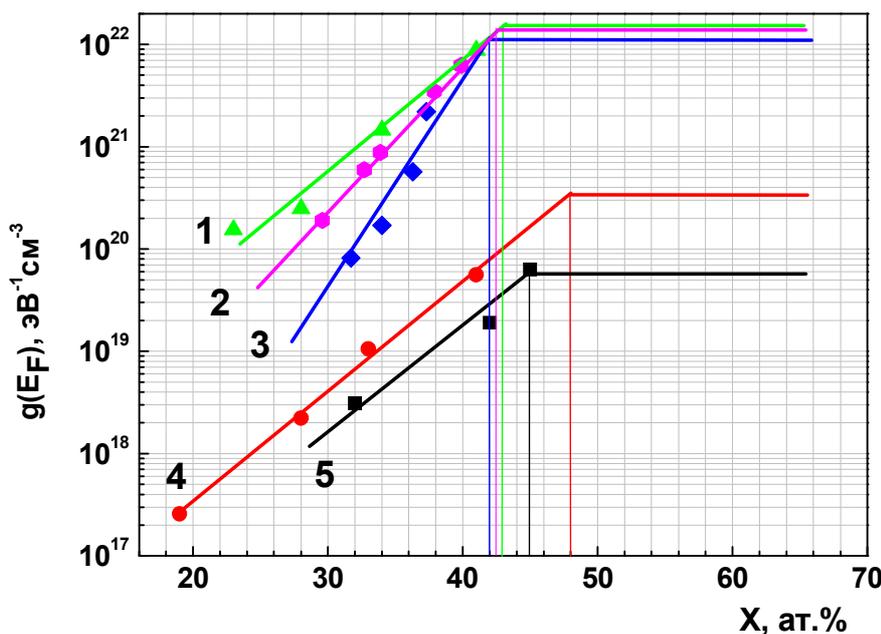
где

$$B = \frac{16}{a^3 k g(E_F)}, \quad (7)$$

$e$  – заряд электрона;  $R$  – расстояние прыжка;  $v_{ph}$  – фактор спектра фононов взаимодействия;  $T$  – абсолютная температура;  $g(E_F)$  – плотность состояний на уровне Ферми;  $a$  – радиус локализации волновой функции электрона;  $k$  – постоянная Больцмана.

Анализ экспериментальных данных по температурным зависимостям электрической проводимости в этом интервале температур позволяет оценить плотность состояний на уровне Ферми как для отдельных составов композитов, так и для металлических гранул [33–34]. Авторами в ранних работах [28–29] была предпринята такая попытка при условии,

что перенос заряда лимитируется прыжками носителей через локализованные состояния диэлектрической матрицы, расположенные между металлическими гранулами. В этом случае в качестве радиуса локализации электрона принимался размер дефекта аморфной матрицы (типа оборванной связи), равный  $\alpha \sim 0,8$  нм, но полученные значения эффективной плотности электронных состояний на уровне Ферми  $g(E_F)$  оказывались завышенными, и справедливость данного механизма вызывала серьезные сомнения. Однако в последующих работах было высказано предположение, что перенос носителей заряда в нанокompозитах с аморфной структурой лимитируется прыжками электронов между изолированными гранулами, расположенными хаотично в диэлектрической матрице, тогда в качестве радиуса локализации волновой функции электрона для оценки эффективной плотности электронных состояний на уровне Ферми нужно брать средний размер металлических гранул в нанокompозите, т.е.  $\alpha \sim 2 \div 3$  нм (средний размер гранул в исследованных композитах  $4 \div 6$  нм). Используя такой подход, авторы получили интересный результат (рис. 2).



**Рис. 2.** Концентрационные зависимости эффективной плотности электронных состояний на уровне Ферми нанокompозитов: 1 –  $(\text{Fe}_{45}\text{Co}_{45}\text{Zr}_{10})_x(\text{SiO}_2)_{100-x}$ ; 2 –  $(\text{Co}_{45}\text{Fe}_{45}\text{Zr}_{10})_x[\text{Pb}_{0,81}\text{Sr}_{0,04}(\text{Na}_{0,5}\text{Bi}_{0,5})_{0,15}(\text{Zr}_{0,575}\text{Ti}_{0,425})\text{O}_3]_{100-x}$ ; 3 –  $(\text{Fe}_{45}\text{Co}_{45}\text{Zr}_{10})_x(\text{Al}_2\text{O}_3)_{100-x}$ ; 4 –  $(\text{Co}_{41}\text{Fe}_{39}\text{B}_{20})_x(\text{SiO}_2)_{100-x}$  и 5 –  $(\text{Co}_{84}\text{Nb}_{14}\text{Ta}_2)_x(\text{SiO}_2)_{100-x}$

**Fig. 2.** The concentration dependence of the effective density of electron states at the Fermi level for different nanocomposites: 1 –  $(\text{Fe}_{45}\text{Co}_{45}\text{Zr}_{10})_x(\text{SiO}_2)_{100-x}$ ; 2 –  $(\text{Co}_{45}\text{Fe}_{45}\text{Zr}_{10})_x[\text{Pb}_{0,81}\text{Sr}_{0,04}(\text{Na}_{0,5}\text{Bi}_{0,5})_{0,15}(\text{Zr}_{0,575}\text{Ti}_{0,425})\text{O}_3]_{100-x}$ ; 3 –  $(\text{Fe}_{45}\text{Co}_{45}\text{Zr}_{10})_x(\text{Al}_2\text{O}_3)_{100-x}$ ; 4 –  $(\text{Co}_{41}\text{Fe}_{39}\text{B}_{20})_x(\text{SiO}_2)_{100-x}$  и 5 –  $(\text{Co}_{84}\text{Nb}_{14}\text{Ta}_2)_x(\text{SiO}_2)_{100-x}$

Оказалось, что в композитах с одним составом гранул и разными матрицами оценки эффективной плотности электронных состояний на уровне Ферми, которые сделаны для составов, находящихся вблизи порога перколяции, дают одинаковые значения, в то время как при уменьшении концентрации металли-

ческой фазы эти значения расходятся: для композитов с матрицей  $\text{Al}_2\text{O}_3$  снижение зависимости  $g(E_F) - x$  происходит быстрее, чем у композитов с матрицей  $\text{SiO}_2$ . Еще более интересные закономерности обнаружены у композитов, имеющих одну и ту же матрицу, но разные составы. Значение  $g(E_F)$ , рас-



считанное для композитов с различным элементным составом гранул, растет в соответствии с приведенной последовательностью:  $\text{CoNbTa} \rightarrow \text{CoFeB} \rightarrow \text{CoFeZr} \rightarrow \text{Co}$  [35].

Аналогичные закономерности характерны и для многослойных наноструктур металл-полупроводник, где эффективная плотность электронных состояний изменяется в зависимости от толщины полупроводниковой прослойки [36]. Поэтому задачи последующих исследований: установить области реализации прыжковой проводимости в новых нанокompозитах и многослойных наноструктурах и определить в них плотности электронных состояний на уровне Ферми, что в дальнейшем позволит понять, какое влияние они оказывают на другие физические явления.

Повышение температуры сопровождается сменой механизма проводимости от закона Мотта ( $\ln(\sigma) \propto (1/T)^{1/4}$ ) к неупругому резонансному туннелированию электронов от гранулы к грануле, что позволяет оценить среднее число локализованных состояний, участвующих в электронном транспорте [33], в прослойке между металлическими слоями в многослойных структурах [36] или в диэлектрической матрице композита между металлическими гранулами, и зависимость этих состояний от температуры изотермических отжига [34].

Наконец, при более высоких температурах в нанокompозитах и многослойных структурах ожидается реализация прыжкового механизма проводимости, наблюдаемого в многослойных структурах  $\text{Co}_{0,45}\text{Fe}_{0,45}\text{Zr}_{0,1}/\text{a-Si}$  [36] между ближайшими соседями, что даст возможность оценить энергию активации прыжка электронов в матрице композита или прослойке, также представляющую фундаментальный параметр.

## 2. Магнитные явления в гетерогенных наносистемах

Исследования магнитных свойств широкого класса нанокompозиционных материалов показали, что определяющее влияние на формирование их параметров имеет концентрация фаз и структура кластеров ферромагнитных наногранул, сформированная в процессе роста пленки [37]. Если сетка металлических гранул изотропна, то после порога протекания формируется хорошая магнитно-мягкая структура композита с высокими значениями магнитной проницаемости в ВЧ- и СВЧ-диапазонах частот [38]. До порога протекания композиты ферромагнетик-диэлектрик находятся в суперпарамагнитном состоянии. Такие системы, обладая наноразмерной гетероструктурой, в которой магнитные гранулы диаметром несколько нанометров окружены диэлектриком, имеют высокое удельное сопротивление, зависящее от соотношения проводящей и диэлектрической фаз. Как правило, в качестве ферромагнитной фазы композитов применяются либо переходные металлы  $\text{Co}$ ,  $\text{Fe}$ ,  $\text{Ni}$ , либо сплавы на их основе. В качестве диэлек-

трической матрицы чаще всего используются окислы  $\text{Si}$ ,  $\text{Al}$ ,  $\text{Zr}$ ,  $\text{Cr}$ ,  $\text{Hf}$  и т. д. или фториды, например  $\text{MgF}_2$ . В ряде публикаций сообщалось о хороших высокочастотных свойствах таких композитов. Так, в работе [39] для композита состава  $\text{Co}_{59}\text{Al}_{11}\text{O}_{30}$  эффективная магнитная проницаемость имеет значение порядка 120 на частоте 500 МГц, удельное электрическое сопротивление сотни  $\text{мкОм}\cdot\text{см}$ , намагниченность насыщения до 1,07 Тл и коэрцитивность 5,8 Э. Для подобной системы в [40] приводятся аналогичные данные:  $\rho \sim 500 \div 1000 \text{ мкОм}\cdot\text{см}$ ,  $B_S \sim 10 \text{ кГс}$ , поле анизотропии  $H_a \sim 80 \text{ Э}$ , действительная часть магнитной проницаемости ( $\mu'$ ) постоянно до частоты 500 МГц. Исследования композитов  $\text{Co-Cr-O}$  [41] показали для состава  $\text{Co}_{75,5}(\text{Cr}_2\text{O}_3)_{24,5}$  хорошие магнитомягкие свойства:  $H_C \sim 0,39 \text{ Э}$ ,  $H_a \sim 80 \text{ Э}$ ,  $B_S \sim 11,8 \text{ кГс}$  и постоянное значение  $\mu' \sim 141$  до частоты 800 МГц с частотой естественного ферромагнитного резонанса порядка 2,9 ГГц. Применение в качестве матрицы окиси  $\text{Hf}$  позволяет получить композиты с высоким значением удельного электрического сопротивления при хороших высокочастотных магнитных свойствах [42–45].

Кроме окисных диэлектрических матриц изучались фторсодержащие диэлектрики. Так, в [46] для состава  $\text{Co}_{45}(\text{MgF}_2)_{55}$  использовалось соединение  $\text{MgF}_2$  при  $H_C \sim 0,7 \text{ Э}$  и  $M_S \sim 0,7 \text{ Тл}$ ; восприимчивость, равная 26, не изменяла своего значения до частоты 300 МГц.

Использование в качестве ферромагнитной фазы композитов магнитомягких сплавов или составов, имеющих высокое значение намагниченности насыщения, позволило увеличить значение магнитной проницаемости гетерогенных систем, а также увеличить частоту естественного ферромагнитного резонанса [47–52]. Например, в работе [47] в композите  $(\text{Fe}_{65}\text{Co}_{35})_{91,2}(\text{Zr}_2\text{O}_5)_{8,8}$  эффективная проницаемость составляла  $\sim 400$  при  $B_S \sim 23 \text{ кГс}$ ,  $H_C \sim 5 \text{ Э}$ ,  $H_a \sim 12 \text{ Э}$ ,  $\rho \sim 36 \text{ мкОм}\cdot\text{см}$  и  $f_{\text{рез}} \sim 1 \text{ ГГц}$ .

В большинстве случаев исследуемые композиты с хорошими магнитными параметрами имели кристаллическую структуру магнитной фазы, поэтому применение гетероструктур ферромагнитных сплавов в качестве материала металлической компоненты весьма ограничено, поскольку они склонны к аморфизации. Наиболее часто используется состав аморфного сплава  $\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20}$  [53–54]. Так, в работе [53] композит  $(\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20})_{60}(\text{SiO}_2)_{40}$  имел значения действительной ( $\mu' \sim 40$ ) и мнимой ( $\mu'' \sim 50$ ) частей комплексной магнитной проницаемости на частоте 2 ГГц и  $f_{\text{рез}} \sim 2,8 \text{ ГГц}$ .

В последние годы появилось много теоретических работ, рассматривающих процессы динамического перемагничивания композиционных материалов [49, 55–61]. Как правило, выражения для действительных и мнимых частей комплексной магнитной проницаемости могут быть получены с помощью уравнения Ландау-Лифшица-Гильберта и уравнений Максвелла, а также с учетом того факта, что изме-



нение намагниченности вызвано вращением векторов намагничивания, а не движениями границ доменов. При этом в приложении композитов обычно рассматривается ансамбль не взаимодействующих или слабо взаимодействующих однодоменных ферромагнитных частиц с одноосной магнитной анизотропией и коррелированным расположением осей легкого намагничивания (ОЛН) гранул. Обычно для расчетов частотного спектра  $\mu'$  и  $\mu''$  в теоретических расчетах берется константа кристаллографической анизотропии элемента или сплава, входящего в композит в качестве металлической ферромагнитной фазы. В экспериментальных работах используется поле анизотропии, полученное из кривых намагниченности образцов.

Независимо от элементного состава диэлектрической или металлической фазы кривые намагничивания композитов подчиняются общим закономерностям. На рис. 3 приведены кривые намагничивания аморфных композитов с гранулами из сплавов  $\text{Co}_{86}\text{Nb}_{12}\text{Ta}_2$  и  $\text{Co}_{41}\text{Fe}_{39}\text{B}_{20}$ , измеренные при комнатной температуре и ориентации намагничивающего поля параллельно плоскости пленки.

Анализ результатов магнитостатических исследований гранулированных пленок, выполненных при намагничивании параллельно плоскости пленок при комнатной температуре, показал, что все образцы можно разбить на три группы:

1) В образцах с содержанием ферромагнитной фазы заметно ниже порога перколяции ( $x < 40$  at.%) кривые перемагничивания соответствуют равновесному суперпарамагнитному режиму, при котором форма кривых и их наклон в нулевом магнитном поле модифицируются в зависимости от концентрации ферромагнитной фазы и температуры, при которой проводились измерения. В этом случае каждая гранула является монодоменом с магнитным моментом, совершающим под действием тепловой энергии флуктуационные переориентации вдоль локальных осей легкого намагничивания с частотой  $109 \div 1\,012$  Гц.

2) Для композитов в диапазоне концентраций в окрестности порога перколяции и небольших полях ( $\sim 2$  кЭ) наклон зависимости намагниченности образца  $m$ , нормированной на намагниченность насыщения,  $m_s$ , от магнитного поля, приложенного в плоскости пленки, практически не зависит от концентрации ферромагнитной фазы и температуры. Эта зависимость в достаточно широком интервале малых полей линейна с дальнейшим перегибом и выходом на насыщение. Установлено, что форма кривых перемагничивания не зависит от направления магнитного поля в плоскости пленок, т. е. какая-либо заметная внутривекторная анизотропия пленок отсутствует. Таким образом, перемагничивание композитов в плоскости пленки имеет вид, типичный для намагничивания в «трудном» направлении. Это позволяет утверждать, что у образцов данной группы имеется одноосная анизотропия с легкой осью намагничивания, перпендикулярной плоскости пленки. Отметим, что поле анизотропии,

определенное из экстраполяции линейного по полю участка зависимости намагниченности в плоскости до пересечения со значением намагниченности насыщения, для образца с  $x = 48$  at.% превышает 2 кОе.

В этой области концентраций процесс перемагничивания определяется только вращением вектора намагниченности гранул, поскольку движение доменных границ невозможно в результате морфологии их распределения в диэлектрической матрице. Вращение вектора намагниченности происходит с гораздо большей скоростью по сравнению с движением доменных границ, что способствует сохранению высоких значений магнитной проницаемости в более высокочастотном диапазоне по сравнению с гомогенными ферромагнетиками, в том числе и с аморфной структурой, которые перемагничиваются посредством движения доменных границ.

3) Для более высоких концентраций ферромагнитной фазы кривые перемагничивания зависят от состава композитов. Для композитов  $(\text{Co}_{86}\text{Nb}_{12}\text{Ta}_2)_x(\text{SiO}_n)_{100-x}$  кривые сохраняют линейность в малых полях и все характерные признаки так называемого трудного намагничивания. Однако эффективное поле анизотропии, определяемое упомянутым выше способом, с ростом концентрации ферромагнитной фазы уменьшается. В этом диапазоне концентраций снижение величины поля перпендикулярной анизотропии можно связать с нарастающим межгранульным взаимодействием, которое приводит к формированию коллективного состояния. Его магнитные свойства начинают при этом доминировать над свойствами отдельных гранул.

Для композитов  $(\text{Co}_{41}\text{Fe}_{39}\text{B}_{20})_x(\text{Al}_2\text{O}_n)_{100-x}$  этой группы, для которых характерно расположение вектора намагниченности в плоскости пленки, кривые намагничивания выходят в насыщение в полях несколько эрстед.

Для композитов этой группы, расположенных за порогом протекания, возникает нарастающее межгранульное взаимодействие, приводящее к формированию коллективного состояния, магнитные свойства которого начинают доминировать над свойствами отдельных гранул. При этом макроскопические магнитные свойства в существенной степени будут определяться энергией магнитной анизотропии уже самой композитной пленки. Формирование гетерогенной структуры пленки происходит при ее росте в результате процессов самоорганизации, а самоорганизация гранулированной среды в процессе роста пленки анизотропии – сложный процесс, зависящий от многих технологических параметров. Основным требованием для реализации данного процесса при росте пленки из паровой фазы является отсутствие взаимной растворимости и химических соединений между образующимися фазами. Если учитывать, что состав фаз гетерогенных систем содержит различные атомы и их химические соединения, а распыление происходит ионно-плазменным методом, то моделирование процесса самоорганизации гетерогенной



структуры – достаточно сложная задача. Пространственная структура металлических гранул и кластеров зависит от многих параметров, и изотропное их распределение в объемном композите скорее исключение, чем правило. Поэтому однозначное установ-

ление природы магнитной анизотропии в тонкопленочных композитах требует не только проведения исследований магнитных свойств, но и данных, полученных с помощью электронной микроскопии и других методов.

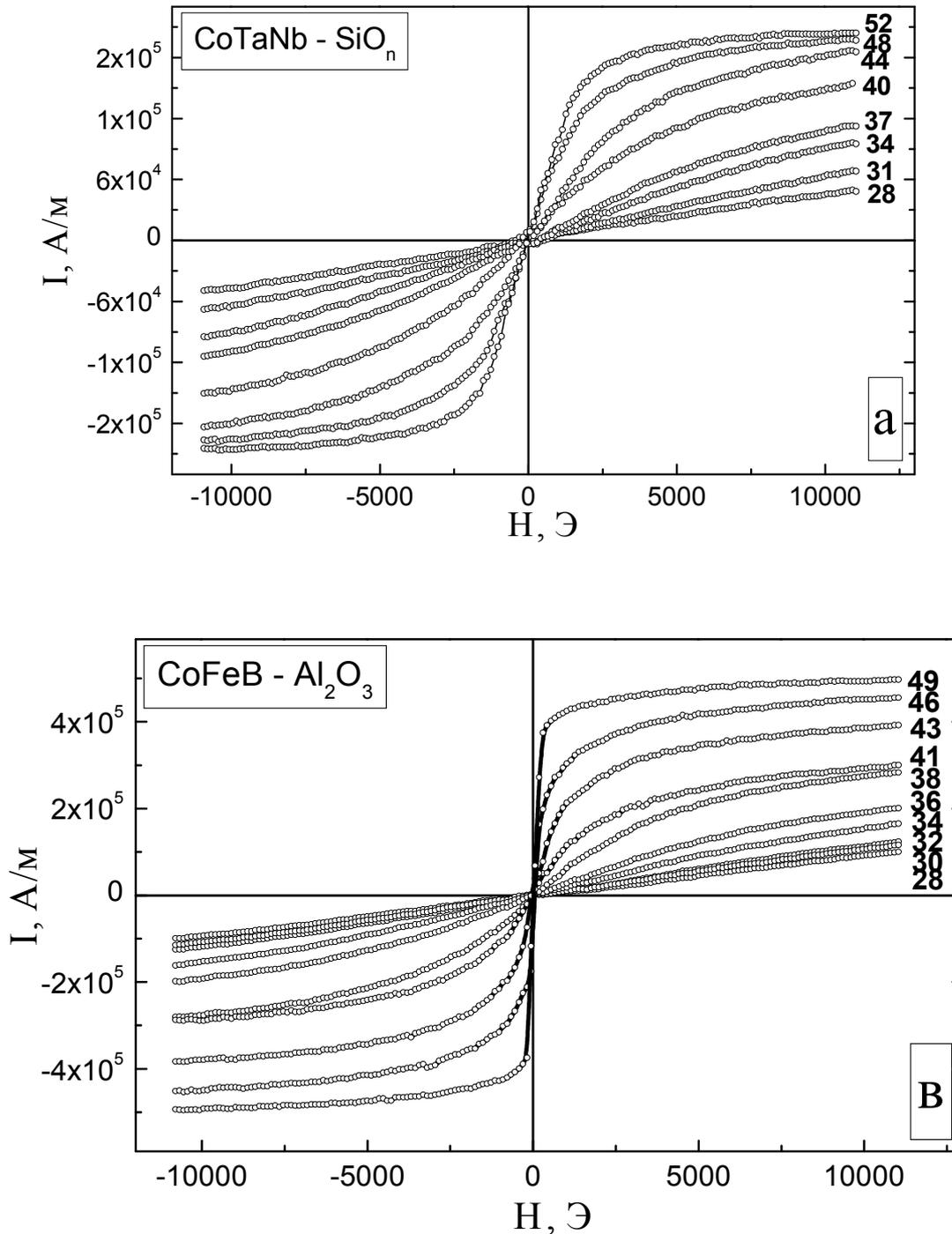


Рис. 3. Кривые намагничивания гранулированных композитов при  $T = 300$  K: а –  $(\text{Co}_{86}\text{Nb}_{12}\text{Ta}_2)_x(\text{SiO}_n)_{100-x}$ ; б –  $(\text{Co}_{41}\text{Fe}_{39}\text{B}_{20})_x(\text{Al}_2\text{O}_n)_{100-x}$ . Цифры у кривых обозначают содержание металлической фазы в % (ат.)  
 Fig. 3. The magnetization curves of granular composites measured at 300 K: а –  $(\text{Co}_{86}\text{Nb}_{12}\text{Ta}_2)_x(\text{SiO}_n)_{100-x}$ ; б –  $(\text{Co}_{41}\text{Fe}_{39}\text{B}_{20})_x(\text{Al}_2\text{O}_n)_{100-x}$ . The numbers on the curves indicate the metal phase concentration in atomic %

В последние годы учёные проявляют большой интерес и к исследованиям мультислойных систем ферромагнитный металл-полупроводник в связи с осцилляцией магнитных взаимодействий между металлическими слоями от толщины полупроводниковой прослойки [62–67]. Физические свойства наномультислойных систем, где толщина слоев порядка нескольких нанометров, во многом определяются структурой [68] и интерфейсными явлениями между различными фазами. Главными трудностями при интерпретации полученных результатов в подобных структурах являются их критичность к качеству поверхности подложки и микродефектам при получении, что может быть причиной непосредственного контакта между металлическими слоями, а также процессы диффузии на границе раздела разнородных фаз, приводящие к образованию соединений металл-полупроводник [69].

Не менее любопытные закономерности имеют многослойные пленки «суперпарамагнитный композит с полупроводниковой прослойкой». Предварительные исследования авторов работы показали, что если толщина композиционного слоя составляет несколько нанометров и состав его находится до порога перколяции (ферромагнитные гранулы не соприкасаются), то полупроводниковая прослойка усиливает взаимодействие между ферромагнитными частицами настолько, что структура становится магнитоупорядоченной при комнатной температуре [68–73]. На представленной зависимости удельного электрического сопротивления многослойной структуры  $\{[(\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20})_{33,9}(\text{SiO}_2)_{66,1}]/[\text{C}]\}_{46}$  от толщины углеродной прослойки имеется достаточно узкий диапазон толщин прослойки полупроводника, в котором наблюдается значительное (на несколько порядков) изменение  $\rho(h)$  (рис. 4а). Именно в этом диапазоне наступает магнитное упорядочение композиционных слоев плёнок, проявляющееся в возрастании значений действительной  $\mu'$  и мнимой  $\mu''$  частей комплексной магнитной проницаемости (рис. 4б).

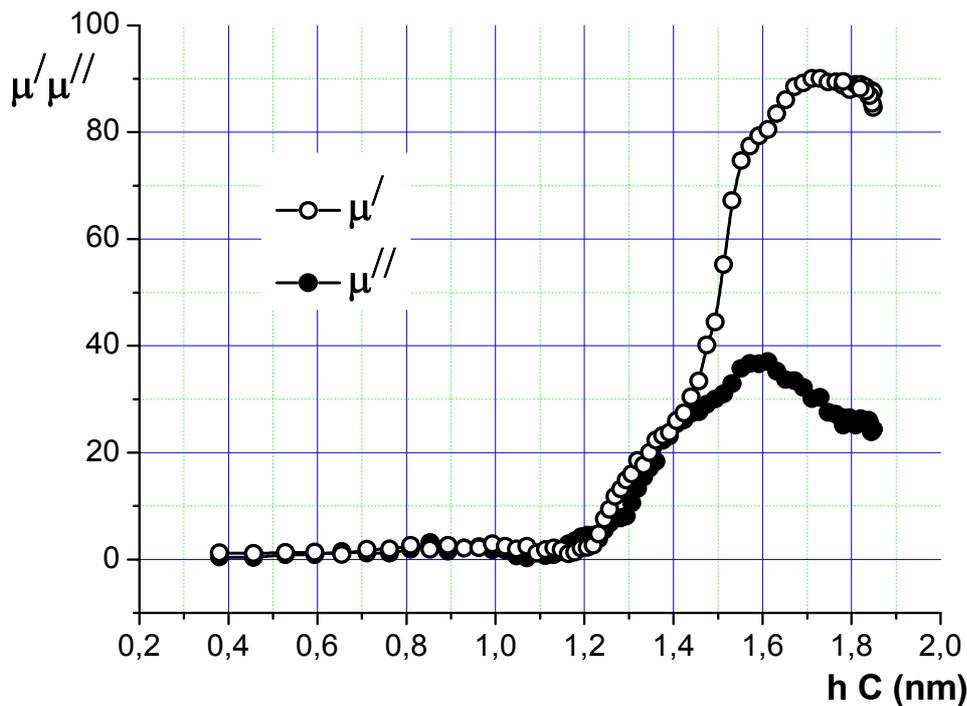
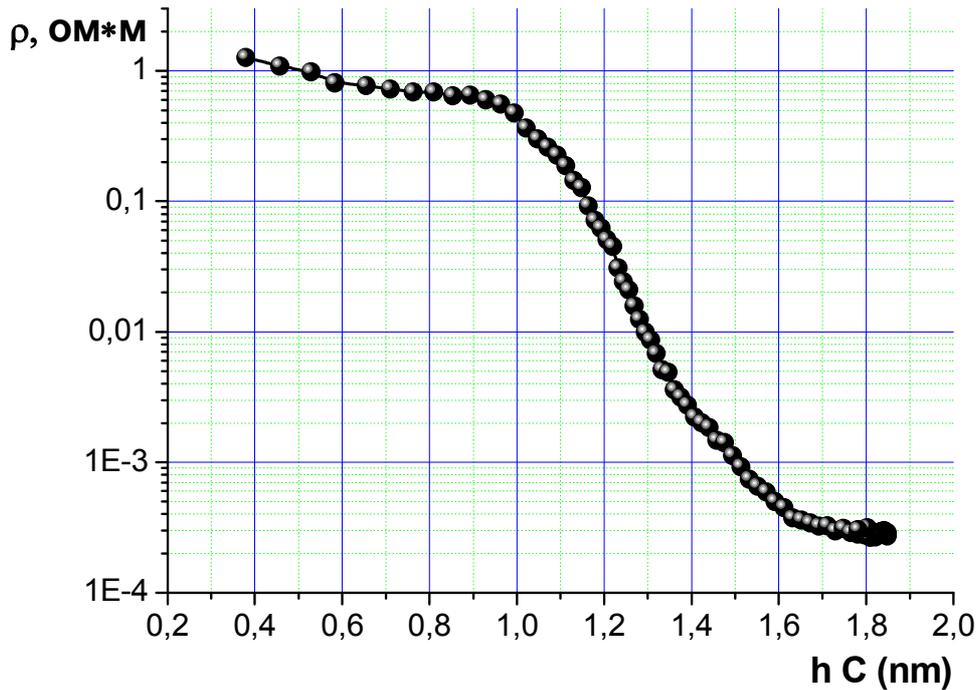
В настоящее время существует две точки зрения на наблюдаемое явление. Первая связана с увеличением температуры бифуркации и температуры перехода в суперпарамагнитное состояние при введении в суперпарамагнитный композит проводящих прослоек [69]. Вторая базируется на возникновении сильного обменного взаимодействия между магнит-

ными моментами гранул через электроны проводимости проводящей прослойки [74–75]. Поэтому комплексные экспериментальные исследования различных гетерогенных систем с разной толщиной суперпарамагнитных слоев и проводящих прослоек позволят в дальнейшем однозначно установить механизм магнитного упорядочения в такого рода гетерогенных системах. Таким образом, теоретически в данных системах главный научный интерес вызывает взаимодействие квазидвумерных моногранульных пленок из ферромагнитных гранул в диэлектрической матрице, находящихся в суперпарамагнитном состоянии, через проводящую прослойку. Подобная структура может обладать уникальными магнитными и магнитооптическими свойствами [76–78].

Особое значение имеют термоэлектрические явления в гетерогенных системах, которые весьма чувствительны к составу и структуре (электронному спектру, типу носителей тока, характеру их взаимодействия с ионной и магнитной подсистемами и т.п.) сплавов, а также действию внешних полей [79–80]. В отличие от таких процессов переноса, как проводимость, в термоэлектрических явлениях решающее влияние могут оказывать вклады в рассеяние электронов второго и более высоких порядков. Чрезвычайно сильное влияние магнитных полей на термо-ЭДС, по-видимому, тесно связано с анизотропией рассеяния. Квантовые осцилляции термо-ЭДС могут быть на несколько порядков больше величин соответствующих осцилляций магнитосопротивления [81–82].

Несмотря на имеющиеся достижения в изучении физических свойств нанокompозитов, механизмы, лежащие в основе многих явлений, например эффекта гигантского магнитосопротивления (ГМС), как в многослойных структурах, так и в гранулированных материалах, до сих пор однозначно не идентифицированы. При этом из-за фокусировки на эффекте ГМС учёные игнорировали изменения в других транспортных свойствах и потеряли важнейшую информацию, которая может сузить диапазон возможных механизмов. В частности, термо-ЭДС под действием магнитного поля проявляет такие изменения, что к нему, по аналогии с ГМС, тоже применим термин «гигантская магнитотермо-ЭДС» (ГМТЭДС) [83–85].





**Рис. 4.** Зависимости удельного электрического сопротивления  $\rho$  и действительной  $\mu'$  и мнимой  $\mu''$  частей комплексной магнитной проницаемости (на 50 МГц) от толщины прослойки С для  $\{[(\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20})_{33,9}(\text{SiO}_2)_{66,1}]/[\text{C}]_{46}\}$   
**Fig. 4.** Dependence of the electrical resistivity  $\rho$  as well as the real  $\mu'$  and imaginary  $\mu''$  parts of the complex magnetic permeability (measured at 50 MHz) on the thickness of the carbon layer in  $\{[(\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20})_{33,9}(\text{SiO}_2)_{66,1}]/[\text{C}]_{46}\}$  structure

Особое место среди магнитотранспортных свойств занимает аномальный эффект Холла (АЭХ) (см. обзор [86]). Хотя этот эффект изучают уже 130 лет, его поведение в высокорезистивных системах, и особенно в нанокомпозитах вблизи порога перколяции (см [87] и ссылки в этой работе), а также при прыжковой проводимости остается загадочным. Особую значимость исследования АЭХ приобрели в

последнее время в связи с новыми интерпретациями механизмов АЭХ [86] и с тем, что природа АЭХ и спинового эффекта Холла [86] тождественна. Именно со спиновым эффектом Холла связывают новый этап развития спинтроники и создания бездиссипативных спиновых токов [88]. Измеренные кривые полевых зависимостей сопротивления Холла для композитов  $(\text{Co}_{41}\text{Fe}_{39}\text{B}_{20})_x(\text{Al-O})_{100-x}$  приведены на



рис. 5, а на рис. 6 представлены концентрационные зависимости коэффициентов аномального эффекта Холла (АЭХ) и нормального эффекта Холла (НЭХ)

(на вставке – зависимость коэффициента АЭХ от сопротивления).

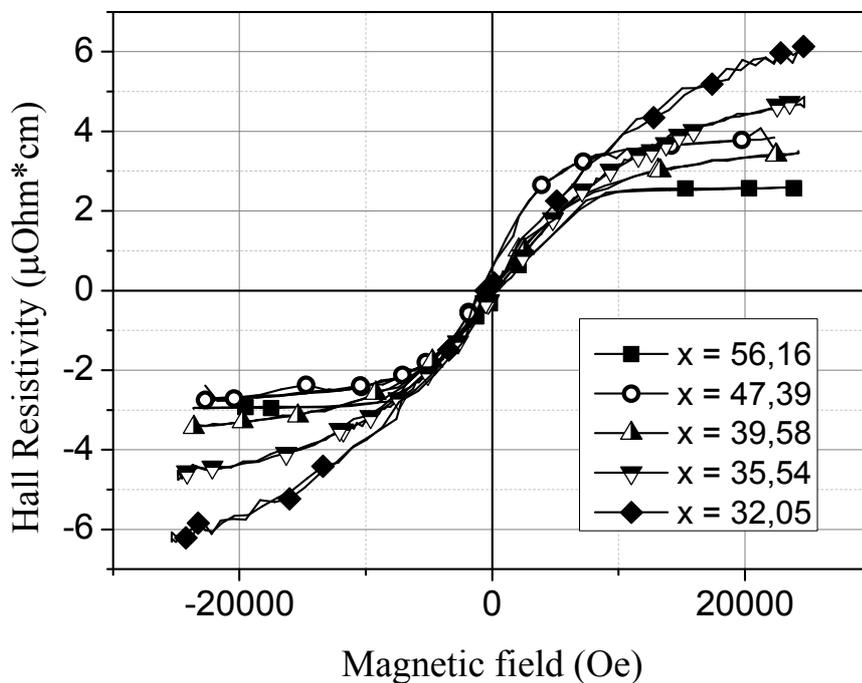


Рис. 5. Зависимости сопротивления Холла для различных образцов композитов  $(Co_{41}Fe_{39}B_{20})_x(AIO)_{100-x}$  от напряженности внешнего магнитного поля

Fig. 5. The field dependences of the Hall resistance for different samples of  $Co_{41}Fe_{39}B_{20})_x(AIO)_{100-x}$  composite

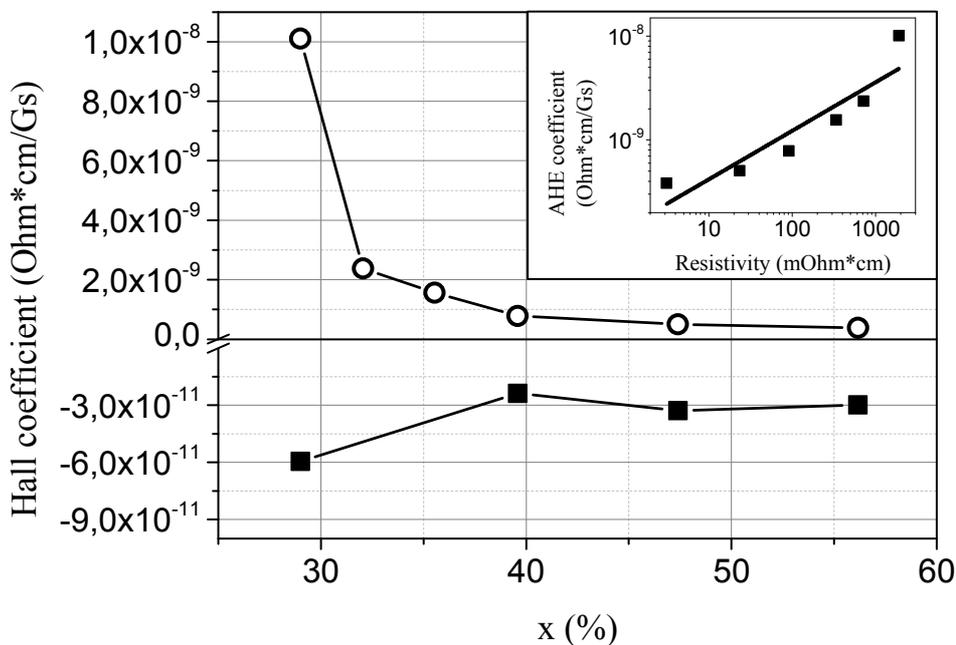


Рис. 6. Зависимости коэффициента нормального эффекта Холла (чёрные квадраты) и коэффициента аномального эффекта Холла (белые круги) от концентрации металлической фазы. На вставке приведена зависимость константы АЭХ от сопротивления

Fig. 6. The concentration dependence of a coefficient of the normal Hall effect (black squares) and coefficient of the anomalous Hall effect (white circles). The inset shows the dependence of the coefficient of anomalous Hall effect vs. the composite resistance



Очевидно, что экспериментальное исследование АЭХ значительно проще, чем спинового эффекта Холла. Оба эффекта связаны с действием спин-орбитального взаимодействия (СОВ) на рассеяние носителей тока. В наноструктурах у поверхности раздела слоев СОВ может быть не только усилено, как это впервые указал Рашба [89], но оно даже может изменять энергетический спектр носителей тока, характер рассеяния и туннелирования [90, 91]. При этом в туннельных зазорах предсказано возникновение постоянно протекающих токов [90]. Роль СОВ Рашбы в наноструктурах практически не изучена, хотя если имеет место усиление СОВ, то оно должно проявляться во многих магнитных явлениях, например в магнитооптике. В новых работах необходимо провести детальное исследование АЭХ в нанокompозитах в широком диапазоне концентраций и поиск проявлений СОВ Рашбы в других явлениях, где необходимо получить ответ на вопрос о природе гигантского АЭХ и об особенностях АЭХ при прыжковом переносе.

Поскольку первоначальный интерес к многослойным структурам возник вследствие открытия в них гигантского магниторезистивного эффекта, благодаря которому многослойные магнитные структуры уже нашли практическое применение [92–97], повышенное внимание учёным необходимо уделить исследованию влияния состава и аморфной структуры слоев на спин-туннельный эффект мультислоек и гранулированных нанокompозитов. В частности, при изучении магниторезистивного эффекта в гранулированных нанокompозитах ферромагнетик-диэлектрик была установлена прямая пропорциональная зависимость значения магниторезистивного эффекта от значения магнитострикции ферромагнитных гранул композита [98]. Следует отметить, что только авторам статьи [98] удалось обнаружить такой эффект благодаря исследованию нанокompозитов, которые содержат ферромагнитные гранулы с аморфной структурой, расположенные в диэлектрической матрице. В них, модифицируя состав ферромагнитного сплава, можно изменять значение магнитострикции в широких пределах. При этом было установлено, что значение магнитострикции ферромагнитных гранул влияет и на экваториальный эффект Керра [98]. Предполагается, что такая закономерность обусловлена разной плотностью электронных состояний на уровне Ферми для различных составов гранул и другими причинами [99], однако, до конца физическая природа такой взаимосвязи не ясна [100]. Предлагаемые исследования магниторезистивного эффекта в многослойных пленках и нанокompозитах, состоящих из аморфных ферромагнитных сплавов с различной величиной магнитострик-

ции и диэлектрической прослойки, позволят выяснить причины такой взаимосвязи.

### Заключение

Рассмотрены основные результаты исследований транспортных и магнитных свойств в наногетерогенных структурах (нанокompозитах металл-диэлектрик и многослойных структурах на их основе). Анализ температурных зависимостей электрической проводимости показал, что при содержании металлической фазы ниже порога протекания в области температур  $77 \div 180$  К доминирующим механизмом переноса заряда является прыжковый механизм проводимости с переменной длиной прыжка по локализованным состояниям вблизи уровня Ферми. Дальнейшее повышение температуры сопровождается сменой механизма проводимости от закона Мотта к степенной зависимости.

Исследования магнитных свойств широкого класса нанокompозиционных материалов показали, что до порога протекания композиты ферромагнетик-диэлектрик находятся в суперпарамагнитном состоянии. Если сетка металлических гранул изотропна, то после порога протекания формируется хорошая магнитно-мягкая структура композита с высокими значениями магнитной проницаемости. В многослойных пленках «суперпарамагнитный композит с полупроводниковой прослойкой» наблюдается физическая закономерность: если толщина композиционного слоя составляет несколько нанометров и состав его находится до порога перколяции (ферромагнитные гранулы не соприкасаются), то полупроводниковая прослойка усиливает взаимодействие между ферромагнитными частицами настолько, что структура становится магнитоупорядоченной при комнатной температуре.

Приведены результаты исследования магнитосопротивления, магнитной термо-ЭДС и эффекта Холла в наногетерогенных системах.

### Список литературы

1. Neugebauer C.A. Resistivity of Cermet Films Containing Oxides of Silicon // *Thin Solid Films*. 1970. Vol. 6. P. 443–447.
2. Gittleman J.L., Goldstain Y., Bozowski S. Magnetic properties of Granular Nickel Films // *Physical Review B*. 1972. Vol. B5. P. 3609–3621.
3. Abeles B., Sheng P., Coultts M.D., Arie Y. Structural and electrical properties of granular metal films // *Advances in Physics*. 1975. Vol. 24. P. 407–461.
4. Эфрос А.Л., Шкловский Б.И. Теория протекания и проводимость сильно неоднородных сред // *УФН*. 1974. Т. 117, № 3. С. 2–14.
5. Efros A.L., Shklovski B.I. Conduction of nanostructured metall – insulator // *Phys. Stat. Solid. B*. 1976, No. 76. P. 475–490.



6. Beloborodov I.S., Lopatin A.V., Vinokur V.M., Efetov K.B. Granular electronic systems // *Rev. Mod. Phys.* 2007. Vol. 79, No 2. P. 469–520.

7. Zhanhu Guo, a\_Sung Park, Thomas Hahn H. Giant magnetoresistance behavior of an iron/carbonized polyurethane nanocomposite // *Applied Physics Letters*. 2007. Vol. 90. P. 053111–053113.

8. Meilikhov E.Z., Raquet B., Rakoto H. Magnetoresistance of a ferromagnetic metal nanocomposite with nonspherical granules // *Journal of Experimental and Theoretical Physics*. 2001. Vol. 92, No. 5. P. 816–819.

9. Kasiuk J.V., Fedotova J.A. et al. Correlation between local Fe states and magnetoresistivity in granular films containing FeCoZr nanoparticles embedded into oxygen-free dielectric matrix // *Journal of Alloys and Compounds*. 2014. Vol. 586. P. S432–S435.

10. Fujimori H., Mitani S., Ohnuma S. Tunnel-type GMR in metal-nonmetal granular alloy thin films // *Mater. Sci. Eng.* 1995. Vol. B31. P. 219–223.

11. Meier H., Kharitonov M.Y., Efetov K.B. Anomalous hall effect in granular ferromagnetic metals and effects of weak localization // *Physical Review B: Condensed Matter and Materials Physics*. 2009. Vol. 80, No. 4. P. 045122–045132.

12. Granovskii A.B., Gan'shina et. al Magnetorefractive effect in nanostructures, manganites and magneto-phonic crystals based on these materials // *J. Comm. Tech. and Electronics*. 2007. Vol. 52. P. 1065–1071.

13. Грановский А.Б., Быков И., Ганьшина Е.А., Гуцин В.С., Козлов А., Юрасов А.Н., Калинин Ю.Е. Магниторефрактивный эффект в магнитных наноконструкциях // *ЖЭТФ*. 2003. Т. 123, Вып. 6. С. 1256–1267.

14. Buravtsova V.E., Gan'shina E.A., Ivanova O.S., Kalinin Yu.E., Kirov S.A., Pkhongkhirun S., Sitnikov A.V. Evolution of magneto-optical properties of  $(\text{Co})_x(\text{LiNbO}_3)_{100-x}$  nanocomposites with a change in the oxygen pressure during their preparation // *Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics*. 2007. Vol. 71. P. 1539–1540.

15. Polyakov V.V., Polyakova K.P., Seredkin V.A., Patrino G.S. Magneto-Optical Kerr Effect Enhancement in Co-Ti-O Nanocomposite Films // *Solid State Phenomena*. 2012. Vol. 190. P. 506–509.

16. Beloborodov I.S., Lopatin A.V., Vinokur V.M. Coulomb effects and hopping transport in granular Metals // *Phys. Rev. B*. 2005. Vol. 72. P. 125121–125141.

17. Болтаев Л.П., Пудонин Ф.А. Влияние слабого электрического поля на проводимость в тонких металлических пленках // *ЖЭТФ*. 2006. Т. 130, Вып. 3(9). С. 500–505.

18. Abeles B., Cohen R.W., Cullen G.W. Enhancement of Superconductivity in Metal Films // *Phys. Rev. Lett.* 1966. Vol. 17. P. 632–634.

19. Sheng P., Abeles B., Arie Y. Hopping conductivity in granular Metals // *Phys. Rev. Lett.* 1973. Vol. 31, No.1. P. 44–47.

20. DongLiang Peng, JunBao Wang, LaiSen Wang, XiaoLong Liu, ZhenWei Wang, YuanZhi Chen. Electron

transport properties of magnetic granular films // *Science China Physics, Mechanics and Astronomy*. 2013. Vol. 56, No.1. P. 15–28.

21. Timopheev A.A., Ryabchenko S.M., Kalita V.M., Lozenko A.F., Trotsenko P.A., Stognei O.V., Sitnikov A.V. Growth-induced perpendicular anisotropy of grains in Co-Al-O nanogranular ferromagnetic films // *Physics of the Solid State*. 2011. Vol. 53, No. 3. P. 494–503.

22. Lin C.-H., Wu G.Y. Hopping conduction in granular metals // *Physica B*. 2000. Vol. B 279. P. 341–346.

23. Beloborodov I.S., Glatz A., Vinokur V.M. Electron transport in nanogranular ferromagnets // *Phys. Rev. Lett.* 2007. Vol. 99. P. 066602–066606.

24. Beloborodov I.S., Lopatin A.V., Vinok V.M. Coulomb effects and hopping transport in granular metals // *Phys. Rev. B*. 2005. Vol. 72. P. 125121–125125.

25. Gridnev S.A., Gorshkov A.G., Sitnikov A.V., Kalinin Yu.E. Charge transfer and dielectric properties of granular nanocomposites  $\text{Co}_x(\text{LiNbO}_3)_{100-x}$  // *Physics of the Solid State*. 2006. Vol. 48. P. 1186–1188.

26. Zolotukhin I.V., Kalinin Yu.E., Ponomarenko A.T., Shevchenko V.G., Sitnikov A.V., Stognei O.V., Figovsky O. Metal-dielectric nanocomposites with amorphous structure // *J. Nanostructured Polymers and Nanocomposites*, 2006. Vol. 2. No. 1. P. 23–34.

27. Донцова Н.А., Калинин Ю.Е., Каширин М.А., Ситников А.В. Электрические и магниторезистивные свойства наногранулированных пленок  $\text{CoFeB-CaF}_2$  // *Известия РАН. Серия физическая*. 2013. Т. 77, № 10. С. 1537–1540.

28. Луцев Л.В., Калинин Ю.Е., Ситников А.В., Стогней О.В. Электронный транспорт в магнитном поле в гранулированных пленках аморфной двуокиси кремния с ферромагнитными наночастицами // *ФТТ*. 2002. Т. 44, № 10. С. 1802–1810.

29. Калинин Ю.Е., Ремизов А.Н., Ситников А.В. Электрические свойства аморфных наноконструкций  $(\text{Co}_{45}\text{Fe}_{45}\text{Zr}_{10})_x(\text{Al}_2\text{O}_3)_{100-x}$  // *ФТТ*, 2004. Т. 46, Вып. 11. С. 2076–2082.

30. Zolotukhin I.V., Kalinin Yu.E., Ponomarenko A.T. et al. Metal-dielectric nanocomposites with amorphous structure // *J. Nanostructured Polymers and Nanocomposites*. 2006. Vol. 2. No. 1. P. 23–34.

31. Калинин Ю.Е., Ситников А.В., Звездин А.К. и др. Электрические свойства аморфных гранулированных наноконструкций  $(\text{Co}_{45}\text{Fe}_{45}\text{Zr}_{10})_x[\text{Pb}_{0,81}\text{Sr}_{0,04}(\text{Na}_{0,5}\text{Bi}_{0,5})_{0,15}(\text{Zr}_{0,575}\text{Ti}_{0,425}\text{O}_3)]_{1-x}$  // *Перспективные материалы*, 2007. № 3. С. 41–48.

32. Калинин Ю.Е., Ремизов А.Н., Ситников А.В., Самцова Н.П. Структура и электрические свойства аморфных наноконструкций  $(\text{Co}_{45}\text{Fe}_{45}\text{Zr}_{10})_x(\text{SiO}_2)_{100-x}$  // *Перспективные материалы*. 2003. № 3. С. 62–67.

33. Калинин Ю.Е., Ситников А.В., Стогней О.В. Физические свойства наноконструкций металл-диэлектрик с аморфной структурой // *Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEE)*. 2007. № 10. С. 9–21.

34. Калинин Ю.Е., Королев К.Г., Ситников А.В. Электрические свойства многослоек металл-



полупроводник с аморфной структурой // Письма в ЖТФ. 2006. Т. 32, Вып. 6. С. 61–67.

35. Исхаков Р.С., Комогорцев С.В., Денисова Е.А., Калинин Ю.Е., Ситников А.В. Фрактальная магнитная микроструктура в пленках наноконпозитов  $(\text{Co}_{41}\text{Fe}_{39}\text{B}_{20})_x(\text{SiO}_2)_{1-x}$  // Письма в ЖЭТФ. 2007. Т. 86, Вып.7. С. 534–538.

36. Ohnuma S.H., Hono K., Onoder H., Ohnuma S., Fujimori H., Pedersen J.S. Microstructures and magnetic properties of C-Al-O granular thin films // J. Appl. Phys. 2000. Vol. 87. No. 2. P. 817–823.

37. Ohnuma S.H., Fujimori H., Mitani S., Masumoto T. High frequency magnetic properties in metal-nonmetal granular films // J. Appl. Phys. 1996. Vol. 79. P. 5130–5135.

38. Morikawa T., Suzuki M., Taga Y. Soft-magnetic properties of Co-Cr-O granular films // J. Appl. Phys. 1998. Vol. 83. P. 6664–6666.

39. Sasaki Y., Morita S., Hatanai T., Makino A., Sato T., Yamasawa K. High-frequency soft magnetic properties of nanocrystalline Fe-(Co)-Hf-O films with high electrical resistivity and their applications to micro DC-DC converter // NanoStructured Mat. 1997. Vol. 8. P. 1025–1029.

40. Li Liangliang, Crawford Ankur M., Wang Shan X., Marshall Ann F., Mao Ming, Schneider Thomas, Bubber Randhir. Soft magnetic granular material Co-Fe-Hf-O for micromagnetic device applications // J. Appl. Phys. 2005. Vol. 97, No. 10. P. 907–910.

41. Liangliang Li, Dok Won Lee, Ming Mao, Thomas Schneider, Randhir Bubber, Kyu-Pyung Hwang, Yongki Min, Shan X. Wang. High-frequency responses of granular CoFeHfO and amorphous CoZrTa magnetic materials // J. Appl. Phys. 2007. Vol. 101. P. 123912 – 123916.

42. Guangduo Lu, Huaiwu Zhang, John Q. Xiao, Feiming Bai, Xiaoli Tang, Yuanxun Li, Zhiyong Zhong. Influence of sputtering power on the high frequency properties of nanogranular FeCoHfO thin films // J. Appl. Phys. 2011. Vol. 109. P. 07A327–07A330.

43. Coonley K.D., Mehas G.J., Sullivan C.R., Gibson U.J. Evaporatively deposited Co-MgF<sub>2</sub> granular materials for thin-film inductors: M.S. thesis, Dartmouth College, 1999.

44. Ohnuma S.H., Fujimori H., Masumoto T., Xiong X.Y., Ping D.H., Hono K. FeCo-Zr-O nanogranular soft-magnetic thin films with a high magnetic flux density // Appl. Phys. Lett. 2003. Vol. 82, No. 6. P. 946–948.

45. Shihui Ge, Yang Xiaolin, Kim Kwang Youn, Xi Li, Kou Xiaoming, Yao Dongsheng, Li Binsheng, Wang Xinwei Study on mechanism of soft magnetic properties for high-frequency application in Ni<sub>75</sub>Fe<sub>25</sub>-SiO<sub>2</sub> granular films // Phys. Stat. Sol. A. 2005. Vol. 202. No. 10. P. 2021–2027.

46. Kotov L.N., Turkov V.K., Vlasov V.S., Lasek M.P., Kalinin Yu.E., Sitnikov A.V. Conductive, magnetic and structural properties of multilayer films // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2013. Vol. 47. P. 012027 (1–4).

47. Kanai S., Gajek M., Worledge D.C., Matsukura F., Oh H. Electric field-induced ferromagnetic resonance in a CoFeB/MgO magnetic tunnel junction under dc bias voltages // Appl. Phys. Lett. 2014. Vol. 105. P. 242409–242413.

48. Sankey J.C., Braganca P.M., Garcia A.G.F., Krivorotov I.N., Buhrman R.A., Ralph D.C. Spin-Transfer-Driven Ferromagnetic Resonance of Individual Nanomagnets // Phys. Rev. Lett. 2006. Vol. 96. P. 227601–227608.

49. Wei Y., Brucas R., Gunnarsson K., Celinski Z., Svedlindh P. Positive correlation between coercivity and ferromagnetic resonance extrinsic linewidth in Fe-CoV/SiO<sub>2</sub> films // Appl. Phys. Lett. 2014. Vol. 104. P. 072404–0724011.

50. Lianwen Deng, Zekun Feng, Jianjun Jiang, Huahui He. Percolation and microwave characteristics of CoFeB-SiO<sub>2</sub> nano-granular films // J. Magn. and Magn. Mater. 2007. Vol. 309. P.285–289.

51. Yanga F.F., Yana S.S., Yub M.X. et al. Enhanced high-frequency electromagnetic properties of Fe-CoB-SiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub> multilayered granular films // Physica B: Condensed Matter. 2012. Vol. 407. P. 1108–1113.

52. Buznikov N.A., Iakubov I.T., Rakhmanov A.L., Sboychakov A.O. High-frequency magnetic permeability of nanocomposite film // J. Magn. and Magn. Mater. 2005. Vol. 293. P. 938–946.

53. Menéndez E., Dias T., Geshev J., Lopez-Barbera J.F., Nogués J., Steitz R., Kirby B.J., Borchers J.A., Pereira L.M.C., Vantomme A., Temst K. Interdependence between training and magnetization reversal in granular Co-CoO exchange bias systems // Phys. Rev. B. 2014. Vol. 89. P. 144407–144414.

54. Iakubov I.T., Lagarkov A.N., Osipov A.V., Maklakov S.A., Rozanov K.N., Ryzhikov I.A., Starostenko S.N. A laminate of ferromagnetic films with high effective permeability at high frequencies // AIP Advances. 2014. Vol. 4. P. 107143–107149.

55. Haiwen Xi, Kai-Zhong Gao, Yiming Shi and Song Xue. Precessional dynamics of single-domain magnetic nanoparticles driven by small ac magnetic fields // J. Phys. D: Appl. Phys. 2006. Vol. 39. P. 4746–4752.

56. Wu L.Z., Ding J., Jiang H.B., Chen L.F., Ong C.K. Particle size influence to the microwave properties of iron based magnetic particulate composites // J. Magn. and Magn. Mat. 2005. Vol. 285. P. 233–239.

57. Neige J., Lepetit T., et al. Evidence of an embedded vortex translation mode in flake-shaped ferromagnetic particle composites // Appl. Phys. Lett. 2013. Vol. 102. P. 242401–242407.

58. Nguyen N. Phuoc, Ong C.K. Thermal stability of high frequency properties of gradient-composition sputtered FeCoHf films with and without stripe domains // J. Appl. Phys. 2013. Vol. 114. P. 023901.

59. Buravtsova V.E., Ganshina E.A., Kirov S.A., Kalinin Yu.E., Sitnikov A.V. Magneto-optical Properties of Layer-by-Layer Deposited Ferromagnet-Dielectric Na-



nocomposites // Materials Sciences and Applications. 2013. Vol. 4. P. 16–23.

60. Burgler D.E., Buchmeier M., Cramm S., Eisebitt S., Gareev R.R., Grunberg P., Jial C.L., Pohlmann L.L., Schreiber R., Siegel M., Qin Y.L., Zimina A. Exchange coupling of ferromagnetic films across metallic and semiconducting interlayers // J. Phys.: Condens. Matter. 2003. Vol. 15. P. 443–450

61. Васковский В.О., Патрин Г.С., Великанов Д.А., Свалов А.В., Савин П.А., Ювченко А.А., Щеголева Н.Н. Магнетизм слоев Co в составе многослойных пленок Co/Si // ФТТ. 2007. Т. 49, Вып. 2. С. 291–296.

62. Домашевская Э.П., Чернышев А.В., Ситников А.В. и др. XANES-исследования межатомных взаимодействий в многослойных наноструктурах  $(\text{Co}_{45}\text{Fe}_{45}\text{Zr}_{10}/\text{a-Si})_{40}$  и  $(\text{Co}_{45}\text{Fe}_{45}\text{Zr}_{10}/\text{SiO}_2)_{32}$  // ФТТ. 2013. Т. 55. С. 1202–1210.

63. Kotov L.N., Vlasov V.S., Turkov V.K., Kalinin Y.E., Sitnikov A.V. Influence of Annealing on Magnetic, Relaxation and Structural Properties of Composite and Multilayer Films // Journal of Nanoscience and Nanotechnology. 2012. Т. 12, № 2. С. 1696–1699.

64. Guo Y., Yu X.W., Li Y.X. Spin filtering and spin-polarization reversal in multilayered ferromagnetic metal/semiconductor heterostructures // J. Appl. Phys. 2005. Vol. 98. P. 053902–053907.

65. Аронзон Б.А., Грановский А.Б., Давыдов А.Б., Докукин М.Е., Калинин Ю.Е., Николаев С.Н., Рыльков В.В., Ситников А.В., Тугушев В.В. Планарный эффект Холла и анизотропное магнитосопротивление в слоистых структурах  $\text{Co}_{0,45}\text{Fe}_{0,45}\text{Zr}_{0,1}/\text{a-Si}$  с перколяционной проводимостью // ЖЭТФ. 2006. Т. 130, Вып. 1(7). С. 127–136.

66. Szuszkiewicz W., Fronc K., Baran M., Szymczak R., Ott F., Hennion B., Dynowska E., Paszkowicz W., Pelka J.B., Zuberek R., Jouanne M., Morhange J.F. Interlayer Magnetic Coupling for Fe/Si Multilayers // J. Superconductivity: Inc. Nov. Magn. 2003. Vol. 16, No. 1. P. 1152–1158.

67. Kotov L.N., Vlasov V.S., Turkov V.K., Kalinin Y.E., Sitnikov A.V. Influence of Annealing on Magnetic, Relaxation and Structural Properties of Composite and Multilayer Films // Journal of Nanoscience and Nanotechnology. 2012. Т. 12, № 2. С. 1696–1699.

68. Дунец О.В., Калинин Ю.Е., Каширин М.А., Ситников А.В. Электрические и магнитные свойства мультислойных структур на основе композита  $(\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20})_{33,9}(\text{SiO}_2)_{66,1}$  // Журнал технической физики. 2013. Т. 83. С. 114–120.

69. Иванов А.В., Калинин Ю.Е., Нечаев В.Н., Ситников А.В. Электрические и магнитные свойства мультислойных структур  $[(\text{CoFeZr})_x(\text{Al}_2\text{O}_3)_{1-x}/(\text{a-SiH})_n]$  // ФТТ. 2009. Т. 60, Вып. 12. С. 2331–2336.

70. Komogortsev S.V., Denisova E.A., Sitnikov A.V. et al. Multilayer nanogranular films  $(\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20})_{50}(\text{SiO}_2)_{50}/\text{a-Si:H}$  and  $(\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20})_{50}(\text{SiO}_2)_{50}/\text{SiO}_2$ : Magnetic properties //

Journal of Applied Physics. 2013. Vol. 113. P. 17C105–170109.

71. Ситников А.В. Электрические и магнитные свойства наногетерогенных систем металл-диэлектрик: Диссертация на соискание ученой степени д-ра. физ.-мат. наук. Воронеж: ВГТУ, 2009. 318 с.

72. Дядкина Е.А., Воробьев А.А., Уклеев В.А., Лотт Д., Ситников А.В., Калинин Ю.Е., Герашенко О.В., Григорьев С.В. Морфология, магнитные и проводящие свойства гетерогенных слоистых магнитных структур  $[(\text{Co}_{45}\text{Fe}_{45}\text{Zr}_{10})_{35}(\text{Al}_2\text{O}_3)_{65}/\text{a-Si:H}]_{36}$  // ЖЭТФ. 2014. Т. 145, Вып. 3. С. 472–480.

73. Chekrygina Ju., Devizenko A., Kalinin Yu., Kirgov S., Lebedeva E., Shipkova I., Sitnikov A., Syr'ev N., Vyzulin S. Magnetic and Magnetoresonance Properties of Multilayered Systems Based on  $(\text{CoFeB})_x(\text{SiO}_2)_{100-x}$  Composite Layers // Solid State Phenomena. 2014. Vol. 215. P. 272–277.

74. Ганьшина Е.А., Перов Н.С., Пхонгхирун С., Мигунов В.Е., Калинин Ю.Е., Ситников А.В. Усиление магнитооптического отклика в многослойной системе нанокомпозит-гидрогенизированный аморфный кремний // Известия РАН. Сер. Физическая. 2008. № 10. С. 1455–1457.

75. Вызулин С.А., Горобинский А.В., Калинин Ю.Е., Лебедева Е.В., Ситников А.В., Сырьев Н.Е., Трофименко И.Т., Шипкова И.Г. Комплексный анализ статических и динамических магнитных характеристик мультислойных наноструктур  $\text{CoFeZr}/\text{a-Si}$  // Вестник МГУ. Сер. 3. Физика, Астрономия. 2009. № 2. С. 32–36.

76. Вызулин С.А., Горобинский А.В., Калинин Ю.Е., Лебедева Е.В., Ситников А.В., Сырьев Н.Е., Трофименко И.Т., Шипкова И.Г. ФМР, магнитные и резистивные свойства мультислойных наноструктур  $(\text{Co}_{45}\text{Fe}_{45}\text{Zr}_{10})_x(\text{Al}_2\text{O}_3)_{1-x}/\text{Si}$  // Известия РАН. Сер. Физическая. 2010. Т. 74, № 10. С. 1441–1443.

77. Вызулин С.А., Горобинский А.В., Калинин Ю.Е., Лебедева Е.В., Ситников А.В., Сырьев Н.Е., Трофименко И.Т., Чекрыгина Ю.И., Шипкова И.Г. ФМР, магнитные и резистивные свойства наноструктур с гранулированными магнитными слоями // Нанотехника. 2010. № 3(23). С. 16–21.

78. Vashuk M.V., Gan'shina E.A., Phonghirun S., Tulsy I.I., Shcherbak P.N., Kalinin Yu.E. Optical and magneto-optical properties of  $\{\text{Co}_{0,45}\text{Fe}_{0,45}\text{Zr}_{0,1}/\text{a-Si}\}_n$  multilayers // Non-crystall. Solids. 2007. Vol. 353. P. 962–964.

79. Glatz A., Beloborodov I.S. Thermoelectric and Seebeck coefficients of granular metals // Phys. Rev. B. 2009. Vol. 79. P. 235403.

80. Glatz A., Beloborodov I.S. Thermoelectric properties of granular metals // Phys. Rev. B. 2009. Vol. 79. P. 041404(R)–041408(R).

81. Tsyplyatyev O., Kashuba O., Fal'ko V.I. Thermally excited spin current and giant magnetothermopower in metals with embedded ferromagnetic nanoclusters // Phys. Rev. B. 2006. Vol. 74. P. 132403–132406.



82. Dubi Y., M. Di Ventra. Colloquium: Heat flow and thermoelectricity in atomic and molecular junctions // *Rev. Mod. Phys.* 2011. Vol. 83. P. 131–155.

83. Wang K., Wang L., Petrovic C. Large magnetothermopower effect in Dirac materials (Sr/Ca)MnBi<sub>2</sub> // *Appl. Phys. Lett.* 2012. Vol. 100. P. 112111–112116.

84. Tsypliyat'yev O., Kashuba O., Fal'ko V. Giant magnetothermopower and magnetoresistance in metals with embedded ferromagnetic nanoclusters // *J. Appl. Phys.* 2007. Vol. 101. P. 014324–014329.

85. López-Monís C., Matos-Abiague A., Fabian J. Tunneling magnetothermopower in magnetic tunnel junctions // *Phys. Rev. B.* 2014. Vol. 89. P. 054419–054422.

86. Nagaosa N., Sinova J., Onoda S. et al. Anomalous Hall effect // *Rev. Mod. Phys.* 2010. Vol. 82. P. 1539–1579.

87. Mikhailovsky Yu.O., Metus D.E., Kazakov A.P. et al. Anomalous Hall effect in (Co<sub>41</sub>Fe<sub>39</sub>B<sub>20</sub>)<sub>x</sub>(Al–O)<sub>100–x</sub> // *JETP Lett.* 2013. Vol. 97. P. 473–479.

88. Hoffman A. Spin Hall Effect // *IEEE transactions on magnetics.* 2013. Vol. 49, No. 10. P. 5172.

89. Rashba E.I. Properties of semiconductors with an extremum loop .1. Cyclotron and combinational resonance in a magnetic field perpendicular to the plane of the loop // *Sov. Phys. Solid. State.* 1960. Vol. 2. P. 1109–1135.

90. Vedyayev A.V., Titova M.S., Ryzhanova N.V. et al. Anomalous and spin Hall effects in a magnetic tunnel junction with Rashba spin-orbit coupling // *Appl. Phys. Lett.* 2013. Vol. 103. P. 032406–032411.

91. Vedyayev A.V., Ryzhanova N.V., Strelkov N., Dieny B. Anomalous Hall effect in magnetic tunnel junction // *Phys. Rev. Lett.* 2013. Vol. 110. P. 247204–247206.

92. Geng H., Wei J.Q., Nie S.J. et al. Soft magnetic property and high-frequency permeability of [Fe<sub>80</sub>Ni<sub>20</sub>–O/SiO<sub>2</sub>]<sub>n</sub> multilayer thin films for applications in GHz range // *Materials Letters.* 2013. Vol. 92. P. 346–349.

93. Geng H., Wei J.Q., Wang Z.W. et al. Soft magnetic property and high-frequency permeability of [Fe<sub>80</sub>Ni<sub>20</sub>–O/TiO<sub>2</sub>]<sub>n</sub> multilayer thin films // *Journal of Alloys and Compounds.* 2013. Vol. 576. P. 13–17.

94. Thomson T. Magnetic properties of metallic thin films in: Barmak K. and Coffey K. (Eds.) *Metallic Films for Electronic, Optical and Magnetic Applications*, Elsevier. 2014. P. 454–546.

95. Sarkar J. Ferromagnetic Sputtering Targets and Thin Films for Silicides and Data Storage, in: Sarkar J. *Sputtering Materials for VLSI and Thin Film Devices*. Elsevier. 2013. 603 p.

96. Barmak K., Coffey K. (Eds.) *Metallic Films for Electronic, Optical and Magnetic Applications*. Elsevier. 2014. 634 p.

97. Shi D., Guo Z., Bedford N. Nanomagnetic Materials, in: D. Shi (Ed.) // *Nanomaterials and Devices*. Elsevier. 2015. P. 105–159.

98. Буравцова В.Е., Ганьшина Е.А., Гуцин В.С., Калинин Ю.Е. и др. Гигантское магнитосопротивле-

ние и магнитооптические свойства гранулированных нанокомпозитов металл-диэлектрик // *Известия РАН. Сер. Физ.* 2003. Т. 67, № 7. С. 918–920.

99. Kadigrobov A.M., Fistul M.VOL., Efetov K.B. Magnetotransport along a barrier: multiple quantum interference of edge states // *Physical Review B: Condensed Matter and Materials Physics.* 2006. Т. 73, No 23. С. 235313–235321.

100. Гриднев С.А., Калинин Ю.Е., Ситников А.В., Стогней О.В. *Нелинейные явления в нано- и микрогетерогенных системах*. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012.

## References

1. Neugebauer C.A. Resistivity of Cermet Films Containing Oxides of Silicon. *Thin Solid Films*, 1970, vol. 6, pp. 443–447 (in Eng.).

2. Gittleman J.L., Goldstain Y., Bozowski S. Magnetic properties of Granular Nickel Films. *Physical Review B*, 1972, vol. B5, pp. 3609–3621 (in Eng.).

3. Abeles B., Sheng P., Coutts M.D., Arie Y. Structural and electrical properties of granular metal films. *Advances in Physics*, 1975, vol. 24, pp. 407–461 (in Eng.).

4. Ėfros A.L., Shklovsky B.I. Teoriã protekaniã i provodimost' sil'no neodnorodnyh sred. *UFN*, 1974, vol. 117, no. 3, pp. 2–14 (in Russ.).

5. Efros A.L., Shklovski B.I. Conduction of nanostructured metall-insulator. *Phys. Stat. Solid.*, vol. 1976, no. 76, pp. 475–490 (in Eng.).

6. Beloborodov I.S., Lopatin A.V., Vinokur V.M., Efetov K.B. Granular electronic systems. *Rev. Mod. Phys.*, 2007, vol. 79, no 2, pp. 469–520 (in Eng.).

7. Zhanhu Guo, a Sung Park, Thomas Hahn H. Giant magnetoresistance behavior of an iron/carbonized polyurethane nanocomposite. *Applied Physics Letters*, 2007, vol. 90, pp. 053111–053113 (in Eng.).

8. Meilikhov E.Z., Raquet B., Rakoto H. Magnetoresistance of a ferromagnetic metal nano-composite with nonspherical granules. *Journal of Experimental and Theoretical Physics*, 2001, vol. 92, no. 5, pp. 816–819 (in Eng.).

9. Kasiuk J.V., Fedotova J.A. et al. Correlation between local Fe states and magnetoresistivity in granular films containing FeCoZr nanoparticles embedded into oxygen-free dielectric matrix. *Journal of Alloys and Compounds*, 2014, vol. 586, pp. S432–S435 (in Eng.).

10. Fujimori H., Mitani S., Ohnuma S. Tunnel-type GMR in metal-nonmetal granular alloy thin films. *Master. Sci. Eng.*, 1995, vol. B31, pp. 219–223 (in Eng.).

11. Meier H., Kharitonov M.Y., Efetov K.B. Anomalous hall effect in granular ferromagnetic metals and effects of weak localization. *Physical Review B: Condensed Matter and Materials Physics*, 2009, vol. 80, no. 4, pp. 045122–045132 (in Eng.).

12. Granovskii A.B., Gan'shina et. al Magnetorefractive effect in nanostructures, manganites and magnetopho-



tonic crystals based on these materials. *J. Comm. Tech. and Electronics*, 2007, vol. 52, pp. 1065–1071 (in Eng.).

13. Granovsky A.B., Bykov I., Gan'shina E.A., Gushchin V.S., Kozlov A., Yurasov A.N., Kalinin Yu.E. Magnitnorefraktivnyj effekt v magnitnyh nanokompozitah. *ŽETF*, 2003, vol. 123, issue 6, pp. 1256–1267 (in Russ.).

14. Buravtsova V.E., Gan'shina E.A., Ivanova O.S., Kalinin Yu.E., Kirov S.A., Pkhongkhirun S., Sitnikov A.V. Evolution of magneto-optical properties of  $(\text{Co})_x(\text{LiNbO}_3)_{100-x}$  nanocomposites with a change in the oxygen pressure during their preparation. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics*, 2007, vol. 71, pp. 1539–1540 (in Eng.).

15. Polyakov V.V., Polyakova K.P., Seredkin V.A., Patrino G.S. Magneto-Optical Kerr Effect Enhancement in Co-Ti-O Nanocomposite Films. *Solid State Phenomena*, 2012, vol. 190, pp. 506–509 (in Eng.).

16. Beloborodov I.S., Lopatin A.V., Vinokur V.M. Coulomb effects and hopping transport in granular Metals. *Phys. Rev. B*, 2005, vol. 72, pp. 125121–125141. (in Eng.).

17. Boltaev L.P., Pudonin F.A. Vliânie slabogo èlektričeskogo polâ na provodimost' v tonkih metalličeskikh plenkah. *ŽETF*, 2006, vol. 130, issue 3(9), pp. 500–505 (in Russ.).

18. Abeles B., Cohen R.W., Cullen G.W. Enhancement of Superconductivity in Metal Films. *Phys. Rev. Lett.*, 1966, vol. 17, pp. 632–634 (in Eng.).

19. Sheng P., Abeles B., Arie Y. Hopping conductivity in granular Metals. *Phys. Rev. Lett.*, 1973, vol. 31, no. 1, pp. 44–47 (in Eng.).

20. DongLiang Peng, JunBao Wang, LaiSen Wang, XiaoLong Liu, ZhenWei Wang, YuanZhi Chen. Electron transport properties of magnetic granular films. *Science China Physics, Mechanics and Astronomy*, 2013, vol. 56, no. 1, pp. 15–28 (in Eng.).

21. Timopheev A.A., Ryabchenko S.M., Kalita V.M., Lozenko A.F., Trotsenko P.A., Stognei O.V., Sitnikov A.V. Growth-induced perpendicular anisotropy of grains in Co-Al-O nanogranular ferromagnetic films. *Physics of the Solid State*, 2011, vol. 53, no. 3, pp. 494–503 (in Eng.).

22. Lin C.-H., Wu G.Y. Hopping conduction in granular metals. *Physica B*, 2000, vol. B 279, pp. 341–346 (in Eng.).

23. Beloborodov I.S., Glatz A., Vinokur V.M. Electron transport in nanogranular ferromagnets. *Phys. Rev. Lett.*, 2007, vol. 99, pp. 066602–066606 (in Eng.).

24. Beloborodov I.S., Lopatin A.V., Vinok V.M. Coulomb effects and hopping transport in granular metals. *Phys. Rev. B*, 2005, vol. 72, pp. 125121–125125 (in Eng.).

25. Gridnev S.A., Gorshkov A.G., Sitnikov A.V., Kalinin Yu.E. Charge transfer and dielectric properties of granular nanocomposites  $\text{Co}_x(\text{LiNbO}_3)_{100-x}$ . *Physics of the Solid State*, 2006, vol. 48, pp. 1186–1188 (in Eng.).

26. Zolotukhin I.V., Kalinin Yu.E., Ponomarenko A.T., Shevchenko V.G., Sitnikov A.V., Stognei O.V., Figovsky O. Metal-dielectric nanocomposites with amorphous structure. *J. Nano-structured Polymers and Nanocomposites*, 2006, vol. 2, no. 1, pp. 23–34 (in Eng.).

27. Doncova N.A., Kalinin Yu.E., Kashirin M.A., Sitnikov A.V. Èlektričeskie i magnitorezistivnye svojstva nanogranulirovannyh plenok  $\text{CoFeB-CaF}_2$ . *Izvestiâ RAN. Seriâ fizičeskaâ*, 2013, vol. 77, no. 10, pp. 1537–1540 (in Eng.).

28. Lucev L.V., Kalinin Yu.E., Sitnikov A.V., Stognei O.V. Èlektronnyj transport v magnitnom pole v granulirovannyh plenkah amorfnoj dvoukisi kremniâ s ferromagnitnymi nanočasticami. *FTT*, 2002, vol. 44, no. 10, pp. 1802–1810 (in Russ.).

29. Kalinin Yu.E., Remizov A.N., Sitnikov A.V. Èlektričeskie svojstva amorfnyh nanokompozitov  $(\text{Co}_{45}\text{Fe}_{45}\text{Zr}_{10})_x(\text{Al}_2\text{O}_3)_{100-x}$ . *FTT*, 2004, vol. 46, issue 11, pp. 2076–2082 (in Russ.).

30. Zolotukhin I.V., Kalinin Yu.E., Ponomarenko A.T. et al. Metal-dielectric nanocomposites with amorphous structure. *J. Nanostructured Polymers and Nanocomposites*, 2006, vol. 2, no. 1, pp. 23–34 (in Eng.).

31. Kalinin Yu.E., Sitnikov A.V., Zvezdin A.K. et al. Èlektričeskie svojstva amorfnyh granulirovannyh nanokompozitov  $(\text{Co}_{45}\text{Fe}_{45}\text{Zr}_{10})_h[\text{Pb}_{0,81}\text{Sr}_{0,04}(\text{Na}_{0,5}\text{Bi}_{0,5})_{0,15}(\text{Zr}_{0,575}\text{Ti}_{0,425})\text{O}_3]_{1-x}$ . *Perspektivnye materialy*, 2007, no. 3, pp. 41–48 (in Russ.).

32. Kalinin Yu.E., Remizov A.N., Sitnikov A.V., Samcova N.P. Struktura i èlektričeskie svojstva amorfnyh nanokompozitov  $(\text{Co}_{45}\text{Fe}_{45}\text{Zr}_{10})_x(\text{SiO}_2)_{100-x}$ . *Perspektivnye materialy*, 2003, no. 3, pp. 62–67 (in Russ.).

33. Kalinin Yu.E., Sitnikov A.V., Stognei O.V. Fizičeskie svojstva nanokompozitov metall-dielektrik s amorfnoj strukturoj. *International Scientific Journal "Alternativnââ ènergetika i èkologîâ" (ISJAE)*, 2007, no. 10, pp. 9–21 (in Russ.).

34. Kalinin Yu.E., Korolev K.G., Sitnikov A.V. Èlektričeskie svojstva mnogosloek metall-poluprovodnik s amorfnoj strukturoj. *Pis'ma v ŽTF*, 2006, vol. 32, issue 6, pp. 61–67 (in Russ.).

35. Ishakov R.S., Komogorcev S.V., Denisova E.A., Kalinin Yu.E., Sitnikov A.V. Fraktal'naâ magnitnaâ mikrostruktura v plenkah nanokompozitov  $(\text{Co}_{41}\text{Fe}_{39}\text{B}_{20})_x(\text{SiO}_2)_{1-x}$ . *Pis'ma v ŽETF*, 2007, vol. 86, issue 7, pp. 534–538 (in Russ.).

36. Ohnuma S.H., Hono K., Onoder H., Ohnuma S., Fujimori H., Pedersen J.S. Microstructures and magnetic properties of C-Al-O granular thin films. *J. Appl. Phys.*, 2000, vol. 87, no. 2, pp. 817–823 (in Eng.).

37. Ohnuma S.H., Fujimori H., Mitani S., Masumoto T. High frequency magnetic properties in metal-nonmetal granular films. *J. Appl. Phys.*, 1996, vol. 79, pp. 5130–5135 (in Eng.).

38. Morikawa T., Suzuki M., Taga Y. Soft-magnetic properties of Co-Cr-O granular films. *J. Appl. Phys.*, 1998, vol. 83, pp. 6664–6666 (in Eng.).

39. Sasaki Y., Morita S., Hatanai T., Makino A., Sato T., Yamasawa K. High-frequency soft magnetic properties of nanocrystalline Fe-(Co)-Hf-O films with high electrical resistivity and their applications to micro DC-



- DC converter. *NanoStructured Mat.*, 1997, vol. 8, pp. 1025–1029 (in Eng.).
40. Li Liangliang, Crawford Ankur M., Wang Shan X., Marshall Ann F., Mao Ming, Schneider Thomas, Bubber Randhir. Soft magnetic granular material Co-Fe-Hf-O for micromagnetic device applications. *J. Appl. Phys.*, 2005, vol. 97, no. 10, pp. 907–910 (in Eng.).
41. Liangliang Li, Dok Won Lee, Ming Mao, Thomas Schneider, Randhir Bubber, Kyu-Pyung Hwang, Yongki Min, Shan X. Wang. High-frequency responses of granular CoFeHfO and amorphous CoZrTa magnetic materials. *J. Appl. Phys.*, 2007, vol. 101, pp. 123912 – 123916 (in Eng.).
42. Guangduo Lu, Huaiwu Zhang, John Q. Xiao, Feiming Bai, Xiaoli Tang, Yuanxun Li, Zhiyong Zhong. Influence of sputtering power on the high frequency properties of nanogranular FeCoHfO thin films. *J. Appl. Phys.*, 2011, vol. 109, pp. 07A327–07A330 (in Eng.).
43. Coonley K.D., Mehas G.J., Sullivan C.R., Gibson U.J. Evaporatively deposited Co-MgF<sub>2</sub> granular materials for thin-film inductors: M.S. thesis, Dartmouth College, 1999 (in Eng.).
44. Ohnuma S.H., Fujimori H., Masumoto T., Xiong X.Y., Ping D.H., Hono K. FeCo-Zr-O nanogranular soft-magnetic thin films with a high magnetic flux density. *Appl. Phys. Lett.*, 2003, vol. 82, no. 6, pp. 946–948 (in Eng.).
45. Shihui Ge, Yang Xiaolin, Kim Kwang Youn, Xi Li, Kou Xiaoming, Yao Dongsheng, Li Binsheng, Wang Xinwei Study on mechanism of soft magnetic properties for high-frequency application in Ni<sub>75</sub>Fe<sub>25</sub>-SiO<sub>2</sub> granular films. *Phys. Stat. Sol. A*, 2005, vol. 202, vol. 10, pp. 2021–2027 (in Eng.).
46. Kotov L.N., Turkov V.K., Vlasov V.S., Lasek M.P., Kalinin Yu.E., Sitnikov A.V. Conductive, magnetic and structural properties of multilayer films. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 2013, vol. 47, pp. 012027 (1–4) (in Eng.).
47. Kanai S., Gajek M., Worledge D.C., Matsukura F., Oh H. Electric field-induced ferro-magnetic resonance in a CoFeB/MgO magnetic tunnel junction under dc bias voltages. *Appl. Phys. Lett.*, 2014, vol. 105, pp. 242409–242413 (in Eng.).
48. Sankey J.C., Braganca P.M., Garcia A.G.F., Kriivorotov I.N., Buhrman R.A., Ralph D.C. Spin-Transfer-Driven Ferromagnetic Resonance of Individual Nanomagnets. *Phys. Rev. Lett.*, 2006, vol. 96, pp. 227601–227608 (in Eng.).
49. Wei Y., Brucas R., Gunnarsson K., Celinski Z., Svedlindh P. Positive correlation between coercivity and ferromagnetic resonance extrinsic linewidth in Fe-CoV/SiO<sub>2</sub> films. *Appl. Phys. Lett.*, 2014, vol. 104, pp. 072404–0724011 (in Eng.).
50. Lianwen Deng, Zekun Feng, Jianjun Jiang, Huahui He. Percolation and microwave characteristics of CoFeB-SiO<sub>2</sub> nano-granular films. *J. Magn. and Magn. Mater.*, 2007, vol. 309, pp. 285–289 (in Eng.).
51. Yanga F.F., Yana S.S., Yub M.X. et al. Enhanced high-frequency electromagnetic properties of FeCoB-SiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub> multilayered granular films. *Physica B: Condensed Matter.*, 2012, vol. 407, pp. 1108–1113 (in Eng.).
52. Buznikov N.A., Iakubov I.T., Rakhmanov A.L., Sboychakov A.O. High-frequency magnetic permeability of nanocomposite film. *J. Magn. and Magn. Mater.*, 2005, vol. 293, pp. 938–946 (in Eng.).
53. Menéndez E., Dias T., Geshev J., Lopez-Barbera J.F., Nogués J., Steitz R., Kirby B.J., Borchers J.A., Pereira L.M.C., Vantomme A., Temst K. Interdependence between training and magnetization reversal in granular Co-CoO exchange bias systems. *Phys. Rev. B*, 2014, vol. 89, pp. 144407–144414 (in Eng.).
54. Iakubov I.T., Lagarkov A.N., Osipov A.V., Maklakov S.A., Rozanov K.N., Ryzhikov I.A., Starostenko S.N. A laminate of ferromagnetic films with high effective permeability at high frequencies. *AIP Advances*, 2014, vol. 4, pp. 107143–107149 (in Eng.).
55. Haiwen Xi, Kai-Zhong Gao, Yiming Shi and Song Xue. Precessional dynamics of single-domain magnetic nanoparticles driven by small ac magnetic fields. *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 2006, vol. 39, pp. 4746–4752 (in Eng.).
56. Wu L.Z., Ding J., Jiang H.B., Chen L.F., Ong C.K. Particle size influence to the micro-wave properties of iron based magnetic particulate composites. *J. Magn. and Magn. Mat.*, 2005, vol. 285, pp. 233–239 (in Eng.).
57. Neige J., Lepetit T., et al. Evidence of an embedded vortex translation mode in flake-shaped ferromagnetic particle composites. *Appl. Phys. Lett.*, 2013, vol. 102, pp. 242401–242407 (in Eng.).
58. Nguyen N. Phuoc, Ong C.K. Thermal stability of high frequency properties of gradient-composition sputtered FeCoHf films with and without stripe domains. *J. Appl. Phys.*, 2013, vol. 114, pp. 023901 (in Eng.).
59. Buravtsova V.E., Ganshina E.A., Kirov S.A., Kalinin Yu.E., Sitnikov A.V. Magneto-optical Properties of Layer-by-Layer Deposited Ferromagnet-Dielectric Nanocomposites. *Materials Sciences and Applications*, 2013, vol. 4, pp. 16–23 (in Eng.).
60. Burgler D.E., Buchmeier M., Cramm S., Eisebitt S., Gareev R.R., Grunberg P., Jial C.L., Pohlmann L.L., Schreiber R., Siegel M., Qin Y.L., Zimina A. Exchange coupling of ferromagnetic films across metallic and se-



micconducting interlayers. *J. Phys.: Condens. Matter.*, 2003, vol. 15, pp. 443–450 (in Eng.).

61. Vas'kovsky V.O., Patrín G.S., Velikanov D.A., Svalov A.V., Savín P.A., Yuvshchenko A.A., Shchegoleva N.N. Magnetizm sloev Co v sostave mnogoslóyных plenok Co/Si, *FTT*, 2007, vol. 49, issue 2, pp. 291–296 (in Russ.).

62. Domashevskaya È.P., Chernyshev A.V., Sitnikov A.V. et al. XANES–issledovaniâ mežatomnyh vzaimodejstvij v mnogoslóyных nanostrukturah  $(\text{Co}_{45}\text{Fe}_{45}\text{Zr}_{10}/\alpha\text{-Si})_{40}$  i  $(\text{Co}_{45}\text{Fe}_{45}\text{Zr}_{10}/\text{SiO}_2)_{32}$ . *FTT*, 2013, vol. 55, pp. 1202–1210 (in Russ.).

63. Kotov L.N., Vlasov V.S., Turkov V.K., Kalinin Y.E., Sitnikov A.V. Influence of Annealing on Magnetic, Relaxation and Structural Properties of Composite and Multilayer Films. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 2012, vol. 12, no. 2, pp. 1696–1699 (in Eng.).

64. Guo Y., Yu X.W., Li Y.X. Spin filtering and spin-polarization reversal in multilayered fer-romagnetic metal/semiconductor heterostructures. *J. Appl. Phys.*, 2005, vol. 98, pp. 053902–053907 (in Eng.).

65. Aronzon B.A., Granovsky A.B., Davydov A.B., Dokukin M.E., Kalinin Yu.E., Nikolaev S.N., Ryl'kov V.V., Sitnikov A.V., Tugushev V.V. Planarnyj èffekt Holla i anizotropnoe magnitosoprotivlenie v sloistyh strukturah  $\text{Co}_{0.45}\text{Fe}_{0.45}\text{Zr}_{0.1}/\alpha\text{-Si}$  s perkolâcionnoj provodimost'û. *ŽÈTF*, 2006, vol. 130, issue 1(7), pp. 127–136 (in Russ.).

66. Szuszkiewicz W., Fronc K., Baran M., Szymczak R., Ott F., Hennion B., Dynowska E., Paszkowicz W., Pelka J.B., Zuberek R., Jouanne M., Morhange J.F. Interlayer Magnetic Coupling for Fe/Si Multilayers. *J. Superconductivity: Inc. Nov. Magn*, 2003, vol. 16, no. 1, pp. 1152–1158 (in Eng.).

67. Kotov L.N., Vlasov V.S., Turkov V.K., Kalinin Y.E., Sitnikov A.V. Influence of Annealing on Magnetic, Relaxation and Structural Properties of Composite and Multilayer Films. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 2012, vol. 12, no. 2, pp. 1696–1699 (in Eng.).

68. Dunc O.V., Kalinin Yu.E., Kashirin M.A., Sitnikov A.V. Èlektričeskie i magnitnye svojstva mul'tislojnyh struktur na osnove kompozita  $(\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20})_{33.9}(\text{SiO}_2)_{66.1}$ . *Žurnal tehničeskoj fiziki*, 2013, vol. 83, pp. 114–120 (in Russ.).

69. Ivanov A.V., Kalinin Yu.E., Nechaev V.N., Sitnikov A.V. Èlektričeskie i magnitnye svojstva mul'tislojnyh struktur  $[(\text{CoFeZr})_x(\text{Al}_2\text{O}_3)_{1-x}/(\alpha\text{-SiH})]_n$ . *FTT*, 2009, vol. 60, issue 12, pp. 2331–2336 (in Russ.).

70. Komogortsev S.V., Denisova E.A., Sitnikov A.V. et al. Multilayer nanogranular films  $(\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20})_{50}(\text{SiO}_2)_{50}/\alpha\text{-Si:H}$  and

$(\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20})_{50}(\text{SiO}_2)_{50}/\text{SiO}_2$ : Magnetic properties. *Journal of Applied Physics*, 2013, vol. 113, pp. 17C105–170109 (in Eng.).

71. Sitnikov A.V. Èlektričeskie i magnitnye svojstva nanogeterogennyh sistem metall-dièlektrik: Dissertation of DSc (physics and mathematics). Voronezh: VGTU, 2009, 318 p.

72. Dyad'kina E.A., Vorob'ev A.A., Ukleev V.A., Lott D., Sitnikov A.V., Kalinin Yu.E., Gerashchenko O.V., Grigor'ev S.V. Morfologiâ, magnitnye i provodâšie svojstva geterogennyh sloistyh magnitnyh struktur  $[(\text{Co}_{45}\text{Fe}_{45}\text{Zr}_{10})_{35}(\text{Al}_2\text{O}_3)_{65}/\alpha\text{-Si:H}]_{36}$ . *ŽÈTF*, 2014, vol. 145, issue 3, pp. 472–480 (in Russ.).

73. Chekrygina Ju., Devizenko A., Kalinin Yu., Kirov S., Lebedeva E., Shipkova I., Sitnikov A., Syr'ev N., Vyzulin S. Magnetic and Magneto-resonance Properties of Multilayered Systems Based on  $(\text{CoFeB})_x\text{-}(\text{SiO}_2)_{100-x}$  Composite Layers. *Solid State Phenomena*, 2014, vol. 215, pp. 272–277 (in Eng.).

74. Gan'shina E.A., Perov N.S., Phonghirun S., Migunov V.E., Kalinin Yu.E., Sitnikov A.V. Usilenie magnitooptičeskogo otklika v mnogoslóyной sisteme nanokompozit-gidrogenizirovannyj amorfnyj kremnij. *Izvestiâ RAN. Ser. Fizičeskaâ*, 2008, no. 10, pp. 1455–1457 (in Russ.).

75. Vyzulin S.A., Gorobinskij A.V., Kalinin Yu.E., Lebedeva E.V., Sitnikov A.V., Syr'ev N.E., Trofimenko I.T., Shipkova I.G. Название. Kompleksnyj analiz statičeskih i dinamičeskih magnitnyh harakteristik mul'tislojnyh nanostruktur  $\text{CoFeZr}/\alpha\text{-Si}$ . *Vestnik MGU, Ser. 3. Fizika, Astronomiâ*, 2009, no. 2, pp. 32–36 (in Russ.).

76. Byzylin C.A., Gopobinsky A.B., Kalinin Yu.E., Lebedeva E.B., Sitnikov A.B., Cyp'ev H.E., Trofimenko I.T., Shipkova I.G. FMR, magnitnye i rezistivnye svojstva mul'tislojnyh nanostruktur  $(\text{Co}_{45}\text{Fe}_{45}\text{Zr}_{10})_x(\text{Al}_2\text{O}_3)_{1-x}/\text{Si}$ . *Izvestiâ PAH. Sep. Fizičeskaâ*, 2010, vol. 74, no. 10, pp. 1441–1443 (in Russ.).

77. Byzylin C.A., Gopobinsky A.B., Kalinin Yu.E., Lebedeva E.B., Sitnikov A.B., Cyp'ev H.E., Trofimenko I.T., Chekrygina Yu.I., Shipkova I.G. FMR, magnitnye i rezistivnye svojstva nanostruktur s granulirovannyimi magnitnymi sloâmi. *Nanotekhnika*, 2010, no. 3(23), pp. 16–21 (in Russ.).

78. Vashuk M.V., Gan'shina E.A., Phonghirun S., Tulsy I.I., Shcherbak P.N., Kalinin Yu.E. Optical and magneto-optical properties of  $\{\text{Co}_{0.45}\text{Fe}_{0.45}\text{Zr}_{0.1}/\alpha\text{-Si}\}_n$  multilayers. *Non-crystall. Solids*, 2007, vol. 353, pp. 962–964 (in Eng.).



79. Glatz A., Beloborodov I.S. Thermoelectric and Seebeck coefficients of granular metals. *Phys. Rev. B*, 2009, vol. 79, pp. 235403 (in Eng.).
80. Glatz A., Beloborodov I.S. Thermoelectric properties of granular metals. *Phys. Rev. B*, 2009, vol. 79, pp. 041404(R)-041408(R) (in Eng.).
81. Tsyplyatyev O., Kashuba O., Fal'ko V.I. Thermally excited spin current and giant magnetothermopower in metals with embedded ferromagnetic nanoclusters. *Phys. Rev. B*, 2006, vol. 74, pp. 132403–132406 (in Eng.).
82. Dubi Y., M. Di Ventra. Colloquium: Heat flow and thermoelectricity in atomic and molecular junctions. *Rev. Mod. Phys.*, 2011, vol. 83, pp. 131–155 (in Eng.).
83. Wang K., Wang L., Petrovic C. Large magnetothermopower effect in Dirac materials (Sr/Ca)MnBi<sub>2</sub>. *Appl. Phys. Lett.*, 2012, vol. 100, pp. 112111–112116 (in Eng.).
84. Tsyplyatyev O., Kashuba O., Fal'ko V. Giant magnetothermopower and magnetoresistance in metals with embedded ferromagnetic nanoclusters. *J. Appl. Phys.*, 2007, vol. 101, pp. 014324–014329 (in Eng.).
85. López-Monís C., Matos-Abiague A., Fabian J. Tunneling magnetothermopower in magnetic tunnel junctions. *Phys. Rev. B*, 2014, vol. 89, pp. 054419–054422 (in Eng.).
86. Nagaosa N., Sinova J., Onoda S. et al. Anomalous Hall effect. *Rev. Mod. Phys.*, 2010, vol. 82, pp. 1539–1579 (in Eng.).
87. Mikhailovsky Yu.O., Metus D.E., Kazakov A.P. et al. Anomalous Hall effect in (Co<sub>41</sub>Fe<sub>39</sub>B<sub>20</sub>)<sub>x</sub>(Al–O)<sub>100–x</sub>. *JETP Lett.*, 2013, vol. 97, pp. 473–479 (in Eng.).
88. Hoffman A. Spin Hall Effect. *IEEE transactions on magnetics*, 2013, vol. 49, no. 10, p. 5172 (in Eng.).
89. Rashba E.I. Properties of semiconductors with an extremum loop .1. Cyclotron and combinational resonance in a magnetic field perpendicular to the plane of the loop. *Sov. Phys. Solid. State*, 1960, vol. 2, pp. 1109–1135 (in Eng.).
90. Vedyayev A.V., Titova M.S., Ryzhanova N.V. et al. Anomalous and spin Hall effects in a magnetic tunnel junction with Rashba spin-orbit coupling. *Appl. Phys. Lett.*, 2013, vol. 103, pp. 032406–032411 (in Eng.).
91. Vedyayev A.V., Ryzhanova N.V., Strelkov N., Dieny B. Anomalous Hall effect in magnetic tunnel junction. *Phys. Rev. Lett.*, 2013, vol. 110, pp. 247204–247206 (in Eng.).
92. Geng H., Wei J.Q., Nie S.J. et al. Soft magnetic property and high-frequency permeability of [Fe<sub>80</sub>Ni<sub>20</sub>–O/SiO<sub>2</sub>]<sub>n</sub> multilayer thin films for applications in GHz range. *Materials Letters*, 2013, vol. 92, pp. 346–349 (in Eng.).
93. Geng H., Wei J.Q., Wang Z.W. et al. Soft magnetic property and high-frequency permeability of [Fe<sub>80</sub>Ni<sub>20</sub>–O/TiO<sub>2</sub>]<sub>n</sub> multilayer thin films. *Journal of Alloys and Compounds*, 2013, vol. 576, pp. 13–17 (in Eng.).
94. Thomson T. Magnetic properties of metallic thin films in: Barmak K. and Coffey K. (Eds.) *Metallic Films for Electronic, Optical and Magnetic Applications*, Elsevier, 2014, pp. 454–546 (in Eng.).
95. Sarkar J. Ferromagnetic Sputtering Targets and Thin Films for Silicides and Data Storage, in: Sarkar J. *Sputtering Materials for VLSI and Thin Film Devices*, Elsevier, 2013, 603 p (in Eng.).
96. Barmak K., Coffey K. (Eds.) *Metallic Films for Electronic, Optical and Magnetic Applications*, Elsevier, 2014, 634 p (in Eng.).
97. Shi D., Guo Z., Bedford N. Nanomagnetic Materials, in: D. Shi (Ed.). *Nanomaterials and Devices*, Elsevier, 2015, pp. 105–159 (in Eng.).
98. Buravcova V.E., Gan'shina E.A., Gushchin V.S., Kalinin Yu.E. et al. Gigantskoe magnitoprotivlenie i magnitooptičeskie svojstva granulirovannyh nanokompozitov metall-dièlektrik. *Izvestiâ RAN. Ser. Fiz.*, 2003, vol. 67, no 7, pp. 918–920 (in Russ.).
99. Kadigrobov A.M., Fistul M.VOL., Efetov K.B. Magnetotransport along a barrier: multiple quantum interference of edge states. *Physical Review B: Condensed Matter and Materials Physics*, 2006, vol. 73, no. 23, pp. 235313–235321 (in Eng.).
100. Gridnev S.A., Kalinin Yu.E., Sitnikov A.V., Stognei O.V. *Nelinejnye âvleniâ v nano- i mikrogeterogennyh sistemah*. Moscow: BINOM. Laboratoriâ znaniy Publ., 2012 (in Russ.).

Транслитерация по ISO 9:1995





**ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБА СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОЗАТРАТ  
И ТЕПЛОВЫХ  
НАГРУЗОК ПРИ ВЫСОКОСКОРОСТНОМ ДВИЖЕНИИ**

***С.Н. Чувашев, Е.С. Чувашева, М.В. Кутырев, Е.С. Браун***

Московский авиационный технологический институт (МАТИ) –  
Российский государственный технологический университет им. К.Э. Циолковского  
РФ 121552, Москва, ул. Оршанская, д. 3  
e-mail: snchuv@mail.ru

doi: 10.15518/isjaee.2015.20.007

Заключение совета рецензентов: 24.07.15    заключение совета экспертов: 07.08.15    принято к публикации: 28.08.15

Рассмотрен способ снижения потерь на лобовое сопротивление при полёте высокоскоростного летательного аппарата за счёт инжекции газа в новых изобарических режимах, что может также снизить нагрев поверхности аппарата. Проведён цикл аналитических исследований и математического моделирования. Впервые разработана и испытана в аэродинамической трубе система обеспечения изобарического режима инжекции. Результаты указывают на реализуемость и эффективность изобарических режимов активного воздействия на поток. Приводится пример расчёта по разработанным комплексным моделям, в котором сравниваются аппараты с системой снижения лобового сопротивления и с твердотопливным двигателем; использование изобарических режимов позволило уменьшить стартовую массу аппарата примерно вдвое.

Ключевые слова: аэродинамическое сопротивление, аэродинамический нагрев, высокоскоростной полёт, активное воздействие на поток, инжекция газа.

**RESEARCH ON REDUCTION OF FUEL CONSUMPTION  
AND AERODYNAMIC HEATING LOAD AT HIGH SPEED**

***S.N. Chuvashov, E.S. Chuvashova, E.S. Braun, M.V. Kutyrev***

MATI Russian State Technological University  
3 Orshanskaya Str., Moscow, 121552 Russian Federation  
e-mail: snchuv@mail.ru

doi: 10.15518/isjaee.2015.20.007

Referred 24 July 2015    Received in revised form 7 August 2015    Accepted 28 August 2015



The paper deals with a method of reduction of aerodynamic drag of a high-speed vehicle by means of active modification of the airflow with injection of light gas with high speed of sound, which can also mitigate the surface heating load. Analytical and numerical researches are carried out. An experimental model of the system of the isobaric modes implementation is created and tested in a wind tunnel for the first time. The results show power efficiency and possibility of realization of the isobaric modes of active airflow modification. An example of possible application of the isobaric modes to reduce the aerodynamic drag of a high speed vehicle is considered; it made it possible to halve the launch mass of the vehicle as compared with a vehicle with a solid propellant engine.

Keywords: aerodynamic drag, aerodynamic heating, high speed movement, active effect on airflow, gas injection.



Чувашев Сергей Николаевич  
Sergey N. Chuvashov

**Сведения об авторе:** д-р физ.-мат. наук (МГУ им. Ломоносова, физика и химия плазмы, 1998); профессор МАТИ им. К.Э. Циолковского; руководитель междисциплинарной группы.

**Образование:** кафедра Э8 «Плазменные энергетические установки» МГТУ им. Н.Э. Баумана; канд. техн. наук (МГТУ им. Н.Э. Баумана, «Теплофизика и молекулярная физика»).

**Область научных исследований:** плазменная динамика, оптика плазмы, плазмохимия, диагностика плазмы, механика жидкости и газа, радиофизика, электродинамика, пучки частиц – применительно к авиационной и ракетной технике, энергетическим установкам, амфибийному транспорту и др.

**Публикации:** более 170.

**Information about the author:** DSc (physics and mathematics) (Lomonosov Moscow State University, 1998); professor of the Ziolkovsky MATI Technological University; the head of an interdisciplinary team.

**Education:** the Bauman Moscow State Technical University (BMSTU), 1979 (the Aerospace Engines department); PhD (BMSTU, 1984) in thermal and molecular physics.

**Research area:** dynamics, optics, chemistry, and diagnostics of plasmas; liquid and gas dynamics, radiation physics, electrodynamics, particle beams, etc. as applied to energy machines, aerospace, amphibious hovercrafts, etc.

**Publications:** more than 170.



Чувашева Елена Сергеевна  
Elena S. Chuvashova

**Сведения об авторе:** старший преподаватель «МАТИ»-РГТУ им. Циолковского на кафедре «Проектирование вычислительных комплексов».

**Образование:** физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, кафедра общей физики.

**Область научных исследований:** аналитическая работа, программная реализация, физическая и математическая постановка задач; комплексные модели высокоскоростных летательных аппаратов, моделирование облака аэродисперсных помех для радиолокации, моделирование движительно-рулевого комплекса амфибийного судна на воздушной подушке.

**Публикации:** более 20.

**Information about the author:** a senior lecturer of the Ziolkovsky MATI Technological University (the Development of Computer Complexes department).

**Education:** the Moscow State University (MSU), physical faculty, 2008 (the General Physics department).

**Research area:** analysis, programing, physical and mathematical posing of problems; integral models of high speed vehicles; modeling of chaff clouds and propulsion units for an amphibian hovercraft.

**Publications:** more than 20.



Браун Елизавета Сергеевна  
Elizaveta S. Braun

**Сведения об авторе:** аспирантка МАТИ-РГТУ им. К.Э. Циолковского, кафедра «Проектирование вычислительных комплексов»; инженер Научно-производственного центра «Специальное машиностроение» (НПЦ «СМ») Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана (МГТУ им. Н.Э. Баумана).

**Образование:** факультет «Специальное машиностроение» МГТУ им. Н.Э. Баумана, кафедра «Ракетные и импульсные системы».

**Область научных исследований:** обработка результатов испытаний, расчет внутрибаллистических характеристик двигательных установок, аэродинамических характеристик высокоскоростных летательных аппаратов.

**Information about the author:** postgraduate at the Ziolkovsky MATI Russian State Technological University, the Development of Computer Complexes department; engineer of the Research and Production Center of Special Machinery (RPC SM) at BMSTU.

**Education:** the Special Machinery faculty of the Bauman Moscow State Technical University (BMSTU), Rocket and Pulsed Systems department.

**Research area:** experiment processing, computer simulation of the interior ballistic characteristics of engines and aerothermodynamics characteristics of high speed vehicles.





*Кутырëв Михаил Витальевич  
Mikhail V. Kutyrëv*

**Сведения об авторе:** начальник бюро «Магнитно-импульсной обработки металлов» ФГУП «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева».

**Образование:** Московское высшее техническое училище им. Н.Э. Баумана по кафедре «Двигатели летательных аппаратов» факультета «Энергетического машиностроения» (1980).

**Область научных исследований:** инновационные разработки в области создания элементов конструкций летательных аппаратов с применением радиационно-плазменных и магнитно-импульсных технологий.

**Публикации:** более 20 и 4 патента РФ.

**Information about the author:** a chief of Bureau “Metal Processing with Pulsed Magnetic Fields” at the Khrunichev State Research and Production Space Center.

**Education:** graduate and post-graduate of the Bauman Moscow State Technical University (BMSTU) (1980), the Energy Machine Building faculty, the Aerospace Engines department.

**Research area:** innovative developments in the field of the aircraft structures elements creation primarily with technologies, which apply radiating plasmas and pulsed magnetic fields.

**Publications:** more than 20 and 4 patents.

**Введение.**

**Изобарические режимы активного воздействия на высокоскоростной поток**

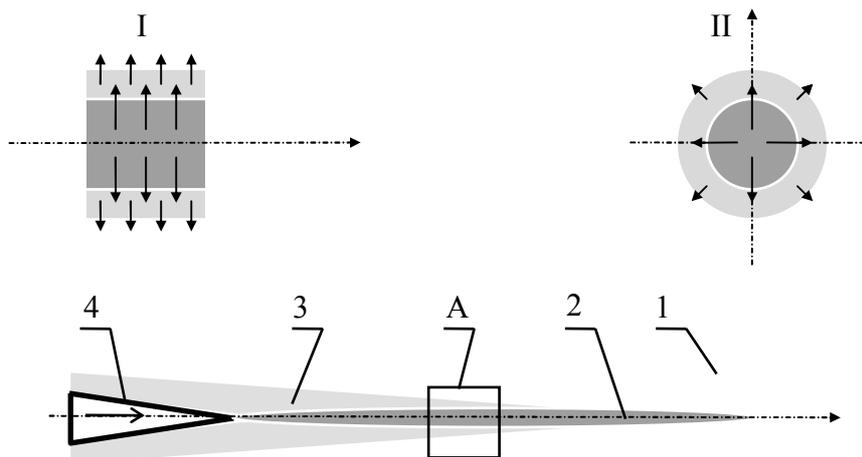
Во многих странах ведутся напряженные работы по созданию высокоскоростных летательных аппаратов (ВЛА) с прямоточными воздушно-реактивными двигателями (ПВРД). Использование кислорода воздуха как окислителя резко снижает массу горючего по сравнению с ракетами, то есть в конечном счёте стартовый вес ЛА и стоимость высокоскоростного полёта.

Однако разработка ВЛА сталкивается со значительными трудностями. При постоянной скорости горизонтального полета ВЛА на преодоление лобового сопротивления уходит основная часть энергоресурсов, что диктует необходимость его радикального снижения. Ограничение аэродинамического нагрева поверхности, особенно интенсивного в носовой части ВЛА, также существенно для обеспечения обитаемости и даже работоспособности приборов и агрегатов, поскольку на охлаждение тратится значи-

тельная масса топлива.

Для того чтобы решить проблему снижения аэродинамического сопротивления при высокоскоростном полёте, выдвигались различные варианты активного воздействия на поток. После ряда относительных неудач были предложены многообещающие пути преодоления указанной трудности, связанные с реализацией изобарических режимов активного воздействия [1–6].

Согласно этой концепции, реализация эффективных режимов зависит от формирования перед движущимся телом протяжённой области, в которой практически выравнивается давление, причём на весьма низком уровне. Этого можно достичь либо при профилированном лучевом (электронный пучок, лазер...) нагреве до плазменного состояния набегающего воздуха перед ВЛА (рисунок 1), либо при инжекции газа из протяжённого устройства на носу ВЛА.



**Рис. 1.** Реализация изобарического режима активного воздействия при формировании протяжённого канала с плазмой воздуха: 1 – покоящийся воздух; 2 – область энерговыведения; 3 – нагретый канал с плазмой воздуха; 4 – движущееся тело; I – увеличенный фрагмент канала А, II – его поперечное сечение.

**Fig. 1.** Implementation of isobaric mode of active flow modification at formation of long channel with air plasma: 1 – steady air; 2 – energy input zone; 3 – heated channel with air plasma; 4 – moving body; I – enlarged part A of the drawing, II – its cross section. Arrows denote the velocity in the laboratory system of coordinates



Достаточным условием формирования изобарической зоны является обеспечение высокой скорости течения:

$$v_s = \sqrt{\frac{\gamma k_B T}{m}}, \quad (1)$$

где  $v_s$  – скорость звука;  $\gamma$  – показатель адиабаты;  $k_B$  – постоянная Больцмана;  $T$  – температура;  $m$  – масса молекулы, т.е. среды с высокой температурой  $T$  и/или малой молекулярной массой. Если скорость потока  $v_\infty < v_s$ , то течение там будет дозвуковым, и выравнивание давления должно происходить автоматически. В результате снижается давление на носовую часть аппарата, определяющее волновое сопротивление.

В случае профилированного энерговыделения перед телом (скорость звука увеличивается при нагреве воздуха) этот класс режимов вначале был предсказан аналитически, затем были сформулированы достаточные условия, и наконец его существование было доказано с помощью математического моделирования [7–10]. В проведённых расчётах было получено многократное (10...25 раз и более) уменьшение лобового сопротивления и многократное (в 2...5 и более раз) снижение энергозатрат на полёт не только по сравнению с затупленной, но и заострённой, оптимизированной формой обтекаемого тела без активного воздействия. При этом должны были существенно снижаться энергозатраты на высокоскоростное движение, уменьшаться начальная масса летательного аппарата, увеличиваться скорость и дальность полета. На следующем этапе работ этот класс режимов был рассмотрен до профилированного ддува лёгкого газа перед телом (скорость звука повышается и из-за нагрева, и из-за малой молекулярной массы), после чего с помощью вычислений также было получено предварительное свидетельство правильности теоретических по-

строений [11]. Анализ движения «плазменных тел» [12, 13] показал реализацию в экспериментах режимов течения, близких к рассматриваемым.

Необходимо отметить, что формирование изобарической области перед носовой частью ЛА не должно быть связано с инжекцией из ЛА в направлении вперёд предварительно нагретой сплошной среды – плазмы или газа, – иначе происходит локальное повышение давления и формируется описанная в [14] газодинамическая структура, при которой радикального снижения лобового сопротивления не получается. Ударная волна формируется и перед недостаточно вытянутой, например квазисферической, зоной энерговыделения, которая обтекается холодным газом почти как твердое тело (ограниченная эффективность такого воздействия была неоднократно показана) [14].

Степень проработки соответствующих технических решений недостаточна. Так, слабо изучены рабочие процессы, экспериментально не подтверждена реализуемость построенных аналитически газодинамических и плазодинамических структур, не проработаны аспекты, связанные с аэродинамическим нагревом, не рассмотрена совместимость с другими подсистемами ВЛА, в том числе по массогабаритным характеристикам.

Этим вопросам посвящена данная работа.

### О снижении аэродинамического нагрева высокоскоростного летательного аппарата при изобарических режимах инжекции

Рассмотрим аспекты применения активного воздействия в варианте с инжекцией газа, связанные с тепловой нагрузкой на стенки.

Во всех случаях реализации изобарического режима в этом варианте формировалась следующая структура течения (рис. 2).

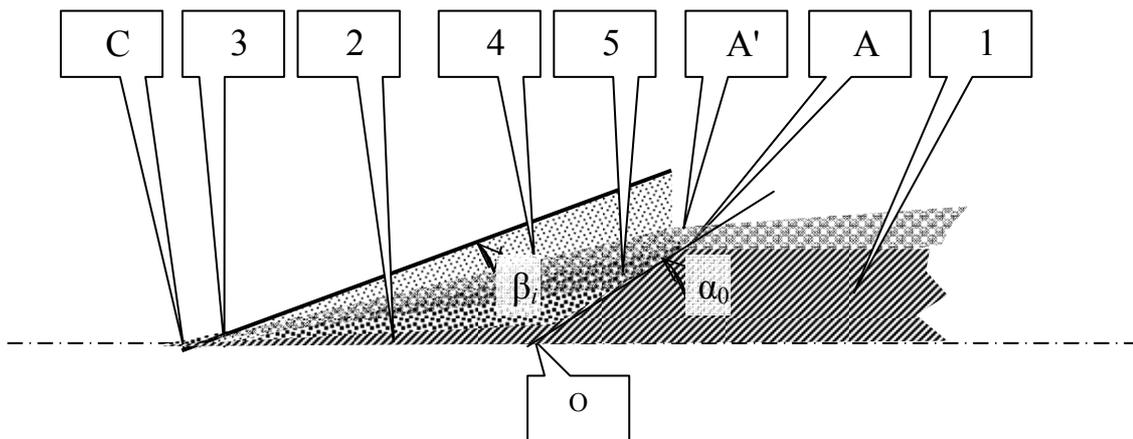


Рис. 2. Структура течения в изобарическом режиме при инжекции газа:

1 – летательный аппарат; 2 – изобарическая зона с инжестированным газом; 3 – ударная волна; 4 – ударно-сжатый газ; 5 – область перемешивания газа с воздухом

Fig. 2. Isobaric mode flow structure at gas injection:

1 – aircraft; 2 – isobaric zone with injected gas; 3 – shock wave; 4 – compressed gas; 5 – zone of mixing of gas and air

Зона, занимаемая инжектированным газом, граничит с обтекающим высокоскоростным потоком воздуха по поверхности с прямолинейной образующей (плоскость в плоском случае, конус в осесимметричном). При рассматриваемых условиях эта поверхность контактного разрыва размывалась относительно слабо, хотя применяемый малодиссипативный метод расчета и расчетные сетки позволяли вычислять формирование как крупных, так и относительно мелких вихрей; в частности, в любом случае решалась трёхмерная задача с примерно 10-ю сеточными слоями в направлении третьей координаты, что не позволяло проявиться известному эффекту стабилизации двумерных сверхзвуковых контактных разрывов.

Указанная образующая проходила через окрестность критической точки *C* на протяженной структуре на носу, и через окрестность точки *A* лобовой части аппарата, наиболее удаленной от оси (плоскости) симметрии так, что формировалось подобие обтекателя. Геометрические характеристики «газового обтекателя» определяются практически только геометрией аппарата, а именно, координатами точек *C* и *A* (точнее, точки *A'*, отстоящей от *A* на небольшую толщину потока газа, постоянно выходящего из зоны, занимаемой инжектированным газом).

В результате взаимодействия высокоскоростного потока воздуха и «газового обтекателя» формировалась ударная волна, по характеристикам практически такая же, как и при обтекании твердого тела аналогичной геометрии.

Угол  $\beta$  наклона ударной волны к потоку определяется в таком случае трансцендентным соотношением вида [15] (здесь и далее характеристики потока с индексом 1 обозначают характеристики за ударной волной, с индексом  $\infty$  – в потоке):

$$\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{ctg} \beta \frac{M_{\infty}^2 \sin^2 \beta - 1}{1 + M_{\infty}^2 \left[ \frac{\gamma + 1}{2} - \sin^2 \beta \right]}, \quad (2)$$

где  $\alpha$  – угол  $A'CO$ ;  $M_{\infty}$  – число Маха набегающего потока.

Давления в потоке  $p_{\infty}$  и за косой ударной волной  $p_1$  связаны соотношением

$$p_1 = p_{\infty} \left( \frac{2\gamma M_{\infty}^2 \sin^2 \beta}{\gamma + 1} - \frac{\gamma - 1}{\gamma + 1} \right). \quad (3)$$

Соотношение для температур:

$$T_1 = T_{\infty} \left( 2\gamma M_1^2 \sin^2 \beta - (\gamma - 1) \right) \times \left( \frac{2}{M_1^2 \sin^2 \beta} - (\gamma - 1) \right) / (\gamma - 1)^2. \quad (4)$$

Давление за косой ударной волной примерно равно давлению во всей изобарической зоне  $p_1 = p_i$  и

давлению на стенки летательного аппарата при инжекции. Сила лобового сопротивления при полёте

$$P_i = p_i F_v, \quad (5)$$

где  $F_v$  – площадь поперечного сечения аппарата.

Конвективный тепловой поток на лобовую часть аппарата отсутствует: через всю эту поверхность происходит инжекция, и температура поверхности равна температуре газа над поверхностью.

Конвективный тепловой поток при высокоскоростном обтекании определяется процессами в тонких пограничных слоях, которые трудно описывать в одном расчете совместно с общим течением. Поэтому часто в современных вычислениях моделируют макроструктуру течения без достаточно подробного описания пограничных слоев, а тепловой поток определяют по полученным результатам вычислений из аналитических выражений.

Для локального коэффициента теплоотдачи  $q$  при обтекании тела имеются полуэмпирические соотношения, которые подходят и для высокоскоростного течения при определении зависящих от температуры свойств среды при  $T = T^*$  ( $T^*$  – температура восстановления) [16]:

$$q = \alpha (T_r - T_w), \quad (6)$$

где

$$T_r = T_{\delta} \left( 1 + r M_{\delta}^2 \frac{\gamma(T^*) - 1}{2} \right); \quad (7)$$

– при ламинарном пограничном слое

$$\alpha = \alpha_l = 0,325 C_p (T^*) \rho (T^*) v_{\delta} \operatorname{Re}_x^{-1/2} \operatorname{Pr}^{-2/3}; \quad (8)$$

– при турбулентном пограничном слое

$$\alpha = \alpha_t = 0,029 C_p (T^*) \rho (T^*) v_{\delta} \operatorname{Re}_x^{-1/5} \operatorname{Pr}^{-2/3}; \quad (9)$$

где

$$\operatorname{Re}_x = \frac{v_{\delta} x}{\nu(T^*)}. \quad (10)$$

Здесь  $T_r$  – температура восстановления;  $r$  – коэффициент восстановления температуры,  $r = 0,9$ ;  $T_w$  – температура стенки;  $M_{\delta}$  – число Маха в потоке на внешней границе пограничного слоя;  $\operatorname{Re}_x$  – число Рейнольдса;  $\operatorname{Pr}$  – число Прандтля;  $v_{\delta}$  – скорость на внешней границе пограничного слоя;  $x$  – координата вдоль поверхности;  $C_p(T^*)$  – теплоёмкость;  $\rho(T^*)$  – плотность;  $\nu(T^*)$  – вязкость;  $\gamma(T^*)$  – показатель адиабаты в потоке, – вычисляемые при определяющей температуре  $T^*$ :

$$T^* = \frac{T_{\delta} + T_w}{2} + 0,22(T_r - T_{\delta}), \quad (11)$$

$T_{\delta}$  – температура в потоке на внешней границе погранслоя.

В случае инъекции газа с характерными для рассматриваемых систем дозвуковыми скоростями температура стенки в области инъекции, т.е. на всей лобовой поверхности, соответствует температуре газа, а тепловой поток практически отсутствует. Из изобарической области газ попадает в область у боковой стенки, где значения параметров вне погранслоя определялись на основе результатов вышеприведенных вычислительных экспериментов.

Для сравнения рассматривался также случай, когда на лобовой части аппарата не было устройства инъекции газа.

Температура стенки  $T_w$  зависит как от обсуждавшегося выше аэродинамического нагрева, так и от интенсивности её охлаждения. Особый интерес представляет случай термоизолированной стенки, когда охлаждение происходит только за счет тепло-

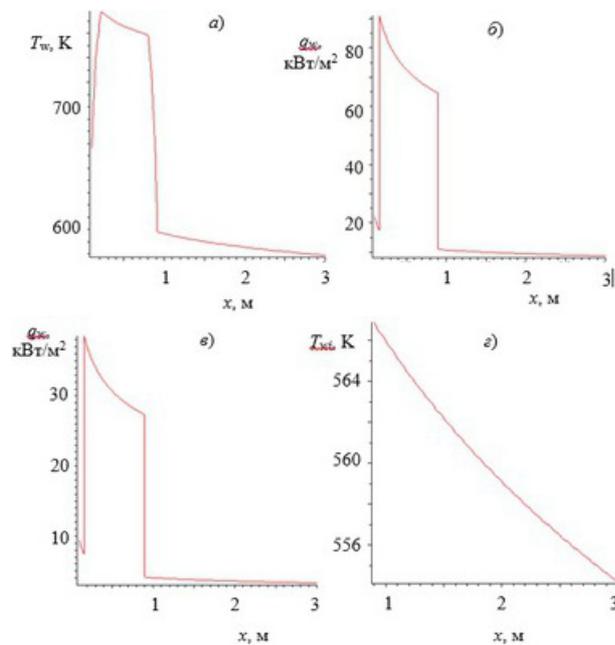
вого излучения в сторону потока. Тогда  $T_w$  определяется из уравнения:

$$\alpha(T_r - T_w) = k\sigma T_w^4, \quad (12)$$

где  $\sigma$  – постоянная Стефана-Больцмана;  $k$  – степень черноты.

Следует отметить, что при высокоскоростном обтекании без инъекции сильнее всего обычно нагревается окрестность критической точки. Для того чтобы уменьшить там тепловые потоки, прибегают к специальным мерам, в том числе к затупленным формам передней части аппарата, локальной инъекции газа, локальному охлаждению и пр. В данной работе указанные эффекты не рассматриваются, вычисление тепловых потоков и температур начинается вне ближайшей окрестности критической точки.

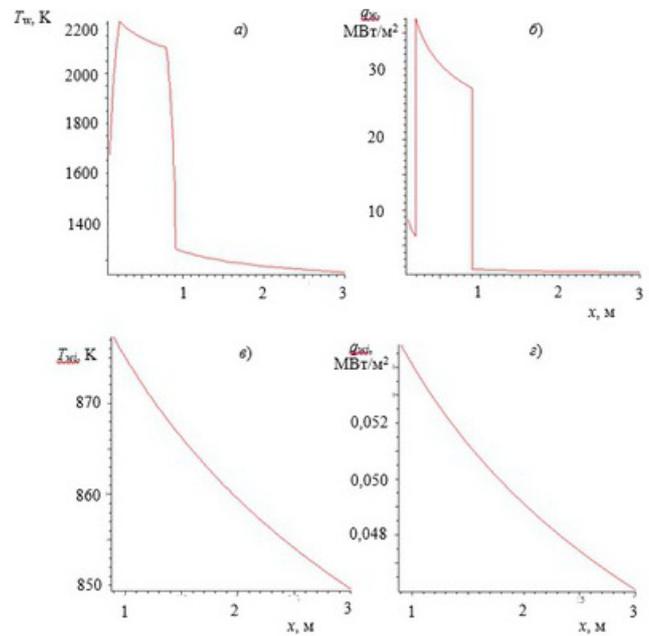
Результаты вычислений по вышеприведенным соотношениям представлены на рисунках 3 и 4.



**Рис. 3.** Тепловые характеристики поверхности по образующей вдоль потока с  $M_{\infty} = 4$  ( $x = 0$  – критическая точка,  $x = 0,9$  м – переход лобовой части в боковую): а – температура термоизолированной стенки с  $\kappa = 1$  без инъекции; б – тепловой поток аэродинамического нагрева для термоизолированной стенки с  $\kappa = 1$  без инъекции; в – тепловой поток аэродинамического нагрева для стенки с  $T_w = 700$  К без инъекции; г – температура термоизолированной стенки с  $\kappa = 1$  с инъекцией

**Fig. 3.** Thermal characteristics of vehicle's surface along the airflow with Mach number  $M_{\infty} = 4$  ( $x = 0$  – critical point,  $x = 0.9$  m – meeting of frontal and lateral surfaces): а – temperature of thermally isolated wall with  $\kappa = 1$  without injection; б – aerodynamic heat flow on thermally isolated wall with  $\kappa = 1$  without injection; в – aerodynamic heat flow on wall with  $T_w = 700$  K without injection; г – temperature of thermally isolated wall with  $\kappa = 1$  with injection

На рисунках видно, что при обычном высокоскоростном обтекании ламинарно-турбулентный переход происходит в носовой части аппарата, причем в



**Рис. 4.** Тепловые характеристики поверхности по образующей вдоль потока с  $M_{\infty} = 10$  ( $x = 0$  – критическая точка,  $x = 0,9$  м – переход лобовой части в боковую): а – температура термоизолированной стенки с  $\kappa = 1$  без инъекции; б – тепловой поток аэродинамического нагрева для термоизолированной стенки с  $\kappa = 1$  без инъекции; в – температура термоизолированной стенки с  $\kappa = 1$  с инъекцией; г – тепловой поток аэродинамического нагрева для термоизолированной стенки с  $\kappa = 1$  с инъекцией

**Fig. 4.** Thermal characteristics of vehicle's surface along the airflow with Mach number  $M_{\infty} = 10$  ( $x = 0$  – critical point,  $x = 0.9$  m – meeting of frontal and lateral surfaces): а – temperature of thermally isolated wall with  $\kappa = 1$  without injection; б – aerodynamic heat flow on thermally isolated wall with  $\kappa = 1$  without injection; в – temperature of thermally isolated wall with  $\kappa = 1$  with injection; г – aerodynamic heat flow on thermally isolated wall with  $\kappa = 1$  with injection

большой части погранслоя течение турбулентно. Тепловые потоки при этом максимальны в области ламинарно-турбулентного перехода на лобовой части



аппарата, они быстро нарастают с увеличением  $M_\infty$ . В случае теплоизолированной поверхности температура также максимальна на лобовой части, она меняется от 750...800 К при  $M_\infty = 4$  до 2 100...2 200 К при  $M_\infty = 10$ . При принудительном охлаждении стенок до температуры  $T_w = 500 \dots 700$  К снимаемые тепловые потоки при рассматриваемых параметрах сильно зависят также от  $T_w$ .

С учетом того, что инжекция стабилизирует температуру лобовой части поверхности ЛА на более низком уровне (в данных примерах 453 К), можно сделать вывод – при энергетически эффективных режимах одновременно осуществляется защита лобовой части аппарата от перегрева.

Кроме того, тепловые потоки на боковую поверхность аппарата при инжекции ниже, чем без инжекции. Это связано с тем, что с поверхностью контактирует легкий газ, для которого меньше и число Маха, и аэродинамический нагрев. Особенно значительно относительное охлаждение боковых стенок при высоких значениях  $M_\infty$ , т.е. где оно требуется больше всего: например, когда  $M_\infty = 10$ , при инжекции температура стабилизируется на уровне 850...875 К, а без нее достигает 1 300 К.

Таким образом, температура носовой и лобовой части ВЛА стабилизируется на независимо выбираемой температуре инжектируемого газа, а на боковой

части температура заметно снижается за счёт поступления газа в пограничный слой. Следовательно, при применении энергетически эффективных изобарических режимов инжекции не только уменьшается аэродинамическое сопротивление и экономится горючее, но и значительно облегчаются задачи обеспечения теплового режима аппарата.

### Математическое моделирование энергетически эффективных режимов перед носовой частью

Реализуемость и эффективность изобарических режимов активного воздействия подтверждается вычислительными экспериментами.

Рассмотрим ВЛА с плоской симметрией (с клиновидными формами как носовой и лобовой частей ВЛА, так и с клиновидным газовым телом). Вычислительные эксперименты в трёхмерной нестационарной постановке показали, что течение близко к двумерному, а трёхмерные эффекты незначительны. Ниже показаны результаты расчёта в нестационарной постановке в предположении плоской симметрии ВЛА. Математическая постановка для числа Маха потока  $M_\infty = 6$  и инжекции несколько нагретого гелия показана на рисунке 5. Система уравнений Навье-Стокса решалась с усреднением по Рейнольдсу (RANS) с  $q-\omega$  моделью турбулентности с учётом сжимаемости.

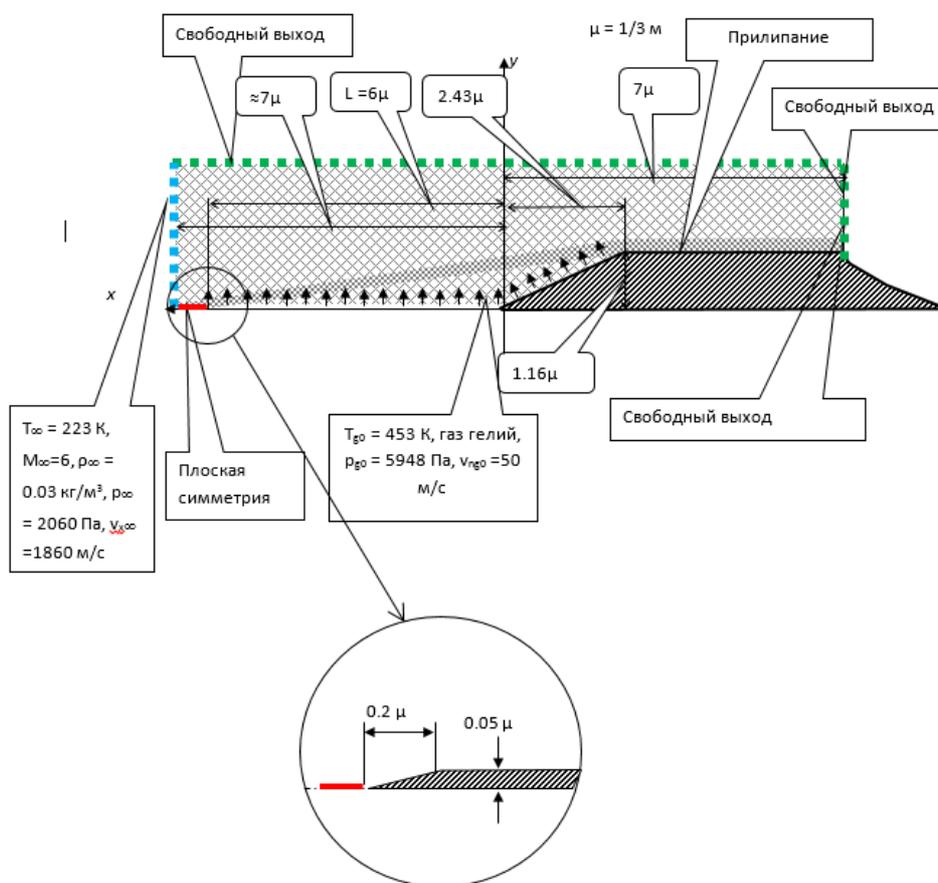


Рис. 5. Постановка задачи при  $M_\infty = 6$   
Fig. 5. Problem statement for  $M_\infty = 6$

На рисунках 6–10 представлены результаты расчёта с помощью программного комплекса ANSYS-CFX; вычисления, проведённые по той же постановке, с помощью разностных схем 7-го порядка точности по пространственным и 4-го по временной координате показали аналогичные результаты.

Расчёты демонстрируют образование заполненной гелием изобарической зоны, давление в которой меняется в пределах  $\pm 5\%$  и соответствует рассчитанному по трансцендентным соотношениям для геометрии формирующегося «газового тела». Температура в изо-

барической зоне равна температуре инъекции, скорости относительно ВЛА невелики и везде существенно меньше локальной скорости звука. В данном случае структура контактного разрыва с высокоскоростным сдвиговым течением на границе «газового тела» слабо выражена: она в основном проявляется в локальных вариациях давления и некотором росте температуры (примерно на 100 К). Обтекание «газового тела» приводит к внешней картине течения, аналогичной обтеканию твёрдого клина.

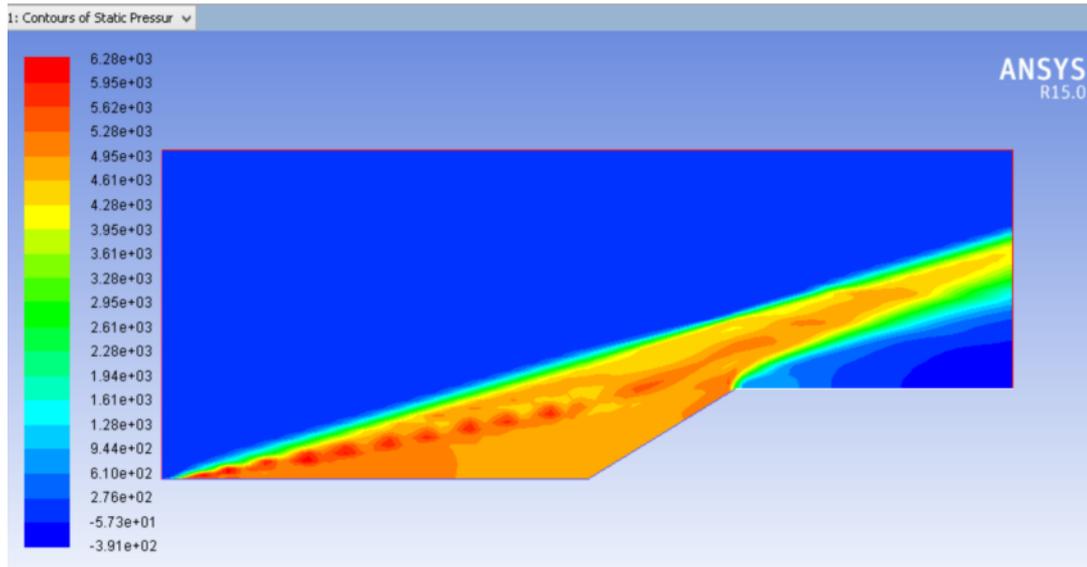


Рис. 6. Пространственное распределение давления, Па. Расчет при  $M_\infty = 6$ , момент времени  $t = 0,157 \cdot 10^{-1}$  с  
 Fig. 6. Spatial distribution of pressure, Pa. Mach number  $M_\infty = 6$ , time  $t = 0.0157$  s

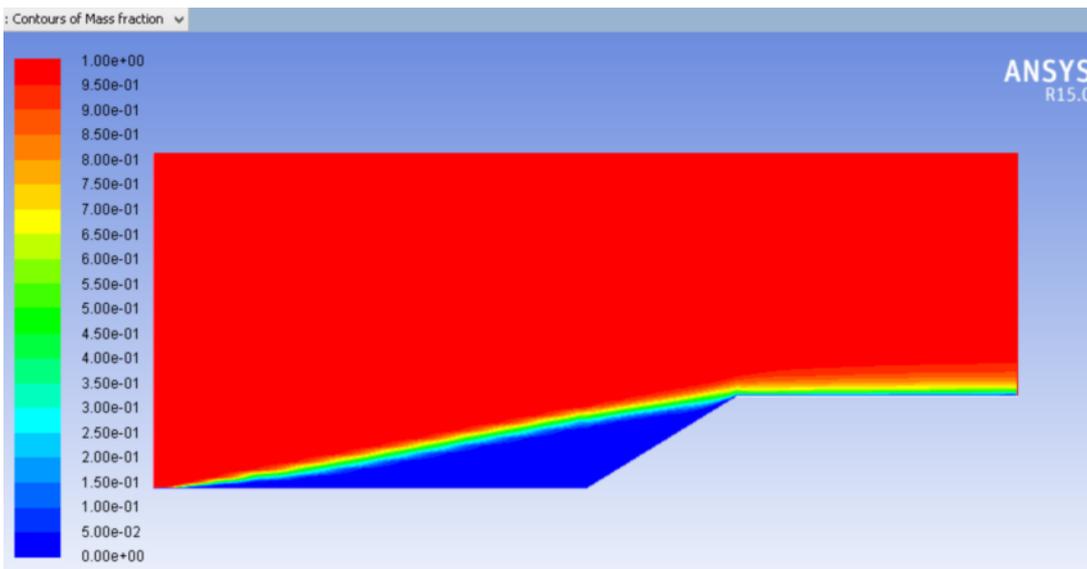


Рис. 7. Пространственное распределение массовой доли воздуха. Расчет при  $M_\infty = 6$ , момент времени  $t = 0,157 \cdot 10^{-1}$  с  
 Fig. 7. Spatial distribution of mass fraction of air. Mach number  $M_\infty = 6$ , time  $t = 0.0157$  s



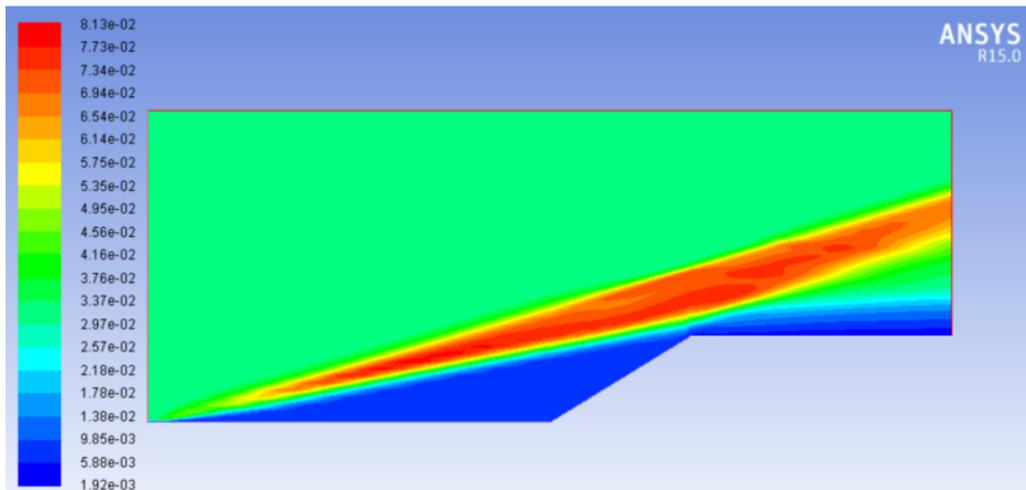


Рис. 8. Пространственное распределение плотности,  $\text{kg/m}^3$ . Расчет при  $M_\infty = 6$ , момент времени  $t = 0,157 \cdot 10^{-1}$  с  
 Fig. 8. Spatial distribution of density,  $\text{kg/m}^3$ . Mach number  $M_\infty = 6$ , time  $t = 0.0157$  s

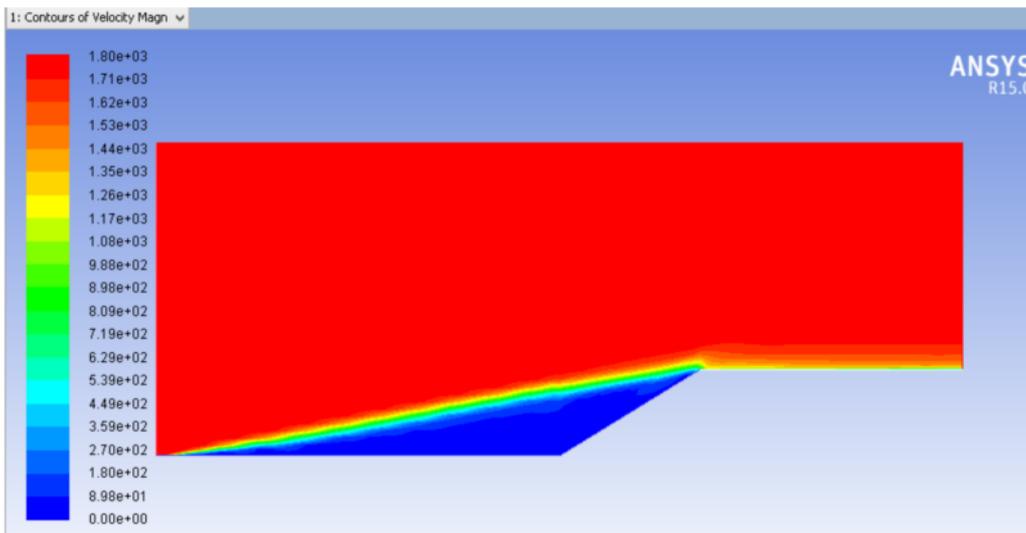


Рис. 9. Пространственное распределение скорости, м/с. Расчет при  $M_\infty = 6$ , момент времени  $t = 0,157 \cdot 10^{-1}$  с  
 Fig. 9. Spatial distribution of velocity, m/s. Mach number  $M_\infty = 6$ , time  $t = 0.0157$  s

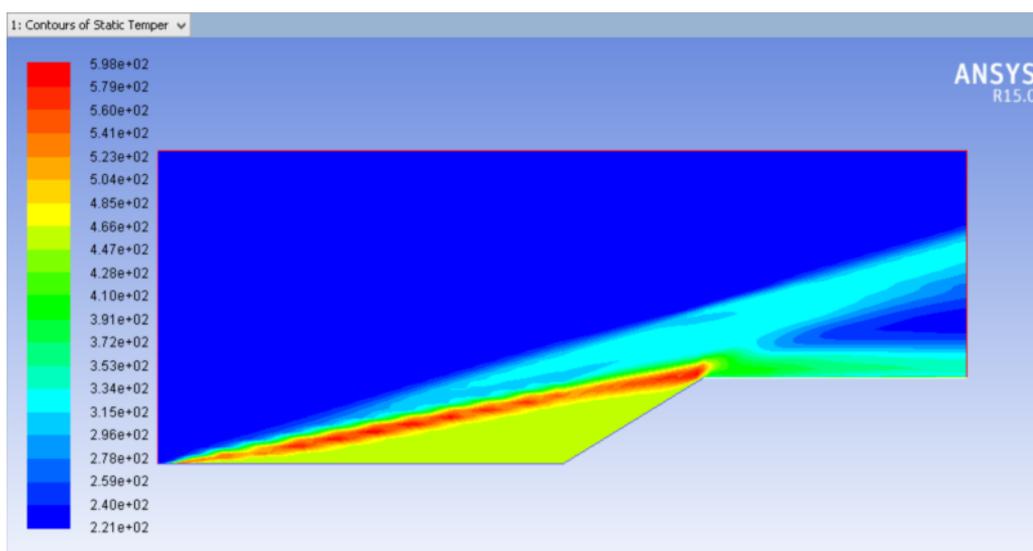


Рис. 10. Пространственное распределение температуры, К. Расчет при  $M_\infty = 6$ , момент времени  $t = 0,157 \cdot 10^{-1}$  с  
 Fig. 10. Spatial distribution of temperature, K. Mach number  $M_\infty = 6$ , time  $t = 0.0157$  s



International Publishing House for scientific periodicals "Space"



Международный издательский дом научной периодики "Спейс"



Таким образом, как показывают вычисления, при указанных выше условиях инъекции действительно формируется газодинамическая структура, качественно и количественно близкая к аналитической.

### Экспериментальная реализация изобарических режимов

Математическое моделирование не может полностью заменить физические эксперименты: действительно, в принципе возможно, что математическая модель не учитывает какой-либо важный аспект, и предсказанная структура окажется нереализуемой или неустойчивой. Для того, чтобы доказать существование многообещающих изобарических режимов активного воздействия, впервые была создана физическая модель системы их реализации и проведены её экспериментальные исследования.

В этих целях использовалась аэродинамическая труба МГТУ им. Баумана. Физическая модель системы реализации изобарических режимов активного воздействия, изображённая на рисунке 11, разрабатывалась и создавалась в МАТИ. Был выбран вариант преимущественно плоской симметрии модели ВЛА.



Рис. 11. Собранная модель в рабочей части аэродинамической трубы

Fig. 11. Assembled model in the work section of the wind tunnel

Внутренняя полость короба модели представляет собой замкнутый объём с системой перегородок, снабжённых смещёнными друг относительно друга вертикальными сквозными пазами для торможения потока втекающего рабочего газа и преобразования его кинетической энергии во внутреннюю энергию и статическое давление. Верхняя часть модели имела протяжённую узкую носовую часть, через пористую поверхность которой (многослойную сетку) осуше-

ствлялась инъекция в соответствии с разработанными ранее принципами реализации изобарических режимов. Нижняя часть модели имела классическую форму клина и обтекалась без инъекции высокоскоростным потоком в обычном режиме. При этом поперечные размеры частей и углы наклона лобовых поверхностей были одинаковы, что позволяло сравнивать обтекание в изобарическом режиме с обычным обтеканием клиновидной модели в любой момент времени и учитывать таким образом нестационарность реального потока. Следует отметить, что из-за сверхзвукового характера потока газодинамические процессы в окрестностях верхней и нижней частей модели протекали независимо друг от друга.

В применявшемся аэродинамическом тракте давление в потоке составляло  $0,072 \cdot 10^5$  Па. Температура невозмущённого потока  $T_\infty = 83$  К, а скорость  $v_\infty = 671$  м/с. Так как течение в изобарической области дозвуковое, то адиабатическое течение газа в тракте инъекции приводит к тому, что температура газа (воздух) при инъекции  $T_{g0}$  равна его начальной температуре (порядка 300 К). Таким образом, его плотность при инъекции молекул со средней массой  $m = 29$  у.а.е.м.

$$\rho_{g0} = \frac{mp_{g0}}{k_B T_{g0}} = 0,185 \text{ кг} / \text{м}^3. \quad (13)$$

В соответствии с результатами вычислений, проведённых по вышеуказанным методикам, расход инжектируемого газа определяется необходимостью обеспечения нормальной к поверхности скорости инжектируемого газа над сеткой  $v_{g0} = 85$  м/с. При  $v_{g0} = 50$  м/с изобарическая область формировалась над большей частью передней поверхности, но на её части, близкой к месту перехода к боковой поверхности, уже наблюдалась ударная волна и значительное повышение давления. Ещё меньшие расходы приводят к тому, что изобарический режим не реализуется.

Ширина сетки созданной физической модели  $H = 0,21$  м, а её длина  $L = 0,15$  м. Таким образом, номинальный массовый расход в тракте

$$M' = HLv_{g0}\rho_{g0} = 0,5 \text{ кг} / \text{с}. \quad (14)$$

Была проведена серия экспериментов. Первый из них окончился разрушением стальной сетки ввиду силы трения высокоскоростного потока воздуха о её поверхность. Контакт высокоскоростного потока с сеткой произошёл из-за того, что вовремя не сработала система инъекции в модель, и последняя подвер-



глась воздействию потока воздуха при обычном режиме обтекания. Это показывает, в частности, значительность силы трения при высокоскоростном обтекании. Напомним, что сама идея применения изобарических режимов для снижения аэродинамического сопротивления при высокоскоростном полёте связана с избавлением от сил трения на лобовой и носовой частях обтекаемого тела – путём оттеснения высокоскоростного потока воздуха от сетки за счёт инъекции. Это и позволяет удлинить носовую часть аппарата так, чтобы снизились силы, связанные со статическим давлением на переднюю часть поверхности.

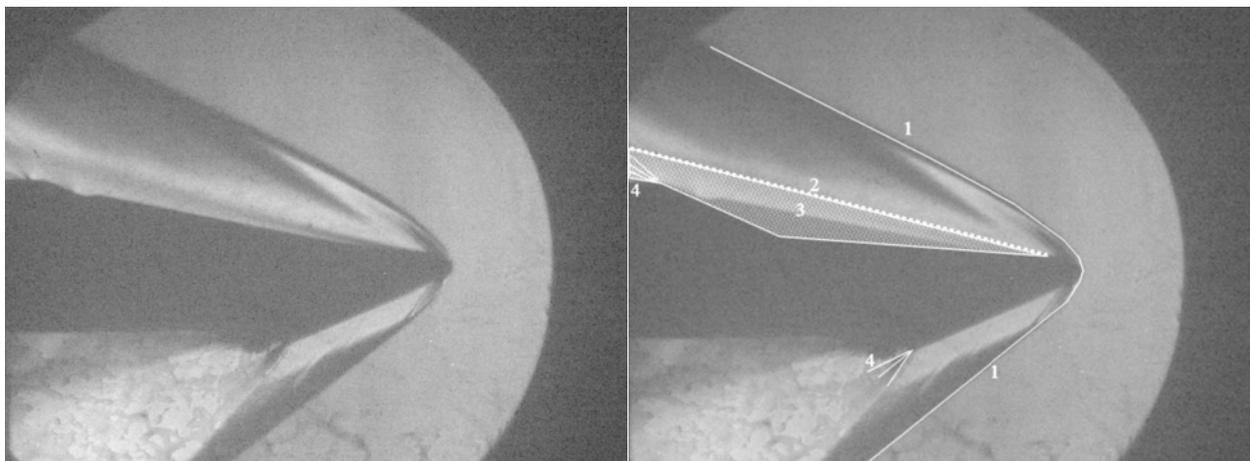
Отметим, что сила давления также значительна: в начальные моменты работы аэродинамической трубы модель испытывала заметные (несколько миллиметров) упругие деформации.

Для проведения дальнейших экспериментов конструкция модели была доработана в плане повыше-

ния прочности сетки. Модифицированная конструкция модели системы снижения аэродинамического сопротивления применялась во всех последующих экспериментах.

Статическое давление в высокоскоростном потоке воздуха составило приблизительно 10 000 Па, число Маха 3,5, полное давление в формкамере  $7,5 \cdot 10^5$  Па, температура менялась со временем примерно на 10 С. Обдувание модели продолжалось приблизительно 30 с.

В соответствии с характерными результатами (рис. 12–14), показания датчиков статического давления, находящихся на верхней части модели, достаточно близки и составляют приблизительно  $0,3 \cdot 10^5$  Па. Датчики статического давления на нижней части модели показали приблизительно  $0,45 \cdot 10^5$  Па.



**Рис. 12.** Теневая фотография для  $t = 27$  с: 1 – ударная волна; 2 – контактный разрыв на границе инжектированного газа и высокоскоростного потока (вихревая полоса); 3 – изобарическая зона с инжектированным газом; 4 – волна разрежения  
**Fig. 12.** Shadow photograph for  $t = 27$  s: 1 – shock wave; 2 – contact velocity jump (vortex layer) on interface of injected gas and high speed air flow; 3 – isobaric zone with injected gas; 4 – rarefaction wave

По результатам можно однозначно заключить, что в экспериментах реализован именно тот изобарический режим инъекции, который был предсказан аналитически и подробно исследован численно.

Об этом свидетельствует:

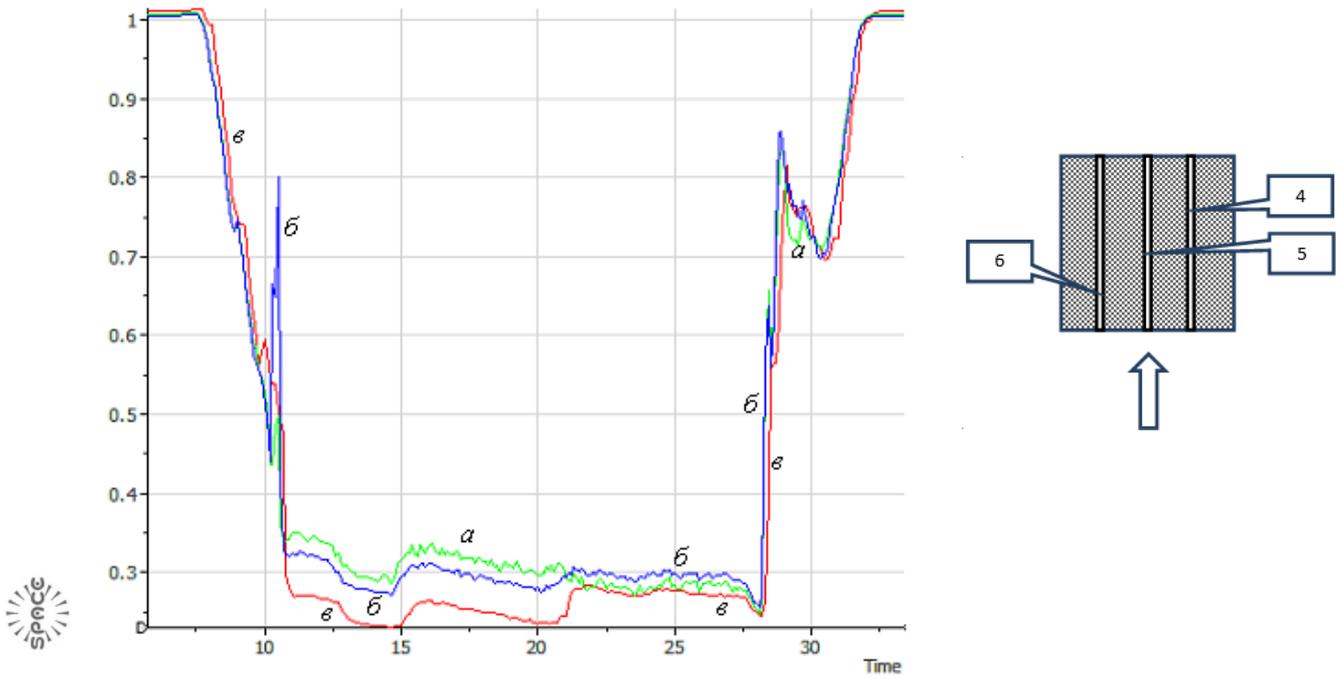
- наличие плоской границы раздела зоны высокоскоростного потока с инжектированным газом (вихревой полосы);
- наличие одной ударной волны, практически плоской (с точностью до незначительного участка у затупления), соответствующей обтеканию «газового тела» этой зоны с инжектированным газом;

- отсутствие ударной волны, соответствующей обтеканию лобовой поверхности верхней части модели;

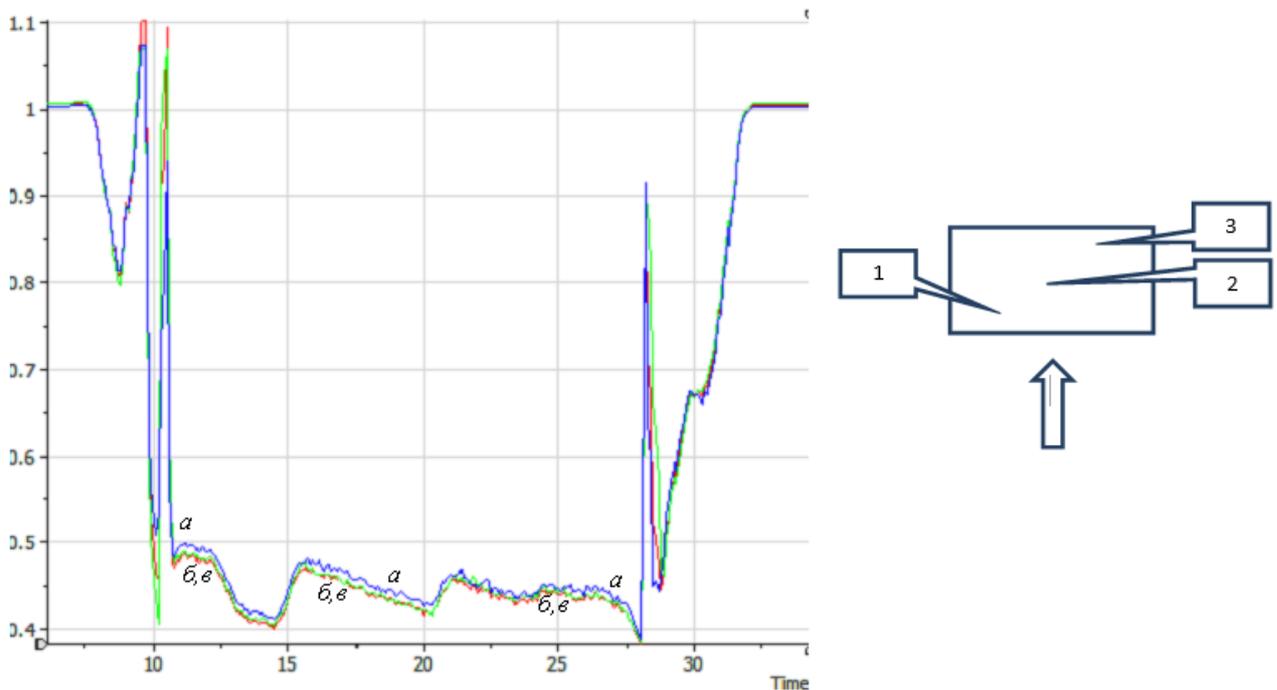
- однозначная зависимость углов наклона к горизонтальной оси границы раздела зоны высокоскоростного потока с инжектированным газом и соответствующей плоской ударной волны от расхода инъекции;

- относительно малые отличия в значениях давления, измеренных разными датчиками в зоне с инжектированным газом.





**Рис. 13.** Временная зависимость значений статического давления,  $10^5$  Па, по показаниям датчиков (положения см. на эскизе) на верхней части модели; кривая *a* – датчик 4 (ближний к лобовой поверхности модели); *b* – датчик 5; *v* – датчик 6 (ближний к критической точке)  
**Fig. 13.** Temporal dependences of static pressure,  $10^5$  Pa, according to data of sensors on upper side of model (positions are shown on the draft): line *a* – sensor 4 (near wide part of model); *b* – 5; *v* – 6 (near critical point)



**Рис. 14.** Временная зависимость значений статического давления,  $10^5$  Па, по показаниям датчиков (положения см. на эскизе) на нижней части модели: кривая *a* – датчик 1 (ближний к критической точке модели); *b* – датчик 2; *v* – датчик 3 (ближний к лобовой поверхности).  
**Fig. 14.** Temporal dependences of static pressure,  $10^5$  Pa, according to data of sensors on lower side of model (positions are shown on the draft): line *a* – sensor 1 (near critical point); *b* – 2; *v* – 3 (near wide part of model)

Так как в данных экспериментах при классическом обтекании клина силы трения не измерялись, а при изобарическом режиме они отсутствуют, то с точки зрения эффективности системы снижения аэродинамического сопротивления основной интерес представляют сравнительные измерения статического давления в верхней и нижней частях модели.

Видно, что измеренные значения статического давления в верхней части модели более чем в 1,5 раза ниже, чем в нижней части. Это означает, что аэродинамическое сопротивление за счёт инжекции в изобарическом режиме снижается ещё больше (в этом режиме ещё дополнительно отсутствуют силы трения).

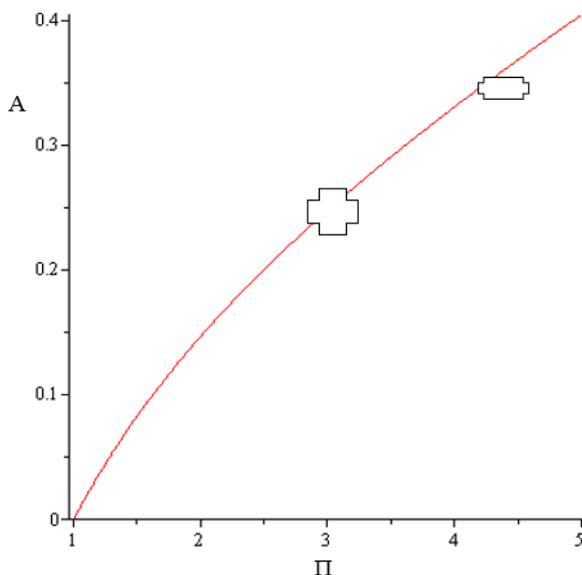
Между значениями статического давления в разных точках верхней части имеются некоторые отличия ( $\pm 5 \dots 10 \%$ ), что, в соответствии с вычислитель-

ными экспериментами, связано с относительно малой скоростью звука в зоне инжекции по сравнению со скоростью потока воздуха в аэродинамической трубе. При повышении температуры инжекции и/или применении газа с малой молекулярной массой эти различия снижаются. Однако указанные отличия относительно невелики, и зона может называться изобарической, тем более что сохраняются все эффекты, приводящие к снижению аэродинамического сопротивления.

Важно проверить выполнение в эксперименте аналитических соотношений для эффективности системы снижения аэродинамического сопротивления. Они основаны на зависимости между углом  $\alpha$  наклона границы раздела зоны высокоскоростного потока с инжектированным газом и средним повышением  $\Pi$  давления в изобарической зоне  $p_{inj}$ :

$$\alpha = \arctg \left( \frac{1}{2} \frac{\left( \frac{1}{2} \frac{(\Pi k + \Pi + k - 1)}{k} - 1 \right) \sqrt{2kM} \sqrt{4 - \frac{2(\Pi k + \Pi + k - 1)}{kM^2}}}{\sqrt{k(\Pi k + \Pi + k - 1) \left( 1 + M^2 \left( \frac{1}{2} k + \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \frac{\Pi k + \Pi + k - 1}{kM^2} \right) \right)}} \right). \quad (15)$$

Здесь  $\Pi = p_{inj}/p_{\infty}$ ,  $p_{\infty}$  – статическое давление в высокоскоростном потоке;  $k$  – показатель адиабаты;  $M$  – число Маха в высокоскоростном потоке.



**Рис. 15.** Сопоставление теоретических (кривая) и экспериментальных (значки) зависимостей между  $\Pi$  и  $\alpha$   
**Fig. 15.** Comparison of theoretical (line) and experimental (crosses) dependences of  $\Pi$  and  $\alpha$

Из рисунка 15 следует, что указанное соотношение выполняется в среднем с погрешностью порядка экспериментальной. Для нижней части модели неопределённость по эффективному углу  $\alpha$  связана с затуплением клина (из-за применения защитной сетки)

и поворотом модели под действием высокоскоростного потока, для верхней части модели – с криволинейностью и размытым характером вихревой полосы на границе раздела зоны инжекции и высокоскоростного потока. По  $\Pi$  неопределённость связана с колебаниями давления в газоледере, потоке и за ударной волной. Отсюда следует, что в экспериментах получено качественное и количественное согласие с развитыми ранее теоретическими положениями. Это, в частности, значит, что если при почти предельно малом для рассматриваемого эффекта значении числа Маха  $M = 3,5$  аэродинамическое сопротивление удалось уменьшить более чем в 1,5 раза, то при высокоскоростных полётах с  $M > 3,5$  оно уменьшится многократно.

Итак, впервые в эксперименте реализованы изобарические режимы течения при профилированном активном воздействии, создана и испытана экспериментальная модель системы снижения лобового сопротивления высокоскоростных летательных аппаратов на основе реализации указанных энергетически эффективных режимов. Результаты измерений качественно и количественно согласуются с предсказанными аналитически и полученными численно.

### Комплексная модель ВЛА с системой снижения лобового сопротивления, основанной на изобарических режимах

Практическая применимость развитых представлений требует специального исследования, так как внешне привлекательная система могла бы потребовать таких ресурсов или так воздействовать на другие подсистемы, что её применение оказалось бы



нецелесообразным или даже в принципе невозможным в реальном ВЛА.

В данной работе для демонстрации принципиальной возможности эффективного применения приведённых выше режимов рассмотрен гипотетический летательный аппарат, построена его комплексная математическая модель, проведены расчёты выполнения полёта и сравнение с ВЛА традиционной конструктивной схемы, выполняющим аналогичную задачу.

Из формулы Циолковского можно получить, что масса горючего для стартового комплекса пропорциональна конечной массе летательного аппарата, и уменьшение лобового сопротивления позволяет снизить массу всего стартового комплекса: при наличии системы снижения лобового сопротивления нет необходимости компенсировать его тягой двигателя, т.е. топливо ВЛА не понадобится, а запас газа, необходимый для выполнения аналогичных миссий, может иметь меньшую массу. Таким образом, можно пропорционально уменьшить массу горючего для стартового комплекса, заменив двигатель системой снижения лобового сопротивления.

Однако интенсивная инжекция требует значительных запасов газа. Интересно, как применение системы снижения лобового сопротивления повлияет на стартовую массу летательного аппарата с учётом массы конструкции, условий полёта, характеристик заменяемого двигателя и пр. Некоторые предварительные оценки приведены в [14]; для их уточнения целесообразно более подробно провести комплексное математическое моделирование рабочих и сопутствующих процессов при полёте ВЛА в некоторой заданной миссии, подобное, например, [17] и [18].

Динамика полёта высокоскоростного летательного аппарата и тепловые характеристики рассчитываются аналогично тому, как это было сделано в модели, описанной в [17] (с учётом различных параметров инжектируемого газа и воздуха).

В ряде случаев из конструктивных соображений предпочтительна форма ВЛА, близкая к цилиндрической. Однако анализ показывает, что для применения системы снижения сопротивления на основе изобарических режимов предпочтительна многогранная форма. Такая (трёхгранная) форма выбрана в данном примере. Носовая и задняя части представляют собой пирамиды, а центральная – призму; в их основаниях лежат правильные многоугольники.

Изменение массы летательного аппарата с твердотопливным двигателем описывается формулой:

$$\frac{dM_{fuel}}{dt} = -m; \quad (16)$$

аппарата с системой снижения лобового сопротивления –

$$\frac{dM_{He}}{dt} = -m_{He}, \quad (17)$$

где  $m$  – расход горючего;  $m_{He}$  – расход инжектируемого газа.

Расход горючего рассчитывается по формуле:

$$m = \frac{M_{fuel0}}{t_{engine}}, \quad (18)$$

где  $M_{fuel0}$  – начальная масса топлива;  $t_{engine}$  – время работы двигателя.

Расход инжектируемого газа рассчитывается следующим образом:

$$m_{He} = \rho_{He} v_{He} L_{He}, \quad (19)$$

где  $\rho_{He}$ ,  $v_{He}$ ,  $L_{He}$  – плотность, скорость и толщина слоя газа соответственно. Характеристики газа берутся в точке перехода носовой части аппарата в центральную,  $L_{He}$  считается равной 1/10 радиуса окружности, вписанной в поперечное сечение центральной части аппарата.

Угол атаки в данном примере сохраняется постоянным. При инжекции трение в носовой части отсутствует.

Газ из бака направляется на теплообменники, где он охлаждает высокотемпературные и низкотемпературные узлы и агрегаты до допустимого уровня. При этом газ нагревается и расширяется, что обеспечивает экономию массы при сохранении требуемого объёмного расхода. Далее газ направляется в инжекторы и выпускается по секциям, которые при ненулевом угле атаки должны находиться при разном давлении. Бортовой компьютер получает информацию с датчиков температуры и давления от бака с газом, приборов и узлов ВЛА, в том числе низкотемпературных и от выдерживающих высокие температуры, а также из объёмов газа в изобарических областях, контактирующих с высокоскоростным потоком воздуха (по секциям). На основе этой информации он управляет потоками газа путём частичного или полного открытия и закрытия вентилей. При этом обеспечивается как приемлемый тепловой режим узлов и агрегатов ВЛА, так и нагрев рабочего газа и его расход по секциям с учётом изменяющегося скоростного напора воздушного потока (при изменении высоты полёта и угла атаки).

Баки для длительного хранения криогенных жидкостей обычно выполняют в виде сосудов Дьюара. Два сосуда расположены один в другом, и между ними создан вакуумированный промежуток. Такие сосуды должны каждый выдерживать перепад давления как минимум в одну атмосферу. Преимуществом этих сосудов является малая теплопроводность и, как следствие, достаточно длительное хранение



криогенных жидкостей с малыми потерями, а недостатком – большой вес.

Для выполнения миссии, продолжающейся минуты, в более длительном хранении нет необходимости, тем более что во время активной фазы работы системы обеспечения энергетически эффективных режимов происходит постоянный отбор массы в жидком или газообразном виде, причём характерные перепады давления порядка и меньше атмосферы. Поэтому более предпочтительным в данном случае представляется вариант с однослойным сосудом с пористой теплоизоляцией, который может быть значительно легче сосуда Дьюара.

Вышеприведенная комплексная модель описывает аэродинамику высокоскоростного обтекания и динамику движения рассматриваемых летательных аппаратов.

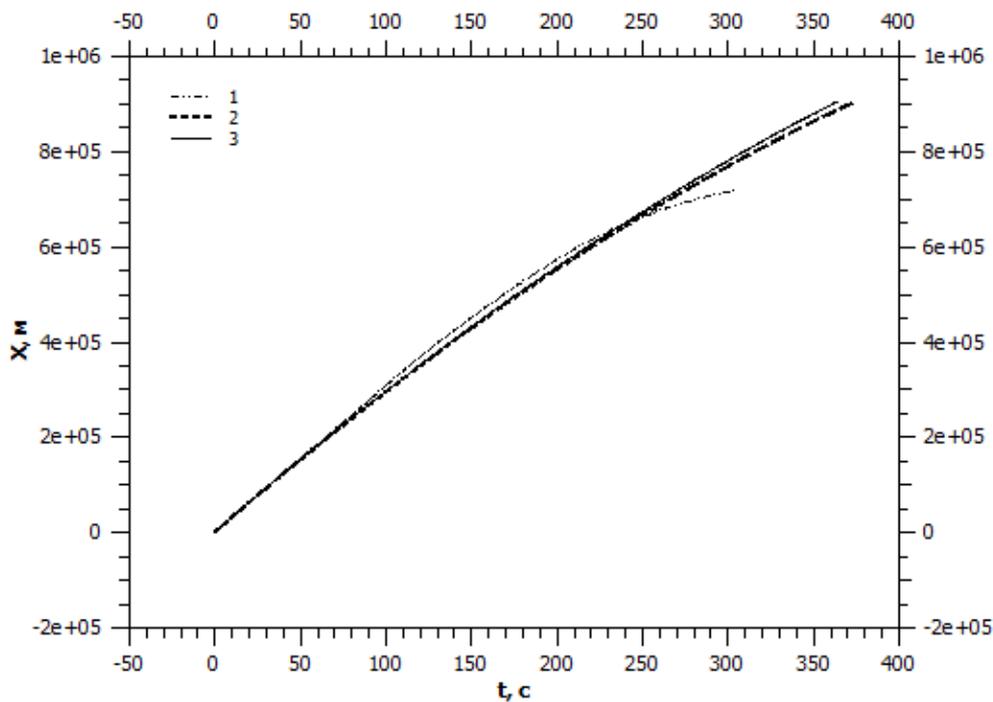
Представлены результаты трёх расчётов по комплексной модели:

- 1) ВЛА с твердотопливным двигателем;
- 2) ВЛА с системой снижения лобового сопротивления, когда погранслоем у боковой части заполнен воздухом;

3) ВЛА с системой снижения лобового сопротивления, когда погранслоем у боковой части заполнен инжектируемым газом.

В действительности в погранслоем у боковой поверхности аппарата попадает смесь воздуха и инжектированного газа, и результаты для ВЛА с системой снижения лобового сопротивления должны находиться между результатами для 2 и 3 случаев.

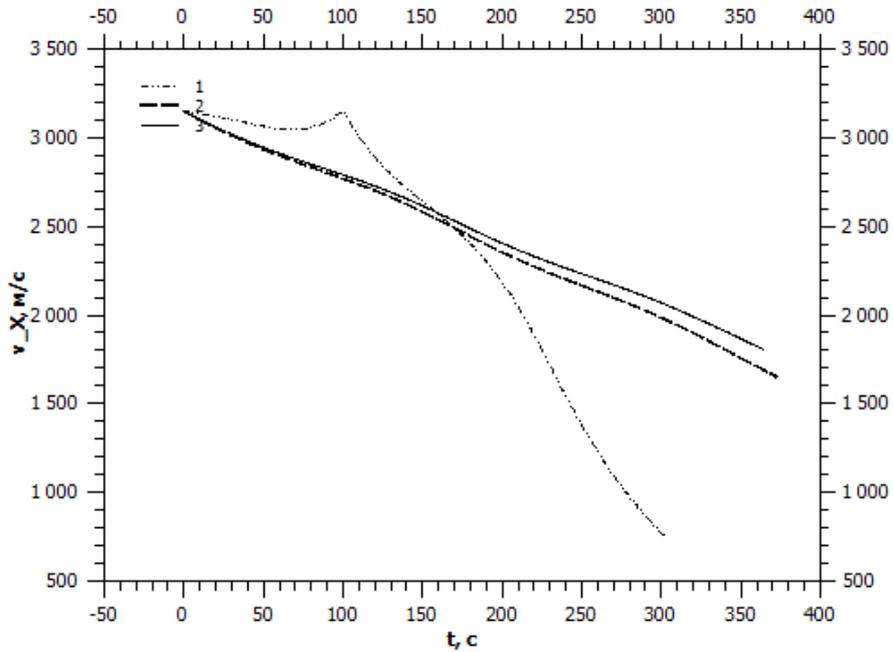
На рис. 16–18 представлены расчёты для ВЛА, имеющего следующие параметры: радиус описанной окружности сечения центральной части аппарата 0,773 м; длина носовой части 0,81 м; длина центральной части 4,57 м; длина задней части 0,81 м; длина инжектора 2,33 м. Масса горючего для аппарата с двигателем составляет 646 кг; масса запаса инжектируемого газа для аппарата со снижением сопротивления 100 кг; температура воздуха 223 К; температура инжектируемого гелия 1 000 К; угол атаки 3 градуса для аппарата с двигателем и 4 градуса для аппарата с инжекцией; эффективная толщина слоя инжектируемого газа (гелия) над центральной частью 0,04 м.



**Рис. 16.** Дальность полёта, м: 1 – аппарат с твердотопливным двигателем; 2 – аппарат с системой снижения лобового сопротивления, трение в погранслоем рассчитывается по воздуху; 3 – аппарат с системой снижения лобового сопротивления, трение в погранслоем рассчитывается по гелию

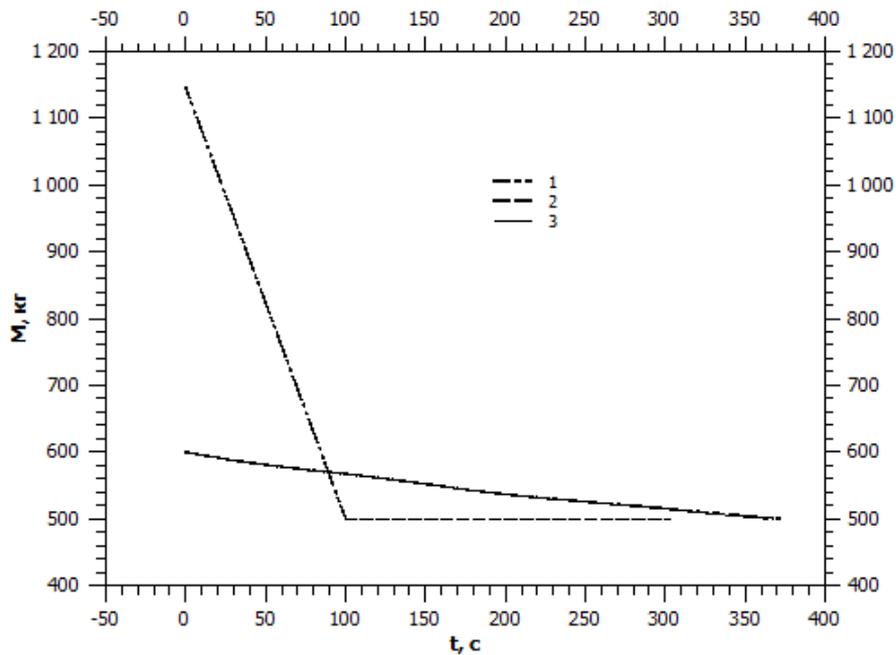
**Fig. 16.** Distance of flight, m: 1 – vehicle with solid propellant engine; 2 – vehicle with system of aerodynamic drag reduction, friction is calculated for boundary layer with air; 3 – vehicle with system of aerodynamic drag reduction, friction is calculated for boundary layer with injected gas





**Рис. 17.** Горизонтальная скорость полёта, м/с: 1 – аппарат с твердотопливным двигателем; 2 – аппарат с системой снижения лобового сопротивления, трение в погранслое рассчитывается по воздуху; 3 – аппарат с системой снижения лобового сопротивления, трение в погранслое рассчитывается по гелию

**Fig. 17.** Horizontal velocity of flight, m/s: 1 – vehicle with solid propellant engine; 2 – vehicle with system of aerodynamic drag reduction, friction is calculated for boundary layer with air; 3 – vehicle with system of aerodynamic drag reduction, friction is calculated for boundary layer with injected gas



**Рис. 18.** Масса аппарата, кг: 1 – аппарат с твердотопливным двигателем; 2 – аппарат с системой снижения лобового сопротивления, трение в погранслое рассчитывается по воздуху; 3 – аппарат с системой снижения лобового сопротивления, трение в погранслое рассчитывается по гелию

**Fig. 18.** Mass of vehicle, kg: 1 – vehicle with solid propellant engine; 2 – vehicle with system of aerodynamic drag reduction, friction is calculated for boundary layer with air; 3 – vehicle with system of aerodynamic drag reduction, friction is calculated for boundary layer with injected gas

Судя по результатам, случаи 2 и 3 различаются весьма незначительно, т.е. в данном случае ошибка из-за неопределённости в степени перемешивания

газа и воздуха у боковой поверхности ВЛА не очень велика.

ВЛА с системой снижения лобового сопротивления выполняет миссию не хуже ВЛА с двигателем,



но позволяет почти вдвое (на  $\approx 550$  кг) уменьшить массу стартового комплекса и, соответственно, во столько же раз уменьшить массу горючего, необходимого для разгона ВЛА (на  $\approx 2,5$  т).

### Выводы

Показано, что при активном воздействии на высокоскоростной поток за счёт инъекции газа в изобарических режимах могут быть обеспечены приемлемые тепловые условия узлов и агрегатов.

Представлены результаты математического моделирования указанных режимов в квазитрёхмерной нестационарной постановке.

Впервые создан прототип системы снижения аэродинамического сопротивления на основе инъекции газа при теоретически полученных условиях формирования изобарических режимов. Проведенные трубные экспериментальные исследования показали реализуемость этих режимов и согласие с аналитическими и численными результатами.

Расчёты с помощью комплексной модели показывают, что существуют такие миссии, при которых за счёт снижения лобового сопротивления стартовая масса аппарата может быть существенно уменьшена (примерно в 2 раза).

*Авторы выражают искреннюю признательность В.Т. Калугину, А.Г. Голубеву, В.М. Овчинникову, Д.А. Квасникову за ценные советы и содействие в проведении экспериментов.*

### Список литературы

1. Александров А.Ф., Тимофеев И.Б., Чувашев С.Н. Безударное сверхзвуковое движение в атмосфере: принципиальная возможность и практическая реализация. М.: Изд. МГУ, 1996 (препринт физического факультета п 4/1996).
2. Александров А.Ф., Арделян Н.В., Тимофеев И.Б., Чувашев С.Н. О возможности существенного снижения энергозатрат на сверх- и гиперзвуковое движение при нагреве воздуха и/или вдуве плазмы // XXVI Звенигородская конференция по физике плазмы и управляемого термоядерного синтеза, 1999. С. 252.
3. Александров А.Ф., Тимофеев И.Б., Чувашев С.Н. Безударное сверхзвуковое движение в атмосфере: принципиальная возможность и практическая реализация // Прикладная физика. 1996. № 3. С. 112–117.
4. Александров А.Ф., Тимофеев И.Б., Чувашев С.Н. О концепции обеспечения безударного сверхзвукового движения в атмосфере // 4 межгосударственный симпозиум по радиационной плазмодинамике: тезисы докладов. М.: МГТУ, 1997. С. 12–13
5. Патент RU 2107010 с1 б64с 21/02, 23/00, 30/00 Способ обеспечения безударного сверхзвукового движения летательного аппарата в атмосфере и летательный аппарат / Александров А.Ф., Чувашев С.Н., Тимофеев И.Б. // Приоритет от 22.07.96. Изобретения. 10.03.1998. 7 с.

6. Chuvashov S., Ershov A., Liagushin B., Timofeev B., Timofeev I. Ambient air modification for drag reduction. Similarity analysis results for modeling of weakly ionized plasma aerodynamics // Weakly ionized gases workshop: proc. Colorado: USAF academy, 1997. P. M3–M17.

7. Chuvashov S., Ardelyan N., Chae J., Kosmachevskii K., Timofeev I. Class of energy saving regimes of supersonic propagation with plasma formation before streamlined bodies // 9-th int. Space planes and hypersonic systems and technologies conference. 3-rd weakly ionized gases symposium. Aiaa-99-4968. Norfolk, Virginia, USA. 1999. P. 2.85–2.96

8. Чувашев С.Н., Любченко Ф.Н., Костенко О.Ф. Концепция космического аппарата с лучевой плазмообразующей системой для полетов по сверхнизким орбитам // 4 межгосударственный симпозиум по радиационной плазмодинамике: М.: МГТУ, 1997. С. 206–207.

9. Арделян Н.В., Чувашев С.Н. Математическое моделирование безударных режимов сверхзвукового обтекания при профилированном нагреве газа // XXVI Звенигородская конференция по физике плазмы и управляемого термоядерного синтеза, 1999. С. 261.

10. Арделян Н.В., Чувашев С.Н. Вычислительные эксперименты по устранению сильных ударных волн и многократному снижению лобового сопротивления при сверхзвуковом движении тел в газах // 7 Всероссийская Школа-семинар «Современные проблемы математического моделирования». Ростов-на-Дону. РГУ. Труды. 1997. С. 11–14.

11. Арделян Н.В., Космачевский К.В., Чувашев С.Н. Математическое моделирование энергетически эффективных режимов сверхзвукового движения летательного аппарата с вдувом плазмы (газа) из иглы на носу // XXVI Звенигородская конференция по физике плазмы и управляемого термоядерного синтеза: 1999. С. 264.

12. Ершов А.П., Розанов В.В., Сысоев Н.Н., Тимофеев И.Б., Чувашев С.Н., Шибков В.М. Наблюдение безударного сверхзвукового движения плазмы капиллярного разряда в атмосфере // 4 межгосударственный симпозиум по радиационной плазмодинамике. М.: МГТУ, 1997. С. 122–123

13. Ершов А.П., Тимофеев И.Б., Чувашев С.Н., Шибков В.М. Экспериментальная реализация формирования горячего канала и сверхзвукового движения плазменного тела в атмосфере без возбуждения ударных волн // 4 межгосударственный симпозиум по радиационной плазмодинамике. М.: МГТУ, 1997. С. 124–125.

14. Чувашев С.Н., Чувашева Е.С. Альтернативная энергетика гиперзвукового движения при активном воздействии на поток // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAE). 2014. № 18. С. 95–110.

15. Bar-Meir G. Fundamentals of compressible fluid mechanics. Chicago, IL. 2013. 465 pp. <http://www.potto.org/gd/gasdynamics.pdf>



16. Кутателадзе С.С. Теплопередача и гидродинамическое сопротивление. М.: Энергоатомиздат, 1990. 367 с.

17. Чувашева Е. С., Чувашев С. Н., Зорина И. Г. Комплексная математическая модель для концептуального проектирования высокоскоростных летательных аппаратов // Информационные технологии. 2012. № 11 (195). С. 10–14.

18. Чувашева Е.С., Чувашев С.Н. Выбор рациональных характеристик высокоскоростных летательных аппаратов разных масштабов на основе комплексной математической модели // Информационные технологии. 2013. № 8. С. 12–16.

### References

1. Aleksandrov A.F., Timofeev I.B., Chuvashv S.N. Bezudarnoe sverhzhukovoe dviženie v atmosfere: principial'naâ vozmožnost' i praktičeskaâ realizaciâ. Moscow: Izd. MGU Publ., 1996 (preprint fizičeskogo fakul'teta n 4/1996) (in Russ.).

2. Aleksandrov A.F., Ardelyan N.V., Timofeev I.B., Chuvashv S.N. O vozmožnosti sušestvennogo sniženiâ ènergozatrat na sverh- i giperzhukovoe dviženie pri nagreve vozduha i/ili vduve plazmy. XXVI Zvenigorodskaa konferenciâ po fizike plazmy i upravlaemogo termoâdernogo sinteza: 1999, p. 252 (in Russ.).

3. Aleksandrov A.F., Timofeev I.B., Chuvashv S.N. Bezudarnoe sverhzhukovoe dviženie v atmosfere: principial'naâ vozmožnost' i praktičeskaâ realizaciâ. Prikladnaâ fizika, 1996, no. 3, pp. 112–117 (in Russ.).

4. Aleksandrov A.F., Timofeev I.B., Chuvashv S.N. O koncepcii obespečeniâ bezudarnogo sverhzhukovogo dviženiâ v atmosfere. 4 mežgosudarstvennyj simpozium po radiacionnoj plazmodinamike: tezisy dokladov. Moscow: MGTU Publ., 1997, pp. 12–13 (in Russ.).

5. Aleksandrov A.F., Chuvashv S.N., Timofeev I.B. Sposob obespečeniâ bezudarnogo sverhzhukovogo dviženiâ letatel'nogo apparata v atmosfere i letatel'nyj apparat. Patent RU 2107010 c1 b64c 21/02, 23/00, 30/00. Priority of 22.07.96. Izobretenia, 10.03, 1998. 7 p (in Russ.).

6. Chuvashv S., Ershov A., Liagushin B., Timofeev B., Timofeev I. Ambient air modification for drag reduction. Similarity analysis results for modeling of weakly ionized plasma aerodynamics. Weakly ionized gases work-shop: proc. Colorado: USAF Academy, 1997, pp. M3–M17 (in Eng.).

7. Chuvashv S., Ardelyan N., Chae J., Kosmachevskii K., Timofeev I. Class of energy saving regimes of super-sonic propagation with plasma formation before streamlined bodies. 9-th int. Space planes and hypersonic systems and technologies conference. 3-rd weakly ionized gases symposium, AIAA-99-4968, Norfolk, Virginia, USA, 1999, pp. 2.85–2.96 (in Eng.).

8. Chuvashv S.N., Lyubchenko F.N., Kostenko O.F. Koncepciâ kosmičeskogo apparata s lučevoj plazmoobrazujušej sistemoj dlâ poletov po sverhnikkim orbitam. 4

mežgosudarstvennyj simpozium po radiacionnoj plazmodinamike, Moscow: MGTU Publ., 1997, pp. 206–207 (in Russ.).

9. Ardelyan N.V., Chuvashv S.N. Matematičeskoe modelirovanie bezudarnyh režimov sverhzhukovogo obtekaniiâ pri profilirovannom nagreve gaza. XXVI Zvenigorodskaa konferenciâ po fizike plazmy i upravlaemogo termoâdernogo sinteza, 1999, p. 261 (in Russ.).

10. Ardelyan N.V., Chuvashv S.N. Vyčislitel'nye èksperimenty po ustraneniû sil'nyh udarnyh voln i mnogokratnomu sniženiû lobovogo soprotivleniâ pri sverhzhukovom dviženii tel v gazah. 7 Vserossijskaâ Škola-seminar "Sovremennye problemy matematičeskogo modelirovaniâ". Rostov-na-donu, RGU Trudy, 1997, pp. 11–14 (in Russ.).

11. Ardelyan N.V., Kosmachevskii K.V., Chuvashv S.N. Matematičeskoe modelirovanie ènergetičeski èffektivnyh režimov sverhzhukovogo dviženiâ letatel'nogo apparata s vduvom plazmy (gaza) iz igly na nosu. XXVI Zvenigorodskaa konferenciâ po fizike plazmy i upravlaemogo termoâdernogo sinteza: 1999, p. 264 (in Russ.).

12. Ershov A.P., Rozanov V.V., Sysoev N.N., Timofeev I.B., Chuvashv S.N., Shibkov V.M. Nablûdenie bezudarnogo sverhzhukovogo dviženiâ plazmy kappilarnogo razrâda v atmosfere. 4 mežgosudarstvennyj simpozium po radiacionnoj plazmodinamike: Moscow: MGTU Publ., 1997, pp. 122–123 (in Russ.).

13. Ershov A.P., Timofeev I.B., Chuvashv S.N., Shibkov V.M. Èksperimental'naâ realizaciâ formirovaniâ gorâčego kanala i sverhzhukovogo dviženiâ plazmennogo tela v atmosfere bez vozbuždeniâ udarnyh voln. 4 mežgosudarstvennyj simpozium po radiacionnoj plazmodinamike, Moscow: MGTU Publ., 1997, pp. 124–125 (in Russ.).

14. Chuvashv S.N., Chuvashva E.S. Al'ternativnaâ ènergetika giperzhukovogo dviženiâ pri aktivnom vozdeystvii na potok. International Scientific Journal "Al'ternativnaâ ènergetika i èkologiâ" (ISJAE), 2014, no. 18, pp. 95–110 (in Russ.).

15. Bar-Meir G. Fundamentals of compressible fluid mechanics. Chicago, IL, 2013, 465 p. Available at: <http://www.potto.org/gd/gasdynamics.pdf> (in Eng.)

16. Kutateladze S.S. Teploperedaa i gidrodinamičeskoe soprotivlenie. Moscow: Ènergoatomizdat Publ., 1990, 367 p. (in Russ.).

17. Chuvashva E.S., Chuvashv S.N., Zorina I.G. Kompleksnaâ matematičeskaâ model' dlâ konceptual'nogo proektirovaniâ vysokoskorostnyh letatel'nyh apparatov. Informacionnye tehnologii, 2012, no. 11 (195), pp. 10–14 (in Russ.).

18. Chuvashva E.S., Chuvashv S.N. Vybor racional'nyh harakteristik vysokoskorostnyh letatel'nyh apparatov raznyh masštabov na osnove kompleksnoj matematičeskoj modeli. Informacionnye tehnologii, 2013, no. 8, pp. 12–16 (in Russ.).

Транслитерация по ISO 9:1995





МУЛЬТИРЕЖИМНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СРЕДСТВА

MULTY MODE VEHICLES

Статья поступила в редакцию 31.08.15. Ред. рег. № 2313

The article has entered in publishing office 31.08.15. Ed. reg. No. 2313

УДК 629.01; 629.03

## ТРАНСПОРТНОЕ СРЕДСТВО АБСОЛЮТНОЙ ПРОХОДИМОСТИ (КАРФЛАЙНГ)

*В.М. Лятхер*

ООО «Новая Энергетика»  
РФ 125363, Москва, ул. Штурвальная, д. 5, корп. 1, кв. 129  
тел./факс: 7(499)492-53-84  
New Energetics Inc, 563 Bartow La, Richmond Hts., OH 44143  
тел.: 1(216)272-6765; e-mail: lyatkherviktor@yahoo.com

doi: 10.15518/isjaee.2015.20.008

Заключение совета рецензентов: 07.09.15 Заключение совета экспертов: 14.09.15 Принято к публикации: 21.09.15

Описывается новый движитель с контролируемым вектором тяги, который позволяет создавать транспортные средства абсолютной проходимости (летающий автомобиль). Движитель состоит из ортогональной турбины со струйным управлением циркуляцией на ее лопастях. Для этого в лопастях имеются полости, из которых на поверхность лопасти в нужный момент выпускается струя с высокой скоростью. Струя формируется за счет сгорания топливной смеси, поступающей через траверсы. Полости лопастей через полые траверсы соединены с полым валом, внутри него имеется неподвижный распределительный вал, по которому подается топливо, с отверстиями, совпадающими в нужный момент с полостями траверс. Изменение положения этих отверстий (поворот неподвижного вала) определяет изменение направления вектора тяги.

Ключевые слова: движитель, ортогональная турбина, циркуляция вокруг лопастей, автомобиль.

## VERSATILE TRANSPORT FACILITY WITH NEW ENGINE (CARFLYING)

*V.M. Lyatkher*

<sup>1</sup>Ltd New Energetics  
app. 129, cor. 1, 5 Shturvalnaya Str., Moscow, 125363 Russian Federation  
ph/fax: 7(499)492-53-84  
<sup>2</sup>New Energetics Inc.  
563 Bartow Ln., Cleveland, OH 44143  
ph.: 1(216)272-67-65; e-mail: vlyatkher@sbcglobal.net

doi: 10.15518/isjaee.2015.20.008

Referred 07 September 2015 Received in revised form 14 September 2015 Accepted 21 September 2015

The paper deals with the engine that can be used to move any objects at any directions. The engine comprises the orthogonal turbines with jet propulsion control flow blades. To do this, there are some cavities in the body of the blade; and the stream formed by the combustion of the fuel mixture flowing through the traverses is discharged into the surface of the blades at high speed. The blades through the hollow arm are connected with the hollow shaft. Inside the shaft coaxially aligned it with the formation of the annular gap has a hollow distributor pipe with holes in the wall



through which the cavity distribution pipeline communicates with the cavities traverse in moments of coincidence of the axes of the holes and traverse. The distribution pipeline is connected to a source of fuel-air mixture under pressure. In each cavity of the blade set of spark plugs connected to the induction coil.

Keywords: engine, orthogonal turbine, blades with circulation, car.



Лятхер Виктор Михайлович  
Viktor M. Lyatkher

**Сведения об авторе:** д-р. техн. наук, профессор; член Академии водных проблем (Россия); инженер, президент компании «New Energetics» (США); генеральный директор ООО «Новая энергетика» (Россия).

Награды:

Первая премия Правительства СССР, Москва, СССР (1984);

Премия индийского общества сейсмических технологий, Рурки, Индия (1974);

Пять медалей Всесоюзной выставки СССР (золото, серебро, бронза) (1958–1988).

**Образование:** Московский энергетический институт; механико-математический факультет МГУ.

**Область научных интересов:** гидравлическое моделирование, гидроэнергетика, гидрология, сейсмология, механика сплошных сред, приливная энергия; ветроэнергетика.

**Публикации:** 15 книг, больше 200 статей и 70 патентов.

**Information about the author:** D.Sc. (engineering); Professor of Moscow University of Environmental Protection; member of Academy of Water Researches, Russia; Project Engineer and Researcher, President of Clean Energy Co. (USA); General Director of New Energetic Ltd. (Russia).

Awards:

First Prize of USSR Government, Moscow, USSR (1984);

Award of the Indian Society of Earthquake Technology, Roorkee, India (1974);

Five medals of All-Union USSR Exhibition (gold, silver, bronze) (1958–1988).

**Education:** Moscow State University, Mathematician and Mechanics department. Master of Science in Engineering, Moscow Power Engineering Institute.

**Research area:** hydraulic modeling, hydraulics of the rivers, lakes and ocean flow; hydrology, water resources management, seismology and earthquake engineering, hydropower, tidal power and wind power construction and equipment.

**Publications:** 15 books, more than 200 articles and over 70 patents.

### Введение

Известны транспортные средства, допускающие движение в любом из трех взаимно ортогональных направлений, – это дирижабли, самолеты и вертолеты в атмосфере, ракеты в космосе, подводные лодки в океанах. Каждое из этих средств имеет свои особенности, препятствующие их широкому применению в качестве индивидуального, маневренного,

экономичного и достаточно универсального транспортного средства.

Предлагаемое транспортное средство абсолютной проходимости (карфлайнг) обладает всеми указанными свойствами и в разных конструктивных исполнениях может быть применено для движения по дорогам (аналогично автомобилю), без дорог, в атмосфере на высоте от нескольких до сотен метров, по воде и под водой с высокой скоростью и маневренностью (рис. 1 и 2).



Рис. 1. Летящий автомобиль с двумя парами турбин над крышей  
Fig. 1. Carflying with two pairs of turbines





**Рис. 2.** Летящий автомобиль с одной парой турбин над крышей, обеспечивающей автоматическую балансировку /взвешивание/ и максимальную маневренность  
**Fig. 2.** Carflying with a pair of turbines



International Publishing House for scientific periodicals "Space"

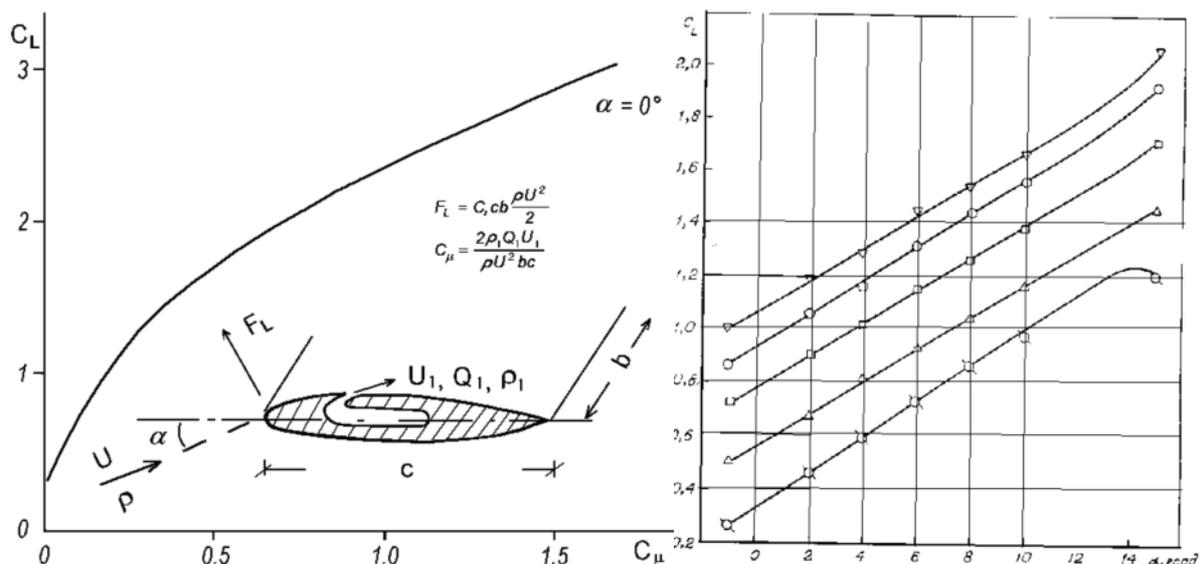
Международный издательский дом научной периодики "Спейс"

Таким образом, цель изобретения карфлайнга – обеспечение высокого уровня маневренности и проходимости современных автомобилей, резкое повышение пропускной способности дорог, создание возможности освоения обширных территорий без дорог и дорожных сооружений при соблюдении высокого уровня безопасности транспортного средства, пассажиров и пешеходов.

### Конструкция и принцип работы карфлайнга

Основой предлагаемого транспортного средства являются четыре или два ортогональных, струеуправляемых двигателя, предложенных ранее авто-

ром для области судостроения [1], принцип действия которых позже был применен автором данной статьи и В.Л. Смирновым в конструкции высокоэффективного ветроагрегата [2]. Идея движителя состоит в использовании струйного управления пограничным слоем на полых лопастях аэродинамического профиля, движущейся по окружности. В нужный момент на поверхность лопасти из ее полости подается струя, что обеспечивает возникновение значительной подъемной силы (аналог эффекта Коанда). Согласно опытным данным (рис. 3), коэффициент подъемной силы при относительном импульсе струи 1 может достигать  $C_L = 2,2$ .



**Рис. 3.** Коэффициент подъемной силы крыла в функции угла атаки при импульсах струи 0, 0,05; 0,10; 0,15 и 0,20 [3]  
**Fig. 3.** Lifting force coefficient in the curve of control jet impulse

Это означает, что при скорости лопасти, например 100 м/с (частота вращения двигателя 3 000 об/мин и диаметр трассы лопасти 0,65 м), на лопасть с хордой 0,2 м будет действовать подъемная сила, равная 280 кг на погонный метр длины лопасти. Если у двигателя имеются 2 лопасти, расположенные симметрично относительно центра вращения (рис. 4, 5), то максимально развиваемая ими сила, например в вертикальном направлении, составит 560 кг/м, т.е. средняя сила в 4 раза меньше, а потребляемая мощность 30 кВт/пог.м. При скорости лопастей 300 м/с средняя сила на погонный метр длины двухлопастной турбины составит 1 260 кг/пог.м. Каждый двигатель (рис. 4, 5) содержит рабочие лопасти 1 аэродинамического профиля, внутренняя область которого перегородкой 2 разделена на две полости 3 и 4, каждая из которых имеет плавно очерченные струеобразующие отверстия 5 и 6, выведенные на поверхности лопасти в зону за точкой максимальной толщины профиля лопасти.

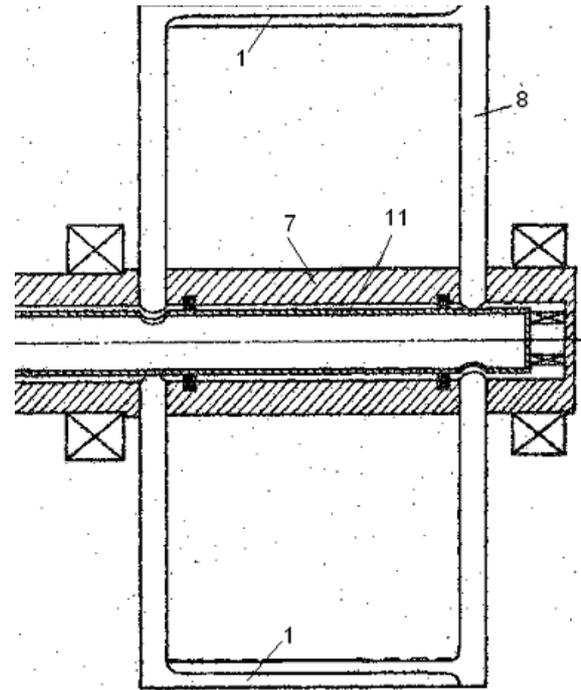


Рис. 4. Разрез по оси двигателя. Момент максимальной подъемной силы  
Fig. 4. Turbine axial section. The moment of maximum lifting force

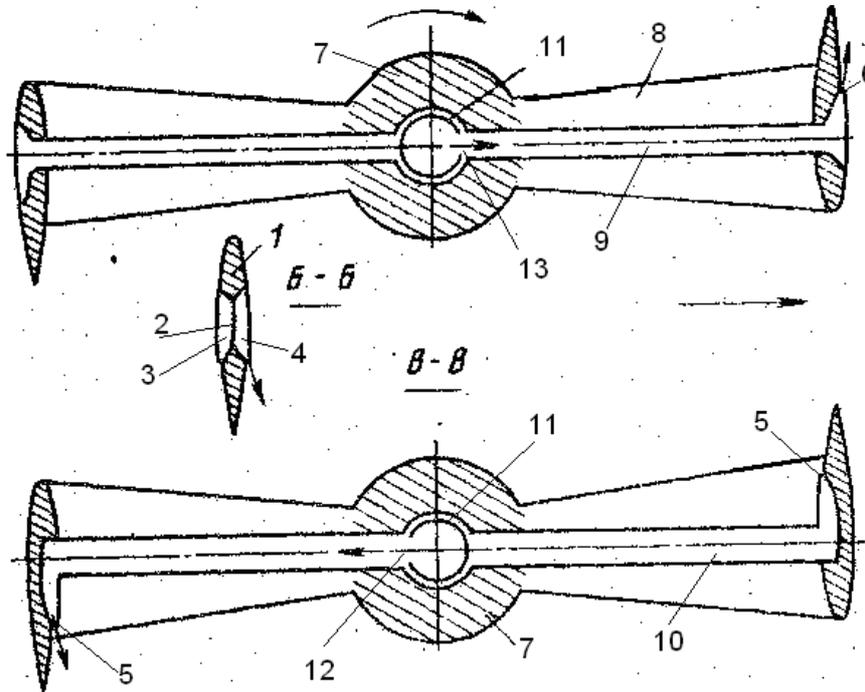


Рис. 5. Разрез по струйной системе управления  
Fig. 5. Jet control system section

Рабочие лопасти связаны с полым приводным валом 7 полыми траверсами 8 обтекаемого профиля, внутри которых проходят каналы 9 и 10 для подачи в нужный момент управляющей жидкости в полости 3

и 4 для формирования управляющих струй из отверстий 6 или 5.

Внутри полого приводного вала 7 проходит второй полый вал управления 11, по которому под дав-



лением подается управляющая жидкость (воздух, незамерзающая жидкость или воздушно-жидкостная смесь). Вал управления 11 имеет овальные отверстия 12 и 13 в тех сечениях вала 11, куда выходят каналы 9 и 10. Отверстия 12 и 13 расположены симметрично относительно оси вала 11 так, что струя на внутренней поверхности лопасти максимальна при повороте лопасти на 180 градусов относительно того момента, когда струя управления на внешней поверхности лопасти была максимальной. Положение этих отверстий определяет положение лопастей в момент воз-

никновения струи и, следовательно, направление поперечной (подъемной) силы, действующей на лопасть и на движитель в целом. Левая и правая части рис. 5 показывают состояние фрагмента рабочей лопасти между двумя траверсами при повороте ротора на 180 градусов. Положение оси овальных отверстий на управляющем валу 11 определяет направление силы (упора), развиваемой ротором.

Лопастей могут быть выполнены по винтовой линии (рис. 6).

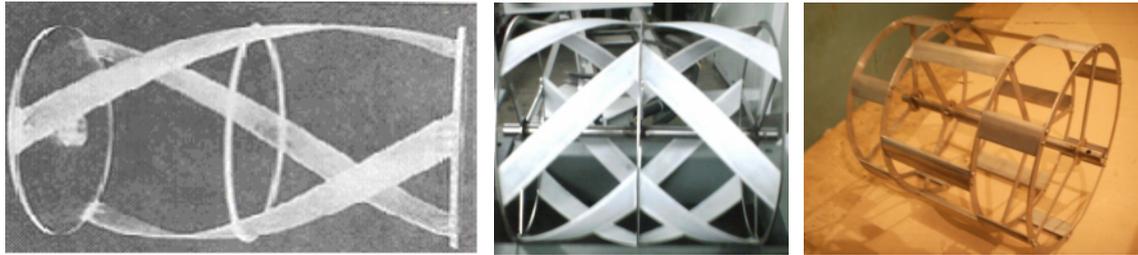


Рис. 6. Движители с лопастями по винтовой линии  
Fig. 6. Turbines with blades in helical line

В этом случае начало каждой следующей лопасти располагается напротив конца предыдущей. Управление циркуляцией на лопастях и выбор направления упора осуществляется так же, как и в случае с прямыми лопастями. Оси овальных отверстий на валу 11, питающих струи на верхних и нижних поверхностях лопастей, тоже сдвинуты на 180 градусов, но эллипсовидность отверстий должна быть увеличена с учетом смещения начала и конца лопасти. Для повышения эффективности управления могут быть введены

промежуточные траверсы с соответствующим разделением полостей внутри рабочих лопастей.

Оси лопастей могут быть прямыми (рис. 7), образуя жесткую пространственную ферму из треугольных элементов. В этом случае профиль лопасти в каждом сечении сохраняет ориентацию по отношению к трассе центра профиля соответствующего сечения лопасти. Управление упором осуществляется так же, как и на криволинейных лопастях.

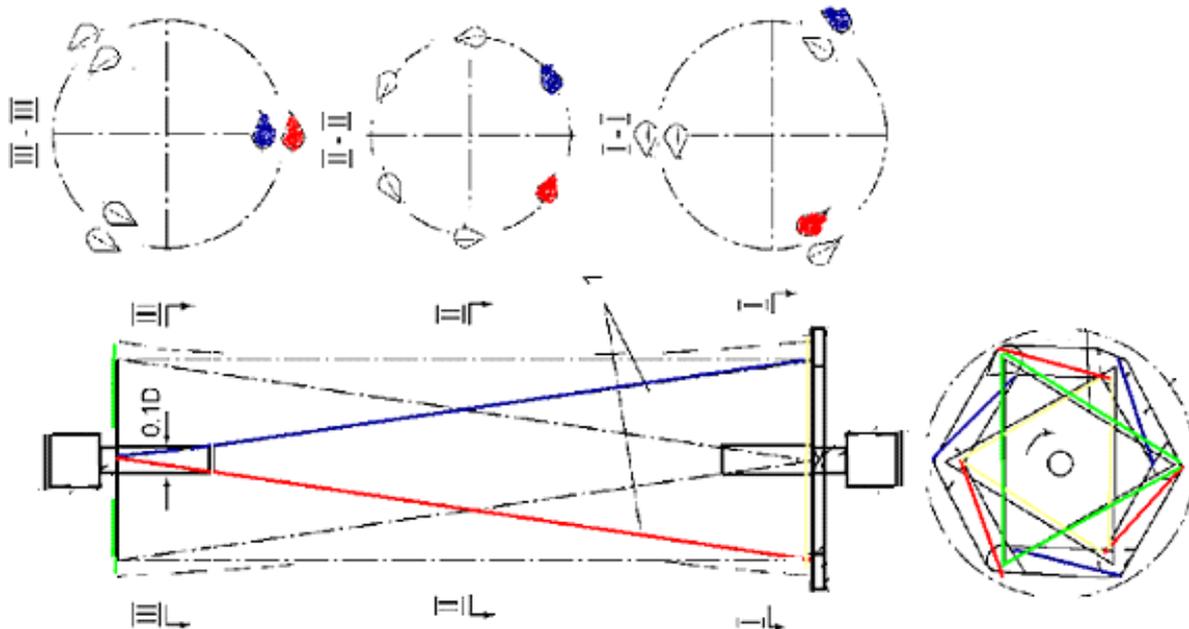


Рис. 7. Движитель с прямыми лопастями  
Fig. 7. Turbine with straight blades



Для обеспечения отсутствия пульсации изгибающего момента в опорах движителя решетчатые пространственные фермы движителя в узлах пересечения лопастей выполняются в форме биплана.

Карфлаинг содержит корпус 3 (рис. 8), имеющий в нижней части обычные автомобильные колеса 4 с соответствующими конструкциями подвески, привода и управления, а также два ряда дополнительных опорных стоек 2, в которых закреплены оси струеуправляемых движителей 1, направленные под острыми углами к продольной оси симметрии карфлаинга и к плоскости его днища. Углы стреловидности в горизонтальной плоскости направлены в сторону оконечностей корпуса карфлаинга (если ведущими являются в основном задние движители) или в сторону центра транспортного средства абсолютной проходимости (обратная стреловидность, если ведущими являются передние движители), а в вертикальном направлении – вниз от его корпуса (рис. 8, 9).

Для обеспечения безопасности в аварийных ситуациях корпус карфлаинга снабжен пластиковыми мешками, которые при остановке двигателя или внезапном появлении препятствия наполняются воздухом, превращая транспортное средство абсолютной проходимости в упругий мяч.

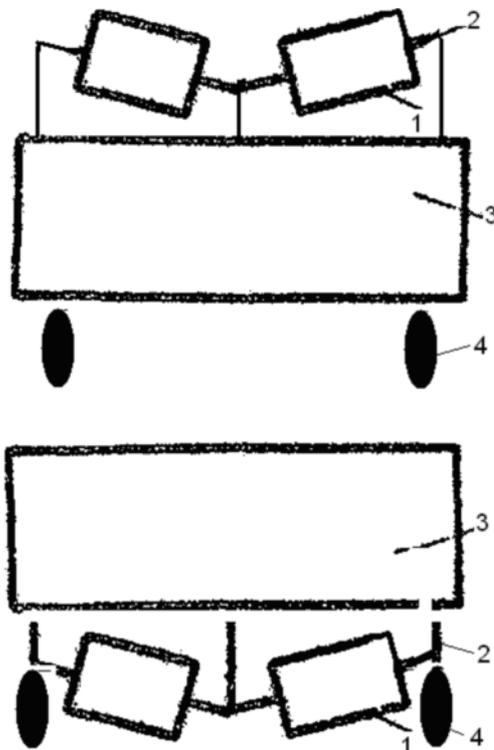


Рис. 8. Разрез по корпусу карфлаинга. Вверху – движители над корпусом, внизу – движители под корпусом  
Fig. 8. Carflying body section. Above – turbines above the body, below – turbines under body

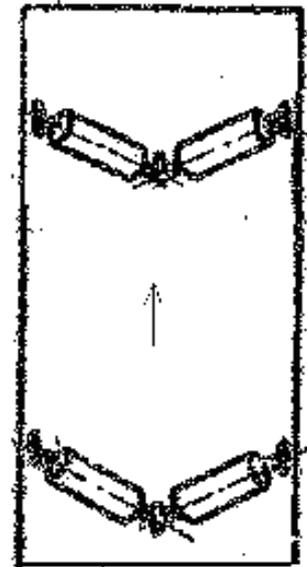


Рис. 9. План расположения движителей  
Fig. 9. Turbines plan

Работает система следующим образом. При движении карфлаинга по обычной дороге управление циркуляцией выключено, оси управляющих овальных отверстий расположены горизонтально. При необходимости создания упора включается трансмиссия, обеспечивающая вращение роторов, и оси управляющих отверстий путем поворота вала 11 располагаются почти вертикально с небольшим наклоном в сторону направления движения. При необходимости поворота этот наклон увеличивается на стороне обгона. При обратном положении управляющих отверстий осуществляется аэродинамическое торможение. Величина тянущих сил и скорость движения регулируется частотой вращения рабочего вала и расходом (давлением) в системе управляющих струй.

Эти движители, работающие на атмосферном воздухе, располагаются симметрично под днищем транспортного средства, например под автомобилем со всеми ведущими колесами, так, что оси движителей располагаются под небольшим углом к горизонтальной и фронтальной плоскостям аналогично тому, как это было предложено автором для судна высокой маневренности [4]. Возможно размещение движителей и над крышей транспортного средства. В этом случае удобно использовать два движителя, обеспечивающие автоматическую балансировку машины в воздухе и ее высокую маневренность. При общей длине турбин 2 м грузоподъемность движителей составит 2,5 тонны. Чем меньше реальная масса машины, тем большую часть этой силы можно использовать для горизонтального ускорения /торможения и маневра системы. Имеется вариант конструкции турбин, в котором функции взвешивания машины и горизонтального ускорения/торможения разделены. При разделении функ-



ций взвешивания и разгона /торможения вводится еще один неподвижный внутренний вал, дополнительные перегородки в лопастях и каналы в траверсах (рис. 10.).

Сложное движение при подъеме или опускании карфлаинга осуществляется за счет использования двух систем управления циркуляцией на каждом

роторе. Одна из систем в режиме подъема обеспечивает необходимую подъемную силу, а другая – формирует горизонтальную компоненту силы. Соответственно внутри одного полого вала, показанного на рис. 2, 3, добавляется еще один или два внутренних полых вала, а в лопастях появляются дополнительные перегородки (рис. 10).

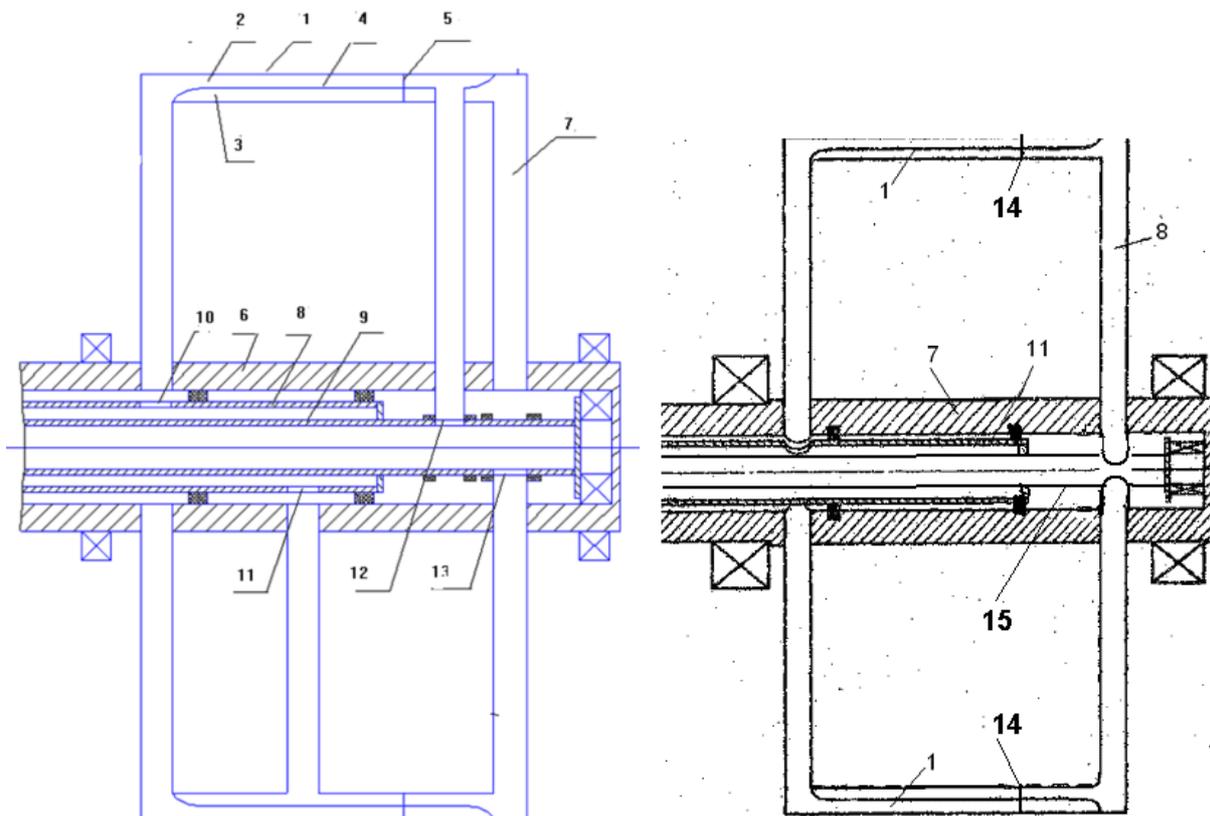


Рис. 10. Схема двигателя с разделением полостей лопасти, фиксированным валом 11 и дополнительным управляющим валом 15

Fig. 10. The scheme of the engine with the separation of the cavities of the blade, in which the fuel is injected through the fixed shaft 11 and a further control shaft 15

Каждая лопасть 1 имеет две отдельные полости 2 и 3, которые разделены перегородками 4 и 5 и соединены с полостью в центральном вале турбины 6 через каналы (трубы) в траверсах, например 7. Труба в одной траверсе способна подавать воздух на внешнюю сторону лопасти, а труба в другой траверсе – на внутреннюю сторону лопасти. Распределительная система, расположенная внутри вала турбины, имеет два противоположно расположенных отверстия 10 и 11. Внутри распределительного вала постоянно поддерживается повышенное давление воздуха (по воздухопроводу). Когда это давление подается через отверстие 10 в верхнюю траверсу и через отверстие 11 в нижнюю траверсу, подъемная сила, инициируемая струями на лопастях, будет направлена вверх. Меняя положение отверстий распределительного вала 8 относительно земли или относительно ветра, можно менять на-

правление «упора». Дополнительная маневренность системы достигается наличием полостей в лопастях, выделенных перегородкой 5, и второго внутреннего вала 9. Давление в эти полости передается через отверстия 12 и 13 во внутреннем вале, положение которых не зависит от положения основного управляющего вала 8. При такой схеме карфлаинг оказывается постоянно взвешенным, а направление и скорость его движения регулируются исключительно положением вала 14 и силами, развиваемыми концевыми участками лопастей двигателей.

Упомянутые конструкции двигателя имели недостаток, состоявший в том, что возбуждаемая двигателем сила периодически изменялась от максимума до нуля с частотой, превышающей частоту вращения лопастей двигателя в 2 раза. Без изменения принципа действия частоту пульсаций силы можно было увеличить за счет увеличения числа пар лопастей.

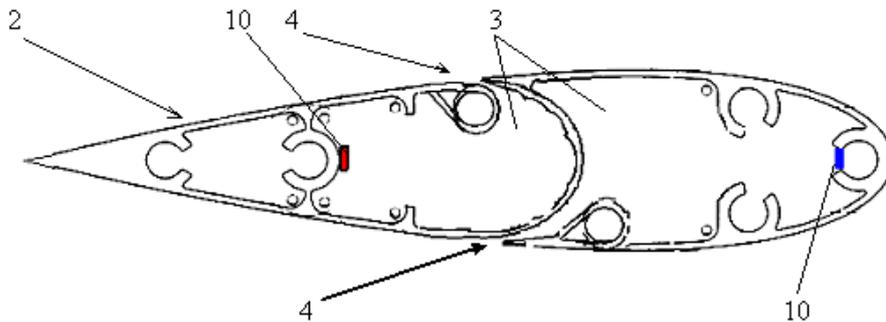
Пульсацию силы можно полностью устранить, используя конструкцию движителя с лопастями, которые изогнуты по винтовой линии с осями, образующими пространственную ферму, аналогичную предложенной автором и И.В. Семеновым для безвибрационных ветряков большой мощности [5] и развитой автором применительно к высотным ветряным электростанциям [6].

С сохранением принципа полной аэродинамической балансировки движителя его лопасти могут иметь прямолинейные оси с идентичным поперечным аэродинамическим профилем, хорда которого в каждом поперечном сечении лопасти остаётся одинаково ориентированной относительно окружности,

описываемой центром профиля, как это было предложено автором для роторных ветроэнергетических установок [7].

Именно развитие предложенных автором ранее идей и их объединение привело к созданию качественно нового транспортного средства абсолютной проходимости (карфлаинга).

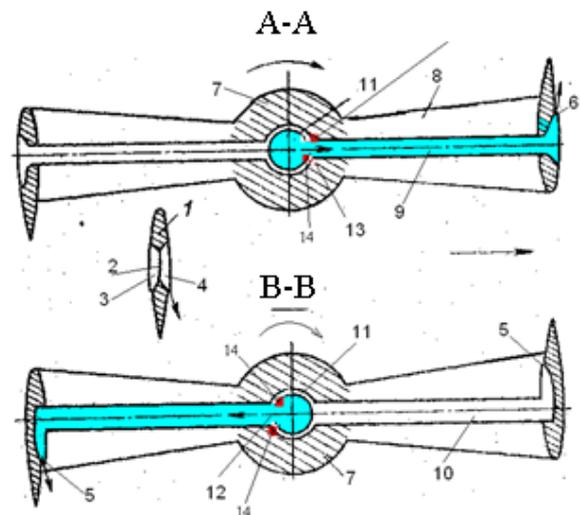
Согласно новому патенту автора [8], для формирования управляющих струй и поддержания вращения ортогональных турбин используется энергия топливной смеси, подаваемой в полости лопастей и поджигаемой в нужный момент свечами индукционного питания (рис. 11).



**Рис. 11.** Лопасть с двумя полостями и свечами для поджига топливной смеси  
**Fig. 11.** The cross-section of the blade with two cavities, in each cavity of each blade installed spark (10) plugs air-fuel mixture

В этом случае может быть создано транспортное средство без обычного двигателя внутреннего сгорания (без обычного мотора). Его функция – создание тянущей силы – будет выполняться предлагаемым движителем. Реакция на импульс струи также создаст крутящий момент, ускоряющий вращение системы. При изменении момента подачи струи (положение лопасти на трассе), меняется направление силы, действующей на движитель, а при смене импульса струи, меняется сама сила и крутящий момент.

Импульс струи может изменяться как за счет давления в камерах перед струей, так и за счет относительной длительности действия этого давления, определяемого формой отверстий, через которые давление передается от центрального подающего канала в траверсы и далее в полости лопастей. Катушки индуктивности, через которые передается напряжение, поджигающее свечи в камерах лопастей, располагаются перед входом в каналы траверс и на управляющем валу (рис. 12).



**Рис. 12.** Разрез по струйной системе. Нумерация элементов по рис. 2 и патенту РФ № 2240444:  
14 – катушки индуктивности, зажигающие свечи внешнего или внутреннего контура в варианте с подачей горючей смеси  
**Fig. 12.** The cross-section with nozzle orifices for creating the jet relative to the shaft along the inner surface of each blade. Numeracy elements according to the patent Ru 2240444:  
14 - inductors, light the candle of external or internal contour in the flow of the fuel mixture

Основные идеи турбины с управляемой циркуляцией на лопастях, обеспечивающей произвольный выбор направления результирующей силы, которая

действует на турбину в целом, были проверены на крупной модели фрагмента двухлопастного агрегата (рис. 13).

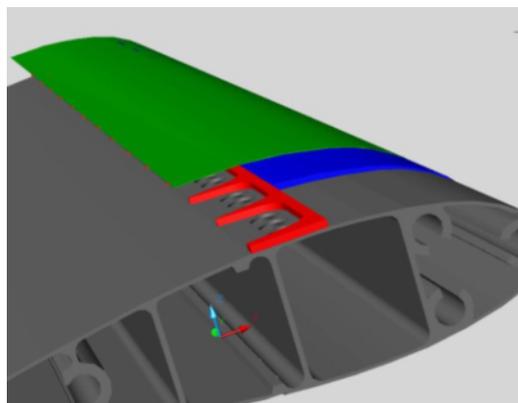
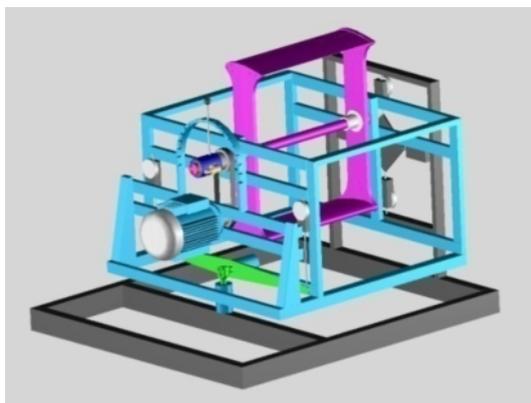


Рис. 13. Схема модели для испытания действия холодной струи  
Fig. 13. A model scheme for the test of cold jet action

Модель турбины диаметром 600 мм и длиной 502 мм была изготовлена с полыми лопастями, в которые подводится воздух через прорези в распределительном валу, помещенным внутри несущего вала турбины. Лопасть с профилем NACA0021 имела хорду длиной 176 мм.

Разгон турбины осуществляется за счет реакции управляющей струи, выпускаемой на внешнюю или внутреннюю стороны лопастей через щели высотой около 1 мм (рис. 14).

В любом варианте модель тщательно балансировалась и вывешивалась на электронно-механических весах (рис. 15).

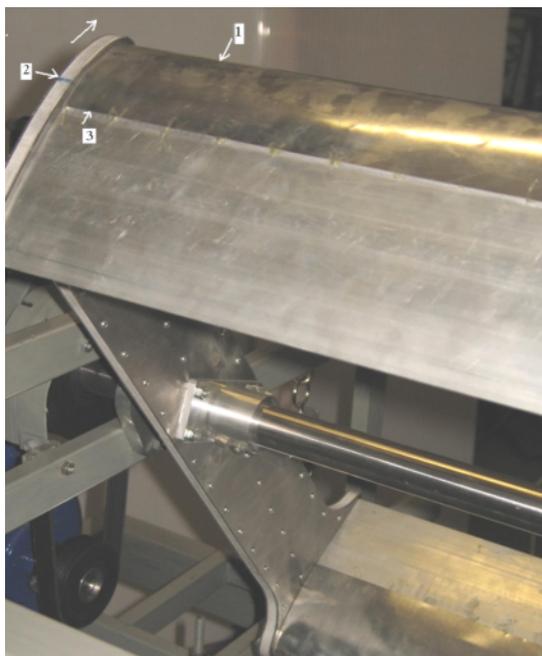


Рис. 14. Фото участка лопасти с выходом струи:  
1 – носок лопасти; 2 – створ наибольшей толщины профиля лопасти;  
3 – щель для выпуска управляющей струи воздуха  
Fig. 14. The photo of the blade with the release of the jet:  
1 – the toe of the blade; 2 – the target of greatest profile thickness of the blade; 3 – a slot for release management of the air jet



Рис. 15. Общий вид подвески модели  
Fig. 15. The general view of model

### Заключение

Главный вывод из экспериментов и расчетов – предлагаемая схема работоспособна и эффективна, т.е. использование карфлаинга может обеспечить высокий уровень маневренности и проходимости современных автомобилей, резкое повышение пропускной способности дорог, создание возможности освоения обширных территорий без дорог и дорожных сооружений при соблюдении высокого уровня безопасности транспортного средства, пассажиров и пешеходов.



## Список литературы

1. А.с.1634567 СССР В 63 Н 1/08 Крыльчатый ортогональный движитель / Лятхер В.М. // 15.03.1991. Бюл. № 10.
2. А.с. 1765495 А1 СССР F 03 D 7/06 Ветродвижитель / Лятхер В.М. и Смирнов В.Л. // 30.09.1992. Бюл. № 36.
3. Богданов П.А., Кожухаров П.Г., Мальцев Л.И., Микута В.И., Хаджимихалев В.Х. Подводное крыло со струйным управлением его гидродинамическими характеристиками. Сб. Течения жидкости со свободными поверхностями и полимерными добавками. Новосибирск, 1986. С. 36–73.
4. А.с. 1634562 А1 СССР В 63 В 1/28 Судно / Лятхер В.М. // 15.03.91. Бюл. № 10.
5. А.с. 1150395 А СССР F 03 D 3/06 Вертикально-осевое ветро-колесо / Лятхер В.М. и Семенов И.В. // 15.04.1985. Бюл. № 14.
6. Патент РФ 2240444 С1 МПК7 F 03 D 9/00 Высотная ветроэнергетическая установка / Лятхер В.М. // приоритет от 05.05.2003.
7. Патент РФ 2240443 С1 МПК7 F 03 D 3/06 Ветроэнергетическая установка с вертикальной осью вращения / Лятхер В.М. // приоритет от 05.05.2003.
8. Патент РФ 2558716 МПК F03G7/08 Энергоустановка с управляемым вектором тяги / Лятхер В.М. // приоритет от 13.05.2014.

## References

1. Lyatkher V.M. Kryl'čatyj ortogonal'nyj dvižitel'. A.c. 1634567 USSR V 63 N 1/08 // 15.03.1991. Bul. no. 10 (in Russ.).
2. Lyatkher V.M. and Smirnov V.L. Vetrodvižitel'. A.c. 1765495 A1 USSR F 03 D 7/06 // 30.09.1992. Bul. no. 36 (in Russ.).
3. Bogdanov P.A., Kozhuharov P.G., Mal'cev L.I., Mikuta V.I., Hadzhimihalev V.H. Podvodnoe krylo so strujnym upravleniem ego gidrodinamičeskimi harakteristikami. Sb. Tečeniâ židkosti so svobodnymi poverhnostâmi i polimernymi dobavkami. Novosibirsk, 1986, pp. 36–73 (in Russ.).
4. Lyatkher V.M. Sudno A.c. 1634562 A1 USSR V 63 V 1/28 // 15.03.91. Bul. no. 10 (in Russ.).
5. Lyatkher V.M. and Semenov I.V. Vertikal'no-osevoe vetro-koleso. A.c. 1150395 A USSR F 03 D 3/06 // 15.04.1985. Bul. no. 14 (in Russ.).
6. Lyatkher V.M. Vysotnââ vetroënergetičeskaâ ustanovka. Patent RF 2240444 S1 MPK7 F 03 D 9/00 // приоритет от 05.05.2003 (in Russ.).
7. Lyatkher V.M. Vetroënergetičeskaâ ustanovka s vertikal'noj os'û vrašeniâ. Patent RF 2240443 S1 MPK7 F 03 D 3/06 // приоритет от 05.05.2003 (in Russ.).
8. Lyatkher V.M. Ènergoustanovka s upravlâemym vektorom tâgi. Patent RF 2558716 MPK F03G7/08 // приоритет от 13.05.2014 (in Russ.).

Транслитерация по ISO 9:1995



Eleventh International Conference on  
Ecological Vehicles and Renewable Energies  
April 6 - 8, 2016, Grimaldi Forum, Monaco

EVER'16 covers topics related to ecological vehicles (EV), those linked to renewable energies (RE) and those shared by both (REV), including (but not limited to) the following:

## EV1: Ecological Vehicles

- a: Passenger cars
- b: Public transportation vehicles
- c: Heavy and light duty vehicles
- d: Two and three-wheelers
- e: Marine and aerospace vehicles

## EV3: Traction Drives and Generators

- a: Electric machine design, sizing and optimization
- b: Static converter design, analysis and control
- c: Variable speed drives modeling and control
- d: Automotive generators and regenerative braking
- e: Monitoring, diagnostics, and reconfiguration

## RE1: Wind Energy Systems

- a: Wind turbine Technology
- b: DFIG wind generating systems
- c: Gearless wind generating systems
- d: Wind farms and energy management
- e: Interfacing to the grid and GCRs

## RE3: emergent Renewables and Smart Grids

- a: Wave and tidal energy systems
- b: Offshore renewable energy systems
- c: Geothermal energy systems
- d: Hybrid renewable energy systems
- e: Smart grids

## EV2: Ecological Propulsion systems

- a: Electric propulsion systems
- b: Hybrid propulsion systems
- c: Plug-in hybrid propulsion systems
- d: Clean thermal propulsion systems
- e: Range extender

## EV4: Ecological Power Supplies

- a: Batteries design, modeling, and characterization
- b: Conductive charging infrastructure
- c: Inductive charging infrastructure
- d: Fuel cells and hydrogen infrastructure
- e: Ultracapacitors

## RE2: Solar Energy Systems

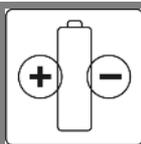
- a: Photovoltaic cell design and optimization
- b: Photovoltaic panels and associated converter
- c: MPPT strategies
- d: Solar water pumping, heating and desalination
- e: Solar refrigeration

## RE4: Efficient Energy Management in Buildings

- a: Green buildings
- b: Building energy efficiency strategies
- c: Networked energy aware white-goods
- d: ICT for sustainable homes
- e: Smart homes

conference.evermonaco.com





УДК 621.352

**СУПЕРИОННЫЕ ПРОВОДНИКИ НА ОСНОВЕ ПОЛИАКРИЛАТОВ  
ДЛЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ И ИНФОРМАЦИИ*****А.М. Михайлова<sup>1</sup>, К.С. Зубцова<sup>1</sup>, Н.В. Прудников<sup>2</sup>,  
Т.В. Дуброва<sup>2</sup>, Н.И. Горская<sup>1</sup>***<sup>1</sup>Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина  
РФ 410054, Саратов, ул. Политехническая, д. 77  
тел.: 8(452) 99-86-27; e-mail: chemistry@sstu.ru<sup>2</sup>ФГБУН Межведомственный центр аналитических исследований в области физики, химии и биологии  
при Президиуме Российской академии наук  
РФ 119333, Москва, ул. Вавилова, д. 44, корп. 2  
тел.: 8(499) 135-20-58; e-mail: mzairan@ipiran.ru

doi: 10.15518/isjaee.2015.20.009

Заключение совета рецензентов: 04.09.15 Заключение совета экспертов: 11.09.15 Принято к публикации: 18.09.15

Настоящая работа посвящена рассмотрению вопроса получения и исследования физико-химических свойств полимерного электролита с литий-ионной проводимостью. Представлено достаточно подробное описание технологического процесса изготовления полимерного электролита, приводятся данные исследования проводимости полимерного электролита в широком интервале температур, а также данные ИК-спектроскопии и рентгеноструктурного анализа. Показано, что полученный электролит может применяться при изготовлении преобразователей энергии пленочной конструкции.

Ключевые слова: литиевые химические источники тока (ХИТ), твердый полимерный электролит, метод импедансной спектроскопии, удельная электропроводность.

**POLYACRYLATE SUPERIONIC CONDUCTORS  
FOR THE CONVERTER OF ENERGY AND INFORMATION*****A.M. Mihailova<sup>1</sup>, K.S. Zubtsova<sup>1</sup>, N.V. Prudnikov<sup>2</sup>,  
T.V. Dubrova<sup>2</sup>, N.I. Gorskaya<sup>1</sup>***<sup>1</sup>Yuri Gagarin State Technical University of Saratov  
77 Polytechnicheskaya St., Saratov, 410054 Russian Federation  
ph.: 8(452) 99-86-27; e-mail: chemistry@sstu.ru<sup>2</sup>Federal State Institution of Science  
Interdepartmental Center of Analytical Researches in the Field of Physics,  
Chemistry and Biology at the Presidium of Russian Academy of Sciences  
44 Vavilov str., Moscow, 119333 Russian Federation  
ph.: 8(499) 135-20-58; e-mail: mzairan@ipiran.ru

doi: 10.15518/isjaee.2015.20.009

Referred 04 September 2015 Received in revised form 11 September 2015 Accepted 18 September 2015

The article considers the receiving and research of physical and chemical properties of polymeric electrolyte with Li-ion conductivity. There is rather detailed description of technological process of polymeric electrolyte production, research of conductivity of polymeric electrolyte in a wide interval of temperatures, also infrared spectroscopy and the X-ray diffraction analysis. It is shown that the electrolyte can be applied at production of energy converters of film structure.

Keywords: lithium battery, solid polymer electrolyte, method of impedance spectroscopy, specific conductivity.



Михайлова Антонина  
Михайловна  
Antonina M. Mihailova

**Сведения об авторе:** д-р хим. наук, профессор кафедры «Химия» Физико-технического факультета СГТУ им. Ю.А. Гагарина

**Образование:** химический факультет СГУ им. Н.Г. Чернышевского, аспирантура при СГУ.

**Область научных интересов:** ионика твердого тела.

**Публикации:** более 200, в том числе 1 монография.

**Information about the author:** DSc (chemistry), professor of Chemistry department of Physical-Technical faculty, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov.

**Education:** chemical faculty of Saratov State University, postgraduate study at Saratov State University.

**Research area:** solid state ionics.

**Publications:** more than 200, including 1 monograph.



Зубцова  
Клавдия Сергеевна  
Klavdiya S. Zubtsova

**Сведения об авторе:** аспирант кафедры «Химия» Физико-технического факультета СГТУ им. Ю.А. Гагарина

**Образование:** химический факультет СГУ им. Н.Г. Чернышевского.

**Область научных интересов:** химические источники тока и суперконденсаторы.

**Публикации:** 20.

**Information about the author:** graduate student of Chemistry department of Physical-Technical faculty, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov.

**Education:** chemical faculty of Saratov State University.

**Research area:** chemical sources of electricity and super-capacitors.

**Publications:** 20.



Дуброва  
Татьяна Владимировна  
Tatiana V. Dubrova

**Сведения об авторе:** нач. отдела, ФГБУН Межведомственный центр аналитических исследований в области физики, химии и биологии при Президиуме Российской академии наук.

**Образование:** Московский институт тонкой химической технологии им. М.В. Ломоносова.

**Область научных интересов:** химические источники тока и суперконденсаторы.

**Публикации:** 41.

**Information about the author:** head of section of Interdepartment Center of Analytical Research in Physics, Chemistry and Biology at the Presidium of Russian Academy of Sciences.

**Education:** Lomonosov Moscow State University of Fine Chemical Technologies.

**Research area:** chemical sources of electricity and super-capacitors.

**Publications:** 41.



Прудников  
Николай Владимирович  
Nikolay V. Prudnikov

**Сведения об авторе:** д-р техн. наук, ФГБУН Межведомственный центр аналитических исследований в области физики, химии и биологии при Президиуме РАН, профессор кафедры микросистемная техника МИРЭА.

**Образование:** Московский авиационный технологический институт им. К.Э. Циолковского.

**Область научных интересов:** лазерные технологии.

**Публикации:** 130 научных публикаций, в том числе 1 монография.

**Information about the author:** DSc (engineering), Interdepartment Center of Analytical Research in Physics, Chemistry and Biology at the Presidium of Russian Academy of Sciences; professor of MIREA.

**Education:** MATI-Russian State Technological University.

**Research area:** laser technology.

**Publications:** 130, including 1 monograph.





Горская  
Наталья Игоревна  
Natalya I. Gorskaya

**Сведения об авторе:** аспирант кафедры «Химия» Физико-технического факультета СГТУ им. Ю.А. Гагарина

**Образование:** химический факультет СГУ имени Н.Г. Чернышевского.

**Область научных интересов:** твердые электролиты на основе органических соединений.

**Публикации:** 23.

**Information about the author:** graduate student of Chemistry department of Physical-Technical faculty, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov.

**Education:** chemical faculty of Saratov State University.

**Research area:** solid electrolytes based organic compounds.

**Publications:** 23.

### Введение

Потребность в автономных источниках энергии постоянно растёт. Учитывая тот факт, что источники тока с литиевым анодом на сегодняшний день занимают лидирующую позицию в мире по объёму продаж и разработок [1–3], актуальными становятся исследования, направленные на получение электродных материалов и электролитных систем для данных источников тока.

Целью настоящей работы является синтез и изучение полимер-электролитной системы на основе матрицы сополимера полиакрилонитрила (ПАН) с

перхлоратом лития, перспективной для использования в химических источниках тока (ХИТ) с литиевым анодом.

### Особенности сополимеров акрилонитрила

Твердые полимерные электролиты (ТПЭ) рассматриваются как растворы ионных солей в полимерной матрице, играющей роль неподвижного растворителя. Как показали исследования, в качестве полимерных матриц с успехом могут быть использованы различные сополимеры акрилонитрила (табл.1), содержащие электронодонорные группы C≡N [4–6].

Сополимеры акрилонитрила, используемые для получения ТПЭ

Таблица 1

Table 1

The acrylonitrile copolymers used for receiving SPE

Техническое название	Содержание звеньев акрилонитрила, % (масс.)	Компонент сополимеризации	Структура	Температура стеклования, °С	Диэлектрическая проницаемость	Молекулярная масса
СКН-26	26–28	Бугадиен	Аморфный полимер	минус 42	10,2	$3 \cdot 10^5$
СКН-40	36–40	Бугадиен	—/—	минус 32	12,0	$4,4 \cdot 10^5$
ПАН	93	Метакриловая к-та, итаконовая к-та	—/—	75	5	$6,6 \cdot 10^4$

К числу достоинств сополимеров акрилонитрила следует отнести такие показатели, как разнообразие марок, выпускаемых российской промышленностью, и доступность, которые имеют большое значение в связи с современным состоянием экономики и дефицитом импортного сырья. Следует отметить хорошие механические свойства (прочность, гибкость, эластичность и т.д.), позволяющие получать на ПАН и его сополимерах материалы в виде тонких (порядка нескольких десятков мкм) пленок [7]. Использование

сополимеров акрилонитрила исключает кристаллизацию полимерной матрицы, а также позволяет варьировать ее физические свойства от эластомера до стеклообразного полимера. Проводимость ТПЭ на основе полиакрилонитрила достигает  $2 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$  при комнатной температуре [8, 9].

Растворимость солей лития  $\text{LiClO}_4$ ,  $\text{LiAsF}_6$  и  $\text{LiCF}_3\text{SO}_3$  в различных сополимерах акрилонитрила при комнатной температуре достаточно высока и соответствует отношению  $[\text{CN}]:[\text{Li}]$  от 4:1 до 2:1 [10].



Температурные зависимости электропроводности ТПЭ (рис. 1) были подробно описаны авторами работы [11]: показано, что зависимость ионной проводимости полностью диссоциированного электролита в аррениусовских координатах описывается уравнением Вогеля-Таммана-Фулшера:

$$\sigma = AT^{-1/2} \exp[-B/(T - T_0)], \quad (1)$$

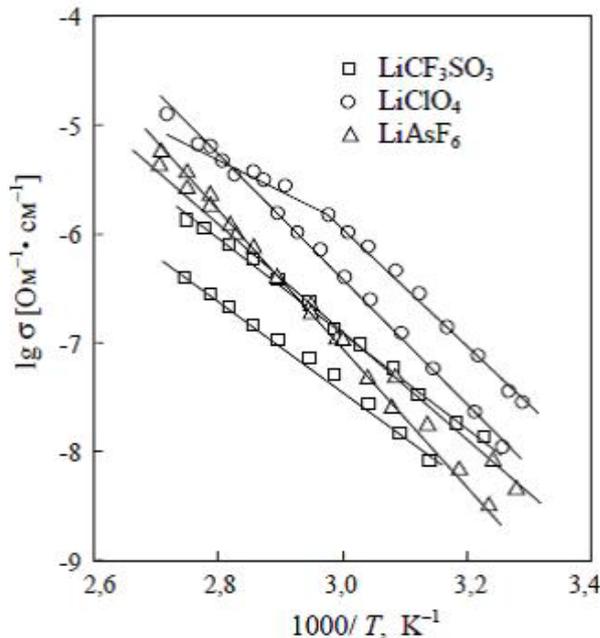


Рис. 1. Температурные зависимости проводимости ТПЭ на основе СКН-40 в области средних концентраций соли [CN]:[Li] = 10:1

Fig. 1. Temperature dependences of conductivity of SPE on the basis of NBR-40 in the field of average concentration of salt [CN]:[Li] = 10:1

### Методика эксперимента

Исследования проводили ИК-спектроскопическим, рентгеноструктурным, гальваностатическими методами, а также методом импедансной спектроскопии. В качестве полимерной матрицы использовали полиакрилонитрильное волокно (ПАН-волокно), выпускаемое предприятием ООО «Акрипол» (г. Саратов). Полимер представлял собой волокна светло-желтого цвета без запаха, растворимые в диметилформамиде (ДМФ), ледяной уксусной и молочной кислоте и нерастворимые в метаноле, этаноле, ацетоне. Содержание звеньев акрилонитрила

составляло 93 % (масс.), молекулярная масса  $6,6 \cdot 10^4$ , содержание мономерных остатков непредельных карбоновых кислот (карбоксилатных звеньев) не более 5 % (масс.).

Методика подготовки полимера и соли лития, приготовление раствора и получение пленок методом полива описаны ранее [12, 13]. Полученные пленки были прозрачными и эластичными, их толщина составляла 50–60 мкм.

Для исследований были изготовлены образцы композиций, содержащие в процентном соотношении перхлорат лития к массе ПАН – ([Li<sup>+</sup>]:[CN]) = 21,3; 27,5; 35,5; 38,3; 43.

Снятие ИК спектров образцов осуществлялось на спектрометре ФТ 801. Спектрограммы получены на образцах в виде растворов в диметилформамиде.

Рентгеноструктурный анализ образцов проводили на дифрактометре «ДРОН-2» с применением железного фильтра и линии K<sub>α</sub> меди на образцах в виде пластинок толщиной 5 мм.

Удельную электропроводность пленок ТПЭ определяли в двухконтактных ячейках Ti/ТПЭ/Ti, используя метод электрохимического импеданса [14] на импедансметре Z-350 в интервале частот от 0,1 кГц до 100 кГц. Температурный диапазон исследования проводимости составил 20÷100 °С. Полученные данные анализировали с помощью графоаналитического метода, толщину пленок учитывали при пересчете на удельный объем. Все операции по изготовлению пленок и подготовке образцов для анализов и измерений проводили в условиях, исключающих попадание влаги в пленку.

### Обсуждение результатов

Методом рентгеноструктурного анализа определена предельная растворимость LiClO<sub>4</sub> в ПАН при 298 К. При содержании перхлората лития в полимере более чем 42,9 % к массе ПАН в системе появляется свободная фаза соли, и система перестает быть однородной. Это приводит к резкому снижению физико-механических свойств полимерной пленки: она становится хрупкой и ломкой, локально на поверхности появляются участки соли.

Результаты, полученные при ИК-спектроскопических исследованиях, представлены на рис. 2.

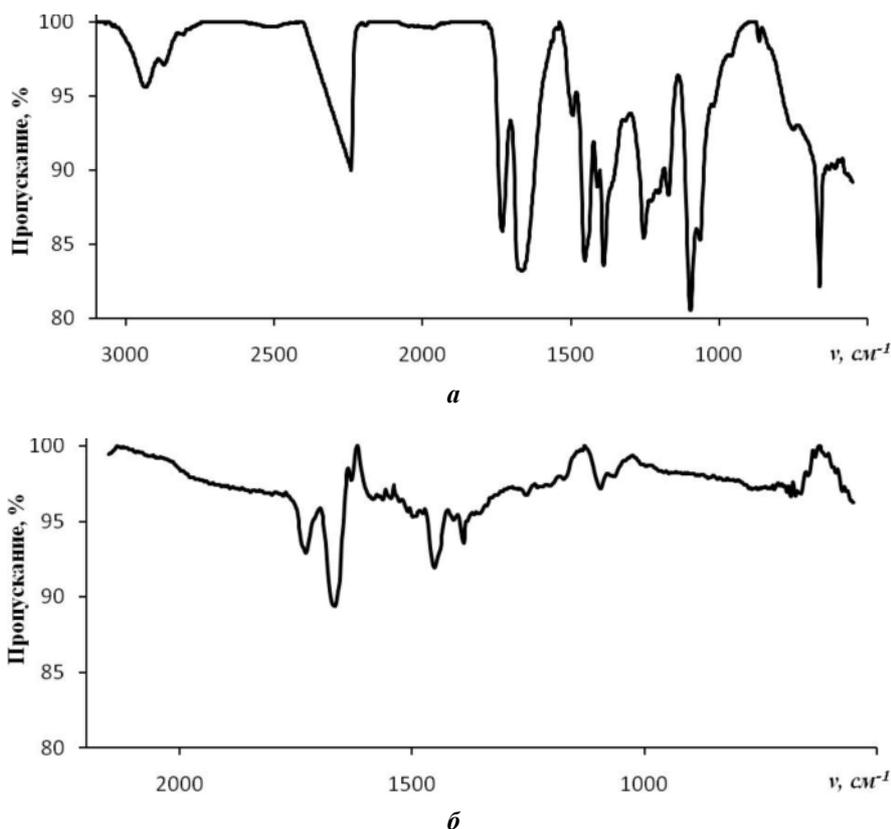


Рис. 2. ИК-спектры: а – ПАН, не содержащего соли лития; б – системы ПАН – LiClO<sub>4</sub>  
 Fig. 2. IR spectra: а – PAN not containing lithium salt; б – PAN – LiClO<sub>4</sub> systems

Диапазон длин волн 1 500–1 700 см<sup>-1</sup> характерен для валентных и деформационных колебаний связей C=N, C–H в молекуле ПАН. Указанные длины волн несколько смещены в коротковолновую область в присутствии катиона щелочного металла.

Как показали проведенные исследования, с увеличением концентрации соли лития смещение полосы 1 500 см<sup>-1</sup> в область меньших волновых чисел усиливается, что свидетельствует о том, что катионы

лития вступают в координационное взаимодействие с нитрильными группами. Подобное взаимодействие может приводить к диссоциации перхлората лития в полимерной композиции. Свидетельством образования комплексов в системе ПАН – LiClO<sub>4</sub> служат данные рентгеноструктурного анализа. Установлено, что зависимость степени кристалличности композиций от содержания в них перхлората лития имеет экстремальный характер (рис. 3).

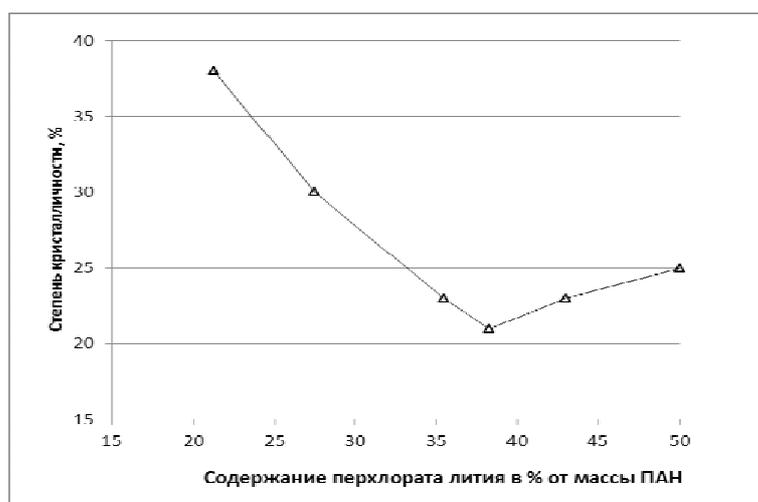


Рис. 3. Зависимость степени кристалличности композиции от состава системы ПАН – LiClO<sub>4</sub>  
 Fig. 3. Dependence of crystallinity degree on composition of PAN – LiClO<sub>4</sub> system



Первоначально, при введении соли в полимер, происходит уменьшение содержания кристаллической фазы. С увеличением содержания  $\text{LiClO}_4$  до соотношения 38,3 % от массы ПАН степень кристалличности значительно снижается до уровня 21 %, что свидетельствует о существенном росте аморфной фазы в полимерной композиции и способствует увеличению ее проводимости.

Полученные результаты согласуются с представлениями авторов [15] об увеличении проводимости ТПЭ с ростом в полимерной матрице аморфных компонентов. В этом случае значительно возрастает

подвижность мономерного сегмента, растет возможность транспортировки и, следовательно, проводимость электронной плотности в матрице композита. Когда концентрация соли в матрице становится выше оптимального значения, снижение проводимости полимера объясняется образованием ионных пар или кластеров, что уменьшает число носителей заряда и ограничивает их подвижность.

Данные измерений удельной электрической проводимости образцов композиций с соотношением  $[\text{Li}^+]:[\text{CN}]$  от 21,3 до 43 (в % от массы ПАН) представлены в таблице 2.

Таблица 2

Удельная электрическая проводимость полученных образцов

Table 2

Specific electric conductivity of the received samples

Содержание перхлората лития в % от массы ПАН	Удельное сопротивление, Ом·см	Удельная проводимость, $\text{Ом}^{-1}\cdot\text{см}^{-1}$
0	1771,875	$6,79\cdot 10^{-4}$
21,3	1415,625	$2,26\cdot 10^{-4}$
27,5	1177,500	$8,49\cdot 10^{-4}$
35,5	1245,625	$3,51\cdot 10^{-4}$
38,3	441,563	$2,27\cdot 10^{-3}$
43	1617,188	$5,82\cdot 10^{-4}$

Результаты измерения удельной электрической проводимости ТПЭ (содержание  $\text{LiClO}_4$  38,3 % от массы ПАН) в интервале температур 303 ÷ 373 К приведены на рис. 4.

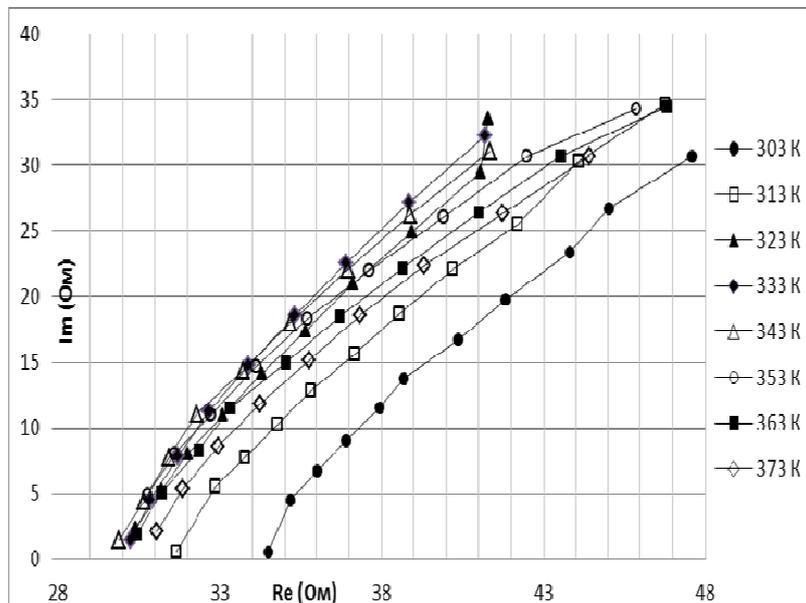


Рис. 4. Зависимость проводимости ТПЭ от температуры  
Fig. 4. Dependence of SPE conductivity on temperature

Максимальная проводимость наблюдается у композиций с соотношением  $[\text{Li}^+]:[\text{CN}] = 38,3$  % от массы ПАН. Установлено, что ионная проводимость полученного ТПЭ составляет  $2,27\cdot 10^{-3} \text{ Ом}^{-1}\cdot\text{см}^{-1}$  при

комнатной температуре, а при повышении температуры до 80 °С отмечено максимальное значение проводимости  $1\cdot 10^{-3} \text{ Ом}^{-1}\cdot\text{см}^{-1}$ .

### Заключение

Значения электрической проводимости ТПЭ на основе полиакрилонитрила превосходят показатели композиций, полученных на основе полиэтиленкарбоната [16, 17]. Так, например, максимальная электрическая проводимость системы ПЭК:  $\text{LiClO}_4$  при 298 К составляет  $4,93 \cdot 10^{-5} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ , в то время как система ПАН –  $\text{LiClO}_4$  при той же температуре имеет значение  $2,27 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ .

Содержание активных нитрильных (CN) групп в сополимере ПАН является достаточным для растворения в нем литиевой соли до высоких концентраций и формирования микроструктуры, обеспечивающей высокую литиевую проводимость при комнатной температуре.

Электролиты на основе ПАН дают гомогенные, гибридные электролитические пленки, в которых соль и пластификатор молекулярно распределены в объеме. В системе ПАН –  $\text{LiClO}_4$  – ДМФ полимерная составляющая не принимает участия в механизме переноса ионов, но выступает в роли матрицы, обеспечивая структурную стабильность системы.

Электролитные системы, полученные на основе ПАН и его сополимеров, обладая высокой униполярной проводимостью и химической стабильностью в широком диапазоне температур, могут найти применение в составе преобразователей энергии и информации пленочной конструкции.

### Список литературы

1. Химические источники тока: Справочник. М.: Изд-во Моск. энерг. ин-та, 2003.
2. Нижниковский Е.А. Химические источники автономного электропитания радиоэлектронной аппаратуры. М.: Изд-во Моск. энерг. ин-та, 2004.
3. Багоцкий В.С., Скудин А.М. Проблемы в области литиевых источников тока // *Электрохимия*. 1995. Т. 31, № 4. С. 342–349.
4. Чудинов Е.А., Ткачук С.В. Применение латексов в производстве материалов литий-ионного аккумулятора // *Актуальные проблемы электрохимической технологии*. Саратов, 2011. Т. 2. С. 151–156.
5. Gray F.M. *Polymer electrolytes*. Cambridge: The Royal Society of Chemistry, 1997.
6. Chandrasekhar V. *Polymer solid electrolytes: synthesis and structure* // *Advances in Polymer Science*. 1998. Vol. 135. P. 139–205.
7. Сыромятников В.Г., Паскаль Л.П., Машкин О.А. Полимерные электролиты для литиевых хими-

ческих источников тока // *Успехи химии*. 1995. Т. 3, № 64. С. 265–274.

8. Патент 2066901 РФ МКИ H01M 6/18. Твердый литийпроводящий электролит и способ его получения / Жуковский В.М., Бушкова О.В., Лирова Б.И. // Опубликовано 27.08.1999.

9. Watanabe M., Kanba M., Nagaoka K., Shiohara I. // *J. Appl. Polym. Sci.* 1982. No. 27. P. 4191–4194.

10. Жуковский В.М., Бушкова О.В., Лирова Б.И. и др. Проблема быстрого ионного транспорта в твердых полимерных электролитах // *Журнал Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева*. 2001. Т. XLV, № 4. С. 35–43.

11. Ярмоленко О.В., Хатмуллина К.Г. Полимерные электролиты для литиевых источников тока: современное состояние и перспективы // *Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEЕ)*. 2010. № 3 (83). С. 59–76.

12. Михайлова А.М., Зубцова К.С. Разработка технологических основ создания литиевого источника тока с твердым полимерным электролитом // *Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEЕ)*. 2013. № 2/2 (120). С. 112–116.

13. Ефанова В.В., Зубцова К.С., Новожилов Е.П. и др. Суперинионные проводники по щелочному металлу на основе полиакрилатов // *Тезисы докладов 7-ой Всероссийской научной конференции «Технологии и материалы для экстремальных условий»*, Туапсе, 15–22 сентября 2012 г. С. 64–65.

14. Укше Е.А., Букун Н.Г. К вопросу об импедансе границы металл/твердый электролит // *Электрохимия*, 1980. Т. 16, № 3. С. 313–319.

15. Чеботарев В.П., Смирнов С.Е., Комков В.А. Гель-полимерные электролиты на основе полисульфона для литиевых источников тока // *Пластические массы*. 2003. С. 7–9.

16. Духанин Г.П., Думлер С.А., Новаков И.А., Глазов В.И. Перспективные электролиты для литиевых химических источников тока // *Химия и технология элементоорганических мономеров и полимерных материалов: межвуз. сб. науч. тр. ВолгГТУ – Волгоград*, 1997. С. 65–73.

17. Духанин Г.П., Думлер С.А., Саблин А.Н., Новаков И.А. Электропроводящие композиции на основе системы полиэтиленкарбонат – перхлорат лития // *Известия ВолгГТУ: межвуз. сб. научн. ст.* № 6(32). ВолгГТУ – Волгоград, 2008. Сер. Химия и технология элементоорганических мономеров и полимерных материалов. С. 163–165.



### References

1. Himičeskie istočniki toka: Handbook. Moscow: Izd-vo Mosk. ènerg. in-ta Publ., 2003 (in Russ.).
2. Nizhnikovskiy E.A. Himičeskie istočniki avtonomnogo èlektropitaniâ radioèlektronnoj apparatury. Moscow: Izd-vo Mosk. ènerg. in-ta Publ., 2004 (in Russ.).
3. Bagocky V.S., Skundin A.M. Problemy v oblasti litievyh istočnikov toka. *Èlektrohimiâ*, 1995, vol. 31, no. 4, pp. 342–349 (in Russ.).
4. Chudinov E.A., Tkachuk S.V. Primenenie lateksov v proizvodstve materialov litij-ionnogo akkumulâtora. *Aktual'nye problemy èlektrohimičeskoj tehnologii*, Saratov, 2011, vol. 2, pp. 151–156 (in Russ.).
5. Gray F.M. Polymer electrolytes. Cambridge: The Royal Society of Chemistry, 1997 (in Eng.).
6. Chandrasekhar V. Polymer solid electrolytes: synthesis and structure. *Advances in Polymer Science*, 1998, vol. 135, pp. 139–205 (in Eng.).
7. Syromyatnikov V.G., Paskal' L.P., Mashkin O.A. Polimernye èlektrolity dlâ litievyh himičeskih istočnikov toka. *Uspehi himii*, 1995, vol. 3, no. 64, pp. 265–274 (in Russ.).
8. Zhukovsky V.M., Bushkova O.V., Lirova B.I. Tverdyj litijprovodâšij èlektrolit i sposob ego polučenâ. Patent 2066901 RF, MKI N 01M 6/18. Opublikovano 27.08.1999 (in Russ.).
9. Watanabe M., Kanba M., Nagaoka K., Shiohara I. *J. Appl. Polym. Sci.*, 1982, no. 27, pp. 4191–4194 (in Eng.).
10. Zhukovsky V.M., Bushkova O.V., Lirova B.I. et al. Problema bystrogo ionnogo transporta v tverdyh polimernyh èlektrolitah. *Žurnal Ros. him. ob-va im. D.I. Mendeleeva*, 2001, vol. XLV, no. 4, pp. 35–43 (in Russ.).
11. Yarmolenko O.V., Hatmullina K.G. Polimernye èlektrolity dlâ litievyh istočnikov toka: sovremennoe sostoânie i perspektivy. *International Scientific Journal «Al'ternativnaâ ènergetika i èkologiâ» (ISJAE)*, 2010, no. 3 (83), pp. 59–76 (in Russ.).
12. Mihailova A.M., Zubcova K.S. Razrabotka tehnologičeskih osnov sozdaniâ litievogo istočnika toka s tverdyim polimernym èlektrolitom. *International Scientific Journal «Al'ternativnaâ ènergetika i èkologiâ» (ISJAE)*, 2013, no. 2/2 (120), pp. 112–116 (in Russ.).
13. Efanova V.V., Zubcova K.S., Novozhilov E.P. et al. Superionnye provodniki po šeločnomu metallu na osnove poliakrilatov. *Abstracts of 7<sup>th</sup> Russian Scientific Conference «Tehnologii i materialy dlâ èkstremaal'nyh uslovij»*, Tuapse, 15–22 September 2012, pp. 64–65 (in Russ.).
14. Ukshe E.A., Bukun N.G. K voprosu ob impedanse granicy metall/tverdyj èlektrolit. *Èlektrohimiâ*, 1980, vol. 16, no. 3, pp. 313–319 (in Russ.).
15. Chebotarev V.P., Smirnov S.E., Komkov V.A. Gel'polimernye èlektrolity na osnove polisul'fona dlâ litievyh istočnikov toka. *Plastičeskie massy*, 2003, pp. 7–9 (in Russ.).
16. Duhanin G.P., Dumler S.A., Novakov I.A., Glazov V.I. Perspektivnye èlektrolity dlâ litievyh himičeskih istočnikov toka. *Himiâ i tehnologiâ èlementoorganičeskih monomerov i polimernyh materialov*: Interuniversity Collection of Scientific Papers of VolgGTU – Volgograd, 1997, pp. 65–73 (in Russ.).
17. Duhanin G.P., Dumler S.A., Sablin A.N., Novakov I.A. Èlektroprovodâšie kompozicii na osnove sistemy poliètilenkarbonat – perhlorat litiâ. *Izvestiâ VolgGTU*: Interuniversity Collection of Scientific Papers no. 6(32). VolgGTU – Volgograd, 2008, Ser. Himiâ i tehnologiâ èlementoorganičeskih monomerov i polimernyh materialov, pp. 163–165 (in Russ.).

Транслитерация по ISO 9:1995



УДК 544.651.1

## ИНТЕРКАЛИРОВАННЫЕ ОКСИДЫ НИКЕЛЯ В ТВЕРДОФАЗНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ ЭНЕРГИИ

*Г.И. Сигейкин<sup>1</sup>, А.М. Михайлова<sup>2</sup>, Н.Н. Ковынёва<sup>2</sup>, Е.Д. Михайлов<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> ФГБУН Межведомственный центр аналитических исследований в области физики, химии и биологии при Президиуме Российской академии наук  
РФ 119333, Москва, ул. Вавилова, 44, корп. 2  
тел.: 8(499) 135-20-58; e-mail: mza2@ipiran.ru

<sup>2</sup> ФГБОУ ВПО Саратовский государственный технический университет имени Ю.А. Гагарина  
РФ 410054, Саратов, ул. Политехническая, 77  
8-(8452)-998627; kovinyovann@bk.ru

doi: 10.15518/isjaee.2015.20.010

Заключение совета рецензентов: 04.09.15    Заключение совета экспертов: 11.09.15    Принято к публикации: 18.09.15

В работе исследовалась возможность использования интеркалированных оксидов никеля в качестве катодного материала для создания источника тока с твёрдым электролитом  $\beta\text{-Al}_2\text{O}_3$ . Установлено, что при функционировании твёрдофазной электрохимической системы  $\text{Na(Hg)} / \beta\text{-Al}_2\text{O}_3 / \text{Na}_{0,2}\text{NiO}_2$  продукт реакции также является твёрдым электролитом с проводимостью по ионам щелочного металла. Получены электротехнические характеристики лабораторных макетов химических источников тока.

Ключевые слова: химический источник тока (ХИТ), твердый электролит,  $\beta$ -глинозем.

## THE INTERCALATED OXIDES OF NICKEL IN SOLID PHASE POWER CONVERTERS

*G.I. Sigeikin<sup>1</sup>, A.M. Mikhailova<sup>2</sup>, N.N. Kovyneva<sup>2</sup>, E.D. Mikhailov<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Interdepartmental Center of Analytical Researches in the Field of Physics, Chemistry and Biology at the Presidium of the RAS  
2 block, 44 Vavilov str., Moscow, 119333 Russian Federation  
ph.: 8(499) 135-20-58; e-mail: mza2@ipiran.ru

<sup>2</sup> Federal State Institution of Science  
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov  
77 Polytechnicheskaya str., Saratov, 410054 Russian Federation  
ph.: 8(452) 99-86-27; e-mail: kovinyovann@bk.ru

doi: 10.15518/isjaee.2015.20.010

Referred 04 September 2015    Received in revised form 11 September 2015    Accepted 18 September 2015

The article considers the possibility of using intercalated oxides of nickel as cathode material of current source with a solid electrolyte  $\beta\text{-Al}_2\text{O}_3$ . It is established that at the functioning of solid-state electrochemical system  $\text{Na(Hg)}/\beta\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{Na}_{0,2}\text{NiO}_2$ , the reaction product is a solid electrolyte with a conductivity of alkali metal ions. There are obtained electrical characteristics of laboratory model chemical current source.

Keywords: chemical current source, solid electrolyte,  $\beta$ -alumina.





Сигейкин Геннадий Иванович  
Gennadiy I. Sigeikin

**Сведения об авторе:** д-р хим. наук, ФГБУН Межведомственный центр аналитических исследований в области физики, химии и биологии при Президиуме Российской академии наук.

**Образование:** Уральский технический университет (Уральский политехнический институт им. С.М. Кирова).

**Область научных интересов:** химические источники тока и суперконденсаторы.

**Публикации:** 185, в том числе 1 монография.

**Information about the author:** DSc (chemistry), Interdepartment Center of Analytical Research in Physics, Chemistry and Biology at the Presidium of Russian Academy of Sciences.

**Education:** Ural State Technical University.

**Research area:** chemical sources of electricity and super-capacitors.

**Publications:** 185, including 1 monograph.



Михайлова Антонина  
Михайловна  
Antonina M. Mikhailova

**Сведения об авторе:** д-р хим. наук, профессор, ФГБОУ ВПО Саратовский государственный технический университет имени Ю.А. Гагарина.

**Образование:** Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского.

**Область научных интересов:** ионика твердого тела.

**Публикации:** более 200, в том числе 1 монография, 52 авторских свидетельства и патента.

**Information about the author:** DSc (chemistry), Yuri Gagarin State Technical University of Saratov.

**Education:** Saratov State University.

**Research area:** solid state ionics.

**Publications:** more than 200, including 1 monograph, 52 inventor's certificate and patent.



Ковынёва Наталья Николаевна  
Natalya N. Kovyneva

**Сведения об авторе:** канд. техн. наук, ассистент, Саратовский государственный технический университет имени Ю.А. Гагарина.

**Образование:** Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского.

**Область научных интересов:** химические источники тока, твердые электролиты.

**Публикации:** 26 и 1 патент.

**Information about the author:** PhD (engineering), Yuri Gagarin State Technical University of Saratov.

**Education:** Saratov State University.

**Research area:** chemical current sources, solid electrolytes.

**Publications:** 26 and 1 patent.



Михайлов Егор Дмитриевич  
Egor D. Mikhailov

**Сведения об авторе:** аспирант, Саратовский государственный технический университет имени Ю.А. Гагарина.

**Образование:** Саратовский государственный технический университет имени Ю.А. Гагарина.

**Область научных интересов:** водородная энергетика, топливные элементы.

**Публикации:** 18.

**Information about the author:** postgraduate, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov.

**Education:** Yuri Gagarin State Technical University of Saratov.

**Research area:** hydrogen energy, fuel cell.

**Publications:** 18.



## Введение

К особенностям электрохимических систем с твёрдым электролитом можно отнести отсутствие жидкой фазы, высокую сохранность (до 20 лет) и униполярную проводимость твёрдого электролита, обеспечивающую реализацию продуктов разряда исключительно в области катода и за счет этого позволяющую системе функционировать в аккумуляторном режиме. На этом же принципе основана работа литий-ионных аккумуляторов [1–3]. В статье [4], посвящённой исследованию поведения  $\beta$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  на границе с органическими комплексами с переносом заряда (КПЗ), которые обладают полупроводниковой проводимостью  $p$ -типа, было показано, что такое явление существует, и оно может быть положено в основу создания твёрдофазного обратимого химического источника тока (ХИТ). Однако, ввиду большого молекулярного веса органических полупроводников  $p$ -типа, последние не обеспечивают высокую удельную энергию ХИТ, теоретическое значение которой составляет всего лишь  $200 \div 300$  Вт·ч/кг, хотя ЭДС таких систем имеет достаточно высокое значение  $\sim 3$  В благодаря использованию анода из щелочного металла. Для того чтобы повысить удельную энергию целесообразно оценить возможность использования в ХИТ неорганических легированных оксидов переходных металлов, также обладающих полупроводниковой проводимостью  $p$ -типа. Теоретическая энергия ХИТ на основе щелочного металла и неорганических оксидов  $d$ -элементов составляет  $800 \div 1\ 000$  Вт·час/кг, т.е. в 3–4 раза превышает значение аналогичного параметра для систем с органическими полупроводниками  $p$ -типа. В данной работе предпочтение отдано легированным оксидам никеля с проводимостью  $p$ -типа.

## Методика эксперимента

Синтез полиалюмината натрия [5] проводили в печи при температуре  $1\ 380 \div 1\ 400$  °С в течение 2-х часов. Исходную смесь и синтезированный порошок перетирали в фарфоровой мельнице в течение 3–4 часов. Полученный порошок алюмината натрия анализировали на фазовый состав, содержание оксида натрия и легирующих добавок определяли по пикнометрической плотности. Формирование электро-

литных мембран проводили методом двухстороннего прессования при давлении  $5 \div 6$  т/см<sup>2</sup>. Полученные в виде таблеток диаметром 12 мм и толщиной  $2 \div 3$  мм образцы спекались в вакуумной электропечи в среде инертного газа – аргона.

Полиалюминат лития, согласно [6], не удается получить прямым синтезом, и поэтому его готовили путем ионного обмена между полиалюминатом натрия и расплавом  $\text{LiNO}_3$ . Таким образом, обычно получается смешанный полиалюминат состава  $x\text{Na}_2\text{O} \times y\text{Li}_2\text{O} \times 11\text{Al}_2\text{O}_3$ , где  $x + y > 1$ . Материал проявляет так называемую соионную проводимость, сущность которой состоит в том, что при замещении примерно 50 % ионов  $\text{Na}^+$  ионами  $\text{Li}^+$  число переноса последних практически достигает единицы, т.е. ионы  $\text{Na}^+$  перестают участвовать в переносе тока. При полном замещении ионов  $\text{Na}^+$  ионами  $\text{Li}^+$  проводимость уменьшается на несколько порядков.

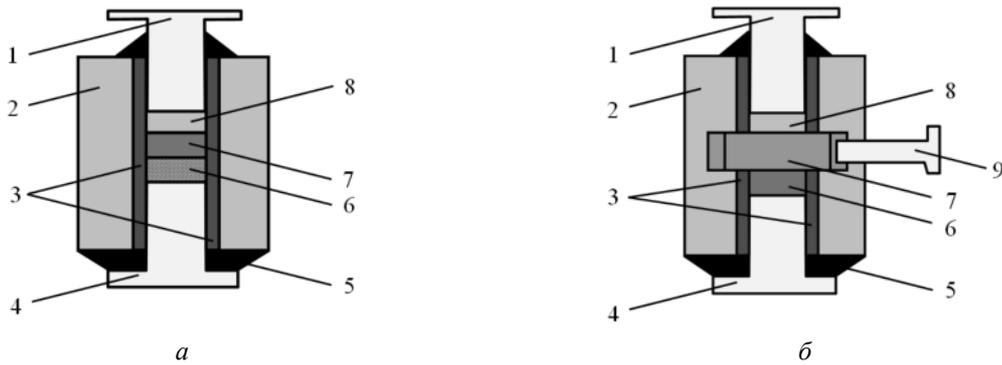
Химический синтез оксидных легированных полупроводников  $p$ -типа ( $\text{Li}_x\text{NiO}_2$ ,  $\text{Na}_x\text{NiO}_2$ ) осуществлялся отжигом смесей  $\text{LiOH}$  или  $\text{NaOH}$  с различными соединениями никеля (оксид, нитрат, карбонильный никель) в атмосфере воздуха при 923 К в течение определенного промежутка времени (от 3 до 24 ч). Для более полного окисления  $\text{Ni}^{+2}$  до  $\text{Ni}^{+3}$  применяли четырехкратный избыток  $\text{LiOH}$  в сравнении со стехиометрическим.

Твёрдые электролиты можно получать электрохимическим способом при катодной поляризации в ячейках с униполярным твёрдым электролитом путем миграции основного иона проводимости последнего в катодный материал. Электросинтез оксидных интеркалированных полупроводников  $p$ -типа, обладающих свойствами твердого проводника по ионам натрия, проводился в гальваностатическом режиме в диапазоне токов  $5 \div 15$  мА/см<sup>2</sup> при температуре 363 К.

Используемые в работе химические реактивы марки ч.д.а. предварительно сушились в вакуумной камере. Состав продуктов контролировался методами рентгенофазового и дифференциально-термического анализов.

Сборка двух- и трехэлектродных твердофазных ячеек (рис. 1) для электрохимических исследований проводилась в боксах 8ПП1-ОС в атмосфере сухого аргона высшего сорта (ГОСТ-10157-73) и сухой воздушной атмосфере с контролируемой влажностью (по точке росы не выше 243 К).





**Рис. 1.** Конструкция двухэлектродной (а) и трехэлектродной (б) твердофазных ячеек: 1, 4 – пуансоны (токоотводы); 2 – корпус; 3 – изолирующая втулка; 5 – герметик; 6 – катодный материал; 7 – твердый электролит; 8 – анодный материал; 9 – электрод сравнения

**Fig. 1.** The design of the two-electrode (a) and three-electrode (b) solid-state cells: 1, 4 – punches (collectors); 2 – body; 3 – insulating bushing; 5 – sealant; 6 – cathode; 7 – solid electrolyte; 8 – anode; 9 – reference electrode

Электрохимические измерения осуществляли на потенциостате Elins P-30I. Исследования в переменном токе проходили с помощью импедансметра Elins Z-2000. Выходные параметры фиксировались компьютером с соответствующим программным обеспечением. Температура ячеек, при которой проводились электрические измерения, контролировалась с точностью  $\pm 0,1$  К термостатом U-10.

### Результаты и их обсуждение

Методом переменного тока исследовались различные типы полюалюминатных твёрдых электролитов. Обработка полученных результатов проводилась на основе модели адсорбционной релаксации двойного электрического слоя, предложенной Б.М. Графовым и Е.А. Укше [7].

Путем обработки графоаналитическим методом частотной зависимости входных параметров  $R$  и  $C$  в

диапазоне частот  $0,1 \div 200$  кГц были определены объемная проводимость и поляризационное сопротивление на ячейках с обратимыми и необратимыми электродами ( $\text{Na}/\beta\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{Na}$ ,  $\text{Pt}/\beta\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{Pt}$ ), температурные зависимости которых согласуются с уравнением Аррениуса:

$$\sigma T = \sigma^0 \exp(-E_\sigma / kT), \quad (1)$$

$$R_{F1} T^{-1} = R_F^0 \exp(-E_F / kT), \quad (2)$$

где  $\sigma$  – объемная проводимость;  $R_{F1}$  – поляризационное сопротивление;  $\sigma^0$  и  $R_F^0$  – соответствующие предэкспоненциальные множители;  $E_\sigma$  и  $E_F$  – соответствующие энергии активации;  $k$  – постоянная Больцмана;  $T$  – абсолютная температура.

Результаты определения параметров этих уравнений, а также значения  $\sigma$  и  $R_{F1}$  приведены в табл. 1.

Таблица 1

Объемная проводимость и поляризационное сопротивление полиалюминатных электролитов

Table 1

Bulk conductance and polarization resistance of polyaluminium electrolytes

Твёрдый электролит	Объемная проводимость		Поляризационное сопротивление	
	$\sigma, 25^\circ\text{C}, \text{См/см}$	$E_\sigma, \text{эВ}$	$R_{F1}, 25^\circ\text{C}, \text{Ом}\cdot\text{см}^2$	$E_F, \text{эВ}$
$1,1\text{Na}_2\text{O} \cdot 11\text{Al}_2\text{O}_3$	0,0054	0,148	226	0,314
$1,1\text{Na}_2\text{O} \cdot 1,1\text{MgO} \cdot 11\text{Al}_2\text{O}_3$	0,0295	0,143	102	0,453
$1,6\text{Na}_2\text{O} \times 0,6\text{CoO} \times 0,2\text{TiO}_2 \times 11\text{Al}_2\text{O}_3$	0,0160	0,143	49	0,424

В соответствии с полученными данными, наименьшим поляризационным сопротивлением и достаточно высокой объемной проводимостью на границе со щелочным металлом (литием, натрием) обладает электролит состава  $1,6\text{Na}_2\text{O} \times 0,6\text{CoO} \times 0,2\text{TiO}_2 \times 11\text{Al}_2\text{O}_3$ .

При обработке гальваностатических поляризационных кривых, используемых для оценки степени превращения вещества и подтверждающих топохи-

мический механизм твердофазной реакции, были определены основные критерии ее протекания, из анализа которых следует, что топохимическая реакция проходит с диффузионным контролем, т.е. лимитирующей стадией является диффузия ионов щелочного металла в объеме оксида.

После сравнительного анализа экспериментально полученных кривых гальваностатического восстановления некоторых предварительно окисленных

никелатов в 1М растворе перхлората лития в пропиленкарбонате можно сделать вывод о том, что поведение  $\text{NaNiO}_2$  на границе с  $\beta\text{-Al}_2\text{O}_3$ -электролитом, проводящим по ионам  $\text{Na}^+$ , аналогично поведению  $\text{LiNiO}_2$  в растворе перхлората лития в пропиленкарбонате (рис. 2).

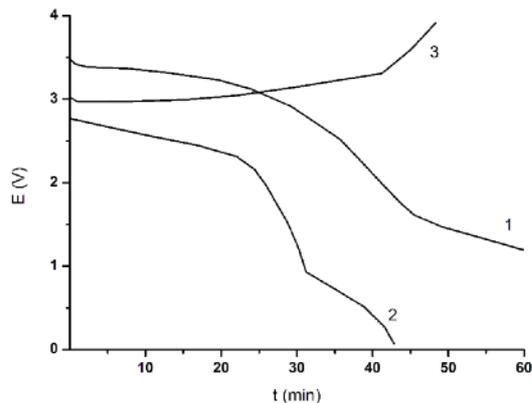


Рис. 2. Разрядные (1; 2) и зарядная (3) кривые при  $i = 1 \text{ mA/cm}^2$ ,  $T = 295 \text{ K}$  систем:

1 –  $\text{Li} / \text{LiClO}_4, \text{ПК} / \text{Li}_x\text{NiO}_2$ ; 2, 3 –  $\text{Na} / \beta\text{-Al}_2\text{O}_3 / \text{Na}_x\text{NiO}_2$

Fig. 2. Discharge (1; 2) and charging (3) curves at  $i = 1 \text{ mA/cm}^2$ ,  $T = 295 \text{ K}$  systems:

1 –  $\text{Li} / \text{LiClO}_4, \text{ПК} / \text{Li}_x\text{NiO}_2$ ; 2, 3 –  $\text{Na} / \beta\text{-Al}_2\text{O}_3 / \text{Na}_x\text{NiO}_2$

Согласно анализу гальваностатических разрядно-зарядных кривых, полученных при плотности тока  $i = 1 \text{ mA/cm}^2$ ,  $T = 298 \text{ K}$  после сообщения ячейке зарядной ёмкости  $5,7 \text{ MAч}$ , что приблизительно отвечает составу  $\text{Na}_{0,4}\text{NiO}_2$ , можно предположить, что окисление никелата натрия сопровождается переходом трёхвалентного никеля в четырёхвалентное состояние при одновременном переходе соответствующего количества катионов  $\text{Na}^+$  в твёрдый электролит. При этом заряд протекал при напряжении ниже потенциала разложения  $\beta\text{-Al}_2\text{O}_3$ , а именно, не более  $4,5 \text{ V}$ .

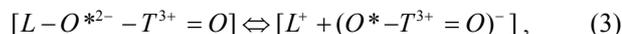
Добавление катиона к полупроводниковому материалу в качестве более сильного донора искажает кристаллическую решетку кристалла по отношению к нейтральному состоянию. Следствием этого является изменение структуры вакансий в кристаллах, которое стимулирует электронное перераспределение и возникновение ионной составляющей проводимости за счет увеличения количества дефектов решетки: вакансий и дырок.

Поскольку продукт суммарной электродной реакции ХИТ реализуется в области катода, то модель, описывающая поведение электрохимических систем в целом, по-видимому, будет определяться моделью, описывающей поведения катода – оксида переходного металла – как полупроводника  $p$ -типа и базирующейся на основных положениях физики твёрдого тела. Из анализа соотношения работ выхода электрона из щелочного металла и полупроводника  $p$ -типа вытекает, что при их контакте электроны имеют более низкую работу выхода из щелочного металла и компенсируют дырки полупроводника, а атомы остаются свободными и занимают имеющиеся вакансии.

При замыкании электрохимической ячейки на внешнее сопротивление ионы щелочного металла под действием электрического поля направляются в объём катода, который сам инжектирует дырки и вакансии, обеспечивая миграцию и диффузию катиону щелочного металла для компенсации заряда, сохраняя при этом электронейтральность продукта реакции. Исходя из литературных данных, образование твёрдого никелата в системе оксид щелочного металла/оксид никеля можно представить как образование твёрдого раствора [8].

Характерная особенность полупроводниковых оксидных катодов состоит в том, что их электрохимическая активность симбатно связана с величиной их дырочной электропроводности. Это может быть объяснено тем, что механизмы этих процессов имеют общую основу.

При определённых температурах наряду с дырочной проводимостью наблюдается ионная проводимость, обусловленная термической диссоциацией дырочного комплекса:



где  $T$  – переходный металл, например  $\text{Ni}$ ;  $L$  – щелочной металл.

Диссоциация здесь понимается в том смысле, что ионы, которые фиксированы в определенных кристаллических точках, приобретают подвижность, т.е. способность переносить заряд под действием электрического поля.

Возможность существования иона переходного металла в нескольких окислительных состояниях позволяет объяснить высокую электропроводность некоторых оксидов переходных металлов электронными переносами типа  $M^{n+1} + M^{n+} \rightarrow M^{n+} + M^{n+1}$  на  $d$ -уровни металла. Но такой перенос, согласно принципу контролируемой валентности, возможен лишь при введении примесей. В частности, вводя в оксид никеля  $\text{Ni}_2\text{O}_3$  ионы  $\text{Na}^+$  или  $\text{Li}^+$  вместо  $\text{Ni}^{3+}$ , можно получить в нём, вследствие необходимости выполнения правила электронейтральности, некоторое количество ионов  $\text{Ni}^{4+}$ .

Анализ представленных на рис. 3 потенциодинамических кривых окисления  $\text{NaNiO}_2$  в системе  $\text{Pt} / \text{NaNiO}_2 / \beta\text{-Al}_2\text{O}_3$  (а) и восстановления продукта окисления (б) показал: потенциалы максимумов тока для обоих процессов зависят от скорости развертки потенциала, что свидетельствует о необратимости процессов, т.е. о контроле электродных процессов стадией переноса заряда. Зависимость потенциала пика тока восстановления  $\phi_{\text{Red}}$  от скорости развертки потенциала  $V_p$ , полученная Никольсоном и Шейном [9], имеет вид:

$$\phi_{\text{Red}} = \phi^0 - \frac{RT}{\alpha n_a F} [0,78 - \ln k_s + \ln \sqrt{D_{\text{Ox}} B}], \quad (4)$$

$$B = \frac{\alpha n_a F V_p}{RT}, \quad (5)$$

где  $\phi^0$  – стандартный потенциал;  $D_{O_x}$  – коэффициент диффузии окисленной формы;  $k_s$  – стандартная константа скорости электродного процесса;  $\alpha$  – коэффициент переноса;  $n_\alpha$  – количество электронов, участвующих в реакции;  $V_p$  – скорость развертки потенциала; или

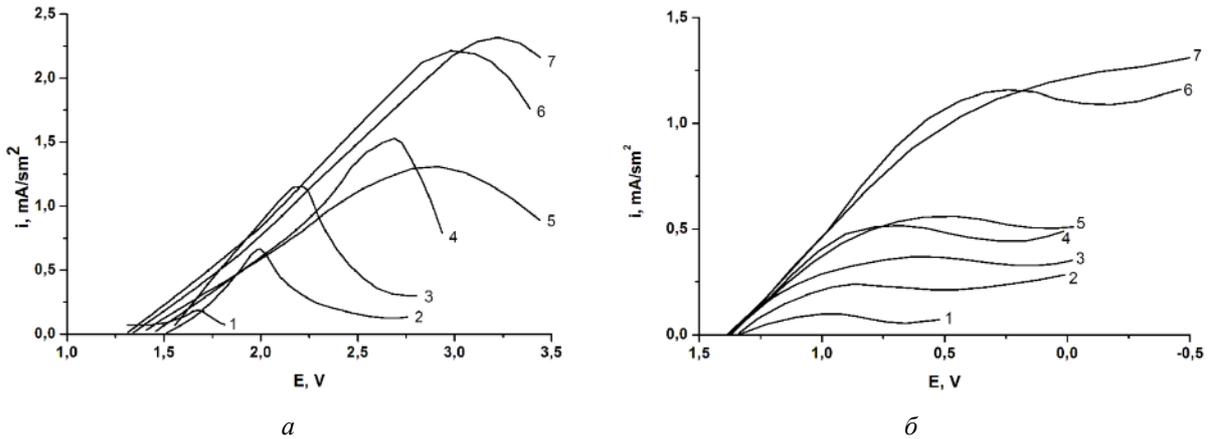
$$\phi_p = A - \frac{RT}{2\alpha n_\alpha F} \ln V_p, \quad (6)$$

т.е. потенциал пика линейно зависит от  $\ln V_p$ .

Для процесса окисления уравнение (6) можно записать в виде:

$$j_p = A' + \frac{RT}{2\beta n_\beta F} \ln V_p, \quad (7)$$

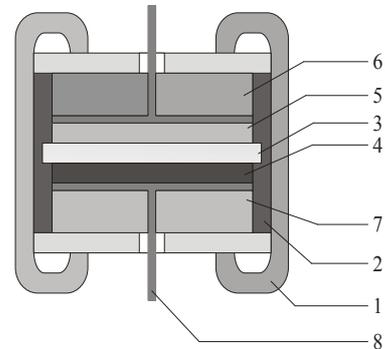
где  $\beta = 1 - \alpha$ .



**Рис. 3.** Потенциодинамические кривые окисления  $\text{NaNiO}_2$  в системе  $\text{Pt} / \text{NaNiO}_2 / \beta\text{-Al}_2\text{O}_3$  (а) и восстановления продукта окисления (б) при  $V_p$ , мВ/сек: 1 – 0,1; 2 – 1; 3 – 2; 4 – 4; 5 – 8; 6 – 10; 7 – 20  
**Fig. 3.** Potentiometric curves of  $\text{NaNiO}_2$  oxidation in the  $\text{Pt} / \text{NaNiO}_2 / \beta\text{-Al}_2\text{O}_3$  system (a) and recovery of the oxidation product (b) at  $V_p$ , mV/sec: 1 – 0,1; 2 – 1; 3 – 2; 4 – 4; 5 – 8; 6 – 10; 7 – 20

Полученные зависимости потенциалов пиков токов окисления и восстановления от  $\ln V_p$  имеют два линейных участка. Это, вероятно, объясняется тем, что пики являются сложными, т.е. представляют собой комбинацию, например, двух близкорасположенных пиков, о чем говорит большая полуширина и размытость пиков на рис. 3. Вычисленные из наклона линейных участков в области больших скоростей развертки потенциала  $\alpha n_\alpha$  и  $\beta n_\beta$  оказались практически равными 0,01. Если действительно эти участки относятся к процессам окисления-восстановления для одной и той же электродной реакции, то равенство  $\alpha n_\alpha = \beta n_\beta$  означает  $\alpha = \beta = 0,5$ . Тогда  $n_\alpha = n_\beta = n = 0,02$ . Следовательно, в рассматриваемом процессе происходит передача одного электрона на 50 атомов никеля. Это можно объяснить тем, что никелат натрия является полупроводником с высокой электронной проводимостью, и, соответственно, с высокой делокализацией электронов.

Для оценки возможности применения исследованных интеркалированных оксидов никеля в качестве катодного материала в твердофазных преобразователях энергии были собраны макетные образцы ХИТ с твердым электролитом  $\beta\text{-Al}_2\text{O}_3$  и определены их основные технические характеристики. Способ изготовления макета ХИТ (рис. 4) заключается в следующем.



**Рис. 4.** Конструкция ХИТ с мембраной из  $\beta$ -глинозёма: 1 – корпус; 2 – изоляционное кольцо; 3 –  $\beta\text{-Al}_2\text{O}_3$ ; 4 – катод; 5 – анод; 6, 7 – изолятор; 8 – токоотвод  
**Fig. 4.** The design of the chemical current source with the membrane of  $\beta\text{-Al}_2\text{O}_3$  (alumina): 1 – body; 2 – insulating ring; 3 –  $\beta\text{-Al}_2\text{O}_3$ ; 4 – cathode; 5 – anode; 6, 7 – insulator; 8 – collector

В качестве анода для всех систем применялся металлический натрий либо его амальгама, содержащая 10 % (вес.) ртути. Таблетки из  $\beta$ -глинозёма 3 запрессовывали под давлением в металлический корпус 1 с использованием изоляционного кольца 2. С одной стороны к таблетке твёрдого электролита подпрессовывали активную катодную массу 4, и эту сторону завальцовывали. Затем в боксе в сухой аргонной атмосфере на таблетку из  $\beta$ -глинозёма наносили активную анодную массу 5. В отдельных образцах ис-

пользовали так называемый матричный катод, изготавливаемый из смеси активной массы порошка  $\beta$ -глинозема, никелата и сажи. В элементе размещены токоподводы 8 и изоляционные прокладки 6, 7.

Согласно представленным результатам, авторы данной статьи экспериментально подтвердили возникновение суперионного эффекта в неорганических полупроводниках  $p$ -типа, к которым относится оксид никеля при его катодной поляризации. Ионная составляющая проводимости имеет значение не ниже, чем проводимость  $\beta$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ , т.е.  $10^{-2}$  См/см.

### Заключение

Анализ результатов выполненных исследований показал, что при функционировании твёрдофазной электрохимической системы, включающей полупроводниковые катодные материалы  $p$ -типа на основе оксидов никеля, интеркалированных щелочным металлом, и твёрдый электролит  $\beta$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ , продукт реакции также является твёрдым электролитом с проводимостью по ионам щелочного металла. Таким образом, интеркалированные оксиды никеля можно рекомендовать в качестве перспективного катодного материала для создания источника тока с твёрдым электролитом  $\beta$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Проведенные испытания лабораторных макетов ХИТ на основе системы  $\text{Na}(\text{Hg})|\beta\text{-Al}_2\text{O}_3|\text{Na}_{0,2}\text{NiO}_2$  показали следующие характеристики: ЭДС  $3,2 \div 4,0$  В; внутреннее сопротивление  $3 \cdot 10^2$  Ом; напряжение разряда  $2,5 \div 2,8$  В; напряжение заряда 3,2 В; отдача по емкости  $60 \div 80$  %; теоретическая удельная энергия  $700 \div 820$  Вт·ч/кг. Работа ХИТ в целом лимитируется катодом. Использование данной твёрдофазной системы может быть положено в основу создания натрий-ионного аккумулятора, функционирующего аналогично литий-ионному, если в качестве анода использовать инертный электропроводящий материал, например углеродные нанотрубки.

### Список литературы

1. Скундин А.М., Ефимов О.Н., Ярмоленко О.В. Современное состояние и перспективы развития литиевых аккумуляторов // Успехи химии. 2002. № 4. С. 378–398.
2. Кедринский И.А., Дмитриенко В.Е., Поваров Ю.М., Грудянов И.И. Химические источники тока с литиевым электродом. Красноярск: Изд-во Краснояр. ун-та, 1983.
3. Львов А.Л. Литиевые источники тока // Соросовский образовательный журнал. 2001. Т. 7, № 3. С. 45–51.

4. Михайлова А.М., Ефанова В.В., Михайлов Д.О., Ковынёва Н.Н. Механизм и кинетика электродных процессов в системах с твёрдым полимерным полиалюминатным электролитом // Электрохимия. 2011. Т. 47. С. 798–805.

5. Букун Н.Г., Укше Е.А., Москвина Е.И., Доросинский А.Л. Твёрдофазный синтез полиалюмината натрия // Журн. неорг. химии. 1986. Т. 21, № 7. С. 1722–1726.

6. Третьяков Ю.Д. Развитие химии твёрдофазных материалов с высокой ионной проводимостью // Изв. АН СССР. Неорганические материалы. 1979. Т. 15, № 6, С. 1014–1018.

7. Графов Б.М., Укше Е.А. Электрохимические цепи переменного тока. М.: Наука, 1973.

8. Морин Ф. Полупроводниковые окислы переходных металлов. В сб.: Диэлектрическая спектроскопия. М.: Изд-во Ин. лит-ры, 1960. С. 221–264.

9. Nicholson R.S., Shain I. Theory of stationary electrode polarography. Single scan cyclic methods applied to reversible, irreversible and kinetic systems // Anal. Chem. 1964. Vol. 36, № 4. P. 706–723.

### References

1. Skundin A.M., Efimov O.N., Yarmolenko O.V. Sovremennoe sostoânie i perspektivy razvitiâ litievyyh akkumulâtorov. *Uspëhi himii*, 2002, no. 4. pp. 378–398 (in Russ.).
2. Kedrinsky I.A., Dmitrienko V.E., Povarov Yu.M., Grudyanov I.I. Himičeskie istočniki toka s litievym èlektrodom. Krasnoyarsk: Izd-vo Krasnoâr. un-ta, 1983 (in Russ.).
3. L'vov A.L. Litievye istočniki toka. *Sorosovskij obrazovatel'nyj žurnal*, 2001, vol. 7, no. 3, pp. 45–51 (in Russ.).
4. Mihailova A.M., Efanova V.V., Mihailov D.O., Kovyneva N.N. Mehanizm i kinetika èlektrodnyh processov v sistemah s tverdym polimernym polialûminatnym èlektrolitom. *Èlektrohimia*, 2011, vol. 47, pp. 798–805 (in Russ.).
5. Bukun N.G., Ukshe E.A., Moskvina E.I., Dorosinsky A.L. Tverdogfaznyj sintez polialûminata natriâ. *Žurn. neorg. himii*, 1986, vol. 21, no. 7, pp. 1722–1726 (in Russ.).
6. Tretyakov Yu.D. Razvitie himii tverdogfaznyh materialov s vysokoy ionnoj provodimost'û. *Izv. AN USSR. Neorganičeskie materialy*, 1979, vol. 15, no. 6, pp. 1014–1018 (in Russ.).
7. Grafov B.M., Ukshe E.A. Èlektrohimicheskie cepi përemennogo toka. Moscow: Nauka Publ., 1973 (in Russ.).
8. Morin F. Poluprovodnikovye okisly perehodnyh metallov. V sb.: Dièlektričeskaâ spektroskopiiâ. Moscow: Izd-vo In. lit-ry, 1960, pp. 221–264 (in Russ.).
9. Nicholson R.S., Shain I. Theory of stationary electrode polarography. Single scan cyclic methods applied to reversible, irreversible and kinetic systems. *Anal. Chem.*, 1964, vol. 36, no. 4, pp. 706–723 (in Eng.).

Транслитерация по ISO 9:1995





# ИНФОРМАЦИЯ

# INFORMATION

## НАУЧНЫЕ ФОНДЫ, НАУЧНЫЕ ПРОЕКТЫ

## SCIENTIFIC FUNDS AND SCIENTIFIC PROJECTS



Национальная ассоциация водородной энергетики (НАВЭ)  
 Технический комитет по стандартизации  
 «Водородные технологии» ТК 29  
 (Росстандарт)

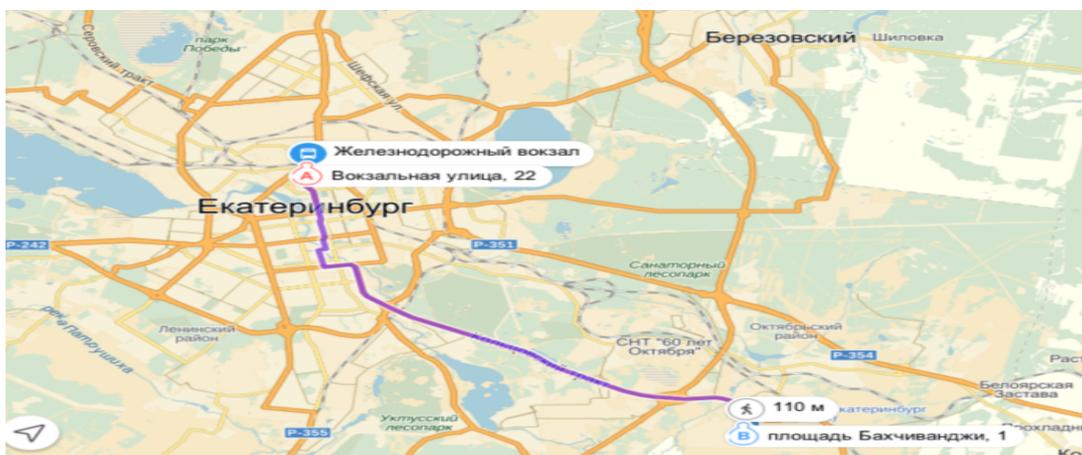


### Проект ВТЭК Екатеринбург-2015

Проект создания на основе национальных стандартов водородного транспортно-энергетического комплекса (ВТЭК) и организации его опытной эксплуатации в городе Екатеринбурге на автобусном маршруте ж/д вокзал – аэропорт «Кольцово».



Проект включает в себя разработку, строительство и организацию эксплуатации ВТЭК, состоящего из водородной заправочной станции и 3 автобусов на топливных элементах. Срок окупаемости проекта 4,8 месяца.



International Publishing House for scientific periodicals "Space"



Международный издательский дом научной периодики "Спейс"





В проекте рассматриваются предложения по созданию водородного транспортно-энергетического комплекса (ВТЭК), включающего водородную заправочную станцию и парк водородных автомобилей, а также организации его опытной эксплуатации в городе Екатеринбурге на автобусном маршруте ж/д вокзал – аэропорт «Кольцово».

В состав водородного транспортно-энергетического комплекса входят:

- автономная водородная заправочная станция (ВЗС), включающая оборудование для производства и компримирования газообразного водорода, а также заправки топливом водородных транспортных средств;

- водородные автобусы с энергоустановкой на топливных элементах в количестве 3 ед.

Выбор Екатеринбурга обусловлен тем, что в Свердловской области исторически сложилась наиболее высокая концентрация предприятий (ОАО «Уральский электрохимический комбинат», ОАО «Первоуральский новотрубный завод», ООО «Хим-энерго» и др.), специализирующихся на производстве оборудования для водородных технологий (электрохимические генераторы на основе топливных элементов, электролизеры, баллоны высокого давления), и их участие в этом проекте создало бы предпосылки для взаимовыгодного сотрудничества с ведущими мировыми компаниями в области разработки, производства и коммерциализации водородных транспортных средств.

Технический комитет ТК 29 «Водородные технологии» при поддержке Росстандарта в течение восьми лет создал 19 национальных стандартов в области инновационных водородных технологий, гармонизированных с современными международными стандартами ИСО и МЭК. Реализация данного проекта могла бы стать убедительной демонстрацией роли национальной стандартизации в инновационном развитии страны.

Проект состоит из следующих разделов.

I Обоснование разработки и резюме проекта.

II Общая характеристика проекта и основные требования для его разработки.

III Расчет необходимых затрат и окупаемости ВТЭК.

Выводы и рекомендации:

Срок окупаемости проекта 4,8 года. Все экономические расчеты производились в рублях РФ, в некоторых случаях справочно приводятся данные в Евро. Курс руб/евро в расчете условно принят равным 60 руб/евро.

### I Обоснование разработки и резюме проекта

*Побудительные мотивы для разработки проекта:* Основной целью инновационного развития водородных технологий и топливных элементов во всем мире является формирование рынка водородной экономики, создание рабочих мест, поиск экономических ниш и выгодных направлений инвестиционных вложений на перспективу в самые разнообразные области мирового рынка, включая: химическую промышленность, нефтехимию и газохимию, металлургию, энергетику, пищевую и легкую промышленность, автономное и аварийное энергоснабжение, космический, воздушный и наземный транспорт. О достигнутом прогрессе в области использования водорода в качестве автомобильного топлива наглядно свидетельствует тот факт, что в сентябре 2009 года десять мировых ведущих автопроизводителей обратились к энергетическим компаниям, а также к правительствам стран мира с предложением о создании широкой сети водородных заправочных станций к 2015 году. Такая сеть ВЗС является необходимым элементом международной транспортной инфраструктуры для начала серийного производства водородных автомобилей. Действительно, в 2014 году японская автомобильная компания Toyota Motor начала продажи серийного водородного автомобиля на топливных элементах. Ориентировочная стоимость седана Mirai, что в переводе с японского означает "будущее", составляет 6,7 миллиона иен (\$ 56 500). В 2015–2016 гг серийное производство автомобилей планируют начать Hyundai Motor Company (Корея), Honda Motor Co., Ltd. (Япония). Ведущие автомобильные компании Европы и США также объявили о возможности организации серийного производства водородных автомобилей и автобусов в самое ближайшее время.

Начало производства водородных автомобилей и их эксплуатация в разных странах стали возможны в результате формирования международной системы



технического регулирования, охватывающей широкий диапазон требований, касающийся вопросов безопасности в области производства, хранения, транспортирования и использования водорода и топливных элементов, а также оценки работоспособности, долговечности, эффективности и экологической безопасности водородных транспортных средств. При этом разработка международных требований безопасности в области водородных технологий, включая автомобильный транспорт и инфраструктуру его эксплуатации, является сама по себе сложным инновационным проектом, позволяющим всем желающим включиться в работу на разных стадиях его развития. Это свидетельствует о том, что ни один участник такого глобального проекта не в состоянии от начала до конца реализовать его в одиночку. Мировое сообщество оказывает предприятиям, вкладывающим средства в развитие водородных технологий, всестороннюю поддержку. Многие страны активно продвигают водородную инфраструктуру, позволяющую эксплуатировать водородные автомобили, включая строительство заправочных станций.

Наша страна тоже имеет давние традиции в развитии водородных технологий и богатый опыт в крупнотоннажном производстве и применении водорода.

Суммарное производство водорода в мире оценивается в объеме 55–58 млн. тонн в год. Доля Российской Федерации, по оценке некоторых экспертов, составляет 8–10 % от мировых объемов производства.

Надо сказать, что технологии водородной энергетики, в том числе топливные элементы, во всем мире переступили рубеж НИОКР и в настоящее время находятся на стадии коммерциализации. В этой связи задача внедрения водородных технологий относится в большей степени к экономическо-административной сфере деятельности, чем к разработке научно-технической продукции. Говоря о применении водорода в качестве топлива для автомобильного транспорта, следует обратить внимание на обстоятельства, вызванные тем, что вопросы глобализации рыночных отношений, несмотря на активно формирующийся тренд, связанный с импортозамещением, остаются доминирующим фактором развития национальной экономики.



Рис. 1. Общий вид водородных автомобилей на топливных элементах, выпускаемых серийно, и водородной заправочной станции

Российская Федерация не является лидером мирового автопрома и располагается в середине второго десятка стран автопроизводителей. По оценке экспертов, объем производства автомобилей в мире достиг 90 млн. ед. Доля России в нем не превышает 2–3 %. Россия находится в одном ряду с такими странами, как Канада, Франция, Великобритания, Италия и др. В силу этих объективных обстоятельств ни государство, ни российские предприятия не в состоянии самостоятельно сконцентрировать свои ресурсы на создании инновационных водородных автомобилей и должны учитывать этот глобальный

тренд мировой экономики при формировании своей технической политики.

Необходимо понимать, что половина российских автомобилей производится лидерами мирового автопрома на дочерних предприятиях, являющихся резидентами Российской Федерации. Они владеют водородными технологиями во всем объеме, необходимым для внедрения водородного транспорта в России и странах СНГ. Задача государства, региональных, муниципальных властей и российского бизнеса – создать условия для того, чтобы эти инновационные разработки коммерциализировались в самое бли-



жайшее время в нашей стране. Важными элементами такой политики являются активное внедрение передовой нормативно-технической базы, гармонизированной с международной системой стандартизации, и формирование экономических условий коммерциализации инновационных разработок посредством создания свободных экономических зон и лояльной финансовой политики. Такая работа в рамках Таможенного союза уже проводится. В частности, Совет Евразийской экономической комиссии (ЕЭК) принял решение об обнулении таможенных пошлин на автомобили сроком на два года. В соответствии с документом нулевая таможенная пошлина на автомобили вводится на территории России, Казахстана и Белоруссии с 1 февраля 2014 года по 31 декабря 2015 года. Такое решение имеет большое значение для экспорта водородных автомобилей на топливных элементах, которые в соответствии с международным стандартом IEC TS 62282-1:2010 являются разновидностью электромобиля.

Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии (РОССТАНДАРТ) утвердило 22 национальных стандарта, большая часть которых гармонизирована с международными стандартами ИСО и МЭК. Это обстоятельство создает благоприятные условия для организации международного

сотрудничества с целью развития в Российской Федерации нового инновационного направления, связанного с использованием экологически чистого водородного топлива.

Создание типового водородного транспортно-энергетического комплекса, включающего в себя заправочные станции и парк водородных автомобилей в количестве, необходимом для обеспечения их эффективной эксплуатации, сложная инновационная задача.

Важным элементом в успешной реализации настоящего инновационного проекта является наличие у отечественных предприятий практического опыта в реализации водородных технологий и топливных элементов в нашей стране. В этом плане Екатеринбург можно заслуженно считать столицей технологий топливных элементов. Это обуславливается тем, что Уральский электрохимический комбинат (АО УЭХК) – первое в России предприятие, которое более сорока лет специализируется в области создания электролизеров и электрохимических генераторов (ЭХГ) на основе водородных топливных элементов.

В 1969-1975 гг разработаны ЭХГ «Волна-20» с батареями щелочных топливных элементов с циркулирующим электролитом и организовано их опытное производство.



Рис. 2. Водородно-кислородный электрохимический генератор на топливных элементах «ВОЛНА-20»

В 1976–1982 гг разработаны ЭХГ «Фотон» с батареями щелочных топливных элементов с матричным электролитом и организовано их опытное производство.

В 1997–1999 гг проведена модернизация ЭХГ «Фотон» с целью увеличения номинальной мощно-

сти с 10 до 25 кВт («Фотон-М») для ОАО «АВТО-ВАЗ» (г. Тольятти).

В 1993–2001 гг разработан высоковольтный ЭХГ (320 В) мощностью 10 кВт (для СКБК, г. Санкт-Петербург).

В 2000–2002 гг проведена модернизация ЭХГ «Фотон» с целью увеличения номинальной мощности с 25 до 40 кВт («Фотон-МВК»).

В 2002–2004 гг проведена модернизация электрохимического генератора «Фотон» с целью обеспечения работы ЭХГ на воздухе («Фотон-МВВ»).

## ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЙ ГЕНЕРАТОР «ФОТОН-МВК»



**Характеристики**

<b>Мощность</b>	<b>45 кВт</b>
<b>Напряжение</b>	<b>240 В</b>
<b>Реагенты</b>	<b>водород кислород</b>
<b>Давление</b>	<b>0,4 МПа</b>
<b>Масса</b>	<b>145 кг</b>



**Уральский электрохимический комбинат**



**7**

Рис. 3. Водородно-кислородный электрохимический генератор на топливных элементах «ФОТОН-МВК» для автомобиля АНТЕЛ-1

ООО «Химэнерго» в настоящее время завершило изготовление опытной электролизной установки СЭУ-40М, соответствующей по своим параметрам лучшим зарубежным аналогам.

С учетом накопленного опыта Свердловская область является уникальной площадкой для реализации предложенного проекта в области топливных элементов, электролизеров и других водородных технологий.



Рис. 4. Электролизер СЭУ-40М производства ООО «Химэнерго» (Свердловская область)

Обращает на себя внимание тот факт, что в рамках международной кооперации интерес к вопросам водородных технологий проявляют не только страны-лидеры автопрома, но и государства из второго десятка автопроизводителей, а также не имеющие собственного производства автомобилей. К таким заинтересованным странам относятся: Канада, Великобритания, Швеция, Норвегия, Дания и другие государства, имеющие опыт в использовании водородных технологий в различных отраслях своей хозяйственной деятельности. Этот интерес обусловлен тем, что мировой рынок, связанный с организацией эксплуатации водородных транспортных средств, формируется в рамках широкого международного сотрудничества и определяется не только производством автомобильной техники, но и развитием инфраструктуры для ее заправки и технического обслуживания. При этом вопросам безопасности уделяется первостепенное значение. Для этих целей ведется разработка сложных инновационных автоматизированных систем безопасности, систем хранения водорода как в сжиженном, так и в сжатом состоянии с давлением до 70 МПа. Накопленный мировой опыт при создании указанной инновационной техники активно внедряется при разработке требований безопасности в области водородных технологий и топливных элементов. Необходимо принять самые действенные меры для того, чтобы имеющийся в нашей стране инновационный задел в области водородных технологий мог быть коммерциализирован во вновь формирующемся сегменте рынка водородной экономики в ближайшей перспективе.

Активизация работы в направлении создания системы стандартизации в области водородных технологий и топливных элементов обусловлена ростом понимания того, что указанные технологии являются предметом глобального инновационного развития.

В 1990 году Международная организация по стандартизации (ИСО) создала Технический комитет «Водородные технологии» (ISO/TC 197). В состав ISO/TC197 вошли 19 стран-участников и 14 стран-наблюдателей. В 1999 году технический комитет ISO/TC 197 разработал первый стандарт, связанный с развитием водородных технологий (ISO 14687-1:1999). В настоящее время ISO/TC 197 разработал 18 международных стандартов, в которых установлены требования к технологическому оборудованию, транспортным средствам и их компонентам на основе водородных технологий, включая требования безопасности к установкам для производства, хранения и транспортирования водорода, а также к транспортным средствам, работающим на водородном топливе, заправочной и запорной арматуре, приборам для определения концентрации водорода и др. Технический комитет ISO/TC197 сотрудничает с другими техническими комитетами ИСО, такими как: ISO/TC 58 «Газовые баллоны», ISO/TC 22 «Дорожный транспорт», а также с техническими комитетами Международной электротехнической комиссии МЭК.

В 2004 году МЭК сама приняла первый международный стандарт из серии МЭК 62282 (Технологии топливных элементов). Разработка этой серии стандартов возложена на Технический комитет 105 «Технологии топливных элементов» (IEC/TC 105), в состав которого вошли 17 стран-участниц и 14 стран-наблюдателей. В настоящее время IEC/TC 197 разработал 16 международных стандартов в области технологий топливных элементов.

Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт) в соответствии с Федеральным законом от 27 декабря 2002 года № 184-ФЗ 2 «О техническом регулировании», по инициативе Национальной ассоциации водородной энергетики (НАВЭ) создало национальный Технический комитет «Водородные технологии» (ТК 029), деятельность которого сосредоточена главным образом на имплементации международных стандартов в области водородных технологий и топливных элементов в национальную систему стандартизации. Сведения о национальных стандартах в области водородных технологий и топливных элементов, относящиеся к Техническому комитету ТК 29 «Водородные технологии», представлены в таблице 1.

Значительная часть упомянутых в таблице 1 стандартов разрабатывалась в обеспечение Технического регламента Таможенного Союза «О безопасности машин и оборудования» (ТР ТС 010/2011), принятого решением Комиссии Таможенного союза от 18 октября 2011 года, который вступил в силу 15.02.2013.

Технический регламент устанавливает минимально необходимые требования безопасности машин и/или оборудования при разработке (проектировании), изготовлении, монтаже, наладке, эксплуатации, хранении, транспортировании, реализации и утилизации в целях защиты жизни или здоровья человека, имущества, охраны окружающей среды, жизни и здоровья животных, предупреждения действий, вводящих в заблуждение потребителей.

Действие технического регламента распространяется на машины и/или оборудование, применяемые на опасных производственных объектах. Обеспечение требований безопасности устанавливается непосредственно ТР ТС 010/2011, либо выполнением нормативных требований:

- стандартов, в результате применения которых на добровольной основе обеспечивается соблюдение требований данного технического регламента Таможенного союза;

- стандартов, содержащих правила и методы исследований (испытаний) и измерений, в том числе правила отбора образцов, необходимых для применения и исполнения требований технического регламента ТР ТС 010/2011 и осуществления оценки (подтверждения) соответствия продукции на соответствующие виды машин и/или оборудования.

Таблица 1

## Перечень национальных стандартов

№ №	Наименование	Название
1	ГОСТ 3022–80	Водород технический. Технические условия
2	ГОСТ Р 51673–2000	Водород газообразный чистый. Технические условия
3	ГОСТ Р 54110–2010	Водородные генераторы на основе технологий переработки топлива. Часть 1. Безопасность
4	ГОСТ Р 54111.1–2010	Дорожные транспортные средства на топливных элементах. Требования безопасности. Часть 1. Функциональная безопасность транспортного средства
5	ГОСТ Р 54111.2–2010	Дорожные транспортные средства на топливных элементах. Требования безопасности. Часть 2. Защита от опасностей, связанных с использованием водорода, в транспортных средствах, работающих на сжатом водороде
6	ГОСТ Р 54111.3–2011	Дорожные транспортные средства на топливных элементах. Требования безопасности. Часть 3. Защита людей от поражения электрическим током
7	ГОСТ Р 54113–2010	Соединительные устройства для многократной заправки сжатым водородом наземных транспортных средств
8	ГОСТ Р 54114–2010	Передвижные устройства и системы для хранения водорода на основе гидридов металлов
9	ГОСТ Р 55226–2012	Водород газообразный. Заправочные станции
10	ГОСТ Р ИСО 14687–1–2012	Топливо водородное. Технические условия на продукт. Часть 1. Все случаи применения, кроме использования в топливных элементах с протонно-обменной мембраной, применяемых в дорожных транспортных средствах
11	ГОСТ Р ИСО 146687–2–2013	Топливо водородное. Технические условия на продукт. Часть 2. Применение водорода для топливных элементов с протонно-обменной мембраной дорожных транспортных средств
12	ГОСТ Р ИСО 227342–2–2013	Генераторы водородные на основе процесса электролиза воды. Часть 1. Генераторы промышленного и коммерческого назначения
13	ГОСТ Р ИСО 13985–2013	Жидкий водород. Топливные баки для наземного транспорта
14	ГОСТ Р ИСО 23828–2013	Дорожные транспортные средства на топливных элементах. Измерение потребления энергии. Транспорт на сжатом водороде
15	ГОСТ Р 55891–2013	Водород газообразный и водородные смеси. Бортовые системы хранения топлива для транспортных средств
16	ГОСТ Р ИСО 26142–2013	Приборы стационарные для обнаружения водорода
17	ГОСТ Р ИСО 227342–2–2014	Генераторы водородные на основе процесса электролиза воды. Часть 2. Применение в жилых помещениях
18	ГОСТ Р 56248–2014	Водород жидкий. Технические условия
19	ГОСТ Р МЭК 62282–1–2015	Технологии топливных элементов. Часть 1. Терминология
20	ГОСТ Р МЭК 62282–2–2015	Технологии топливных элементов. Часть 2. Модули топливных элементов
21	ГОСТ Р МЭК 62282–3–100–2015	Технологии топливных элементов. Часть 3-100. Стационарные энергоустановки на топливных элементах. Безопасность
22	ГОСТ Р МЭК 62282–3–200–2015	Технологии топливных элементов. Часть 3-200. Стационарные энергоустановки на топливных элементах. Методы испытаний для определения рабочих характеристик



Ниже приведен перечень стандартов, в результате применения которых на добровольной основе обеспечивается соблюдение требований технического регламента Таможенного союза «О безопасности машин и оборудования». В Приложение 1 перечня включен ГОСТ 54113-2010 «Соединительные устройства для многократной заправки сжатым водородом наземных транспортных средств» (п. 937), а в Приложение 2 включены стандарты:

– ГОСТ Р ИСО 22734-1-2013 «Генераторы водородные на основе электролиза воды. Часть 1. Промышленное и коммерческое применение» (п.789);

– ГОСТ 54110-2010 «Водородные генераторы на основе технологий переработки топлива. Часть 1. Безопасность» (п. 804);

– ГОСТ Р 54110-2010 «Передвижные устройства и системы для хранения водорода на основе гидридов металлов» (п. 805);

– ГОСТ Р 55226-2012 «Водород газообразный. Заправочные станции» (п.808).

Большое значение имеет то обстоятельство, что требования указанных стандартов могут быть распространены на территорию стран Таможенного союза (Белоруссия, Казахстан и Россия), что существенно расширяет межгосударственную географию их использования.

*Инициаторы проекта:* Национальная ассоциация водородной энергетики (НАВЭ). Технический комитет по стандартизации «Водородные технологии» ТК029 (РОССТАНДАРТ), ООО «КВТ»

*Цель проекта:* Создать на основе международного сотрудничества водородный транспортно-энергетический комплекс (ВТЭК), включающий в себя водородные заправочные станции (ВЗС), парк водородных автобусов и автомобилей, на базе разработанных национальных и межгосударственных стандартов, идентичных международным стандартам ИСО и МЭК. Организация эксплуатации ВТЭК в г. Екатеринбурге на автобусном маршруте экспресса ж/д вокзал – аэропорт «Кольцово». Организация взаимовыгодной кооперации предприятий Свердловской области с международными компаниями в сфере разработки, освоения производства и коммерциализации водородных технологий и топливных элементов.

*Основные ожидаемые результаты:* Подтверждение и публичная демонстрация экологических и эко-

номических преимуществ водородных транспортных средств. Формирование рабочих проектов «линейки» ВТЭК разной мощности под потребности заказчиков.

Создание основных необходимых предпосылок для коммерциализации производства и обслуживания ВТЭК.

Оценка эффективности перестройки национальной системы технического регулирования, связанной с использованием опережающего фактора имплементации международных стандартов в области инновационных технологий.

В ходе реализации проекта также ожидается подготовка к коммерциализации новых инновационных продуктов, связанных с разработкой и организацией производства облегченных баллонов для хранения водорода под давлением 70 МПа, водородных заправочных колонок, передвижных водородных заправщиков, а также технологий применения водорода для нужд ЖКХ.

Участие в международном сотрудничестве в области инновационных технологий позволит учесть накопленный мировой опыт в реализации отечественных проектов.

## II Общая характеристика проекта и основные требования для его разработки

Предлагаемый проект носит модельный и демонстрационный характер. Он состоит в создании такой модели реализации ключевых водородных технологий, которая позволит системно преодолевать основные препятствия для выхода транспортных и коммунальных водородных энергетических технологий на национальный и международный рынок.

Проект ВТЭК технологически, экономически и организационно объединяет производство, распределение и потребление водорода. При этом водород может производиться не только методом электролиза, но и с использованием технологий переработки углеводородного сырья, а также в результате утилизации дешевых отходов или побочных продуктов массовых химических производств.

*А. Требования к водородному топливу:* Принятая в настоящее время система стандартов позволяет строго классифицировать различные виды водородного топлива в зависимости от функциональных особенностей. В соответствии с международными и действующими национальными стандартами (пп.10, 11 таблица 1) водород в качестве топлива для раз-

личных видов энергоустановок классифицируется следующим образом:

Тип I, сорт А – топливо для двигателей внутреннего сгорания, используемое в транспортных средствах и жилищно-коммунальном хозяйстве;

Тип I, сорт В – топливо для промышленного применения при производстве электроэнергии или в качестве источника тепла;

Тип I, сорт С – топливо, используемое в наземных вспомогательных комплексах для воздушного и космического транспорта;

Тип I, сорт D – газообразное водородное топливо для транспортных средств на топливных элементах (ТСТЭ) с протонно-обменной мембраной;

Тип I, сорт E – газообразное водородное топливо для стационарных энергоустановок на топливных элементах;

Тип II, сорт С – топливо для бортовых двигательных установок воздушного и космического транспорта, для нужд электроэнергетики, наземного транспорта;

Тип II, сорт D – жидкое водородное топливо для ТСТЭ с протонно-обменной мембраной;

Тип III – топливо для бортовых двигательных установок воздушного и космического транспорта.

**П р и м е ч а н и я:**

1. Для жидкого водорода типа II топливо с параметрами, эквивалентными сортам А и В, в классификации отсутствуют.

2. Водородное топливо для стационарных энергоустановок на основе топливных элементов с протонно-обменной мембраной Типа I, сорта E подразделяется в зависимости от требований, определённых изготовителем, на три категории (Тип I, сорт E, Категория 1; Тип I, сорт E, Категория 2; Тип I, сорт E, Категория 3).

Технический комитет по стандартизации Росстандарта ТК 29 «Водородные технологии» на базе указанных международных стандартов внедрил два национальных стандарта, а также работает над проектом третьего межгосударственного стандарта.

*Б. Требования к водородным заправочным станциям (ВЗС):* Проект предусматривает создание и организацию эксплуатации одной водородной заправочной станции производительностью 60 м<sup>3</sup> в час.

Производство водорода на ВЗС предполагается

осуществлять методом электролиза воды, к преимуществам которого относятся:

- высокий КПД преобразования (80–90 %);
- высокая чистота получаемого водорода и кислорода (до 99,99 % и выше);
- простота технологического процесса, его непрерывность, возможность полной автоматизации;
- физическое разделение водорода и кислорода в самом процессе электролиза;
- длительный срок эксплуатации оборудования (минимум 10 лет);
- дешевое сырье (вода);
- экологически чистое производство.

В настоящее время на отечественном рынке имеются в наличии электролизные установки серии СЭУ. Установки СЭУ изготавливаются и эксплуатируются с начала 1950-х годов. Их конструкция отработана. Они достаточно надежны и долговечны. Современные образцы соответствуют международным аналогам. Производящиеся в соответствии с техническими условиями ТУ 3614-008-00217320-2004 отечественные установки имеют разрешение Ростехнадзора на применение № РС-00-14568, полностью соответствуют требованиям Правил безопасности при производстве водорода методом электролиза воды, утвержденным Постановлением Госгортехнадзора России от 6 июня 2003 г. № 75.

Кроме того, на рынках России и СНГ активно используются установки из Норвегии, Бельгии, Германии, Канады и других стран. Западные электролизные установки контейнерно-модульного типа имеют меньшие габариты, поставляются в собранном виде, при этом они достаточно адаптированы к условиям обслуживания и ремонта в нашей стране.

С 2013 года в Российской Федерации действует национальный стандарт ГОСТ Р 55226–2012 «Водород газообразный. Заправочные станции».

ГОСТ Р 55226–2012 определяет технические требования к водородным заправочным станциям общего назначения, а также к ведомственным заправочным станциям, установленным на территории предприятий или организаций, предназначенным для заправки наземных транспортных средств газообразным водородным топливом. Технологическая схема водородной заправочной станции представлена на рисунке 5.



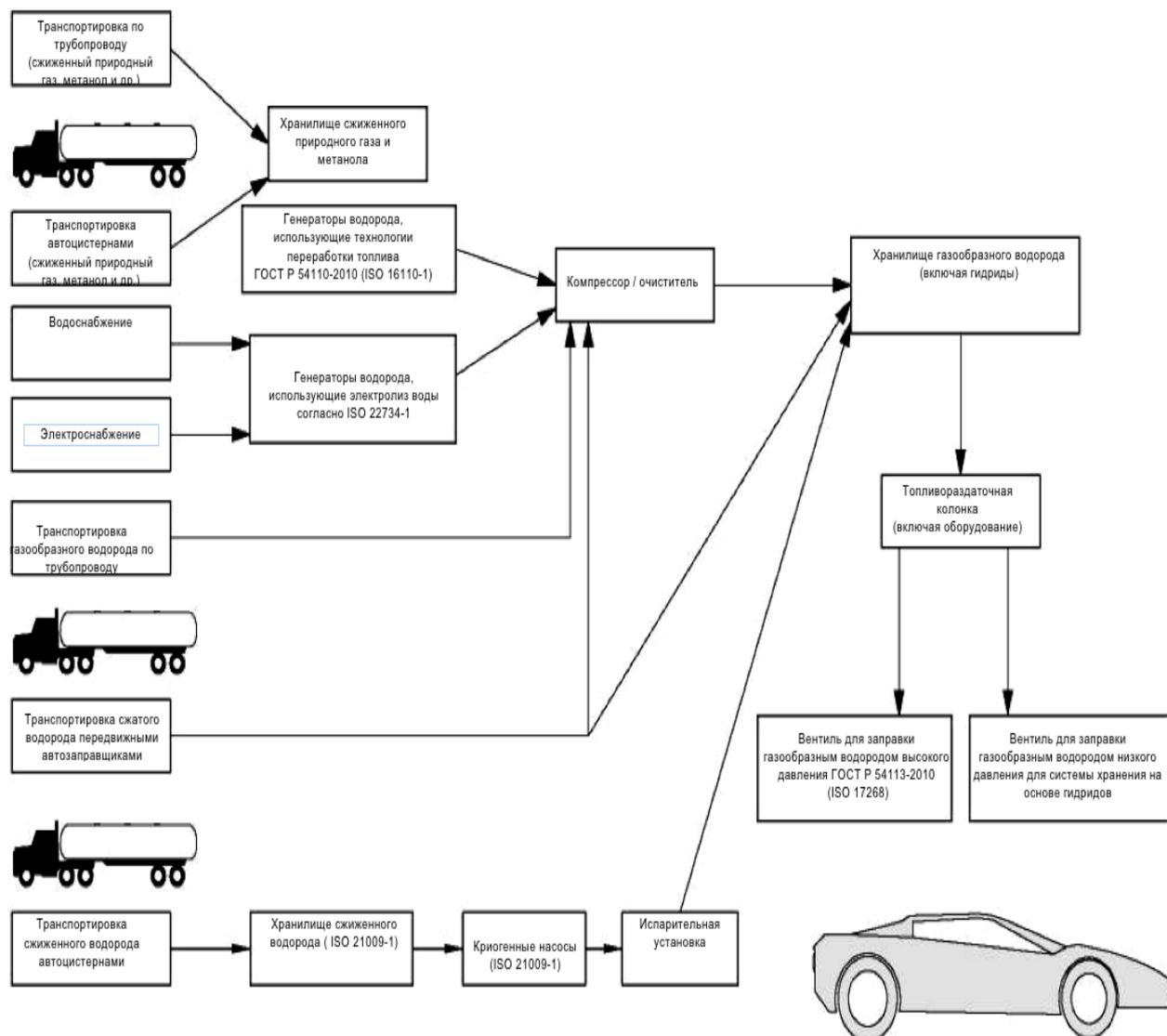


Рис. 5. Газообразный водород. Заправочная станция

Национальный стандарт ГОСТ Р 55226–2012 включен с 2015 года в Перечень стандартов, содержащих правила и методы исследований (испытаний) и измерений, в том числе правила отбора образцов, необходимые для применения и исполнения требований Технического регламента Таможенного союза «О безопасности машин и оборудования» и осуществления оценки (подтверждения) соответствия продукции, актуализированный решением коллегии Евразийской экономической комиссии (решение от 19 мая 2015 года № 55) «О внесении изменений в решение комиссии Таможенного союза от 18 октября 2011 года № 823 и содержит следующие разделы:

- область применения;
- нормативные ссылки;
- термины и определения;
- основные требования к конструкции;
- сведения о системах подачи водорода;
- требования к генераторам водорода;
- требования к водородным компрессорам;
- требования к фильтрам и сепараторам;
- требования к устройствам для очистки водорода;
- требования к буферным резервуарам для хранения газообразного водорода;
- требования к топливораздаточным колонкам и контролю за процессом заправки;
- информация о характеристиках водородного топлива;
- требования к расположению ВЗС, включая безопасные расстояния и технологические разрывы;
- требования по обеспечению взрывозащиты и пожарной безопасности;
- требования к размещению резервуаров для хранения водорода;
- общие требования к оборудованию;
- требования к системе вентиляции;
- требования к контрольно-измерительным приборам и системе безопасности;
- требования к электрооборудованию и электропроводке;

– требования к системе безопасности и защите от внешних воздействий;

– методы испытаний и требования к разрешительной документации.

*В. Требования к транспортным средствам на топливных элементах:* Транспортное средство на топливных элементах (ТСТЭ) в соответствии с международным стандартом IEC TS 62282-1:2010 «Технологии топливных элементов. Часть 1. Терминология» представляет собой электрическое транспортное средство (электромобиль), в котором энергетическая система на топливных элементах подает питание на электродвигатель для приведения транспортного средства в движение. В соответствии с действующей системой технического регулирования основные требования к колесным транспортным средствам, в том числе к электромобилям, устанавливаются Техническим регламентом Таможенного союза ТР ТС 018/2011 «О безопасности колесных транспортных средств». ТР ТС 018/2011 гармонизирован с требованиями Правил Европейской экономической комиссии Организации Объединенных Наций (Правила ЕЭК ООН), принятых на основании «Соглашения о принятии единообразных технических предписаний для колесных транспортных средств, предметов оборудования и частей, которые могут быть установлены и/или использованы на колесных транспортных средствах, и об условиях взаимного признания официальных утверждений, выдаваемых на основе этих предписаний», заключенного в Женеве 20 марта 1958 года, и Глобальных технических правил, принимаемых на основании «Соглашения о введении Глобальных технических правил для колесных транспортных средств, предметов оборудования и частей, которые могут быть установлены и/или использованы на колесных транспортных средствах», заключенного в Женеве 25 июня 1998 года.

В соответствии с терминологией, принятой в ТР ТС 018/2011, транспортные средства на топливных элементах (электрические ТСТЭ) следует относить в зависимости от конструктивных особенностей к электромобилям или гибридным транспортным средствам, имеющим не менее двух различных преобразователей энергии (двигателей) и двух различных (бортовых) систем аккумулирования энергии для приведения средства в движение. Электробезопасность ТСТЭ определяется Правилами ЕЭК ООН № 100-00, а особенности безопасности транспортных средств, работающих на водородном топливе, определены международным стандартом ИСО 23273:2013 «Дорожные транспортные средства на топливных элементах – Требования безопасности – Защита от опасностей, связанных с использованием водорода, в транспортных средствах, работающих на сжатом водороде» (ISO 23273:2013 Fuel cell road vehicles – Safety specifications – Protection against hydrogen hazards for vehicles fuelled with compressed hydrogen). Международный стандарт ИСО 23273:2013 соответствует национальным стандартам

ГОСТ Р 54111.1–2010, ГОСТ Р 54111.2–2010, ГОСТ Р 54111.3–2011 и содержит следующие разделы:

- область применения;
- нормативные ссылки;
- термины и определения;
- внешние условия и режимы работы;
- требования к конструкции и характеристикам топливной системы;
- методы испытаний для определения воспламеняемости выделений топлива вблизи транспортного средства;
- дополнительный или альтернативный подход для проверки безопасности при использовании водорода;
- требования к заправке топливом.

Важным элементом водородного транспортно-энергетического комплекса является заправочное звено, включающее в себя заправочный вентиль (составная часть ВЗС) и заправочный приемник (составная часть ТСТЭ). Требования безопасности к такому соединительному звену определены международным стандартом ISO 17268:2012 «Устройства соединительные для заправки наземных транспортных средств газообразным водородным топливом» (Gaseous hydrogen land vehicle refuelling connection devices), который идентичен одноименному национальному стандарту ГОСТ Р ИСО 17268-2014.

Указанные стандарты содержат требования безопасности к соединительным устройствам на рабочее давление 11 МПа, 25 МПа, 35 МПа и 70 МПа.

Таким образом, для реализации проекта могут быть привлечены транспортные средства, работающие на водородном топливе, серийно выпускаемые мировым автопромом, или планируемые к выпуску в самое ближайшее время.

*Г. Организация международного сотрудничества для реализации проекта:* В мировой практике известны удачные примеры реализации международных проектов в области создания «водородных шоссе» (Япония, США, Канада, ФРГ).

На мировом рынке имеется ряд предложений по поставке водородных транспортных средств, включая легкие автомобили, автобусы и железнодорожный транспорт.

В сложившихся условиях перспективными направлениями международного сотрудничества могут быть страны, готовые к серийному производству водородных автомобилей (Япония, Корея, ФРГ, США). С учетом экономической составляющей наиболее целесообразным является организация эксплуатации пассажирских автобусов с энергоустановками на топливных элементах. Осуществление подобного проекта может быть основано на его самокупаемости в течение 4–5 лет. В качестве объектов для реализации проекта можно рассмотреть автобусы BC Transit Fuel Cell Bus, Mercedes-Benz Citaro Fuel Cell Hybrid, Fuel Cell Hybrid Midi Bus Benefits фирмы Hydrogenics и др., ранее используемых в различных международных проектах.





BC  
Transit  
Fuel Cell  
Bus



Mercedes-  
Benz Citaro  
Fuel Cell  
Hybrid

Рис. 6. Образцы водородных электрических автобусов с энергоустановкой на топливных элементах

Кроме того, водородные заправочные станции, построенные в рамках реализации настоящего проекта, могут быть использованы для заправки других серийно выпускаемых водородных автомобилей, производство которых предназначено для открытой продажи неограниченному кругу потребителей в рамках сформированной национальной системы технического регулирования.

*Д. Организация работы ВТЭК:* Эксплуатация водородных автобусов на топливных элементах предполагается в г. Екатеринбурге на маршруте Железнодорожный вокзал – Аэропорт «Кольцово». Протяженность маршрута 50 км. Экологически чистые автобусы целесообразно использовать в качестве экспрессов, позволяющих пассажирам быстро и в комфортных условиях добираться до Аэропорта «Кольцово» и Железнодорожного вокзала.

В настоящее время между Аэропортом «Кольцово» и ж/д вокзалом действует городской маршрут № 1. Время в пути 60 мин. Подвижной состав: НефА-5299, ЛиАЗ-5256, Икарус-283.10, ГолАЗ-АКА-5225. Стоимость проезда 23 рубля. Стоимость проезда по этому же маршруту на экспрессе составит 100 рублей.

В целях оценки экономической эффективности проекта произведен примерный расчет затрат на его строительство и организацию работы, а также дана оценка доходности ВТЭК из условия использования одной ВЗС и 3 водородных автобусов вместимостью 70 человек на маршруте протяженностью до 50 км.

Предложенные в проекте транспортные технологические цепочки могли бы быть применены в дополнение к существующим маршрутам или введены вместо действующих маршрутов исходя из реальной хозяйственной целесообразности.

В расчете эффективности применения ВТЭК приняты некоторые допущения, которые, не загромождая расчеты излишней детализацией, позволяют получить принципиальное понимание основных преимуществ и недостатков предлагаемых транспортных средств.

Дополнительные возможности по экономии, которые создаются за счет использования местных ресурсов при производстве водорода или применения передвижных водородных заправщиков водорода, не учитывались.

### III Расчет необходимых затрат и окупаемости ВТЭК

Расчет эффективности эксплуатации ВТЭК осуществлялся из условия рационального использования мощностей по производству водорода, а также парка эксплуатируемых водородных электробусов (с учетом протяженности маршрута и особенностей местности). При этом исследовалась эффективность деятельности ВТЭК в целом, и оценивался срок его окупаемости.

Для расчёта были использованы данные открытой печати и экспертной оценки специалистов.

Таблица 2

Расчет себестоимости эксплуатации ВЗС

Наименование	ед.	
Стоимость водородной заправочной станции (ВЗС)	руб	120 000 000
	евро	2 000 000
Стоимость ВЗС без НДС	руб	101 694 915
Производительность станции по H <sub>2</sub> в час	м <sup>3</sup>	60
Производительность станции по H <sub>2</sub> в сутки	кг	135
Количество рабочих дней в году	дн.	365
Количество заправляемых автобусов	кг/ч	3
Стоимость 1 квт.ч электрической энергии	руб	2,80
Энергозатраты на производство и компримирование H <sub>2</sub>	квт.ч/м <sup>3</sup>	4,80
Прямые расходы на обслуживание станции (годовые)	руб	10 564 064
Стоимость электроэнергии для производства H <sub>2</sub> (годовая)	руб	7 064 064
Фонд оплаты труда персонала с ЕСН (годовой)	руб	3 000 000
Эксплуатационные расходы ВЗС	руб	500 000
Себестоимость 1 кг водорода Справочно:	руб	214
	евро	3,56

Производительность ВЗС принята 60 м<sup>3</sup>/час. Общая стоимость одной станции «под ключ» составляет 2 миллиона евро.

Основными затратами, влияющими на себестоимость водорода, получаемого методом электролиза, являются затраты на его производство и компримирование. Стоимость электроэнергии составляет 70–80 % от себестоимости продукта. Готовность администрации города влиять на формирование тарифного плана может позволить в определенной мере снизить себестоимость производства водородного топлива, а следовательно, повысить рентабельность комплекса в целом.

Для расчета эффективности ВТЭК стоимость 1 кВт·ч электроэнергии выбрана на уровне среднетарифного тарифа в размере 2,8 руб. за 1 кВт·ч. Для сравнения стоимость 1 кВт·ч электроэнергии, применяемой для производства водорода на ВЗС в г. Ванкувере, составляет 0,1\$, т.е. приблизительно 5 руб.. При этом отпускная цена водорода на ВЗС составляет 4,7\$ за 1 кг.

Для ВТЭК энергетические затраты на электролиз воды составляют 4,3 кВт·ч на один куб. метр водорода. Энергетические затраты на компримирование водорода до давления 35–40 мПа – 0,5 кВт·ч на один куб. метр.

Организация работы электролизеров в непрерывном режиме позволяет наиболее эффективно использовать это дорогостоящее оборудование и уменьшить срок окупаемости. Это связано с тем, что при пуске и

остановке электролизеров требуется проводить дополнительные технологические процедуры, которые ухудшают эффективность использования установок и вызывают дополнительные затраты. К тому же издержки могут снижаться за счет применения ночных тарифов на потребляемую электроэнергию.

В таблице использованы указанные выше значения расходов электроэнергии на производство и компримирование 1 м<sup>3</sup> водорода, приведенного к нормальным условиям, которые в сумме составляют 4,8 кВт·ч на 1 м<sup>3</sup> водорода.

Налоговые отчисления приводятся по текущим ставкам, установленным законодательством Российской Федерации.

С учетом того что ВТЭК рассматривается как единый комплекс, в расчете стоимость водорода приравнивалась к себестоимости. Такая особенность позволяет все налоговые отчисления и прибыль для расчета эффективности эксплуатации ВТЭК формировать по конечному финансовому результату.

В соответствии с расчетами себестоимость 1 килограмма водорода при производстве электролизным методом должна быть 3,56 евро.

Таблица 3

Расчет себестоимости эксплуатации электробусов

Наименование	ед.	
Стоимость электробуса Справочно:	руб	45 000 000
	евро	750 000
Стоимость электробуса без НДС	руб	38 135 593
Протяженность маршрута (в одну сторону)	км	50
Суточный пробег электробуса	час	500
Годовая выручка без НДС	руб	76 650 000
Стоимость билета в один конец	руб	100
Количество пассажиромест в автобусе	руб	70
Количество перевозимых пассажиров в сутки	чел.	2100
Количество поездок одного автобуса в сутки	дн.	10,0
Расход водорода на 100 км	кг	6,0
Суточный расход водорода на один автобус	кг	30,0
Прямые расходы на обслуживание маршрута (годовые)	руб	12 600 000
Фонд оплаты труда персонала с ЕСН (годовой)	руб	9 600 000
Эксплуатационные расходы на обслуживание парка	руб	3 000 000
Стоимость парка транспортных средств ( без учета НДС)	руб	114 406 780

Наряду со стоимостью электроэнергии, используемой для производства водорода, на себестоимость водорода существенное влияние оказывает стоимость самой ВЗС, которая через амортизационные затраты равными долями ежемесячно относится на себестоимость водорода. В расчете срок амортиза-

ции ВЗС принят 10 лет, как и всего комплекса в целом. Состав первоначальных капитальных затрат на приобретение (строительство) ВЗС, а также водородных электробусов и их значения приведены в таблице 2.

Данные приведены исходя из экспертной оценки разработчиков проекта, основанной на анализе международных проектов в области водородных технологий. При расчете себестоимости комплекса в целом был принят ряд допущений, целесообразность

которых обусловлена либо отсутствием прямых сведений, либо наличием противоречивых данных, опубликованных в технической литературе или рекламных проспектах компаний, работающих на рынке водородных технологий.

Таблица 4

Расчет срока окупаемости ВТЭК

Наименование	ед.	
Выручка от работы комплекса годовая, без НДС	руб	76 650 000
Прямые расходы на обслуживание комплекса (годовые)	руб	23 164 064
Накладные расходы на обслуживание комплекса (10%)	руб	2 316 406
Стоимость комплекса без НДС	руб	216 101 695
Амортизация комплекса (10%)	руб	21 610 169
Затраты на обслуживание комплекса (годовые)	руб	47 090 640
Прибыль предприятия до налогообложения	руб	29 559 360
Налог на прибыль предприятия	руб	5 911 872
Прибыль предприятия после налогообложения	руб	23 647 488
Срок окупаемости комплекса	год	4,8

Данные для расчета срока окупаемости строительства и эксплуатации ВТЭК представлены в таблице 4. С учетом изложенных допущений, срок окупаемости комплекса в целом составляет 4,8 года, что свидетельствует об экономической эффективности проекта.

### Выводы и рекомендации

1. Строительство и эксплуатация водородного транспортно-энергетического комплекса (ВТЭК), включающего водородную заправочную станцию суммарной производительностью 60 м<sup>3</sup> в час и парк водородных электробусов в количестве 3 единиц, обслуживающих маршрут протяженностью до 50 км, является инвестиционно привлекательным проектом со сроком окупаемости 4,8 года.

2. Создание и коммерческое использование первого в Российской Федерации ВТЭК, наряду с экологическим, экономическим и политическим эффектами, позволит разработать типоразмерный ряд ВТЭК, организовать строительство и их эксплуатацию в различных регионах страны, что привлечет внимание общественности и инвесторов к формированию нового сегмента автотранспортного рынка.

3. Разработка, строительство и эксплуатация ВТЭК позволит участникам проекта - предприятиям Свердловской области - определить свободные экономические ниши на развивающемся глобальном рынке водородных технологий, создаст предпосылки для укрепления позиций России в области международного сотрудничества.

Президент НАВЭ,  
член Общественного совета Росстандарта,  
канд. техн. наук

4. Реализация проекта на базе национальных и межгосударственных стандартов в области водородных технологий и топливных элементов позволит провести оценку эффективности перестройки национальной и межгосударственной системы технического регулирования, связанной с использованием опережающего фактора имплементации международных стандартов в области инновационных технологий для стимулирования передовых позиций российской экономики в международном разделении труда.

5. Реализация проекта позволит продемонстрировать мировому сообществу стремление России к интеграции на глобальном рынке передовых энергетических технологий, а также создаст стимулы и условия для разработки и коммерциализации отечественных водородных транспортных средств и их компонентов, в первую очередь на предприятиях, производящих продукцию, связанную с водородными технологиями и топливными элементами, включая транспортные средства на электрической тяге (автобусы и троллейбусы), а также оборудование для жилищно-коммунального хозяйства, автономных и аварийных энергоустановок на базе топливных элементов.

6. Ходатайствовать перед Советом Евразийской экономической комиссии (ЕЭК) о продлении решения об обнулении таможенных пошлин на электромобили, включая водородные автомобили и автобусы с энергоустановками на топливных элементах на территории Таможенного союза до 2018 года.

А.Ю. Раменский

Сайт: НП НАВЭ: H2org.ru

э-почта: ramenskiy@mail.ru





20-23 октября

# Российский Энергетический Форум

«Эффективная Энергетика»  
Уфа 2015

С 20 ПО 23 ОКТЯБРЯ 2015 ГОДА В ГОРОДЕ УФА СОСТОИТСЯ ОДНО ИЗ КЛЮЧЕВЫХ СОБЫТИЙ  
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ РОССИИ – РОССИЙСКИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ФОРУМ  
«ЭФФЕКТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА»



Организаторами Форума выступают Министерство промышленности и инновационной политики Республики Башкортостан и Башкирская выставочная компания при содействии Правительства Республики Башкортостан. Мероприятия проводятся при поддержке Министерства энергетики Российской Федерации.

Участники Форума – авторитетные эксперты российского ТЭК, представители федеральных и регио-

нальных Министерств, представители Правительства Российской Федерации и Республики Башкортостан и регионов Российской Федерации, руководители крупнейших отраслевых и смежных предприятий.

Уникальное отраслевое мероприятие освещает большое количество СМИ: федеральные телеканалы, деловые радиостанции, печатные и Интернет-СМИ, отраслевые издания.

*energobvk.ru*

С 20 по 23 октября 2015 года в столице Республики Башкортостан г. Уфа состоится **XV Российский энергетический форум** – один из крупнейших деловых Форумов, рассматривающих проблемы и пути решения основных вопросов большой и малой энергетики.

Мероприятия проводятся при поддержке Министерства энергетики РФ и Правительства РБ. Содей-

ствие Форуму оказывают: ООО «Башкирская генерирующая компания» и Торгово-промышленная палата РБ. Организаторами Форума и выставок выступают Министерство промышленности и инновационной политики РБ и Башкирская выставочная компания. Генеральный спонсор Форума ОАО «Башкирская электросетевая компания».

Выставка «Энергетика БРИКС ШОС» – проект международного уровня, включенный в Концепцию председательства Российской Федерации в межгосударственном объединении БРИКС в 2015–2016 годах и перечень основных мероприятий председательства Российской Федерации в БРИКС в 2015–2016 годах.

«Энергосбережение. Светотехника. Кабель» – специализированная выставка, экспозицию которой ежегодно представляют более 150 предприятий из всех регионов России, стран дальнего и ближнего зарубежья.

В работе выставки 2015 года новинки электротехнической и энергетической отрасли представят лидеры – компании, которые уже не раз могли оценить высокий экономический эффект от выставки в Уфе: Schneider Electric (Москва), National Electric (Москва), Helukabel (Москва), ЭКРА (Чебоксары), Свердловский завод трансформаторов тока (Екатеринбург), Ксена (Пермь), Энергосфера (Пермь) и другие.

Деловая программа включает в себя пленарное заседание «Развитие эффективной региональной энергетики», работу по секциям: «Умная энергетика», «Региональная энергетика», «Неплатежи в ТЭК», «Инвестиции в ТЭК: механизмы и результаты», «Влияние ДПМ на развитие теплоснабжения», «Зеленая энергетика – от экзотики к реальности», «Импортозамещение в кабельной промышленности», «Подготовка специалистов в ТЭК: проблемы и решения».

Посетители выставок – это заинтересованные в развитии, открытые для контактов и плодотворной работы специалисты. Ежегодно участники выставок отмечают большое количество и качественный состав посетителей.

Приглашаем специалистов посетить выставки и принять участие в деловой программе Российского энергетического форума.

[www.no-e.ru](http://www.no-e.ru)

Приглашаем Вас принять участие в Нефтегазовом форуме и XXIV Международной выставке «Газ. Нефть. Технологии-2016», которые пройдут с 24 по 27 мая 2016 г. в столице Республики Башкортостан городе Уфе.

#### **Выставка «Газ. Нефть. Технологии» и Нефтегазовый Форум:**

- Крупнейшее международное мероприятие нефтегазовой отрасли России
- Традиционное включение выставки «Газ. Нефть. Технологии» в План участия Министерства энергетики Российской Федерации в конгрессных и выставочных мероприятиях, проводимых на территории Российской Федерации за рубежом.

- Ежегодный патронат Торгово-Промышленной палаты РФ
- Сертификат Всемирной ассоциации выставочной индустрии UFI и официальный статус «UFI Approved Event».
- Ежегодное участие свыше 400 компаний из регионов России и стран ближнего и дальнего зарубежья.
- Проведение мероприятия в формате 2 в 1: выставка и деловая программа - демонстрация новинок отрасли «вживую» на выставке и уникальный шанс участия более чем в 20 профильных конференциях, круглых столах и семинарах деловой программы выставки.
- Возможность охватить максимум, свыше 10 000 целевой аудитории, за время проведения выставки.

• Ежегодно выставку посещают представители министерств и ведомств РФ и РБ, руководящий состав и ведущие специалисты промышленных предприятий, более чем из 40 регионов России, ближнего и дальнего зарубежья. В 2015 году были осуществлены визиты деловых миссий на выставку делегаций предприятий: ОАО «Газпром», ОАО «Башнефть», ОАО «Татнефть», ОАО «Лукойл», ОАО «НОВАТЭК», Концерн «Белнефтехим», РДУП «Белорусский нефтяной торговый дом» и других, а также делегации предприятий свыше 40 регионов РФ и представители стран ШОС и БРИКС.

• Самая крупная региональная выставка России в номинациях «Выставочная площадь», «Профессиональный интерес», «Международное признание», «Охват рынка» по результатам Общероссийского рейтинга выставок.

Официальный источник:

<http://www.exporating.ru/themes/4595/>

### Республика Башкортостан:

Высокоразвитый, стабильный регион России с социально-ориентированной рыночной экономикой.

Республика расположена на границе Европы и Азии, на пересечении важнейших водных, железнодорожных, трубопроводных и автомобильных магистралей, связывающих европейскую часть страны с Уралом, Сибирью и среднеазиатскими государствами.

Центр нефтехимической индустрии и нефтяного машиностроения. Более 3 500 месторождений полезных ископаемых и сырьевых ресурсов, среди которых 250 нефтяных.

Башкортостан, добывая 2,9 % российской нефти, включая газовый конденсат, входит в пятерку регионов России с наибольшими объемами добычи.

Расположение в первой десятке субъектов РФ по основным макроэкономическим показателям.

В республике активно развивается «Кластер нефтегазового инжиниринга», «Кластер малотоннажной нефтехимии» и «Центр газохимического инжиниринга».

Торгово-экономические отношения с 80 субъектами РФ, внешнеэкономические связи с 98 странами мира.

Республика Башкортостан занимает лидирующие позиции по следующим показателям:

-1-е место в России по первичной нефтепереработке, автомобильного бензина и дизельного топлива.

-1-е место в России по производству кальцинированной соды.

-1-е место в России по объемам нефти поступившей на переработку.

-2-е место в России по производству этилена, синтетического каучука, извести технологической.

-2-е место в Европе по объему нефтепереработки.

-2-е место в России по производству пластмасс в первичных формах.

-3-е место в России по производству каустической соды.

### Итоги выставки «Газ.Нефть.Технологии 2015» и Нефтегазового Форума:

• 14 000 кв. м выставочной площади (брутто)

• 415 компании из 35 регионов России и 15 стран ближнего и дальнего зарубежья – Бельгии, Великобритании, Германии, КНР, Польши, Республики Беларусь, Республики Казахстан, Румынии, Словении, США, Турции, Швейцарии, Украины, Франции, Японии

• 11 135 зарегистрированных посетителей: представители министерств и ведомств, руководители и специалисты отраслевых предприятий России и зарубежных стран. Выставку посетили большие делегации из Республики Татарстан, Республики Казахстан, Республики Беларусь, представителей Посольства Исламской Республики Иран в Российской Федерации, Китайской Народной Республики, Германии, Турции, Кубы и других стран

• 26 профильных научно-практических конференций с проведением круглых столов, семинаров и презентаций, общее число участников деловой программы превысило 2 000 человек, было представлено 298 докладов, проведение на 8 площадках г. Уфы

• по результатам проведенного анкетирования 88 % опрошенных участников считают эту выставку важной для развития своего бизнеса, 95 % признали, что уфимская выставка способствует повышению объемов продаж компаний.

[www.gntexpo.ru](http://www.gntexpo.ru)



## «Водородные» амбиции немецких энергетиков

### О конференции Power to Gas 2015 в Берлине



На конференции Power to Gas в Берлине обсуждались перспективы уже применяемой в Германии инновационной технологии, способной стать конкурентом поставщикам газа и нефти.

P2G-установка фирмы ENERTRAG: в здании справа осуществляется электролиз, в цистернах слева хранится водород

На что пускать излишки "зеленого" электричества - на производство водорода или синтетического метана? Водорода! Именно этот газ стал главным героем состоявшейся в Берлине конференции Power to Gas. Ее участники говорили о водороде как о горючем для автомобилей, сырье для промышленности, добавке к природному газу...

#### Способ накопления избыточной электроэнергии

Power to Gas (P2G) - термин английский, но идея чисто немецкая. Она сформировалась в 2007-2009 годах в головах двух профессоров, размышлявших над тем, как сохранить излишки электроэнергии из возобновляемых источников, возникающие, к примеру, в ветреные и солнечные выходные дни, когда крупные промышленные потребители не работают.



На конференции Power to Gas 2015 в Берлине шла оживленная дискуссия

Ученые предложили прибегнуть к хорошо известному по урокам физики электролизу: пропускать «зеленое» электричество через обычную воду, наряду с кислородом получать водород ( $H_2$ ), а его в ходе химической реакции метанизировать. После чего

этот искусственно полученный (синтетический) природный газ закачивать в имеющуюся в Германии разветвленную сеть газопроводов и накапливать в газохранилищах.

Такая концепция хранения энергии заинтересовала энергетические компании и инженерные бюро, технические вузы и автостроителей. В 2011 году они объединились в рабочую группу, которая с 2012 года под эгидой полугосударственного Немецкого энергетического агентства (Dena) проводит в Берлине ежегодные конференции. 16 июня состоялась уже четвертая, подтвердившая тренд, явно обозначившийся еще год назад: с коммерческой точки зрения в данный момент наиболее перспективной представляется производство просто водорода без его последующей метанизации.

#### Правительство Германии берет за транспорт

Корректировка изначальной идеи во многом связана с накопленным практическим опытом: в разных концах Германии уже действуют свыше 20 опытно-промышленных установок P2G. И они показали, что водород неплохо продается, поскольку он нужен и химическим предприятиям, и металлургам, и пищевой промышленности. А вскоре, при соответствующей политической поддержке, может оказаться весьма востребованным и в транспортной сфере - в качестве горючего для водородных автомобилей.

Ведь провозглашенный в Германии «энергетический поворот» в сторону возобновляемых источников (Energiewende) уже привел к значительным успехам в электроэнергетике, но пока откровенно про буксовывает в транспортной сфере. Поэтому теперь правительство ФРГ сосредоточит усилия именно на этом направлении. Весьма показательно, что в Берлине одновременно с конференцией Power to Gas, собравшей свыше 150 специалистов, проходило куда более представительное мероприятие, посвященное электромобилям.



Toyota Mirai ("Будущее") - первый серийный гибрид, оснащенный водородным топливным элементом и электродвигателем



Пришедший к энтузиастам P2G с той большой конференцией представитель министерства транспорта ФРГ Файт Штайнле (Veit Steinle) недвусмысленно дал понять, что немецкое правительство делает ставку главным образом на электрическую тягу, но понимает, что в целом ряде видов транспорта (тяжелые грузовики, суда, самолеты) она вряд ли найдет широкое применение. Поэтому оно готово поддержать конкретными мерами альтернативные варианты, в том числе водородные топливные элементы. В 2016-2018 годах на их развитие будет выделен 161 миллион евро.

*Компания Toyota верит  
в большое будущее водорода*

Представитель министерства высоко оценил сам принцип P2G – производить энергоносители путем электролиза: «В результате Power to Gas можно ведь получать и водород, и синтетический метан, а также синтетический керосин или дизель». Иначе говоря, эта технология в перспективе способна составить конкуренцию как газу, так и нефти.



Герт Мюллер-Зюринг

В отличие от правительственного чиновника глава немецкого представительства японской автостроительной корпорации Toyota Андреас Фукс (Andreas Fuchs) от водорода как автомобильного топлива прямо-таки в восторге. «Водород можно изготавливать во всех регионах мира либо из ископаемых энергоносителей, либо из возобновляемых источников», - подчеркнул менеджер и показал остроумный видеоролик своей компании, смысл которого сводится к тому, что сырьем для получения водорода может служить даже коровий навоз.

*Рано или поздно встанет вопрос о метанизации*

Энтузиазм представителя Toyota связан с тем, что его компания вышла сейчас на мировой рынок с первым работающим на водороде (и на электричестве)

серийным легковым автомобилем премиум-класса. Он называется Mirai (по- японски «будущее»), уже продается в Японии, а в сентябре поступит в продажу в США и в Европе.

Тот факт, что на всей планете пока насчитывается лишь несколько сотен водородных заправок, Андреаса Фукса не смущает. Он напомнил, что понадобилось десять лет, чтобы продать первый миллион гибридного автомобиля Toyota Prius, имеющего наряду с двигателем внутреннего сгорания и электродвигатель: «Если вы приходите с принципиально новыми технологиями, вас неминуемо ждет период, когда вам просто хочется плакать». По оценкам менеджера, в самой Японии к концу года будет порядка 75 заправок, но затем их число начнет довольно быстро расти, поскольку «японское правительство уже представило дорожную карту с целью к 2040 году создать общество, энергетической основой которого станет водород».

В Германии правительство подобных целей пока не провозглашало, но число водородных заправок будет постепенно увеличиваться и здесь. Одна из них сооружается сейчас рядом с новым (все еще недостроенным) берлинским аэропортом BER, и водород для легковых автомобилей и автобусов будет производиться здесь прямо на месте с помощью технологии Power to Gas.

«Сейчас, действительно, имеет смысл сосредоточиться на производстве водорода, но в перспективе, по мере созревания технологии Power to Gas, наверняка встанет вопрос о его дальнейшей метанизации», - подчеркнул в беседе с DW Герт Мюллер-Зюринг (Gert Müller-Syring), возглавляющий отдел газовых сетей и установок в лейпцигской фирме DBI Gas- und Umwelttechnik.

Как раз сейчас она разрабатывает инженерные решения для P2G-установки в городе Майнце. А в Брюсселе ее специалисты участвуют в работе общеевропейской комиссии, призванной установить нормы допустимой концентрации водорода в газотранспортных сетях. Пока «зеленого» водорода производится не так много, его можно просто примешивать к природному газу. Со временем, считает эксперт, придется перейти к выпуску синтетического метана. И это позволит хотя бы частично сократить зависимость от импортного голубого топлива.

[www.dw.com](http://www.dw.com)  
[gizmod.ru](http://gizmod.ru)



## В Москве пройдет чемпионат по композитам среди молодых специалистов предприятий и студентов вузов COMPOSITE BATTLE-2015

Продолжается прием командных заявок для участия в ежегодном всероссийском чемпионате по композитам среди молодых специалистов предприятий и студентов вузов COMPOSITE BATTLE-2015. COMPOSITE BATTLE состоится впервые и пройдет в рамках III Национальной ежегодной выставки-форума ВУЗПРОМЭКСПО-2015. Дата проведения: 2–4 декабря 2015 года. Место проведения: Москва, Технополис «Москва», Волгоградский проспект 42/13.

Организаторами чемпионата выступили: МГТУ им. Н. Э. Баумана, КНИТУ-КАИ им. А. Н. Туполева, МГУ им. М. В. Ломоносова, Ассоциация Московский Композитный кластер. Подготовку чемпионата осуществляет межотраслевой инжиниринговый центр «Композиты России».

### **Задачи COMPOSITE BATTLE:**

- Развитие индустрии композитов как флагмана развития отечественной промышленности и экономики страны.
- Популяризация композитной отрасли.
- Демонстрация высокого уровня профессионализма и большого потенциала в наукоемких отраслях промышленности среди молодых инженеров и студентов.
- Развитие кадрового потенциала в рамках комплекса мер по импортозамещению.

### **Чемпионат пройдет в течение одного дня и будет состоять из нескольких этапов:**

- Этап 1: Конкурс «Брейн-ринг».
- Этап 2: Технологический конкурс.
- Этап 3: Расчеты на прочность.
- Этап 4: Бизнес-кейсы от спонсоров.

### **Для участия в конкурсе приглашаются:**

- Команды российских вузов, ведущие научно-исследовательские и научно-практические работы в сфере композиционных материалов.
- Команды предприятий, разрабатывающие и производящие изделия из композиционных материалов.

### **Требования к составу команд:**

Команды участников должны состоять не менее чем из 5 и не более чем из 10 человек. Каждый участник должен уметь работать с полимерными композитными материалами.

Заявки и вопросы направлять: [yulia.pliner@emtc.ru](mailto:yulia.pliner@emtc.ru) Плинер Юлия Игоревна.

Композиты России – межотраслевой инжиниринговый центр «Новые материалы, композиты и нанотехнологии» (МИЦ «НМКН») МВТУ им. Н. Э. Баумана. Ведущий инжиниринговый центр России в области разработки композиционных материалов и изделий на их основе. Центр реализует «замкнутый цикл» инжиниринговых услуг от разработки новых материалов и технологий их переработки до проектирования и производства изделий на их основе в базовых производственных отраслях, в том числе в транспортной, строительной, энергетической, нефтегазовой, нефтехимической отраслях и биомедицине.

ВУЗПРОМЭКСПО – крупнейшая федеральная выставка технических и технологических достижений науки и их коммерческого потенциала для импортозамещения. Проводится с 2013 года. В 2015 году III Национальная ежегодная выставка-форум ВУЗПРОМЭКСПО-2015 пройдет со 2 по 4 декабря на площадке Технополиса «Москва».

Постоянные участники выставки – «ОДК», «Аэрофлот», РКЦ «Прогресс», Концерн «Океанприбор», СКБ «Турбина», Концерн ПВО «Алмаз-Антей», Концерн «Швабе», НПФ «Микран», «КАМАЗ», НПО «СПЛАВ», РСК «МиГ», «АЛРОСА», «РТРС», «ГАЗ», IBS, Фирма «АйТи», 1С. Среди вузов — КФУ, МГУ им. М. В. Ломоносова, МГТУ Станкин, МГТУ им. Н. Э. Баумана, МИСиС, ДВФУ, Высшая школа экономики, КНИТУ-КАИ имени А. Н. Туполева, ТУСУР, САФУ, СПбПУ.

Всего в мероприятиях выставки ВУЗПРОМЭКСПО в 2013 и 2014 годах приняли участие около 200 высших учебных заведений и 160 предприятий. За два года на площадках выставки продемонстрировали 1 600 инновационных разработок.

*nanonewsnet.ru no материалам plastinfo.ru*



РЕКЛАМНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НАУЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ,  
ИНВЕСТИЦИОННЫХ ФИРМ И ФИРМ-ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ

ADVERTISING MATTERS OF INVESTMENT  
COMPANIES AND MANUFACTURERS

## РЕКЛАМА

**Научно-технический центр "ТАТА" (Россия) осуществляет поставку заказчикам графеновых материалов: оксид графена, редуцированный оксид графена (RGO) в виде порошка, водной суспензии, пасты**

### 1. GRAPHENE OXIDE (concentrated aqueous suspension, 1000 ml)

#### Properties

Form: concentrated suspension of graphene oxide

Particle size 1-30 microns

Color: Dark Brown

Suspensibility: Polar solvents (water, N-metilpirrollidon, DMSO, DMF, aqueous ethanol) Solvent: water

Concentration: 5 mg / ml

Contents monolayer GO - 80-85% (at a concentration of 1 mg / ml)

### 2. GRAPHENE OXIDE (a highly concentrated aqueous suspension (paste), 1000 ml)

#### Properties

Form: concentrated suspension of graphene oxide

Particle size 1-30 microns

Color: Dark Brown

Suspensibility: Polar solvents (water, N-metilpirrollidon, DMSO, DMF, aqueous ethanol)

Solvent: water

Concentration: 5 mg / ml

Contents monolayer GO - 80-85% (at a concentration of 1 mg / ml)

### 3. GRAPHENE OXIDE (dry powder, 1g)

#### Properties

Form: concentrated suspension of graphene oxide

Particle size 1-30 microns

Color: Dark Brown

Suspensibility: Polar solvents (water, N-metilpirrollidon, DMSO, DMF, aqueous ethanol)

Solvent: water

Concentration: 5 mg / ml

Contents monolayer GO - 80-85% (at a concentration of 1 mg / ml)

### 4. REDUCED GRAPHENE OXIDE (dry powder, 1g)

#### Properties

Form: powder with very low bulk density

Reduction method: microwave exfoliation of graphene oxide powder

Color: black

Dispersibility: N-metilpirrollidon, DMSO, DMF, a dilute aqueous ammonia solution

Conductivity: ~ 2 S / cm

BET specific surface area: 650-680 m<sup>2</sup>/g

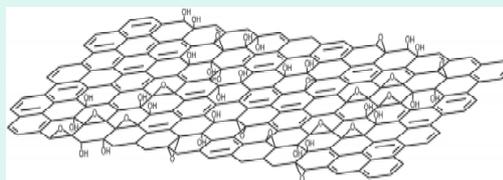
BET surface standard porosimetry: > 2400 m<sup>2</sup>/g

*Изготовление Заказа - 2 недели. Доставка почтой DHL. Оплата на расчетный счет предприятия Научно-технический центр "ТАТА" по Договору изготовления, аттестации и поставки продукции.*



## СИНТЕЗ И СВОЙСТВА ОКСИДА ГРАФЕНА

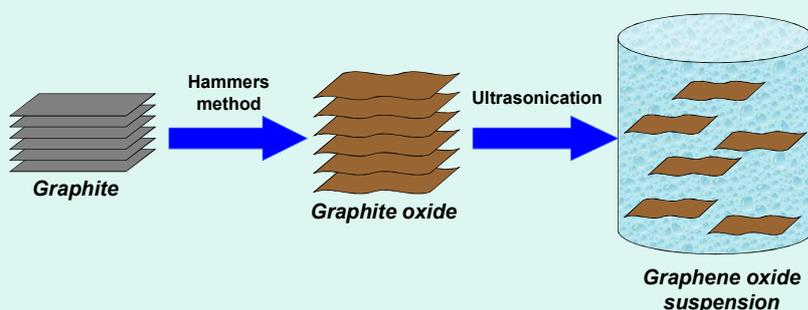
**Оксид графита** – продукт глубокого окисления графита, имеет простейшую формулу  $C_4O_8H_4$  и содержит большое количество кислородсодержащих функциональных групп. Оксид графита, являясь гидрофильным материалом, способен образовывать коллоидные растворы в воде, диметилформамиде, N-метилпирролидоне, водных растворах этанола и других полярных растворителях, где он расщепляется на тонкие (вплоть до одного углеродного слоя) листы **оксида графена (ОГ)**.



**Химическая структура ОГ**

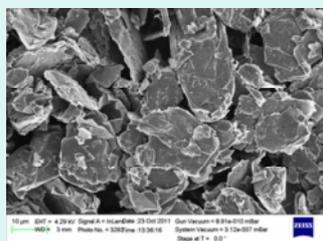
J. Phys. D: Appl. Phys. 43 (2010) 374015 (19pp)

### Схематическая методика синтеза оксида графена



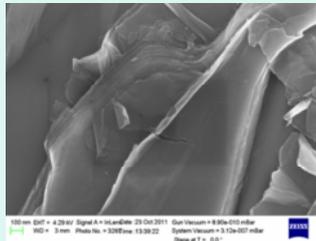
Оксид графита получали модифицированным методом Хаммерса. Для приготовления водной суспензии нанолистов ОГ оксид графита смешивали с дистиллированной водой и полученную смесь обрабатывали в ультразвуковой ванне в течение 1 час. Далее образовавшуюся суспензию для удаления крупных частиц центрифугировали 15 мин при 3000g.

### Микрофотографии графита, оксида графита и нанолистов оксида графена



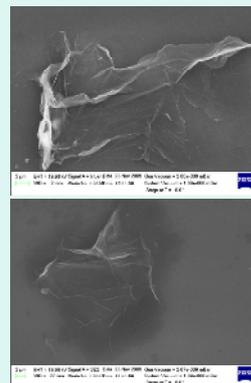
Graphite

Oxidation



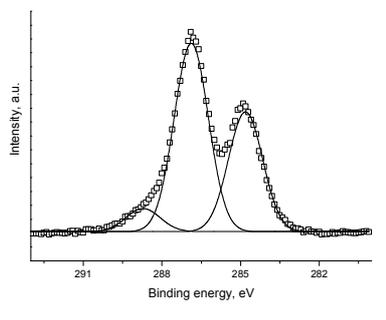
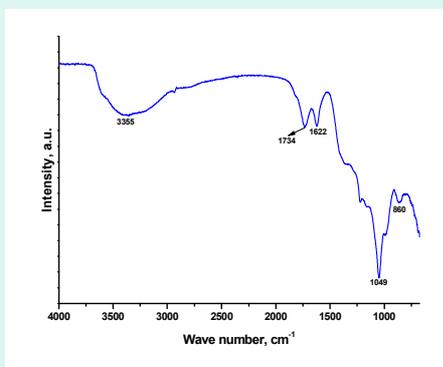
Graphite oxide

Ultrasonication



Graphene oxide nanosheets

### ИК-спектр оксида графена

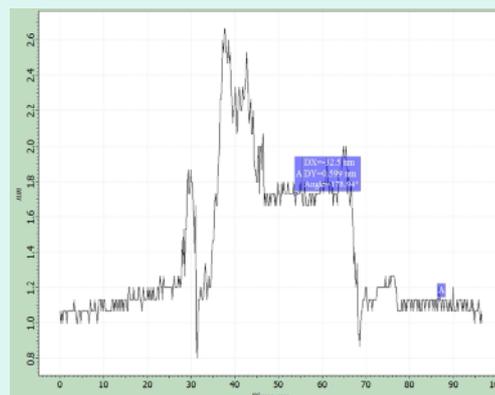
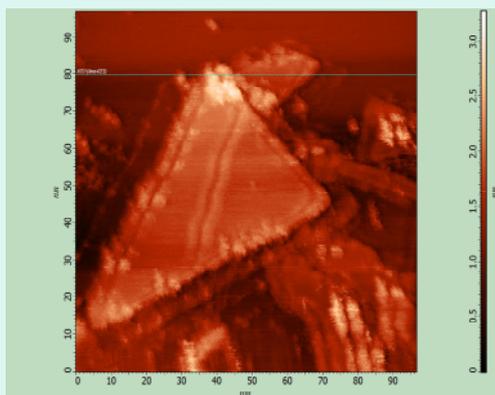


**Рентгеновский фотоэлектронный спектр наночастиц оксида графена**

### Элементный состав пленки оксида графена

- C – 45,3 вес.%
- O – 48,7 вес.%
- H – 2,8 вес.%
- S – 2.1 вес.%
- N – <0.1 вес.%





Из данных АСМ видно, что частицы оксида графена, присутствующие в видной суспензии после облучения ультразвуком, являются плоскими листами толщиной приблизительно 0,6 нм, что соответствует толщине 1 слоя ОГ.

<b>Size:</b>	1-20 $\mu\text{m}$
<b>Thickness:</b>	0,6-1,3 nm (80% 1-2 layer) by AFM
<b>Solubility:</b>	Water, DMF, DMS, Aqueous Ethanol, NMP
<b>pH</b>	4-5

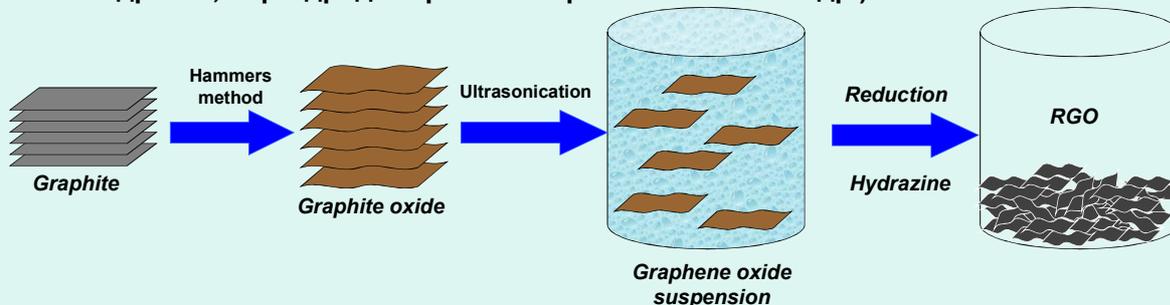
### Graphene Oxide Applications

- Solar Cells
- Graphene Semiconductor Chips
- Conductive Graphene Films
- Chemical Power Sources (Supercapacitors and Batteries )
- Catalysts and Sorbents
- Graphene Computer Memory
- Transparent Conductive Coatings
- Graphene Sheets and Many Others Applications

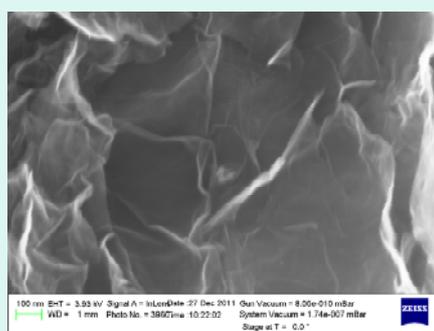
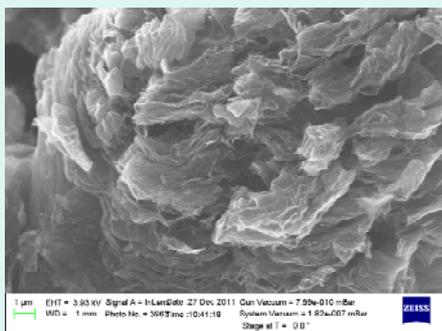
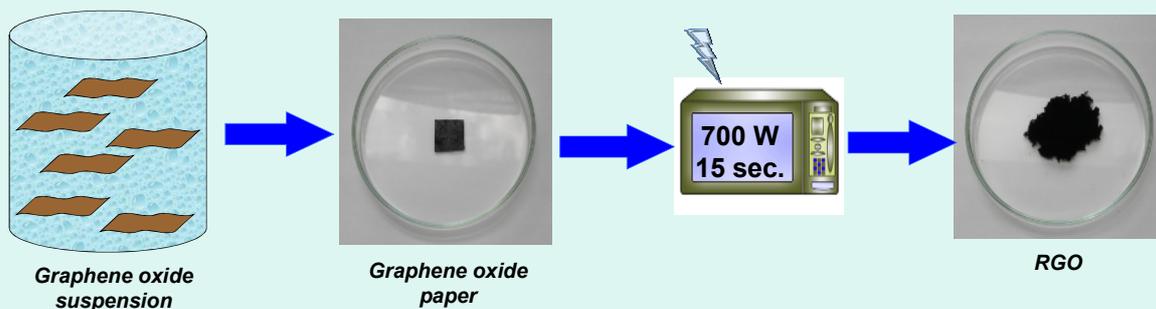


## ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ ВОССТАНОВЛЕННОГО ОКСИДА ГРАФЕНА

1. Химическое восстановление (использование сильных восстановителей – гидразин, боргидрид натрия и аскорбиновая кислота др.).

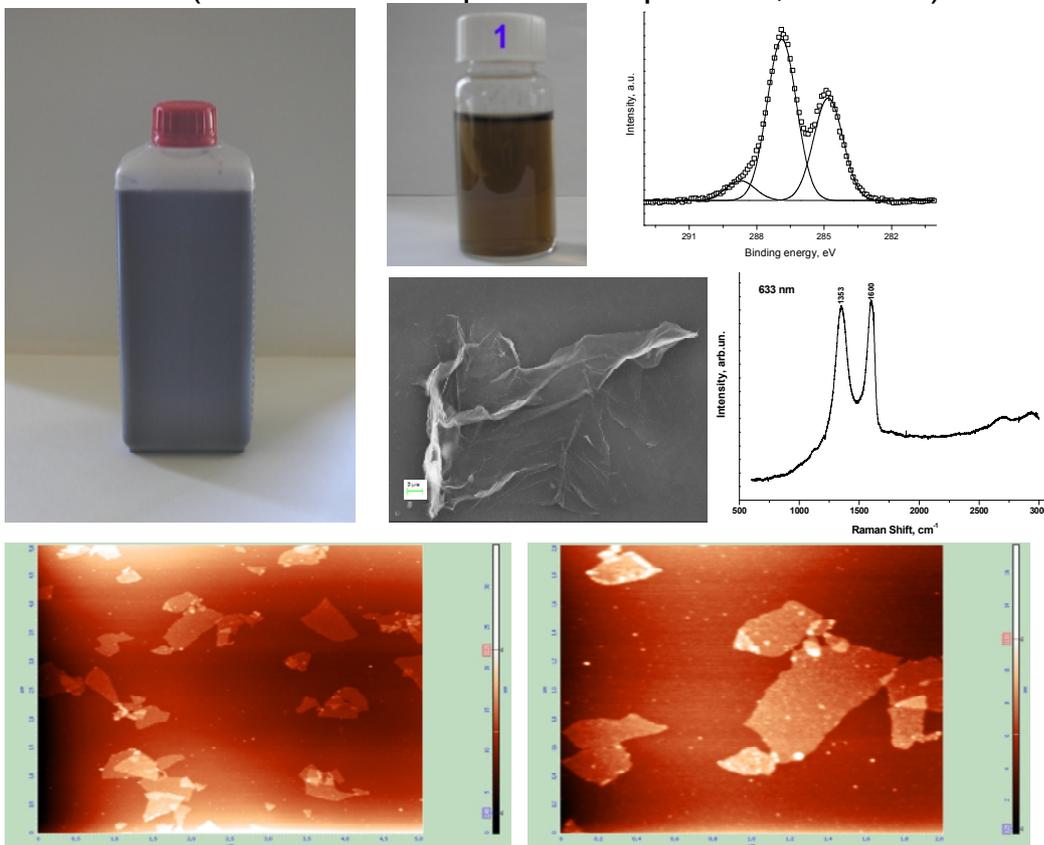


2. Термическое восстановление. Наиболее часто применяется восстановление СВЧ-облучением.



## GRAPHENE OXIDE

(concentrated aqueous suspension, 1000 ml)



**Graphite oxide** - a product of the deep oxidation of graphite, it has a simple formula  $C_2O_2H$  and contains a large amount of oxygen-containing functional groups. Graphite Oxide - a hydrophilic material, it is capable of forming colloidal solutions in water, dimethylformamide, N-metilpirrolidone, ethanol and aqueous solutions of other polar solvents, where it exfoliated thin (up to one carbon layer) sheets of **graphene oxide (GO)**.

### Application of graphene oxide

- Solar Cells
- Semiconductor Electronics
- Conductive graphene films and coatings (including transparent)
- Electrode material for chemical power sources (batteries and supercapacitors)
- Catalysts and sorbents
- Graphene-polymer composite materials
- Conductive inks including for 3D-printing
- and many other applications.

### Properties

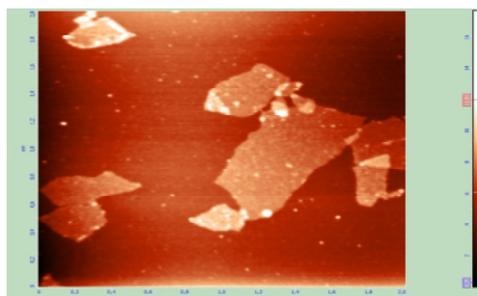
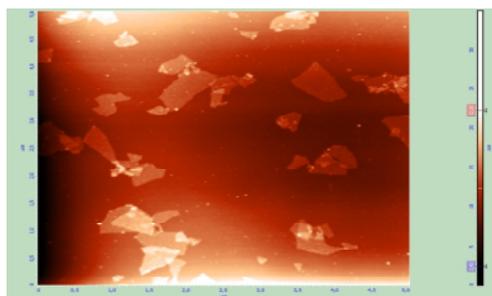
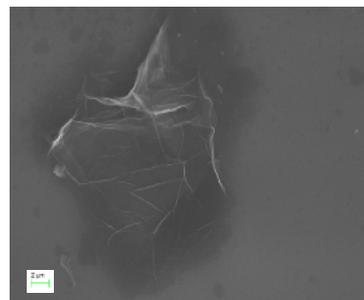
**Form:** concentrated suspension of graphene oxide  
**Particle size** 1-30 microns  
**Color:** Dark Brown  
**Suspensibility:** Polar solvents (water, N-metilpirrolidone, DMSO, DMF, aqueous ethanol)  
**Solvent:** water  
**Concentration:** 5 mg / ml  
**Contents monolayer GO** - 80-85% (at a concentration of 1 mg / ml)

### The elemental composition

C – 45,3 wt.%; O – 48,7 wt.%; H – 2,8 wt.%; S – 2.1 wt.%; N – <0.1 wt.%

## GRAPHENE OXIDE

(a highly concentrated aqueous suspension (paste), 1000 ml)



**Graphite oxide** - a product of the deep oxidation of graphite, it has a simple formula  $C_2OOH$  and contains a large amount of oxygen-containing functional groups. Graphite Oxide - a hydrophilic material, it is capable of forming colloidal solutions in water, dimethylformamide, N-metilpirrolidone, ethanol and aqueous solutions of other polar solvents, where it exfoliated thin (up to one carbon layer) sheets of **graphene oxide (GO)**.

### Application of graphene oxide

- Solar Cells
- Semiconductor Electronics
- Conductive graphene films and coatings (including transparent)
- Electrode material for chemical power sources (batteries and supercapacitors)
- Catalysts and sorbents
- Graphene-polymer composite materials
- Conductive inks including for 3D-printing
- and many other applications.

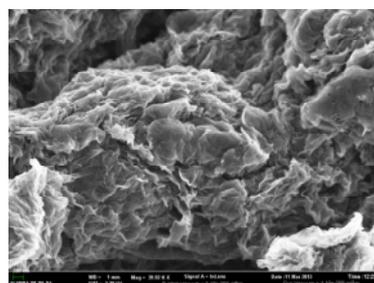
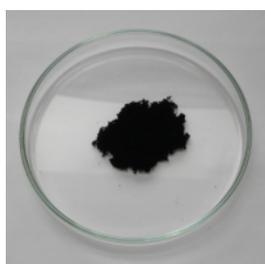
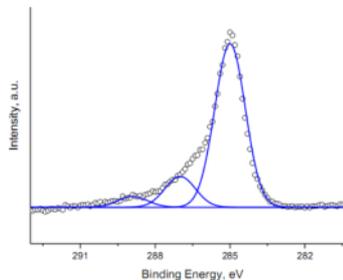
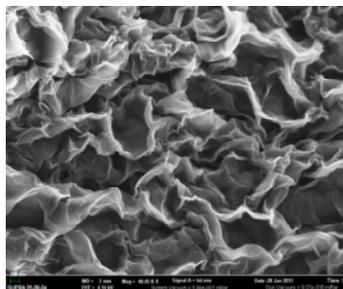
### Properties

**Form:** concentrated suspension of graphene oxide  
**Particle size** 1-30 microns  
**Color:** Dark Brown  
**Suspensibility:** Polar solvents (water, N-metilpirrolidone, DMSO, DMF, aqueous ethanol)  
**Solvent:** water  
**Concentration:** 5 mg / ml  
**Contents monolayer GO -** 80-85% (at a concentration of 1 mg / ml)

### The elemental composition

C – 45,3 wt.%; O – 48,7 wt.%; H – 2,8 wt.%; S – 2.1 wt.%; N – <0.1 wt.%

## REDUCED GRAPHENE OXIDE (dry powder, 1g)



### Properties

**Form:** powder with very low bulk density

**Reduction method:** microwave exfoliation of graphene oxide powder

**Color:** black

**Dispersibility:** N-methylpyrrolidone, DMSO, DMF, a dilute aqueous ammonia solution

**Conductivity:** ~ 2 S / cm

**BET specific surface area:** 650-680 m<sup>2</sup>/g

**BET surface standard porosimetry:** > 2400 m<sup>2</sup>/g

### Application of RGO

- Due to the large specific surface area and high conductivity RGO is a promising material for chemical power sources (Supercapacitors and batteries). Specific electrical capacity can reach 200-250 F/g in inorganic electrolytes.
- Catalysts and sorbents
- Graphene-polymer composite materials with improved characteristics
- Conductive inks (including materials for 3D-printing) etc.

### Reduced graphene oxide

it is a product of the thermal reduction of graphene oxide powder under microwave irradiation. In contrast to graphene oxide, the reduced graphene oxide has a large specific surface and a high conductive characteristics. This is a black powder with a low bulk density (~ 0.7 g/100cm<sup>3</sup>) contains more than 96 wt.% Carbon.

### The elemental composition

**C – 96,1 wt.%; O – 2,7 wt.%; H – 0,3 wt.%; S – 0,4 wt.%; N – 0,5 wt.%**





ПРЕСС-РЕЛИЗ

## РОСНАНО и Новосибирская область продолжают развитие завода «Лиотех»

06 августа 2015

Правительство Новосибирской области и РОСНАНО согласились продолжить сотрудничество по развитию завода «Лиотех» в качестве центра российских компетенций в сфере производства литий-ионных аккумуляторов.

Стороны признают, что проект «Лиотех», начатый пять лет назад как высокотехнологичное предприятие для обеспечения экологичного городского электротранспорта страны современными литий-ионными батареями, испытывает ряд экономических сложностей. К сожалению, инвестиции в инновационные проекты предполагают не только высокую возможную прибыль, но и повышенные риски. Усугубил ситуацию недостаточно быстрый рост спроса в России на продукцию в обозначенном сегменте рынка, а также отказ зарубежного партнера от обязательств по выкупу готовой продукции.

В настоящий момент «Лиотех» самостоятельно осуществляет операционную деятельность на рыночных условиях, часть заказчиков приобретает продукцию с отсрочкой платежа, это привело к временным задержкам заработной платы.

Обсудив варианты решения накопившихся проблем, Стороны решили, что целью совместных вий должна стать поддержка уникального для страны предприятия. Было принято во внимание, что «Лиотех» продолжает работу по расширению существующей линейки продукции, по развитию партнерских отношений с системными интеграторами с целью формирования новых сегментов рынка. Проходят испытания литий-ионных аккумуляторов в рамках пилотных проектов на площадках ряда крупных компаний — потенциальных потребителей: ОАО «Газпром», ОАО «Ростелеком», ОАО «ТВЭЛ» и других. Компания работает над перспективными проектами в энергетике (системы оперативного постоянного тока, сетевые накопители энергии), транспорте (переоборудование маневровых тепловозов, общественного и коммерческого транспорта). Представители администраций нескольких регионов РФ уже проявили заинтересованность в технологии, которая позволяет комбинировать дизельные электрогенераторы, солнечные батареи и аккумуляторы, что значительно удешевляет стоимость электроэнергии в изолированных населённых пунктах.

Правительство Новосибирской области и РОСНАНО считают, что совместно разработанный план по оздоровлению предприятия, включая реструктуризацию задолженности перед регионом в сумме 0,5 млрд рублей, позволит «Лиотеху» в ближайшие годы выйти на стабильные производственные показатели. Частью совместных усилий является подписание мирового соглашения, согласно которому вся задолженность будет погашена «Лиотехом» в полном объеме до конца 2020 года, в том числе 135 млн рублей уже до 30 июня 2016 года.

*Открытое акционерное общество «РОСНАНО» создано в марте 2011 г. путем реорганизации государственной корпорации «Российская корпорация нанотехнологий». ОАО «РОСНАНО» содействует реализации государственной политики по развитию nanoиндустрии, инвестируя напрямую и через инвестиционные фонды нанотехнологий в финансово эффективные высокотехнологичные проекты, обеспечивающие развитие новых производств на территории Российской Федерации. Основные направления инвестирования: электроника, оптоэлектроника и телекоммуникации, здравоохранение и биотехнологии, металлургия и металлообработка, энергетика, машино- и приборостроение, строительные и промышленные материалы, химия и нефтехимия. 100% акций ОАО «РОСНАНО» находится в собственности государства.*

*Функцию управления активами ОАО «РОСНАНО» выполняет созданное в декабре 2013 г. Общество с ограниченной ответственностью «Управляющая компания «РОСНАНО», председателем правления которого является Анатолий Чубайс.*

*Задачи по созданию нанотехнологической инфраструктуры и реализации образовательных программ выполняются Фондом инфраструктурных и образовательных программ, также созданным в результате реорганизации госкорпорации. Подробнее - [www.rusnano.com](http://www.rusnano.com)*

*Контактная информация: 117036, г. Москва, просп. 60-летия Октября, 10А. Тел. +7 (495) 988-5677, факс +7 (495) 988-5399, e-mail [press@rusnano.com](mailto:press@rusnano.com).*



**Солнечная энергетика**

Термины и определения  
(по ГОСТ Р 51594-2000)  
*продолжение*

**7. Понятия, относящиеся к солнечным коллекторам****Плоский солнечный коллектор**

Солнечный коллектор с поглощающей панелью плоской конфигурации и плоской прозрачной изоляцией

**Flat-plate solar collector****Жидкостный солнечный коллектор**

Солнечный коллектор, служащий для нагрева жидкого теплоносителя

**Fluid-type collector****Воздушный солнечный коллектор**

Солнечный коллектор, служащий для нагрева воздуха

**Air-type solar collector****Проточный солнечный коллектор**

Солнечный коллектор, в котором нагрев теплоносителя осуществляется при движении его через коллектор

**Flowing-type solar collector****Солнечный коллектор-аккумулятор**

Солнечный коллектор, в котором осуществляется нагрев заполняющего коллектор теплоносителя при отсутствии движения его через коллектор

**Collector-storage water heater****Вакуумированный трубчатый солнечный коллектор**

Солнечный коллектор, поглощающая панель которого находится в вакуумированном пространстве, ограниченном трубчатой прозрачной изоляцией

**Evacuated tube solar collector****Поглощающая панель солнечного коллектора**

Конструктивный элемент солнечного коллектора, в котором происходит поглощение солнечной энергии и преобразование её в тепловую энергию

**Absorber plate****Прозрачная изоляция солнечного коллектора**

Покрытие или система покрытий, расположенных над поглощающей панелью, прозрачных относительно солнечной энергии, предназначенных для снижения тепловых потерь в окружающую среду

**Transparent cover insulation of solar collector****Площадь поглощающей панели**

Площадь поверхности поглощающей панели, освещаемая солнцем при перпендикулярном падении потока солнечной энергии на её поверхность

**Area of absorber plate****Теплопроизводительность солнечного коллектора**

Количество тепла, отводимого от коллектора за фиксированный период времени (час, сутки, месяц, год)

**Solar collector heating capacity****КПД солнечного коллектора**

Отношение теплопроизводительности коллектора к поступившей за тот же период времени на его габаритную площадь суммарной солнечной энергии

**Collector efficiency**

**Мгновенный КПД солнечного коллектора**

Отношение теплопроизводительности коллектора к поступившей за тот же период времени на его габаритную площадь суммарной солнечной энергии, когда рассматриваемый период времени стремится к нулю

Collector instantaneous efficiency

**Оптический КПД солнечного коллектора**

Отношение количества поглощенной коллектором солнечной энергии к поступившей за тот же период времени на его полную поверхность суммарной солнечной энергии

Optical efficiency solar collector

**Полный коэффициент тепловых потерь солнечного коллектора**

Поток тепла, отдаваемый коллектором в окружающую среду, отнесенный к единице габаритной площади, при разности между средней температурой поглощающей панели и температурой наружного воздуха в 1° С

Collector overall heat-loss coefficient

**Коэффициент тепловых потерь через прозрачную изоляцию солнечного коллектора**

Поток тепла, отдаваемый коллектором в окружающую среду через прозрачную изоляцию солнечного коллектора, отнесенный к единице габаритной площади, при разности между средней температурой поглощающей панели и температурой наружного воздуха в 1° С

Heat-loss coefficient through transparent cover

**Коэффициент эффективности поглощающей панели**

Значение, характеризующее эффективность переноса тепла от поверхности поглощающей панели к теплоносителю и равное отношению фактической теплопроизводительности солнечного коллектора к теплопроизводительности, которая реализуется при условии, что все термические сопротивления передаче тепла от поверхности поглощающей панели к теплоносителю равны нулю

Collector efficiency factor

**Коэффициент отвода тепла от солнечного коллектора**

Отношение фактической теплопроизводительности солнечного коллектора к теплопроизводительности, которая реализуется при условии, что температура всей поверхности поглощающей панели равна температуре теплоносителя на входе в солнечный коллектор

Solar collector heat removal factor

**Удельный расход теплоносителя**

Количество теплоносителя, протекающего в единицу времени через солнечный коллектор, отнесенное к единице его габаритной площади

Specific flowrate of heat transfer fluid

**Равновесная температура**

Температура поверхности поглощающей панели в стационарных или квазистационарных условиях при отсутствии циркуляции теплоносителя через солнечный коллектор

Equilibrium temperature

**Чёрное поглощающее покрытие**

Покрытие поглощающей панели, характеризующееся высокой поглощательной способностью относительно солнечного излучения и высокой степенью черноты

Black absorptive coating

**Селективное поглощающее покрытие**

Покрытие поглощающей панели, характеризующееся высокой поглощательной способностью относительно солнечного излучения и низкой степенью черноты при рабочих температурах

Selective absorptive coating

**Теплоотражающее покрытие**

Покрытие, прозрачное в области солнечного спектра и отражающее в области инфракрасного излучения

Heat reflected coating



## Приложение А

## Термины и определения общетехнических понятий

**Энергетика**

Область народного хозяйства, науки и техники, охватывающая энергетические ресурсы, производство, передачу, преобразование, аккумулярование, распределение и потребление различных видов энергии (ГОСТ 19431)

**Power engineering****Теплоснабжение**

Обеспечение потребителей теплом (ГОСТ 19431)

**Heating****Прямая солнечная энергия**

Солнечное излучение, поступающее без изменения направления

**Direct radiation****Рассеянная солнечная энергия**

Солнечное излучение, поступающее после изменения его направления вследствие отражения и рассеяния атмосферой

**Diffuse radiation****Суммарная солнечная энергия**

Солнечное излучение, поступающее в виде прямой и рассеянной радиации

**Total radiation****Поглощательная способность**

Поглощённая поверхностью доля солнечной энергии, падающей на эту поверхность

**Absorbability****Пропускательная способность**

Пропускаемая телом доля солнечной энергии, падающей на его поверхность

**Transmittance****Отражательная способность**

Отражаемая поверхностью доля солнечной энергии, падающей на эту поверхность

**Reflectance****Степень черноты поверхности**

Отношение интенсивности излучения поверхности к интенсивности излучения чёрного тела при той же температуре

**Emittance of surface****Селективное покрытие**

Покрытие, характеризующееся резко отличающимися в соседних спектральных интервалах оптическими свойствами

**Selective coating****Показатель селективности**

Отношение поглощательной способности селективного покрытия к степени черноты при рабочей температуре

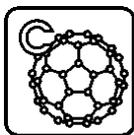
**Selective coefficient****Зеркальное покрытие**

Металлическое покрытие стекол или пленок, обеспечивающее их высокие отражающие свойства

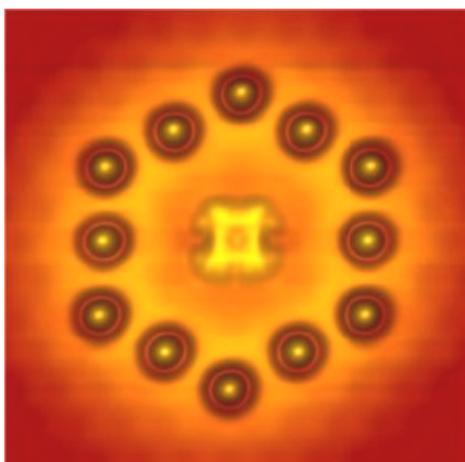
**Mirror coating****Атмосферная масса; АМ**

Показатель длины пути солнечных лучей в атмосфере Земли, равный  $1/\sin h$ , где  $h$  – высота видимого положения Солнца над горизонтом

**Air mass**



Учёные сделали транзистор из одной молекулы и нескольких атомов



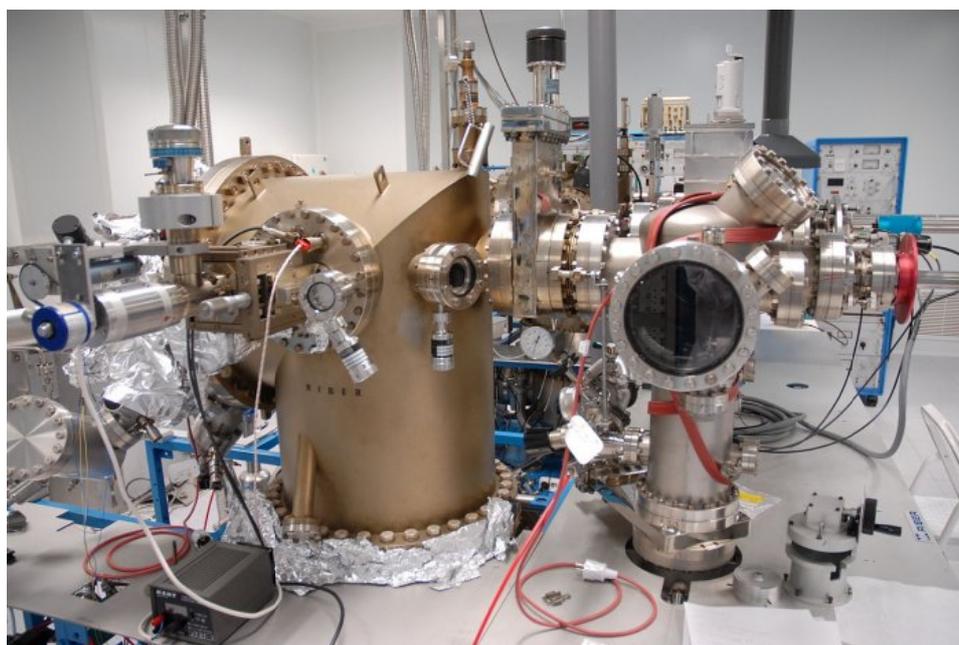
Портрет нанотранзистора

Немецким физикам совместно с японскими и американскими коллегами удалось, используя сканирующий туннельный микроскоп, создать миниатюрный транзистор, состоящий из одной молекулы и нескольких атомов. Малыш ведёт себя не совсем так, как его макроскопические аналоги, и может послу-

жить важным шагом в создании наноустройств. Также он поможет фундаментальным исследованиям вопросов передачи электронов в молекулярных наноструктурах.

Обычные транзисторы – это элементы радиоэлектронных схем, которые делаются из полупроводникового материала. Транзистор имеет три вывода, и входной сигнал на управляющем контакте позволяет управлять электрическим током, проходящим через два других контакта. В молекулярном транзисторе ток оказывается чувствителен к переходам электронов между энергетическими уровнями.

Преыдущие подходы к созданию нанотранзисторов, – например, при помощи литографии,– не позволяли получать устройства, способные чётко контролировать прохождение отдельных электронов. С помощью сканирующего туннельного микроскопа удалось сделать транзистор из одной органической молекулы и группы положительно заряженных атомов металла.



Система молекулярно-пучковой эпитаксии / Википедия



International Publishing House for scientific periodicals "Space"



Международный издательский дом научной периодики "Спейс"

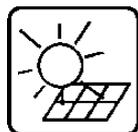
Вся эта красота расположилась на поверхности кристалла арсенида индия. Поверхность кристалла была подготовлена при помощи молекулярно-пучковой эпитаксии – технологии, при которой испарённое вещество осаждается на подложку в условиях сверхвысокого вакуума.

Молекула не имеет сильных связей с подложкой из кристалла. При подведении острия микроскопа к ней электроны способны перескакивать с подложки на остриё через практически ненарушенные молекулярные орбитали. Как поясняют физики, этот эффект

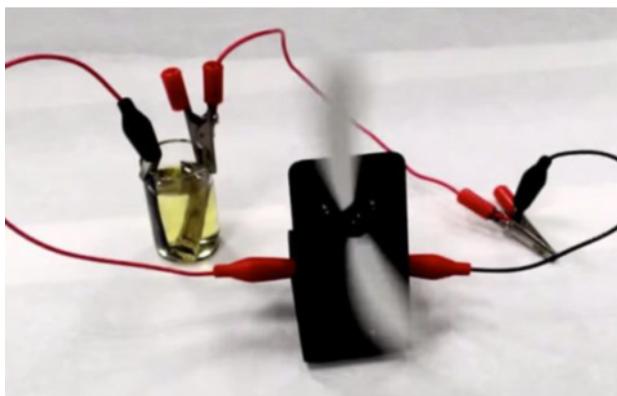
схож с принципом работы квантовой точки – полупроводника микроскопических размеров, электрические характеристики которого зависят от его размера и формы.

Основное отличие от квантовой точки состоит в том, что молекула может вращаться на подложке и принимает различные положения в зависимости от степени заряда. В результате процесс переноса электронов можно контролировать, изменяя положение молекулы.

*nanonewsnet.ru по материалам geektimes.ru*



### Создана химическая батарея, способная восстанавливаться под воздействием света



Химические источники энергии, к которым относятся обычные батарейки и аккумуляторные батареи, по определению предназначены для преобразования химической энергии в электрическую. Однако после того как заряд таких батарей полностью исчерпан, их можно или выбросить, или вставить в зарядное устройство, которое снова наполнит аккумулятор энергией. Это достаточно простая процедура, которую делает каждый из нас практически каждый день, но она может превратиться в достаточную проблему при совпадении некоторых условий.

Исследователи из института ISER (Indian Institute of Science Education and Research), Пуна, Индия, нашли способ, благодаря которому шаг зарядки аккумуляторной батареи теряет свою актуальность. Созданная ими аккумуляторная батарея восстанавливает свой потенциал под воздействием света. В данном случае мы не говорим об обычной аккумуляторной батарее, совмещенной с неким фотогальваническим элементом, эта батарея является действительно «фотобатареей», а роль фотогальванического элемента, способного поглощать даже рассеянный

свет, выполняет анод батареи, изготовленный из нитрида титана.

Находясь в условиях искусственного освещения, батарея демонстрирует емкость 77,8 мА/ч/г. Такой емкости вполне достаточно для того, чтобы привести в действие небольшой вентилятор или заставить светиться светодиод на полной яркости в течение 30 секунд. И если затем батарею оставить в покое на свету еще на 30 секунд, она полностью восстановит свой электрический заряд.

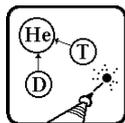
Пройдя через 100 циклов заряда-разрядки, батарея сохранила 70 процентов от своей первоначальной емкости, что в случае первого опытного образца является превосходным результатом. А при некоторых изменениях конструкции и состава электродов долговечность такой батареи может быть увеличена буквально в несколько раз.

Кроме своей удивительной способности самозаряжаться под воздействием света, материал анода этой батареи не расходуется при протекающих внутри батареи электрохимических реакций. Это в свою очередь избавит такие батареи от структурных деформаций, дополнительной потери емкости, проблем безопасности эксплуатации, с которыми сталкиваются даже самые современные литий-ионные и литий-полимерные аккумуляторные батареи.

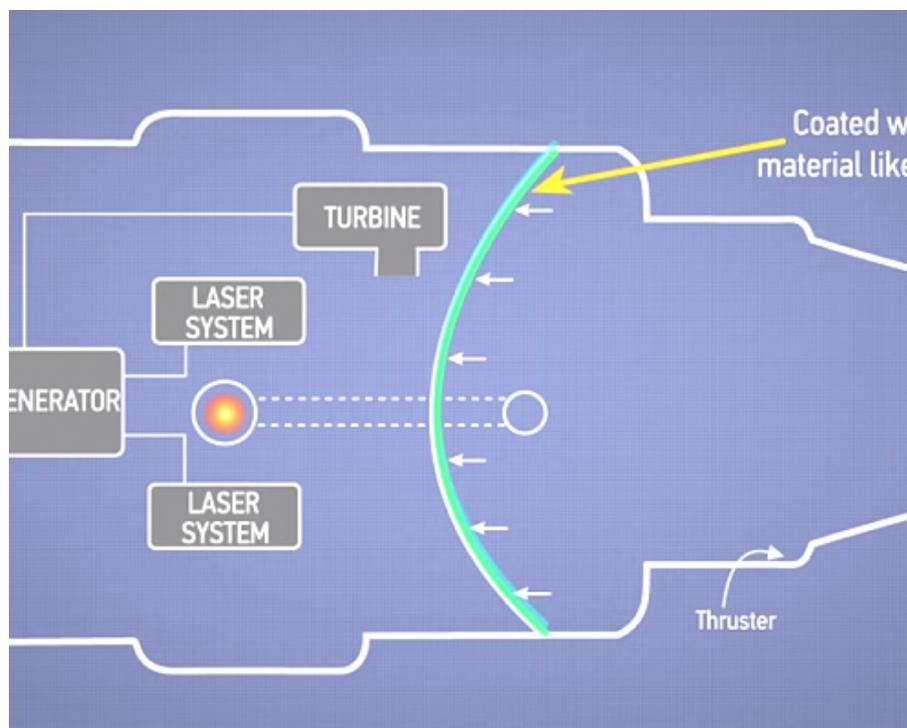
Согласно информации, опубликованной в пресс-релизе американского Химического Общества, эта батарея «является многообещающим первым шагом к новой жизнеспособной и безопасной технологии превращения солнечной энергии в электрическую». Однако все это работает пока на уровне лабораторной установки и до того момента, когда в вашем смартфоне может появиться подобная самозаряжающаяся батарея, пройдет еще достаточно много времени.

*daillytechinfo.org*





## Boeing получил патент на лазерно-термоядерный двигатель



Ведомство по патентам и товарным знакам США (USPTO) зарегистрировало патент на авиационный двигатель корпорации Boeing, работающий на энергии термоядерных взрывов с применением лазеров.

Согласно патентной заявке, высокомощные лазеры будут обстреливать радиоактивные изотопы водорода, попадающие в камеру сгорания двигателя, запуская термоядерную реакцию синтеза. Продукты этой реакции, водород или гелий, будут выходить через сопло, создавая реактивную тягу.

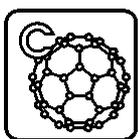
Кроме того, термоядерная реакция разогреет перегородку в камере сгорания, которая покрыта ура-

ном-238. В результате его контакта с высокоэнергетическими нейтронами будет выделяться большое количество тепла.

На перегородку также будет подаваться жидкость, которая при испарении раскрутит турбину и тем самым обеспечит питанием лазеры. Помимо дейтерия и трития, такой установке не потребуются внешние источники энергии.

По замыслу Boeing, лазерно-термоядерный двигатель мог бы найти применение в ракетах и даже космических кораблях. Однако пока его перспективы весьма туманны ввиду чрезвычайно сложной и дорогой конструкции.

*popmech.ru по материалам Business Insider*



## Новые микрофоны и динамики на основе графена позволяют общаться на частотах летучих мышей

Ещё одно уникальное достижение графена: Физики из Университета Калифорнии, Беркли, сумели создать с его помощью сверхтонкие ультразвуковые микрофоны и динамики, которые позволяют обмениваться высококачественными аудиосообщениями

в диапазоне, обычно доступном только летучим мышам и дельфинам.

Специальные графеновые мембраны для этих устройств имеют толщину всего в один атом и сочетают в себе жёсткость, гибкость и малую инерцию, которые дают им возможность функционировать в

невероятно широком диапазоне частот. При этом по заявлению исследователей, эффективность этих мембран составляет 99 процентов. Для сравнения – стандартные динамики с трудом дотягивают до отметки в 8 процентов.



По мнению учёных из Беркли, графеновые динамики и микрофоны могут найти своё практическое применение в сфере подводных коммуникаций, где стандартные радиопередатчики малополезны. Вдобавок, новые устройства обеспечивают лучшую чёткость, чем любые существующие на сегодняшний день ультразвуковые системы, и способны обеспечивать связь сквозь стальные предметы – на что обычные радиоволны не способны.

Помимо этого, графеновые мембраны позволяют создать новые разновидности ультратонких динамиков, которые обладают практически идеально плоским частотным откликом по всему слышимому спектру. Преобразуя почти 100 процентов входящего сигнала в звук, такие динамики не только будут иметь запредельное качество звучания, но и смогут обеспечивать невероятный выходной сигнал даже со сравнительно низким уровнем усиления.

*oko-planet.su/ по материалам gearmix.ru.*



### Новый магнитный материал позволит сделать менее дорогими электрические автомобили, ветрогенераторы и многое другое



Ни для кого не является секретом, что достаточно большая доля от общей стоимости нынешних электрических и гибридных автомобилей, турбин ветрогенераторов и многого другого приходится на стоимость высокоэффективных постоянных магнитов, используемых в электродвигателях и электрогенераторах. Одним из направлений снижения стоимости вышеупомянутых изделий является замена магнитов на основе редкоземельных металлов магнитами на основе других, более распространенных и более дешёвых материалов. Успехов на этом поприще удалось добиться ученым из лаборатории имени Эймса (Ames Laboratory) американского Министерства энергетики, которые создали новый магнитный сплав, не уступающий по всем параметрам традиционным магнитным материалам на основе редкоземельных элементов.



Применение нового сплава позволит избавиться от необходимости использования одного из самых дорогостоящих редкоземельных металлов – диспрозия (dysprosium), вместо него используется более

распространенный элемент – церий. А новый магнитный сплав, в состав которого входит неодимий, железо и бор, допированные церием и кобальтом, по всем своим магнитным свойствам может конкурировать с традиционными искусственными магнитами, содержащими диспрозий.

«Но самым интересным является то, что наш материал начинает работать лучше при температурах выше 150 градусов по шкале Цельсия, при температурах, когда другие магнитные материалы начинают терять свои свойства, – рассказывает Карл А. Гшнеиднер (Karl A. Gschneidner), один из исследователей лаборатории имени Эймса. – Это открывает огромные

перспективы для использования нашего нового сплава в устройствах и механизмах, способных нормально функционировать при высоких температурах».

Следует отметить, что исследования, в ходе которых был разработан новый магнитный сплав, были проведены в рамках программы ARPA-E REACT (Advanced Research Projects Agency-Energy-Rare Earth Alternatives in Critical Technologies), целью которой является поиск альтернатив применению дорогостоящих редкоземельных материалов в самых различных областях, включая двигатели электрических автомобилей, турбин ветрогенераторов и многое другое.

*dailytechno.org*



### Теплицы на морской воде вдохнут жизнь в пустыни



Возможный вид теплиц

Учёные из Астонского университета в Бирмингеме (Англия) работают в составе международной команды над уникальным проектом теплиц, в которых будет возможно выращивать растения при помощи морской воды. Проект будет реализован в неуютных условиях Африканского рога – полуострова на востоке Африки, который делят между собою Сомали и Эфиопия.

На Африканском роге очень плохо с выращиванием растений – температура там часто превышает 40 °С, пресной воды не хватает, в результате чего постоянно ощущается нехватка еды. Например, в Сомали сейчас возделывается лишь 1,5 % всей тер-

ритории страны, при этом фермеры снимают всего полтонны урожая с гектара – в тысячу раз меньше, чем в странах с развитым сельским хозяйством.

Выращивание растений в теплице, как правило, гораздо более выгодное и экономичное предприятие, чем выращивание на открытом грунте. Авторы проекта намерены принести в эту часть Африки технологии, которые позволят решить проблему нехватки еды.

Вода для орошения будет поступать в теплицы из моря при помощи насосов, работающих на солнечной энергии (а этого ресурса в Африке достаточно), а затем при помощи этой же энергии опресняться испарением. Испаряющаяся вода охлаждает и увлажняет теплицу, создавая наиболее благоприятную атмосферу для роста растений. Конденсирующаяся пресная вода используется для полива и питья. Остающаяся соль пойдёт для изготовления консервов и приготовления пищи. Практически система имитирует естественный круговорот воды в природе, когда морская вода испаряется под воздействием солнца, собирается в тучи и проливается дождём на землю.



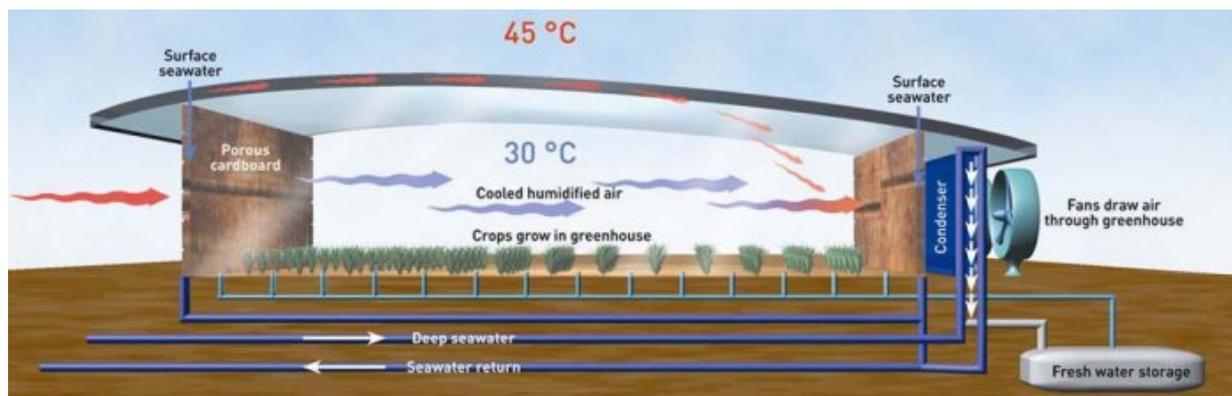


Схема работы технологии с сайта компании

Технологию теплиц на морской воде придумал в 1990-х годах британский изобретатель Чарли Пэтон. Эту технологию разрабатывает и внедряет британская компания Seawater Greenhouses Ltd, которая и отвечает за ведение этого проекта. Пилотная теплица была впервые запущена в 1992 году на канарском острове Тенерифе и успешно продемонстрировала работоспособность технологии. Следующий тестовый проект был открыт в Арабских эмиратах в 2000-м году, а третий – в столице Омана Маскате.

При прогнозируемом росте населения планеты, к 2050 году необходимо будет увеличить объёмы выращиваемых растений на 60 %. А этот процесс требует огромного количества пресной воды – больше, чем любая другая человеческая деятельность. Быстро развивающиеся страны уже сегодня испытывают нехватку пресной воды, и технологии, позволяющие использовать морскую воду в выращивании, должны серьезно помочь человечеству.

*nanonewsnet.ru по материалам geektimes.ru*



### Установлен новый рекорд эффективности процесса искусственного фотосинтеза



Поскольку весь мир постепенно движется в сторону получения энергии из альтернативных и возобновляемых источников, эффективность преобразования энергии в топливо, например в водород, должна увеличиться до такой степени, что новые экологически чистые методы получения топлива смогут конкурировать с традиционными методами, в которых используются полезные ископаемые или другие виды ресурсов.

Недавно исследователи из университета Монаша (Monash University), Мельбурн, Австралия, объявили о создании нового устройства на солнечной энергии, которое вырабатывает водород с

эффективностью 22 процента. Это рекордное на сегодняшний день значение эффективности является значительным шагом вперед к тому, чтобы сделать реальностью эффективный процесс производства дешевого водородного топлива.

Рекорды эффективности получения водорода за счет солнечной энергии неуклонно повышались за последние годы, этому максимально способствовало постоянное совершенствование технологий и разработка новых видов катализаторов. Еще в декабре прошлого года показатель эффективности искусственного фотосинтеза составлял 12,3 процента, а нынешнее достижение почти на 10 процентов превышает предыдущий рекорд, который составлял 18 процентов.

Расщепление воды на водород и кислород при помощи электричества был основным методом производства водорода в течение многих десятилетий. Однако такая технология была нежизнеспособной с точки зрения массового применения из-за ее отрицательного энергетического баланса. Использование энергии солнечного света позволяет сдвинуть энергетический баланс процесса в положительную область, что позволит снизить стоимость конечного продукта – чистого водорода.

Достижение рекордного значения эффективности производства водорода стало возможным благодаря точной настройке и поддержанию параметров протекающих при этом процессов. Кроме этого немаловажную роль сыграл приобретенный за годы исследований опыт в применение новых типов катали-

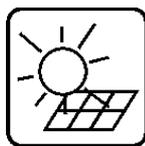
ческих материалов, некоторые из которых были открыты только в последнее время.

Ключевым моментом нового рекорда стал сложный каталитический материал, который является соединением фосфида галлия-индия, арсенида галлия и германия, материалов, широко используемых в солнечной энергетике для преобразования солнечной энергии в электрическую энергию. Кроме этого, свою роль в увеличении сыграла разработка и использование новых электродов изготовленных из никелевой «пены», которая обеспечивает большое значение эффективной площади электрода, на котором и происходит процесс фотоэлектролиза воды. В качестве электролита в новом процессе используется раствор, содержащий фосфат натрия и поваренную соль в строго определенных пропорциях.

Вопрос эффективности фотоэлектрического преобразования энергии света в энергию топлива является весьма спорным вопросом в научном сообществе. Некоторые ученые даже высчитали значение предела максимальной эффективности, которого в теории могут достичь наилучшие образцы фотоэлектродхимических ячеек. Установленный рекорд эффективности находится еще далеко от теоретического предела, существование которого как раз и является спорным вопросом, но последние и будущие достижения в области солнечной энергетике, в том числе и фотогальванические элементы из перовскитов, позволят увеличить и эффективности процессов искусственного фотосинтеза, все больше и больше склоняя чашу весов от ископаемых видов топлива в сторону дешевого водородного топлива.

*dailytechno.org*

### Ученые из ЮАР разработали новую недорогую систему концентрированной солнечной энергии



Технология концентрированной солнечной энергии, или сокращенно CSP, является сегодня довольно перспективной в гелиоэнергетике. В ней используется массив зеркал (гелиостатов), которые фокусируют

(или концентрируют) солнечную энергию на центральную башню (ресивер), где под действием высокой температуры жидкость превращается в пар и запускает турбину для выработки электричества.

Однако, текущие проекты строительства CSP-электростанций, такие как Айванпа в Калифорнии, являются дорогостоящими, требующими больших трудовых и материальных затрат. Стремясь сократить эти затраты, команда ученых из университета Стеленбош, ЮАР, разработала новую CSP-систему сбора концентрированной солнечной энергии, которая отличается легкостью в установке и масштабируемостью.

Один из исследователей, Павел Гоче, основал стартап Solar Thermal Research Group для тестирования нового подхода к строительству CSP-электростанции. В отличие от традиционных гелиостатов и башен-ресиверов, размещаемых на литых

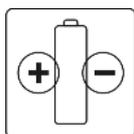
бетонных основаниях, все компоненты новой CSP-системы являются модульными (сборными) и располагаются на стальных рамах, которые могут быть установлены и настроены всего двумя рабочими. Благодаря такому подходу, не только сокращаются время и материальные затраты на строительство электростанции, но также уменьшается и воздействие на окружающую среду.

В настоящее время стартап Solar Thermal Research Group работает над пилотным проектом Helio100, включающим в себя 100 гелиостатов, каждый из которых имеет площадь 2,2 квадратных метра и может генерировать 150 Киловатт электроэнергии.

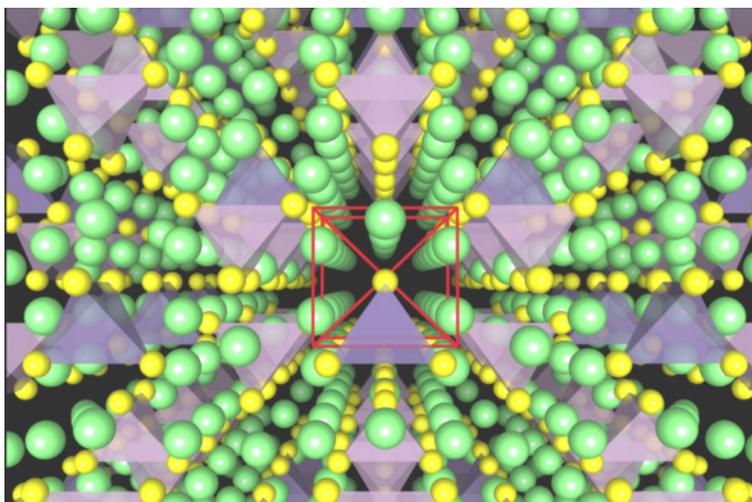
Как ожидается, одна такая CSP-электростанция способна обеспечить электропитанием около 10 средних домохозяйств. По мнению разработчиков, по стоимости электроэнергии, полученная от электростанции Helio100, будет дешевле, чем дизельное топливо.

Планируется, что пилотный проект будет полностью завершен и запущен в эксплуатацию в октябре текущего года. А затем разработчики будут работать над совершенствованием своей технологии. Возможно, это будет первая в мире доступная по цене, портативная CSP-система.

*oko-planet.su по материалам posthunt.net.*



### Разработан твёрдый электролит для создания «вечных» аккумуляторов



Иллюстрации кристаллической структуры суперионного проводника

Исследователи Масачусетского технологического института (МИТ) и компании Samsung разработали новый способ увеличения долговечности аккумуляторов с использованием твёрдого электролита, а не более распространённого жидкого. Новые батареи будут безопасней и смогут эксплуатироваться на протяжении «сотни тысяч циклов».

Результаты представлены в журнале «Nature Materials». По словам приглашённого в МИТ профессора материаловедения и инженерии Гербранда Седера, твёрдые электролиты могут стать прорывом в создании совершенных аккумуляторов, решив вопросы их долговечности, безопасности и стоимости.

В обычных аккумуляторах электролит жидкий. Его функцией является перенос заряженных частиц от одного электрода к другому во время зарядки и разрядки. Из-за его перегрева возникает опасность

воспламенения, как это происходило со всеми Боингами 787 «Дримлайнер» по причине «временного замыкания на землю».

С твердым электролитом не возникнет никаких проблем безопасности. «Вы можете ударить его об стену, забить в него гвоздь – там просто нечему гореть».

Для осуществления этой идеи необходимо было найти твёрдые материалы, которые могли бы проводить ионы достаточно быстро. Учёным же удалось создать суперионные литий-ионные проводники из сплавов лития, германия, фосфора и серы, на основе которых можно создать твёрдый электролит.

Учёные из Университета Калифорнии в Сан-Диего и Университета штата Мэриленд также принимают участие в исследовании.

*oko-planet.su по материалам gearmix.ru*



## Мир современных материалов: изобретен клей, который может затвердевать в воде



Терри Стил с образцом Voltaglu

Ученые из Сингапура (Nanyang Technological University) изобрели клей, который затвердевает при подаче на него напряжения, что позволяет использовать его в сырых и влажных условиях. Статья об этом исследовании была недавно опубликована в Nature Communications.

Новый клей с названием «Voltaglu» имеет множество возможностей практического применения, начиная от подводного ремонта судов и труб и заканчивая универсальным инструментом для хирургии.

Доцент Терри Стил сказал, что разработка клея, который может работать в условиях повышенной влажности, например, в организме человека или водой, заняла около года.

«Большинство клеев на рынке не работают в условиях повышенной влажности, так же как липкая лента не будет работать, если поверхность влажная, поскольку клей будет прилипать к воде вместо поверхности», – объяснил он.

Клеи, такие как суперклеи, затвердевают при контакте с влагой в воздухе. Другие, например эпоксидные, которые часто используются в электронных мобильных устройствах, отверждаются при высоких

температурах около 150 °С или путем смешивания вместе двух различных химических веществ. Эти методы неприменимы во влажной среде.

«Мы должны были найти способ, чтобы создать клей, который затвердевает в необходимый момент времени без влияния условий окружающей среды, поэтому электроэнергия была наилучшим подходом для нас. Твердость нашего клея можно регулировать временем приложения напряжения на него», – сказал Стил.

Это уникальное свойство позволяет Voltaglu быть пригодным для различных приложений. Например, при склеивании металлических панелей под водой необходимо твердое соединение в течение длительного времени, а для медицинских применений клей должен быть более эластичным.

Voltaglu разработан с использованием гидрогелей, состоящих из молекул углерода, называемых карбены, привитых на молекулы разветвленной формы, известные как дендримеры. При контакте с электричеством химически активные карбены, которые способны зацепиться за любую соседнюю поверхность, будут высвобождаться. Количество таких «крючков» зависит от продолжительности приложения напряжения и концентрации карбенов.

Другой отличительной чертой нового клея является то, что он дает возможность производить изделия, которые могут быть легко утилизированы, использованы повторно или восстановлены, что позволит уменьшить количество отходов и потребление энергии.

Сейчас команда исследователей работает над уменьшением времени отверждения своего нового клея до нескольких секунд, по сравнению с примерно 30 секундами в настоящее время.

*nanonewsnet no материалам worldofmaterials.ru*

## Автомобиль на водородных топливных элементах



Японский автомобильный производитель Toyota начинает мировые продажи первого серийного автомобиля на водородных топливных элементах. С декабря модель Toyota Mirai продается в Японии, а теперь готова покорить и международный рынок.



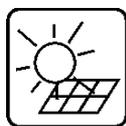
Автомобиль Toyota Mirai оборудован силовой установкой Toyota Fuel Cell System (TFCS) с максимальной производительностью 114 кВт, в которой используется гибридный привод в сочетании с топливными водородными элементами.

Большое внимание уделено безопасности. Для хранения водорода используются баки, состоящие из нескольких слоев полимерных материалов и углеродного волокна. Специальная структура резервуаров очень прочна и в случае деформации обеспечивает поглощение энергии. Система Pre-collision System (PCS) включает автоматическое торможение в случае высокого риска аварии. При этом, если факт ДТП зафиксируется бортовой электроникой, то ментально прекратится подача водорода в бак.



На следующей неделе начинается прием заказов на Toyota Mirai в Калифорнии по цене \$ 57 000. Осенью новинка появится в европейских странах.

*gizmod.ru*



### В Китае построили гибридную электростанцию

В китайской провинции Чжэцзян, что в восточной части страны, построили и ввели в эксплуатацию инновационную гибридную электростанцию, которая вырабатывает энергию за счет солнечной энергии и из биомассы. Специально под ее создание был выбран регион с достаточным количеством солнечного света и с развитым сельским хозяйством, отходы которого, по словам представителей компании, управляющей электростанцией, будут основным рабочим сырьем.



В рамках первой очереди строительства на гибридной электростанции были запущены два энергоблока по переработке биомассы и 1,44 мегаватта мощностей ее «солнечной» части. В общей сложности сейчас объект вырабатывает 163 миллиона киловатт-часов электричества в год, но этот показатель

руководство объекта называет лишь началом пути по развитию электростанции.

Положительно встретили реализацию этого проекта и местные фермеры. Биомассу для генерации энергии будут закупать у аграриев непосредственно с полей, на месте рассчитываясь за товар, что, безусловно, повысит рентабельность сельского хозяйства в регионе. К примеру, один грузовик сырья принесет его владельцу около 250 долларов. А ведь раньше оно попросту отправлялось на свалки, являясь обузой для крестьян.

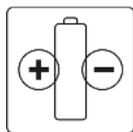
Теперь же за полученные деньги может быть приобретена сельхозтехника, автоматика для элеваторов или хороший посевной материал, что скажется на эффективности работы аграрной отрасли страны.

Сейчас на электростанции готовы ежегодно принимать четверть миллиона тонн биомассы, которую будут собирать со всех округ. И жители Чжэцзян уже сейчас уверены, что строить такие объекты нужно по всем сельскохозяйственным провинциям Китая, так как это позволит повысить доходы фермеров путем производства экологически чистой электроэнергии.

Эксперты же в свою очередь подсчитали, что весь объем биомассы, генерируемый китайским сельским хозяйством, способен снизить потребность энергетики страны в угле на 656 миллионов тонн в год. Это не только скажется на эффективности ТЭК КНР, но и существенно улучшит экологическую обстановку, которая в ряде регионов Поднебесной сейчас близка к критичной.

*zeleneet.com*





## Новый прозрачный литиево-ионный аккумулятор заряжается от солнца



Команда исследователей из университета Когакуин в Токио представила свою новую разработку – литиево-ионный аккумулятор, способный заряжаться от солнечных лучей. Батарея является полностью прозрачной, что расширяет ряд её потенциальных применений.

Новинка была представлена на технологической конференции Innovation Japan 2015. Создатели батареи не только продемонстрировали своё детище, но и пояснили, в чём его преимущество перед аналогами и где подобное устройство может применяться.

Работа над технологией началась два года назад. Изначально учёные создали прозрачную батарею, которая питалась отдельной солнечной панелью. Теперь же устройство модернизировали таким обра-

зом, что аккумулятор подзаряжается самостоятельно при воздействии солнечных лучей.

Для создания своей батареи японские исследователи использовали материалы, которые уже широко применяются для создания современных коммерческих литиево-ионных аккумуляторов. Положительный электрод изготовили из лития фосфата железа, а отрицательный – из титаната лития и гексафторфосфата лития.

Когда аккумулятор подвергается воздействию прямых солнечных лучей, он несколько теряет свою прозрачность – утрата составляет около 30 % от первоначального показателя. Таким образом снижается количество света, которое может проходить через батарею.

Как поясняют исследователи, прозрачность аккумулятора обеспечивается крайне малым размером электродов – 80 и 90 нанометров. После разряда аккумулятора коэффициент пропускания света возрастает до 60 %.

Разработчики надеются, что их аккумулятор однажды станет частью технологии «умных» окон для дома или офиса, которые позволят не только автоматически затемнять стекло при ярком свете, но и собирать солнечную энергию для последующей её конвертации в электроэнергию.

*nanonewsnet.ru по материалам vesti.ru*



## Google выпустит на дороги несколько сотен «Гугломобилей»

С 2009 года компания Google реализует технологию машины, работающей на автопилоте, а к 2020 году планируется запустить их серийное производство.



Однако до этого Google выпустит, по словам представителя компании Сары Хантер, «несколько сотен» беспилотных электромобилей собственной разработки. Эти прототипы помогут компании нарабатывать необходимый опыт по разработке и сборке серийных «Гугломобилей».

Пока все тестируемые на дорогах Калифорнии беспилотные электромобили собраны в Детройте компанией Roush, но недавно Google зарегистрировала собственную компанию Google Auto. В качестве органов управления в прототипах установлено три клавиши: «Движение», «Плавное торможение и остановка» и «Интенсивное торможение и остановка».



Остальное управление Гугломобилем, равно как и установка маршрута движения, производится голосом. На данный момент в Google ещё не определились с концепцией серийных машин – скорее всего, это будут электромобили, но вероятно появление и гибридов.

*popmech.ru по материалам The Guardian*

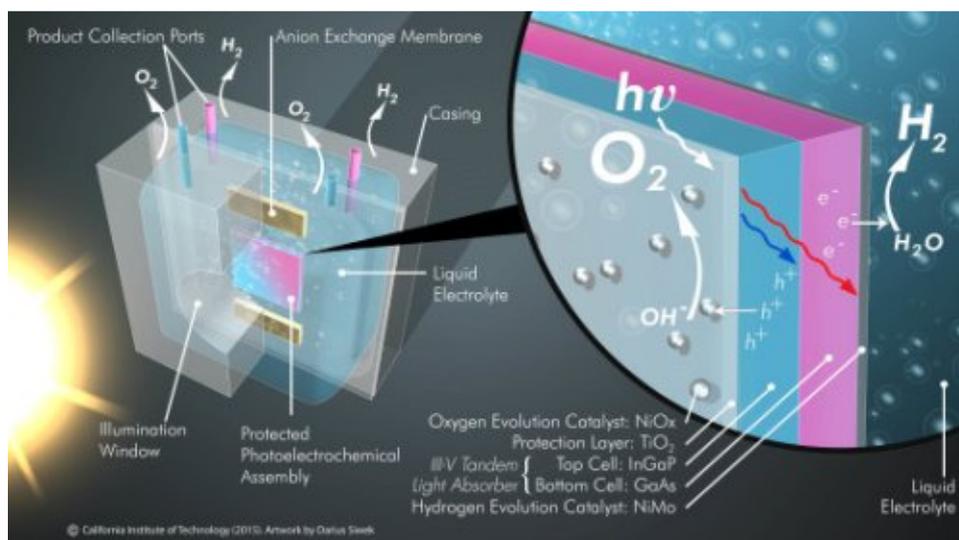


### Новая технология «искусственного листа» сделает проще и удешевит процесс получения экологически чистого топлива

Сколько ни стараются многочисленные группы исследователей найти экологически чистую замену ископаемым видам топлива, они непременно сталкиваются с одними и теми же проблемами – дороговизной методов производства и отсутствием эффективных технологий хранения полученной энергии. Но группе исследователей из Объединенного центра по исследованиям искусственного фотосинтеза (Joint Center for Artificial Photosynthesis, JCAP) Калифорнийского технологического университета удалось разработать новую технологию, которая может решить вышеописанные проблемы. Эта технология «искусственного листа» подражает процессам фотосинтеза, протекающих в листьях растений, и позво-

ляет получать и сохранять в химическом виде энергию лучей солнечного света.

Понятие искусственного фотосинтеза далеко не ново, первые исследования в этом направлении проводились еще в 1912 году. За последнее время ученые добились некоторых успехов в этом направлении, но пока еще стоимость подобных технологий достаточно высока для того, чтобы они стали рентабельны при практическом применении. Ученые из JCAP провели более пяти лет, исследуя свойства различных материалов, и, наконец, им удалось найти комбинацию, обеспечивающую эффективный, стабильный и экономически выгодный процесс искусственного фотосинтеза.



Новая система состоит из трех основных компонентов, двух электродов – фотоанода и фотокатода – из различных материалов, и разделяющей их мем-

браны из специального пластика. Фотоанод при помощи энергии солнечного света расщепляет молекулы воды на газообразный кислород, протоны и элект-

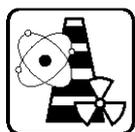
троны. А на фотокатоде происходит процесс обратной комбинации протонов и электронов, в результате чего получаются атомы водорода, которые объединяются в молекулы газообразного водорода. Ключевым компонентом является пластиковая мембрана, которая позволяет разделить выделяющиеся водород и кислород. Если позволить этим двум газам смешаться, то малейшая искра может привести к взрыву. Кроме этого, наличие мембраны позволяет отводить образующиеся газы по обычным трубопроводам.

Демонстрационная установка, созданная калифорнийскими исследователями, способна преобразовывать в энергию водорода порядка 10 процентов от энергии падающих на нее солнечных лучей. Во время испытаний эта ячейка проработала непрерывно в течение 40 часов, не снизив при этом своей эффективности и количества выделяемого водорода.

«Новая технология искусственного фотосинтеза имеет все показатели безопасности, эффективности и производительности, минимум в 10 раз превышающие аналогичные показатели других подобных технологий, – рассказывает Гарри Атуотер (Harry Atwater). – Мы надеемся, что наша работа не пропадет даром, и на ее основе будут созданы недорогие интегрированные установки будущего, которые позволят получать водородное топливо безопасно и эффективно. Конечно, нам предстоит проделать еще немало работы, увеличивая эффективность преобразования света в водород. И когда мы этого добьемся, люди получат рентабельные системы, способные удовлетворить их энергетические потребности только за счет энергии солнечного света.



dailytechinfo.org



### В России построят мощнейший в мире ядерный реактор на быстрых нейтронах

В городе Димитровград Ульяновской области официально началось строительство самого мощного в мире научного ядерного реактора на быстрых нейтронах. Многофункциональный быстрый исследовательский реактор (МБИР) должен начать свою работу в 2020 году. Об этом сообщает РИА Новости.



Изображение: НИИАР

На МБИР планируется проведение исследований в области ядерной безопасности, медицины, а также

разработка перспективных ядерных установок. С помощью реактора планируется наладить производство различных изотопов, конструкционных материалов и теплоносителей.

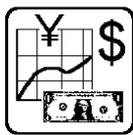
Реактор должен стать самой мощной из подобных действующих в мире установок. Его тепловая мощность с натриевым теплоносителем составит 150 мегаватт. На базе МБИР в дальнейшем ожидается создание международного исследовательского центра.

Исследовательский реактор строится на базе Димитровградского НИИ атомных реакторов (НИИАР), входящего в госкорпорацию «Росатом», в рамках Федеральной целевой программы «Ядерные энерготехнологии нового поколения на период 2010-2015 годов и на перспективу до 2020 года».

В настоящее время ядерные реакторы на быстрых нейтронах используются только в России (реакторы на Белоярской АЭС). Индия, Китай и Южная Корея строят такие установки. Япония также планирует разработку ядерных реакторов на быстрых нейтронах.

lenta.ru





### Специалисты ООН составили для России длительный прогноз при переходе на низкоуглеродный тип энергетики

Группа исследователей, в рамках подготовки к конференции Организации Объединенных Наций по климатическим проблемам, которая в декабре пройдет в Париже, составила прогноз развития до 2050 года для 16-ти ведущих мировых стран при их переходе на низкоуглеродный тип энергетики.

Нашлось место в этом исследовании и для России. По мнению экспертов, масштабные инвестиции в возобновляемые источники энергии позволят стране к середине нынешнего столетия на 87 процентов снизить уровень вредных выбросов в атмосферу, увеличив одновременно с этим внутренний валовой продукт на душу населения с сегодняшних 13 тысяч долларов до 41 тысячи.

Эти цифры, а точнее диапазон потенциального роста, стал одним из самых больших в докладе по результатам исследования, что свидетельствует об излишней зависимости российской экономики от углеводородов. При этом Россия находится еще и на малоприятном четвертом месте в рейтинге стран с наиболее загрязненным воздухом, уступая лишь азиатским гигантам Китаю и Индии, а также Соединенным Штатам Америки.

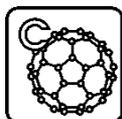
Нельзя не отметить, что альтернативная энергетика в России развивается и сейчас, но далеко не теми темпами, при которых можно говорить о ее

полномасштабном переходе на низкоуглеродный тип. Если пока не принимать во внимание частные инициативы, которые в большинстве случаев единичны, то внимания заслуживают несколько крупных программ, которые сейчас активно прорабатываются.

В частности, правительство рассматривает возможность энергообеспечения отдаленных районов России за счет солнечных и ветровых электростанций, которые более выгодно эксплуатировать там, где нерентабельно прокладывать линии электропередач от традиционных электростанций. А использование мазута и дизтоплива в этих регионах экономически не выгодно, что делает развитие альтернативной энергетики здесь оптимальным решением.

Что же касается частных инициатив, то под них в последнее время отечественные финучреждения достаточно активно выдают выгодные кредиты, которые позволяют реализовывать интересные и перспективные проекты. К примеру, активно в этом направлении работает Россельхозбанк, отзывы сотрудников и клиентов о котором свидетельствуют о том, что это серьезное учреждение, готовое финансировать людей, способных реализовать смелые и продуманные идеи.

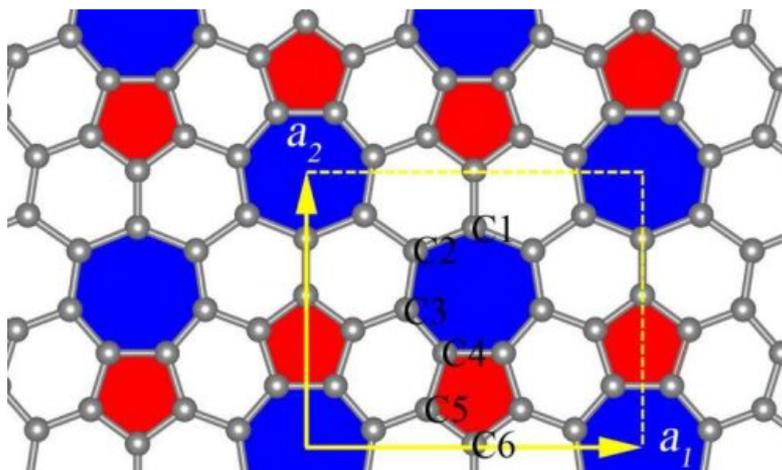
*zeleneet.com*



### Обнаружен новый материал фаграфен, ближайший «родственник» графена

Группа исследователей из России, Китая и США, возглавляемая Артемом Огановым из Московского физико-технического института (МФТИ), при помощи компьютерного моделирования продемонстрировала возможность существования новой «плоской» формы углеродного материала. Этот материал, получивший название фаграфен (phagraphene), является самым ближайшим «родственником» известного всем графена, отличающимся от последнего структурой кристаллической решетки и некоторыми основными свойствами.

«В отличие от графена, имеющего однородную кристаллическую структуру, состоящую из шестиугольных ячеек с атомами углерода в их вершинах, кристаллическая структура фаграфена состоит из упорядоченных особым образом пяти-, шести- и семиугольных углеродных колец. Свое название фаграфен получил от сокращения «Penta-Hexa-heptA-graphene», – рассказал Артем Оганов.



Двумерные материалы, состоящие из слоев толщиной в один атом, являются объектами повышенного внимания со стороны ученых уже в течение нескольких последних десятилетий. Первый из таких материалов, графен, был обнаружен в 2004 году двумя бывшими российскими учеными, выпускниками МФТИ Андреем Геймом и Константином Новоселовым, которые сейчас работают в Манчестерском университете. А в 2010 году Гейм и Новоселов стали Лауреатами Нобелевской премии в области физики за сделанное ими открытие.

Из-за уникальной двумерной структуры у графена имеется целый ряд уникальных электрических, оптических и физических свойств. Большинство полупроводниковых материалов способны пропускать электрический ток тогда, когда энергия электронов превышает ширину запрещенной зоны этих материалов. У таких материалов существуют определенные диапазоны энергии электронов, валентной зоны и области проводимости, в которых они являются электрическими диэлектриками.

В графене у каждого атома углерода имеется три электрона, которые связаны с электронами соседних атомов. Четвертый электрон внешнего слоя остается несвязанным, что позволяет материалу проводить электрический ток, и это определяет нулевую ширину запрещенной зоны графена. Из-за этого электроны в графене ведут себя более чем странно: они все

движутся с одной скоростью, сопоставимой со скоростью света, и при этом не обладают моментом инерции. Создается такой эффект, будто электроны в графене обладают нулевой массой. Скорость движения электронов в графене составляет порядка 10 тысяч километров в секунду, в то время как в типовых полупроводниках электроны движутся со скоростью от сантиметров и сотен метров в секунду.

Фаграфен, обнаруженный группой Оганова при помощи программы под названием USPEX, с точки зрения поведения электронов почти подобен графену. В новом материале электроны также ведут себя как частицы, не имеющие массы.

«В фаграфене из-за разного количества атомов углерода в его кольцах, параметр, известный как «конус Дирака», имеет немного наклонную форму. Именно поэтому скорость движения электронов в данном материале зависит от направления движения, что делает этот материал отличным от графена. Это необычное свойство весьма интересно с точки зрения практического применения в таких устройствах, где необходимо держать под контролем скорость движения электронов», – рассказывает Оганов.

В остальном фаграфен обладает теми же уникальными свойствами графена, которые позволяют рассматривать его в качестве перспективного материала для изготовления транзисторов, солнечных батарей, дисплеев и многих других электронных устройств.

[dailytechinfo.org](http://dailytechinfo.org)



### Обтекатель увеличит производительность турбины

Американская корпорация General Electric приступила к испытаниям в пустыне Мохаве (США) новой ветряной турбины ecoROTR, оснащенной обтекателем в виде купола.



18-метровая алюминиевая куполообразная насадка весом 900 килограмм мешает ветру проходить через лопасти в центре и направляет поток на удаленные от оси вращения части лопастей, оптимизируя тем самым работу турбины.

По результатам испытаний в аэродинамической трубе, ecoROTR мощностью в 1,7 МВт вырабатывает на 3 % больше энергии, чем аналоги традиционной конструкции без обтекателя. 90-

метровая башня ветряной турбины сделана не цельной, а собираемой из стальных ферм.

После сборки башни вся конструкция закрывается тканым материалом на основе полиэстера, чтобы не вызывать завихрений воздуха. Модульная схема позволит сделать ecoROTR выше и увеличить таким образом производительность турбины.

*poptech.ru*



### Машины-монстры – огромная стена из вентиляторов, превращающая углекислый газ в синтетическое топливо



Компания Carbon Engineering, базирующаяся в Калгари, Канада, готовится к запуску своей первой опытной установки, которая будет поглощать углекислый газ из атмосферы и превращать его в синтетическое топливо. Принимая во внимание, что углекислый газ, вырабатываемый автомобилями и другими транспортными средствами, тяжело улавливать сразу в месте его производства, как это делается на некоторых тепловых электростанциях и промышленных предприятиях, такие установки смогут значительно улучшить экологическую обстановку в

районах с интенсивным движением легкового и грузового автотранспорта.

«Поглощение углекислого газа непосредственно из атмосферы позволит нам справиться с выбросами этого газа из любых источников. А масштабируемость нашей системы позволит охватить весь диапазон мощностей, начиная от небольших установок, производящих эффект на локальном уровне, и заканчивая установками, способными переработать углекислый газ, вырабатываемый большим промышленным предприятием, – пишут представители компании Carbon Engineering, – К примеру, полномасштабная установка способна поглотить углекислый газ, вырабатываемый одновременно 300 тысячами легковых автомобилей».

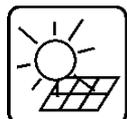
Система работает за счет интенсивной продувки воздуха через жидкость, поглощающую углекислый газ и преобразующую его в один из видов солей. Полученные соли могут складироваться и затем использоваться в качестве исходного материала для производства синтетического топлива. Технология прямого поглощения углекислого газа является не самым эффективным методом очистки атмосферы. Однако установки, использующие такую технологию

гию, занимают достаточно мало места и масштабируемы до любого уровня.

В настоящее время компания Carbon Engineering уже построила первую опытную установку в Канаде и готовится вывести ее на полную мощность уже в этом году. А в промежутке между 2017 и 2018 годами будет построена и введена в строй первая коммерческая установка, которая будет производить порядка 10 тысяч баррелей (1 590 000 литров) синтетического топлива в год.

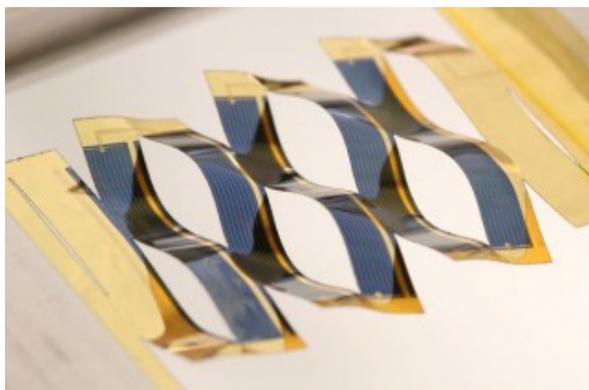
«Мы должны что-то сделать с постоянно поднимающимся уровнем углекислого газа в атмосфере нашей планеты, – сказал Дэвид Кит (David Keith), президент компании Carbon Engineering и профессор Гарвардского университета. – И кроме очистки атмосферы мы предлагаем новый метод получения синтетического топлива, которое может приводить в действие транспортные средства и источники дополнительной энергии».

*dailytechnifo.org*



### Японская техника киригами автоматически поворачивает солнечные панели к Солнцу

Киригами – старинная японская техника изготовления фигурок из бумаги или картона с помощью ножниц. Кто мог представить, что бумажные фигурки подскажут идею создания панели солнечных фотоэлементов, которая сама поворачивается в сторону Солнца. Американские ученые из Мичиганского университета придумали простейшую конструкцию.



Если немного растянуть плоский лист пластика с фотоэлементами, то он разделится на волнистые ленты, которые соединяются между собой в местах изгибов. Наклон ячеек зависит от силы натяжения. Благодаря повороту к Солнцу, киригами-фото-

элементы способны генерировать на 40–50 процентов больше энергии, чем обычные неподвижные фотоэлементы.

«Это превратит большие солнечные панели с модулями слежения за Солнцем в конструкцию, которая является плоской», – сказал Аарон Ламуре, докторант по материаловедению и машиностроению.

Преимущество киригами заключается в том, что при установке на частных домах не потребуются усиление крыши, которое стоит очень дорого. А по словам Ламуре, если устанавливать традиционное оборудование для отслеживания Солнца, то обязательно нужно проводить усиление крыши.

Экспериментируя с техникой киригами, ученые протестировали разные формы солнечных панелей, в том числе сложные. Оказалось, что самая простая конструкция – самая эффективная. Ряд параллельных прорезей наклоняют панели и контролируют угол поворота с точностью до одного градуса.

Данное исследование финансирует Национальный научный фонд и NanoFlex Power Corporation. Уже подана заявка на патент, и начался поиск партнеров для коммерциализации проекта.

*zelenet.com*

## О КОНКУРСАХ НА СОИСКАНИЕ ЗОЛОТЫХ МЕДАЛЕЙ И ПРЕМИЙ ИМЕНИ ВЫДАЮЩИХСЯ УЧЕНЫХ, ПРОВОДИМЫХ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИЕЙ НАУК В 2015 году

Российская академия наук объявляет конкурсы на соискание следующих золотых медалей и премий имени выдающихся ученых, каждая из которых присуждается в знаменательную дату, связанную с жизнью и деятельностью ученого, именем которого названа медаль или премия.

### ЗОЛОТЫЕ МЕДАЛИ (присуждаются отечественным ученым)

1. Золотая медаль имени **М.М. Сперанского** – за выдающиеся научные работы в области государственного управления.  
Срок представления работ до 7 октября 2014 года.
2. Золотая медаль имени **Л.С. Берга** – за выдающиеся работы в области географии, биогеографии и ихтиологии.  
Срок представления работ до 14 декабря 2014 года.
3. Золотая медаль имени **С.И. Вавилова** – за выдающиеся работы в области физики.  
Срок представления работ до 24 декабря 2014 года.
4. Золотая медаль имени **С.А. Чаплыгина** – за выдающиеся теоретические работы по механике.  
Срок представления работ до 5 января 2015 года.
5. Золотая медаль имени **А.С. Попова** – за выдающиеся достижения в области развития методов и средств радиоэлектроники, в том числе для передачи информации.  
Срок представления работ до 6 февраля 2015 года.
6. Золотая медаль имени **И.Е. Тамма** – за выдающиеся работы по теоретической физике и физике элементарных частиц, теории поля.  
Срок представления работ до 8 апреля 2015 года.
7. Золотая медаль имени **Н.С. Курнакова** – за выдающиеся работы в области физико-химического анализа, химии и технологии.  
Срок представления работ до 6 сентября 2015 года.
8. Золотая медаль имени **Н.Г. Басова** – за выдающиеся работы в области физики.  
Срок представления работ до 14 сентября 2015 года.

### ПРЕМИИ (присуждаются отечественным ученым)\*

- Премия имени **С.В. Ковалевской** – за выдающиеся результаты в области математики.  
Срок представления работ до 15 октября 2014 года.
2. Премия имени **В.О.Ключевского** – за выдающийся вклад в области отечественной истории и славяноведения.  
Срок представления работ до 16 октября 2014 года.
3. Премия имени **А.Ф. Кони** – за выдающиеся научные работы в области права.  
Срок представления работ до 28 октября 2014 года.
4. Премия имени **Б.Б. Голицына** – за выдающиеся научные работы в области геофизики.  
Срок представления работ до 18 ноября 2014 года.
5. Премия имени **В.И. Векслера** – за выдающиеся работы по физике ускорителей.  
Срок представления работ до 4 декабря 2014 года.
6. Премия имени **А.А. Андропова** – за выдающиеся работы в области классической механики и теории управления.  
Срок представления работ до 11 января 2015 года.
7. Премия имени **А.Н. Колмогорова** – за выдающиеся результаты в области математики.  
Срок представления работ до 25 января 2015 года.
8. Премия имени **Л.И. Мандельштама** – за выдающиеся работы по физике и радиофизике.  
Срок представления работ до 4 февраля 2015 года.
9. Премия имени **А.А. Шахматова** – за выдающиеся работы в области источниковедения, текстологии, языкознания.  
Срок представления работ до 5 марта 2015 года.
10. Премия имени **А.А. Маркова** – за выдающиеся результаты в области математики.  
Срок представления работ до 14 марта 2015 года.
11. Премия имени **И.В. Гребенникова** – за выдающиеся работы в области химии, физикохимии и технологии стекла.  
Срок представления работ до 24 марта 2015 года.
12. Премия имени **А.А. Ухтомского** – за выдающиеся работы в области физиологии нервной системы и физиологии трудовой деятельности.  
Срок представления работ до 28 марта 2015 года.
13. Премия имени **Н.К. Кольцова** – за выдающиеся работы в области молекулярной генетики.  
Срок представления работ до 15 апреля 2015 года.
14. Премия имени **Ю.А. Овчинникова** – за выдающиеся работы в области физико-химической биологии и биотехнологии.  
Срок представления работ до 2 мая 2015 года.
15. Премия имени **А.А. Расплетина** – за выдающиеся достижения в области создания радиотехнических систем автоматизированного управления.  
Срок представления работ до 25 мая 2015 года.
16. Премия имени **Н.С. Шатского** – за выдающиеся научные работы по тектонике.  
Срок представления работ до 28 мая 2015 года.
17. Премия имени **С.Н. Виноградского** – за выдающиеся работы в области общей микробиологии.  
Срок представления работ до 1 июня 2015 года.
18. Премия имени **А.Н. Несмеянова** – за выдающиеся работы в области химии элементарноорганических соединений.  
Срок представления работ до 9 июня 2015 года.
19. Премия имени **С.Ф. Ольденбурга** – за выдающиеся работы в области востоковедения.  
Срок представления работ до 15 июня 2015 года.
20. Премия имени **С.С. Смирнова** – за выдающиеся научные работы по изучению месторождений полезных ископаемых и металлогении.  
Срок представления работ до 16 июня 2015 года.
21. Премия имени **И.Е. Забелина** – за выдающийся вклад в исследование проблем археологии.  
Срок представления работ до 17 июня 2015 года.
22. Премия имени **Л.А. Чугаева** – за выдающиеся работы в области химии комплексных соединений.  
Срок представления работ до 5 июля 2015 года.

\* Кроме премии имени Д.С. Лихачева (пункт 34).

23. Премия имени **А.А. Григорьева** – за выдающиеся работы в области физической географии.  
Срок представления работ до 1 августа 2015 года.
24. Премия имени **С.А. Лебедева** – за выдающиеся работы в области разработок вычислительных систем.  
Срок представления работ до 2 августа 2015 года.
25. Премия имени **Е.С. Варги** – за выдающиеся научные работы в области мировой экономики.  
Срок представления работ до 6 августа 2015 года.
26. Премия имени **Е.В. Тарле** – за выдающиеся научные работы в области всемирной истории и современного развития международных отношений.  
Срок представления работ до 8 августа 2015 года.
27. Премия имени **А.Н. Туполева** – за выдающиеся работы в области авиационной науки и техники.  
Срок представления работ до 10 августа 2015 года.
28. Премия имени **П.Н. Яблочкова** – за выдающиеся работы в области электрофизики и электротехники.  
Срок представления работ до 17 августа 2015 года.
29. Премия имени **М.А. Лаврентьева** – за выдающиеся результаты в области математики и механики.  
Срок представления работ до 19 августа 2015 года.
30. Премия имени **А.О. Ковалевского** – за выдающиеся работы в области биологии развития, общей, сравнительной и экспериментальной эмбриологии беспозвоночных и позвоночных животных.  
Срок представления работ до 19 августа 2015 года.
31. Премия имени **В.Н. Ипатьева** – за выдающиеся работы в области технической химии.  
Срок представления работ до 21 августа 2015 года.
32. Премия имени **Н.И. Кареева** – за выдающийся вклад в изучение проблем всеобщей истории.  
Срок представления работ до 24 августа 2015 года.
33. Премия имени **А.И. Мальцева** – за выдающиеся результаты в области математики.  
Срок представления работ до 27 августа 2015 года.
34. Премия имени **Д.С. Лихачева** присуждается российским и зарубежным ученым за выдающийся вклад в исследование литературы и культуры Древней Руси.  
Срок представления работ до 28 августа 2015 года.
35. Премия имени **Г.В. Плеханова** – за выдающиеся научные работы в области философии.  
Срок представления работ до 11 сентября 2015 года.
36. Премия имени **Е.С. Федорова** – за выдающиеся работы по кристаллографии.  
Срок представления работ до 22 сентября 2015 года.

### ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

В целях поощрения ученых за научные труды, научные открытия и изобретения, имеющие важное значение для науки и практики, Российская академия наук присуждает золотые медали и премии имени выдающихся ученых.

Золотые медали присуждаются за выдающиеся научные работы, открытия и изобретения или по совокупности работ большого научного и практического значения.

В конкурсах на соискание золотых медалей могут участвовать лишь отдельные лица персонально.

Премии присуждаются за отдельные выдающиеся научные работы, открытия, изобретения, а также за серии научных работ по единой тематике.

На соискание премий могут быть представлены работы или серии работ единой тематики, как правило, отдельных авторов. При представлении работ выдвигаются лишь ведущие авторы, причем не более трех человек.

Право выдвижения кандидатов на соискание золотых медалей и премий предоставляется:

- а) академиком и членом-корреспондентом Российской академии наук;
- б) научным учреждениям, высшим учебным заведениям;
- в) научным и инженерно-техническим обществам;
- г) научным советам Российской академии наук и других ведомств по важнейшим проблемам науки;
- д) научно-техническим советам государственных комитетов, министерств, ведомств, техническим советам промышленных предприятий, конструкторским бюро.

Организации или отдельные лица, выдвинувшие кандидата на соискание золотой медали или премии, обязаны представить в Российскую академию наук (119991, Москва, Ленинский проспект, 14, корп. 2, Экспедиция) с надписью "На соискание золотой медали (премии) имени...":

- а) мотивированное представление, включающее научную характеристику работы, ее значение для развития науки и народного хозяйства;
- б) при выдвижении работ на соискание премии – опубликованную научную работу (серии работ), материалы научного открытия или изобретения – в трех экземплярах (при выдвижении закрытых работ допускается представление рукописных материалов в одном экземпляре);

**Примечание:** При выдвижении кандидата на соискание золотой медали представление опубликованных научных работ (серий работ), материалов научного открытия или изобретения не обязательно.

в) сведения об авторе (перечень основных научных работ, открытий, изобретений, место работы и занимаемая должность, домашний адрес, номера служебного и домашнего телефонов);

г) справку о том, что представляемая на конкурс работа ранее не была удостоена Государственной премии, а также именных государственных премий.

Работы, удостоенные Государственной премии, а также именных государственных премий, на соискание золотых медалей и премий имени выдающихся ученых не принимаются.

Ученым, удостоенным золотых медалей или премий, предоставляется право при печатании работ отмечать в заголовке "Удостоена золотой медали (премии) имени... Российской академии наук за...год".

Решения Президиума РАН о присуждении золотых медалей и премий, а также краткие аннотации о работах, удостоенных золотых медалей или премий, публикуются в "Вестнике Российской академии наук", в "Известиях Российской академии наук" соответствующей серии и в газете "Поиск". В "Вестнике Российской академии наук" помещаются портреты ученых, удостоенных золотых медалей и премий.

Распоряжения на заседании Президиума РАН печатные научные работы, за которые присуждены золотые медали или премии, передаются в Библиотеку Российской академии наук на хранение.

Золотые медали, а также дипломы о присуждении золотых медалей вручаются удостоенным их лицам на годичном Общем собрании Российской академии наук. Дипломы о присуждении премий вручаются удостоенным их лицам на заседании Президиума РАН.

Справки по телефону: (499) 237-99-33



## Международный научный журнал "Альтернативная энергетика и экология"

Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» издается с 2000 г., выходит ежемесячно и распространяется по подписке через агентства «Роспечать», «Пресса России. Российские и зарубежные газеты и журналы», «Интерпочта-2003», «Артос-ГАЛ», «Деловая пресса», «ЕРМАК-ПРЕСС», а также через редакцию журнала.

Журнал включен в состав Международной научно-образовательной системы «Водород» (<http://www.hydrogen.ru>).

Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» зарегистрирован в правительстве России в качестве СМИ, одобрен Организацией Объединенных Наций, включен в перечень ВАК, награжден Европейской Академией Естественных Наук медалью Рентгена, в 2000 и 2003 гг. награжден Президентом Международной ассоциации водородной энергетики (МАВЭ) академиком Т.Н. Везируглу денежной премией за достигнутые успехи, в 2008 году журнал награжден Премией «Российский Энергетический Олимп-2008».

### *Под эгидой журнала проведен ряд научных форумов:*

- Первый Международный симпозиум  
«Безопасность и экономика водородного транспорта» IFSSEHT-2000.
- Второй Международный симпозиум  
«Безопасность и экономика водородного транспорта» IFSSEHT-2003.
- Первый Всемирный конгресс  
«Альтернативная энергетика и экология» WCAEE-2006.
- Первая Международная конференция  
«Водород и возобновляемые источники энергии» ICHRSE-2006.
- Третий Международный симпозиум  
«Безопасность и экономика водородного транспорта» IFSSEHT-2006.
- Первый Международный симпозиум  
«Водородные сенсоры и рекомбинаторы» ISHSR-2006.
- Национальный Российский семинар  
«Получение альтернативных энергоносителей с помощью атомно-водородного цикла» АВЭ-2007.

Материалы всех мероприятий опубликованы в Международном научном журнале «Альтернативная энергетика и экология».

Все статьи, поступающие в журнал, рецензируются, реферируются, в кратчайшие сроки согласуются с авторами и публикуются в журнале. Авторские коллективы лучших научных работ участвуют в конкурсах редколлегии и награждаются почетными дипломами, грамотами, призами и наградами, учрежденными Международной редколлегией журнала и одобренными ООН.



**Редколлегия Международного научного журнала «Альтернативная энергетика и экология» (<http://isjaee.hydrogen.ru/>) приглашает руководителей и исполнителей проектов к публикации рукописей по результатам проведенных исследований и выполненных научно-технических работ по следующим основным направлениям:**

1. Технологии мониторинга и прогнозирования состояния атмосферы и гидросферы.
2. Технологии создания энергосберегающих систем транспортировки, распределения и потребления тепла и электроэнергии.
3. Технологии новых и возобновляемых источников энергии.
4. Технологии создания и обработки полимеров и эластомеров.
5. Технологии создания и обработки композиционных и керамических материалов.
6. Технологии производства топлив и энергии из органического сырья.
7. Технологии атомной энергетики, ядерного топливного цикла, безопасного обращения с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом.
8. Технологии снижения риска и уменьшения последствий природных и техногенных катастроф.
9. Технологии создания мембран и каталитических систем.
10. Технологии водородной энергетики.
11. Нанотехнологии и наноматериалы.
12. Технологии создания энергоэффективных двигателей и движителей для транспортных систем.
13. Базовые и критические специальные и промышленные технологии.
14. Технологии обеспечения защиты и жизнедеятельности населения и опасных объектов при угрозах террористических проявлений.
15. Технологии переработки и утилизации техногенных образований и отходов.

Анонсы и Интернет-версии статей публикуются на сайте Международного научного журнала «Альтернативная энергетика и экология» (<http://isjaee.hydrogen.ru/>) в разделе «Новости».

Электронные версии статей публикуются на сайте журнала с некоторой задержкой по времени (36 месяцев). Ежемесячно сайт журнала посещают читатели из 205 стран мира. Общее число посещений достигает 1 000 000 в год.

Авторские коллективы, выполнившие наиболее значимые работы, могут номинироваться на награждение высшей Международной наградой редколлегии журнала (орденом или медалью) по представлению руководителя головной организации-исполнителя работ.

Награды присуждаются в соответствии с решением Международной наградной комиссии Международного научного журнала «Альтернативная энергетика и экология».

Редколлегия оказывает содействие своим авторам в получении финансовой поддержки ведущих международных научных фондов, компаний и институтов, для чего публикует на страницах журнала краткое предложение по международному проекту.





## ***International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology***

The International Scientific Journal of Alternative Energy and Ecology has been published since 2000 on a monthly basis. The Journal is distributed by subscription through the Rospechat, Russian Press: Russian and Foreign Newspapers and Magazines, Interpochta-2003, Artos-GAL, Business Press, YERMAK-PRESS subscription agencies and through the Editorial Board of the Journal.

The Journal is part of International Scientific and Educational System "Hydrogen" (<http://www.hydrogen.ru>).

The International Scientific Journal of Alternative Energy and Ecology has been entered into the Mass Media Register of the Government of Russia, approved by the United National Organization, included in the List of the State Commission for Academic Degrees and Titles, awarded the Roentgen Medal by the European Academy of Natural Sciences. In 2000 and 2003 the Journal awarded a cash prize by President of International Hydrogen Energy Association Member of Academy T.N. Veziroglu for achievements, and in 2008 the Journal received the Prize of Russian Energy Olympus-2008.



*A number of scientific forums have been conducted under the aegis of the Journal*

- First International symposium of Safety and Economy of Hydrogen Transport IFSSEHT-2000.
- Second International symposium of Safety and Economy of Hydrogen Transport IFSSEHT-2003.
- First World Congress on Alternative Energy and Ecology WCAEE-2006.
- First International Conference on Hydrogen and Renewable Energy Sources ICHRSE-2006.
- Third International symposium of Safety and Economy of Hydrogen Transport IFSSEHT--2006.
- First international Symposium on Hydrogen Sensors and Recombiners ISHSR-2006.
- National Russian Workshop on Production of Alternative Energy Sources Using the Atomic Hydrogen Cycle AHE-2007

Proceedings of all these events have been published in the International Journal of Alternative Energy and Ecology.

All manuscripts received by the Journal are reviewed, confirmed by the authors and published in the Journal in the shortest possible time. Authors of the best scientific manuscripts participate in contests announced by the Editorial Board and awarded honorable diplomas and prizes established by the International Editorial Board of the Journal and approved by UNO.



**The Editorial Board of the International Scientific Journal of Alternative Energy and Ecology (<http://isjaee.hydrogen.ru/>) invites managers and participants of current and completed projects to publish manuscripts presenting the results of accomplished research and development projects in the following areas:**

1. Monitoring and prediction of atmosphere and hydrosphere conditions
2. Development of energy saving heat and power transportation, distribution and consumption systems
3. Advanced and renewable energy sources
4. Development and processing of polymers and elastomers
5. Development and processing of composite and ceramic materials
6. Energy and fuel processing from organic raw materials
7. Nuclear power, nuclear fuel cycle, safe management of radioactive waste and spent nuclear fuel
8. Risk reduction and mitigation of consequences of natural and technology-related catastrophes
9. Development of membranes and catalytic systems
10. Hydrogen energy
11. Nanotechnologies and nanomaterials
12. Development of energy efficient engines and propulsion devices for transport systems
13. Basic and critical special and commercial processes
14. Protection and life support of population and hazardous facilities under threat of terrorist acts
15. Processing and disposal of civilization-related waste

Announcements and Internet-versions of journal manuscripts are published on the web-site of the International Scientific Journal of Alternative energy and Ecology (<http://isjaee.hydrogen.ru/>) in the News section.

Electronic versions of the manuscripts are published on the Journal's web-site with some delay (36 months). Visitors of the Journal's web-site represent 205 countries worldwide. The total number of web-site visits is 1,000,000 per year.

Authors of the most significant papers can be nominated for the highest award of the Journal's International Editorial Board (order or medal) upon request submission by the head of the leading participating organization.

The awards are conferred in accordance with resolutions of the International Award Commission of the International Scientific Journal of Alternative Energy and Ecology.

The Editorial Board assists authors of published papers in getting international financial support of leading international scientific foundations and search for leading companies and institutes that specialize in the area of scientific interest for cooperation under international research and development projects.

Upon request of the authors, the Editorial Board publishes a free-of-charge summary of international project proposal in the Journal that helps the authors find foreign co-participants.



**ПЕРЕЧЕНЬ**  
**необходимых материалов для публикации**  
**в Международном научном журнале**  
**«Альтернативная энергетика и экология»**

**По тематике:** \_\_\_\_\_  
Тематика определяется в соответствии с Тематикой журнала Form36 с указанием номера раздела и секции (желательно определиться с тематикой, если есть затруднения у авторов, Редакция вправе самостоятельно определить тематику рукописи).

**Авторов:** \_\_\_\_\_

**Статья:** \_\_\_\_\_

Для своевременного выхода журнала и быстрой публикации работ авторы должны предоставлять в редакцию материалы по перечню, приведенному в таблице ниже. Авторы должны заполнить знаками (+) или (-) графы в столбце «Наличие»

№ п/п	Материал	Наличие
1	Заявление	
2	<b>Квитанция об оплате или платежное поручение</b>	
3	Твердая копия рукописи статьи	
4	Электронная версия рукописи статьи	
5	Название статьи на русском языке	
6	Название статьи на английском языке	
7	УДК (PACS)	
8	Автор(ы) статьи	
9	Координаты организаций авторов (включая телефоны и e-mail)	
10	Рисунки (фотографии, схемы)	
11	Подписные подписи на русском языке	
12	Подписные подписи на английском языке	
13	Таблицы	
14	Названия таблиц на русском языке	
15	Названия таблиц на английском языке	
16	Ссылки в тексте на таблицы и рисунки	
17	Список литературы (библиография)	
18	Библиографические ссылки в тексте в соответствии со списком литературы	
19	Структурированность текста, наличие подзаголовков	
20	Аннотация на русском языке	
21	Аннотация на английском языке	
22	Реферат на русском языке	
23	Реферат на английском языке	
24	Резюме на каждого автора (если авторов не более 6) или на главного автора*	
25	Фотография автора (авторов)*	
26	Разрешение на опубликование в открытой печати (экспертное заключение)	
27	Интернет-сообщение на русском языке*	
28	Интернет-сообщение на английском языке*	
29	Соглашение авторов на публикацию статьи в журнале, на электронных ресурсах E-Library, сайте журнала (архив) и на CD – коллекция журнала	
30	Рецензии	
31	Сопроводительное письмо руководителя организации (или письмо автора)	
32	Акт проведенных испытаний (если в статье присутствует экспериментальная часть), подписанный участниками испытаний*	
33	Ходатайства*	

\* Материалы, предоставляемые по желанию



**К сведению авторов.** Редакция Международного научного журнала «Альтернативная энергетика и экология» считает, что авторы, направляя рукопись в Редакцию, согласны передать учредителям и редколлегии Международного научного журнала «Альтернативная энергетика и экология» право опубликовать рукопись на русском языке и в переводе на английском языке. Просим авторов прикладывать к направляемой рукописи Обязательство по форме, приведенной ниже. При этом за авторами сохраняются все остальные права как собственников этой рукописи.

Форма № 2-ISJAEЕ -2013

## ОБЯЗАТЕЛЬСТВО

Автор(ы) статьи предоставляет (ют) издательству ООО НТЦ «ТАТА» на безвозмездной основе на срок действия авторского права, предусмотренного действующим законодательством РФ, исключительную лицензию на использование созданного Автором (ми):

*Название рукописи на русском языке*

*Название рукописи на английском языке*

1. *Фамилия, имя, отчество автора рукописи*
2. *Фамилия, имя, отчество автора рукописи*
3. *Фамилия, имя, отчество автора рукописи*

для использования в Международном научном журнале «Альтернативная энергетика и экология» в пределах предусмотренных п.2ст.1270 ГК РФ.

В соответствии с п.2ст.1270 ГК РФ под использованием Статьи, понимается:

- воспроизведение Статьи или ее отдельной части на русском языке в любой материальной форме, в том числе на бумажном и электронном носителях в виде отдельного произведения и/или в составе Журнала(ов), и/или базах данных Издателя и/или иных лиц, по усмотрению Издателя;
- распространение Статьи или ее отдельной части на любом носителе на русском языке по всему миру в виде отдельного произведения и/или в составе Журнала(ов), и/или базах данных Издателя или иных лиц, по усмотрению Издателя;
- доведение Статьи или ее отдельной части до всеобщего сведения таким образом, что любое лицо может получить доступ к Статье из любого места и в любое время по собственному выбору (доведение до всеобщего сведения, в т.ч. через Интернет);
- право на перевод Статьи на английский язык;
- воспроизведение Статьи или ее отдельной части на английском языке в любой материальной форме, в том числе на бумажном или электронном носителе в виде отдельного произведения и/или в составе Журнала(ов), и/или на базах данных Издателя и/или иных лиц, по усмотрению Издателя;
- распространения Статьи на английском языке или ее отдельной части на любом носителе на английском языке по всему миру в виде отдельного произведения и/или в составе Журнала(ов), и/или базах данных Издателя или иных лиц, по усмотрению Издателя;
- доведение Статьи на английском языке или ее отдельной части до всеобщего сведения, таким образом, что любое лицо может получить доступ к Статье из любого места и в любое время по собственному выбору (доведение до сведения, в т.ч. через Интернет);
- сублицензирование (выдача разрешения) полученных прав по настоящему соглашению в целом или частичном виде для перевода, издания, распространения и доведения до всеобщего сведения на английском языке.

1. **Фамилия, имя, отчество автора рукописи** *подпись*
2. **Фамилия, имя, отчество автора рукописи** *подпись*
3. **Фамилия, имя, отчество автора рукописи** *подпись*



Главному редактору  
Международного научного журнала  
«Альтернативная энергетика и экология»  
Гусеву Александру Леонидовичу

## ЗАЯВЛЕНИЕ\*

### Раздел I. ПРОИЗВОЛЬНАЯ ФОРМА

Прошу (просим) рассмотреть возможность публикации рукописи «*НАЗВАНИЕ РУКОПИСИ*» авторов (ПЕРЕЧИСЛЕНИЕ: должности, Фамилия Имя Отчество) в *Международном научном журнале «Альтернативная энергетика и экология»* в сроки (указывается наиболее оптимальный срок публикации рукописи).

*\*\*Материал представлен в электронном виде по E-mail в соответствии с требованиями Правил публикации Form16 - ISJAEЕ и Form1-ISJAEЕ. Твердые копии документов и окончательный вариант электронной версии (CD) будут направлены в Редакцию в месячный срок.*

### Раздел II. ОБЯЗАТЕЛЬНАЯ ФОРМА

Авторы (фамилия, имя, отчество), должность, полный титул для представления	1. 2. 3. 4. 5.
Наименование организации (если рукопись представляется от организации)	
Название статьи (на русском языке)	
Название статьи (на английском языке)	
Ответственный автор (ФИО, адрес, телефоны, факс, E-mail)	
Адрес, мобильный телефон и ФИО ответственного лица для получения оттисков опубликованной статьи	
Полные платежные реквизиты для оплаты предусмотренных в Правилах позиций по подготовке рукописи к печати и печати, а также для получения счета для получения необходимого количества экземпляров журнала с публикацией	
Бронирование необходимого количества печатных версий журнала с авторской публикацией	
Подписка на журнал (подписан, планирую, не планирую)	
Подписка на электронную версию журнала на CD на полугодие, год, на все выпуски журнала	
Включение в базу данных для распространения (да, нет)	

#### Подписи авторов:

\* *Заявление по форме Form01-ISJAEЕ обязательно для авторов и авторского коллектива независимо от наличия Сопроводительного письма руководителя организации или автора. Информация по Разделу II не может изменяться на протяжении рассмотрения рукописи и на этапе подготовки рукописи к публикации (за исключением особых случаев). Информация по Разделу II используется для оформления Справок (Приоритетная справка, Справка об опубликовании и т.д.).*

*\*\* Если материал представлен обычной почтой в твердой копии и в электронной версии на CD, то сообщается E-mail Ответственного автора (для переписки). Если E-mail отсутствует, переписка ведется обычной почтой.*

*\*\*\* Если авторы не могут подписать Заявление - командировка, авторы из разных мест, - допускается электронная подпись (ответственность за согласие автора опубликовать материал и достоверность подписи несет Ответственный автор).*



## Правила публикации и порядок прохождения процедуры рецензирования, реферирования, экспертизы и публикации (2015-2016 годы)

### I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Каждая рукопись подвергается обязательному рецензированию трех рецензентов из числа рецензентов Международного научного журнала «Альтернативная энергетика и экология» и двух рецензентов из числа приглашенных Редколлегий.

Каждая статья проходит этап предварительного рецензирования и итогового рецензирования.

В целях обеспечения наиболее качественной предпечатной подготовки и предварительного рецензирования, а также своевременного выкупа тиражей и их распространения все публикации в журнале осуществляются на платной основе, за исключением п.п. 7, 10, 11, 14 Раздела 6.

#### Раздел 1. Порядок предварительного рецензирования

Каждая рукопись регистрируется Ответственным секретарем Редколлегии в Реестре учета поступающих рукописей с присвоением четырехзначного номера, например, Рег. № 0687 от 23 августа 2009 года. После регистрации рукописи в адрес автора-корреспондента направляется Приоритетная справка по форме **Form 16 ISJAEE**. Приоритетная справка уведомляет авторский коллектив о регистрации рукописи и о факте международного приоритета рукописи. После рассмотрения рукописи главным редактором и редакцией сопроводительные материалы и рукопись передаются для проведения Формальной экспертизы в соответствующее подразделение Редакции Международного научного журнала «Альтернативная энергетика и экология». В дальнейшей переписке авторы и редакция ссылаются на Регистрационный номер.

По завершению процедуры Формальной экспертизы и выработки решения автору-корреспонденту направляется форма **Form 17 ISJAEE**, в которой определяется **Статус (2)** рукописи, в соответствии с принятым в редакции Перечнем статусов формы **Form 17 ISJAEE**: 2/1 – представленные материалы полностью соответствуют Правилам редколлегии; 2/2 – отсутствует название статьи на английском языке, 2/3 – отсутствует УДК (PACS), 2/4 – отсутствуют координаты организаций авторов (включая телефоны и e-mail); 2/5 – отсутствуют подписи на английском языке; 2/6 – отсутствуют названия таблиц на английском языке; 2/7 – отсутствуют ссылки в тексте на таблицы и рисунки; 2/8 – отсутствует список литературы (библиография); 2/9 – отсутствуют библиографические ссылки в тексте в соответствие со списком литературы; 2/10 – отсутствует аннотация на русском языке; 2/11 – отсутствует аннотация на английском языке; 2/12 – отсутствует реферат на русском языке; 2/13 – отсутствует реферат на английском языке; 2/14 – отсутствует: резюме на каждого автора (если авторов не более 6) или на главного автора\*, фотография автора (авторов)\*; 2/15 – отсутствует: разрешение на опубликование в открытой печати (экспертное заключение); 2/16 – отсутствует: Интернет-сообщение на русском языке, Интернет-сообщение на английском языке; 2/17 – отсутствует: Соглашение авторов на публикацию статьи в журнале; 2/18 – отсутствует: Сопроводительное письмо руководителя организации (или письмо автора); 2/19 – отсутствует: Акт проведенных испытаний, подписанный участниками испытаний.

Регистрационный Редакционный номер рукописи на этом этапе усложняется добавлением к нему номера статуса через знак «/»: например, если рукописи присвоен статус 2/1, то регистрационный номер будет выглядеть следующим образом: Рег. № 0687/2/1 от 23 августа 2009 года. В форме Form 17 ISJAEE сообщается об ориентировочной дате публикации рукописи.

Далее авторские материалы рукописи передаются в Совет Рецензентов и Экспертный Совет.

По завершению процедуры экстренного рецензирования и получения положительного решения Совета Рецензентов и Экспертного Совета статья будет опубликована в журнале.

После завершения процедуры рецензирования и выработки решения в Международном Совете Рецензентов Международного научного журнала «Альтернативная энергетика и экология» автору-корреспонденту направляется форма **Form 18 ISJAEE**, в которой сообщается, что по результатам рецензирования рукописи присвоен **Статус (3) по Form 18 ISJAEE**. **Перечень статусов формы FORM 18 ISJAEE**: 3/2 – научная новизна сомнительна, 3/3 – научное значение работы сомнительно, 3/4 – научный результат соответствует современному состоянию науки, работа достойна финансирования Международным сообществом и рекомендации Редколлегии для финансирования Международными Научными Фондами; 3/5 – научный результат превосходит современное состояние науки, работа достойна финансирования Международным сообществом и рекомендации Редколлегии для финансирования Международными Научными Фондами; 3/6 – научный ре-

зультат существенно превосходит современное состояние науки, работа достойна финансирования Международным сообществом и рекомендации Редколлегии для финансирования Международными Научными Фондами; 3/7 – научный результат превосходит современное состояние науки и может обеспечить прорыв в данном направлении науки, работа достойна финансирования Международным сообществом и рекомендации Редколлегии для финансирования Международными Научными Фондами; 3/8 – важная научная работа, достойная финансирования Международным сообществом и рекомендации Редколлегии для финансирования Международными Научными Фондами; 3/9 – наиболее важное открытие, способное изменить весь ход развития науки, достойная финансирования Международным сообществом и рекомендации Редколлегии для финансирования Международными Научными Фондами

**После этапа рецензирования** рукопись передается в **Совет Экспертов** для оценки технического уровня разработки.

После прохождения экспертизы в Международном **Совете Экспертов** и выработки решения рукописи присваивается **Статус (4)** в соответствии с Перечнем статусов формы **FORM 19 ISJAEЕ**: 4/2 – техническая реализация сомнительна, 4/3 – техническая реализация возможна, но положительный эффект сомнителен, 4/4 – техническая реализация возможна и технический результат удовлетворительный, 4/5 – технический результат соответствует лучшим современным мировым образцам, 4/6 – технический результат превосходит современный Мировой уровень техники, 4/7 – выдающаяся разработка, технический результат, которой может обеспечить прорыв в данном направлении техники, 4/8 – важная разработка, достойная немедленного финансирования Международным сообществом и технический результат принесет значительную пользу человечеству, 4/9 – наиболее важное открытие, технический результат, которого способен изменить весь ход развития техники.

В форме также уточняется ориентировочная дата публикации.

После принятия окончательного решения о возможности публикации рукописи в адрес автора-корреспондента направляется **Решение Редакционного Научного Совета FORM 20 ISJAEЕ**.

В форме сообщается о том, что рукопись прошла процедуру рецензирования в Международном Совете Рецензентов (научное качество) и научно-техническую экспертизу (техническая реализуемость) в Международном Совете Экспертов Редколлегии Международного научного журнала «Альтернативная Энергетика и Экология». В этой же форме сообщается об оценке качества рукописи и об научно-технической ценности идеи или концепции (устройств). Рукописи присваивается один из статусов формы FORM 20 ISJAEЕ и сообщается об окончательной дате публикации. Перечень статусов формы **FORM 20 ISJAEЕ**: А – печать в ближайших номерах, Б – печать после устранения всех замечаний, В – печать после получения от авторского коллектива всех запрашиваемых материалов.

После опубликования рукописи автору-корреспонденту направляется **Свидетельство об опубликовании** по **FORM 21 ISJAEЕ**, в котором рукописи присваивается **Статус (5)** по форме **FORM 21 ISJAEЕ**.

Перечень статусов формы **FORM 21 ISJAEЕ**:  $\alpha$  – рекомендовать в Наградном комитету Редколлегии наградить авторский коллектив Орденом Редколлегии за многолетнюю научную работу, позволившую получить выдающийся научный результат,  $\beta$  – рекомендовать в Наградном комитету Редколлегии наградить авторский коллектив Медалью Редколлегии за многолетнюю научную работу, позволившую получить значительный научный результат,  $\gamma$  – рекомендовать Наградному комитету Редколлегии наградить авторский коллектив Дипломом Редколлегии за многолетнюю научную работу, позволившую получить высокий научный результат.

Если по результатам рецензирования и научно-технической экспертизы получена отрицательная оценка, то в адрес автора-корреспондента направляется **FORM 13 ISJAEЕ**, в которой сообщается о **Статусе (13)** в соответствии с Перечнем статусов формы **FORM 13 ISJAEЕ**: 13-1 – отклонить без возможности дальнейшего рассмотрения рукописи в связи с большим объемом нарушений Правил оформления рукописи, 13-2 – отклонить с возможностью авторской переработки рукописи с сохранением Редакционного номера, но с отсрочкой публикации, 13-3 – отклонить из-за нарушения приоритета или существенного заимствования материала без ссылок, 13-4 – отклонить в связи с существенным нарушением основных законов природы.

### **Итоговое рецензирование**

После этапа предварительного рецензирования материалы рукописи выкладываются на закрытом электронном ресурсе с правом доступа ограниченного круга лиц из числа Международного Научного Совета или ограниченный круг лиц из числа Международного Научного Совета извещается Специальным Бюллетенем о материалах рукописей, принятых к публикации и получивших оценки рецензентов и экспертов. На этапе итогового рецензирования (срок 10 дней) результаты предварительного рецензирования могут быть пересмотрены Международным Научным Советом, о чем в течение 10 дней извещается автор-корреспондент.

В случае возникновения спорных ситуаций по научным вопросам рукопись передается на рассмотрение в **Совет рецензентов** Международного научного журнала «Альтернативная энергетика и экология». В случае возникновения спорных ситуаций по возможности технического воплощения идеи, опубликованной в рукописи, последняя передается в **Совет экспертов** Международного научного журнала «Альтернативная энергетика и экология».

Срок публикации каждой рукописи **не превышает 3 месяцев**. В случае наличия рекомендательного письма одного из членов Редколлегии Международного научного журнала «Альтернативная энергетика и экология» может быть сокращено время рассмотрения рукописи **до 2 месяцев**. Срок публикации рукописей, направленных на кон-

курс, проводимый Редколлегией, **не превышает 2 месяцев**. Срок публикации заказных научных обзоров **не превышает 2 месяцев**.

В любом случае **все рукописи**, направляемые в журнал, рецензируются и реферируются в известных международных научных изданиях.

Рукописи в журнале публикуются на русском и на английском языках. Каждой рукописи, поступившей в Редакцию присваивается редакционный номер и дата поступления.

**Журнал публикует исключительно оригинальные статьи. Автор несет полную ответственность за соблюдение этого требования.**

## Раздел 2. Порядок представления рукописей

Для своевременного выхода журнала убедительно просим соблюдать следующие правила оформления рукописей:

**1. Рукопись представляется как в машинописном, так и в электронном виде.** Бумажный вариант рукописи представляется в 1 экземпляре, который обязательно подписывается авторами на обороте.

### Объем рукописей:

- краткие сообщения – до 7 страниц (1800 печатных знаков),
- объем статей, как правило, не должен превышать 12 страниц,
- письма в редакцию – до 4 страниц,
- объем научных обзоров – не более 40 страниц.

### 2. Рукопись сопровождается:

- сопроводительным письмом руководителя организации, представляющей рукопись, оформленным экспертным заключением или другим документом, разрешающим опубликование в открытой печати (1 экз.), утвержденным руководителем организации и заверенным гербовой печатью. Экспертное разрешение представляют только авторы из России;
- компакт-диск или дискетой, содержащей обязательный пакет электронных файлов, перечисленных в разделе III.

**3. Текст аннотации** на русском и английском языках печатается шрифтом Times New Roman (12 кегль) в одном файле в следующем порядке: наименование статьи, авторы, наименование организации, аннотация на русском языке; далее, через 2 строки, в той же последовательности – на английском языке. Аннотация излагается в индикативной форме, в состав аннотации в обязательном порядке должны входить: область исследования (2-3 предложения), теоретические положения (5-6 предложений), экспериментальные исследования (6-7 предложений), основные результаты работы (4-5 предложений, предполагаемые потребители результата (2-3 предложения).

Аннотация также публикуется на сайте международного научного информационного портала «Водород» (на русском и английском языках).

**4. Текст авторского резюме** (15 строк) на русском и английском языках печатается шрифтом Times New Roman (10 кегль) должен содержать: место работы, должность, образование, научное звание, ученая степень, награды и научные премии, профессиональный опыт, основной круг научных интересов, количество публикаций каждого из авторов. Желательно включить: ORCID, индекс Хирша, Research ID, SPIN, и другие наукометрические показатели.

**5. Фотографии авторов** для резюме в формате TIFF или JPEG. Фотографии авторов представляются в обязательном порядке.

**6. Текст реферата** (одна страница) для опубликования в реферативных журналах (РЖ) ВИНТИ, «Письма в журнал «Альтернативная энергетика и экология»» (на английском языке).

Параметры страницы:

- формат A4 (210 × 297 мм);

- межстрочный интервал полуторный;

- шрифт Times New Roman, (12 кегль) в одном файле в следующем порядке: наименование статьи, авторы, наименование организации, реферат на русском языке; далее, через 2 строки, в той же последовательности — на английском языке.

**7. Интернет-сообщение** для размещения сигнальной информации на сайтах Информационного портала «Водород» и на сайтах информационной сети, посвященной энергетике и экологии. Сообщение размером не более одной страницы излагается в произвольной форме:

- формат A4 (210 × 297 мм);

- межстрочный интервал полуторный;

- шрифт Times New Roman (12 кегль).

Сообщение может включать фотографии и графики.



### Раздел 3. Оформление рукописи

- Редколлегия рекомендует авторам обзоров и статей структурировать представляемый материал, используя подзаголовки (например: ВВЕДЕНИЕ, ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ, МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА, РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ, ЗАКЛЮЧЕНИЕ, СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ).

- текст материала для публикации должен быть тщательно отредактирован автором, следует избегать повторов, не следует без необходимости подробно описывать иллюстративный материал;

- текст должен быть напечатан на белой бумаге:

- формат А4 (210 × 297 мм);

- межстрочный интервал полусторонний;

- шрифт Times New Roman (12 кегль).

Рукопись может включать фотографии и графики.

Текст рукописей оформляется в следующей последовательности:

- индекс универсальной десятичной классификации (УДК или PACS);

- название статьи на русском и на английском языке (прописными буквами без кавычек, кегль 14 полужирный, выравнивание по центру; переносы не допускаются, точка в конце строки не ставится, подчеркивание не используется);

- авторы (инициалы, фамилия, кегль 14 полужирный курсив, выравнивание по центру, точка в конце строки не ставится)

- название организации, адрес, город, страна, индекс, телефон, факс, e-mail (кегль 12, выравнивание по центру. Если авторы — представители различных организаций, то используется метод надстрочных ссылок, например: А. В. Иванов, Ю. С. Седов\*);

- заголовок раздела (кегль 14, выравнивание по левому краю, точка не ставится);

- текст статьи: шрифт 12, абзацный отступ 1 см, выравнивание по формату;

- подзаголовок (шрифт курсивный, кегль 14, выравнивание по левому краю);

- список литературы (шрифт обычный, кегль 14, выравнивание по центру).

При написании статьи используются общепринятые термины, единицы измерения и условные обозначения, единообразные по всей статье. **Расшифровка всех(!) используемых авторами обозначений дается при первом употреблении в тексте.**

При наборе статьи на компьютере все латинские обозначения физических величин ( $A$ ,  $I$ ,  $d$ ,  $h$  и т. п.) набираются курсивом, греческие обозначения, названия функций ( $\beta$ ,  $\sin$ ,  $\exp$ ,  $\lim$ ), химических элементов ( $H_2O$ ) и единиц измерения ( $MВт/см^2$ ) – прямым (обычным) шрифтом. Символы ( $\Re$ ,  $\varphi$ ,  $\otimes$ ,  $\in$  и т. п.) оговариваются на полях рукописи.

**Таблицы, рисунки, фотографии** (только черно-белые) размещаются внутри текста и имеют сквозную нумерацию по статье (не по разделам!) и собственные заголовки. Буквенно-цифровая нумерация ( $1a$ ,  $2b$ ) нежелательна.

**Названия всех рисунков, фотографий и таблиц приводятся на русском и на английском языках!!!**

Нумерация обозначений на рисунках дается по порядку номеров по (против) часовой стрелки (для чертежей) или сверху вниз (снизу вверх). Файлы иллюстраций предоставляются в формате TIFF или BMP (максимальное качество) с разрешением не менее 300 dpi.

**Формулы** создаются с помощью встроенного редактора формул (Math Type, Microsoft Equation) с нумерацией в круглых скобках (2), выравниваются по центру; **расшифровка всех обозначений (букв) в формулах дается в порядке упоминания в формуле.**

**Формулы должны быть аккуратно набраны на компьютере.**

Во избежание недоразумений и ошибок редакция рекомендует авторам использовать в формулах буквы латинского, греческого и других (не русских) алфавитов;

**Оформление литературных ссылок (списка литературы):**

Все литературные ссылки обозначаются порядковой цифрой в квадратных скобках, расположенными в порядке их упоминания в тексте [3].

**Библиографические ссылки** в списке литературы располагаются в той последовательности, в какой упоминаются в тексте, и оформляются по следующим правилам:

- для книг: фамилия и инициалы автора (ов), название книги, место издания, издательство, год (для трудов конференций – город, страна, год). Например: Ландау Л. Д., Лившиц Е. М. Квантовая механика. М.: Наука, 1988. Или: Elton R. C. X-Ray Lasers. Boston: Academic Press, 1990;

- для статей в журнале, сборнике, газете: фамилия и инициалы автора(ов), название статьи, название журнала (сборника), год, том, номер (или номер выпуска), страницы. Например: Полякова А. Л., Васильев Б. М., Купенко И. Н. и др. Изменение зонной структуры полупроводников под давлением // Физика и техника полупроводников. 1976. Т. 9, № 11. С. 2356–2358. Или: Афанасьев А. М. Оптимизация распределения энерговыделения в реакторе с помощью «советов оператору» // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Физика и техника ядерных реакторов. 1986. Вып. 2. С. 32–36. Или: Mezain I. H. Rolling circuit boards improves soldering // Electronics. 1977. Vol. 34, No. 16. P. 193–198;

- для диссертаций и авторефератов диссертаций кроме фамилии автора и его инициалов следует указать название диссертации, степень, место защиты (город) и год; для препринтов – название, место издания, год, номер.



Например: Горшкова Т. И. Термодинамические свойства и применение некоторых сплавов церия: Автореф. дис. ... канд. хим. наук. М., 1976;

▪ **для патентной документации:** вид патентного документа (авторское свидетельство или патент), номер, название страны, выдавшей документ, индекс международной классификации изобретений, или индекс международной классификации промышленных образцов, или индекс международной классификации товаров и услуг, название патента (а. с.), авторы, название издания, опубликовавшего документ, год и номер издания. Например: А. с. 100970 СССР МКИЗ В 251 15/00. Устройство для захвата неориентированных деталей типа валов/Ваулин В. С., Кенайкин В. Г. // Открытия. Изобретения. 1983. № 11.

При необходимости в заголовке библиографической ссылки на работу четырех и более авторов могут быть указаны имена всех авторов или первых трех с добавлением слов «и др.».

В списке литературы инициалы должны стоять после фамилий.

#### Раздел 4. Правила представления электронной версии материалов

Автор (корреспондент) должен направить в адрес главного редактора (E-mail: gusev@hydrogen.ru ) обязательный пакет электронных файлов.

Перечень обязательного пакета электронных файлов:

##### 1. Рукопись

Файл обозначается следующим образом (пример): **Article#1. Ivanov I.I. Hydrogen detectors. (1300).**

Где **Article#1** – обозначает номер рукописи, присвоенный автором (рукописей может быть несколько на электронном носителе);

**Ivanov I.I.** – фамилия первого автора и инициалы;

**Hydrogen detectors** – первые два слова из названия рукописи;

**(1300)** – номер тематического направления или тематической секции из **Тематики журнала** (Приведена в конце каждого номера журнала).

##### 2. Аннотация

Файл обозначается следующим образом: **Summary#1. Ivanov I.I. Hydrogen detectors. (1300).**

Где **Summary#1** – обозначает принадлежность аннотации к конкретной рукописи с номером, присвоенным автором (рукописей может быть несколько на электронном носителе);

**Ivanov I.I.** – фамилия первого автора и инициалы;

**Hydrogen detectors** – первые два слова из названия рукописи;

**(1300)** – номер тематического направления или тематической секции из **Тематики журнала** (Приведена в конце каждого номера журнала).

##### 3. Реферат

Файл обозначается следующим образом: **Abstract#1. Ivanov I.I. Hydrogen detectors. (1300)**

Где **Abstract#1** – обозначает принадлежность реферата к конкретной рукописи с номером, присвоенным автором (рукописей может быть несколько на электронном носителе);

**Ivanov I.I.** – фамилия первого автора и инициалы;

**Hydrogen detectors** – первые два слова из названия рукописи;

**(1300)** – номер тематического направления или тематической секции из **Тематики журнала** (Приведена в конце каждого номера журнала).

##### 4. Резюме

Файл обозначается следующим образом: **Resume#1. Ivanov I.I. Hydrogen detectors. (1300)**

Где **Resume#1** – обозначает принадлежность резюме к конкретной рукописи с номером, присвоенным автором (рукописей может быть несколько на электронном носителе);

**Ivanov I.I.** – фамилия первого автора и инициалы;

**Hydrogen detectors** – первые два слова из названия рукописи;

**(1300)** – номер тематического направления или тематической секции из **Тематики журнала** (Приведена в конце каждого номера журнала).

##### 5. Рисунки

Файл обозначается следующим образом: **Pictures#1. Ivanov I.I. Hydrogen detectors. (1300)**

Где **Pictures #1** – обозначает принадлежность фотографий и рисунков к конкретной рукописи с номером, присвоенным автором (рукописей может быть несколько на электронном носителе);

**Ivanov I.I.** – фамилия первого автора и инициалы;

**Hydrogen detectors** – первые два слова из названия рукописи;

**(1300)** – номер тематического направления или тематической секции из **Тематики журнала** (Приведена в конце каждого номера журнала).

##### 6. Разрешение

Файл обозначается следующим образом: **Sanction#1. Ivanov I.I. Hydrogen detectors. (1300)**

Где **Sanction#1** – обозначает принадлежность разрешения на право открытой публикации рукописи к конкретной рукописи с номером, присвоенным автором (рукописей может быть несколько на электронном носителе);

**Ivanov I.I.** – фамилия первого автора и инициалы;

**Hydrogen detectors** – первые два слова из названия рукописи;



**(1300)** – номер тематического направления или тематической секции из **Тематики журнала** (Приведена в конце каждого номера журнала).

#### 7. Интернет-сообщение

Файл обозначается следующим образом: **Internet#1. Ivanov I.I. Hydrogen detectors. (1300)**

Где **Internet#1** – обозначает принадлежность **Интернет-сообщения** к конкретной рукописи с номером, присвоенным автором (рукописей может быть несколько на электронном носителе);

**Ivanov I.I.** – фамилия первого автора и инициалы;

**Hydrogen detectors** – первые два слова из названия рукописи;

**(1300)** – номер тематического направления или тематической секции из **Тематики журнала** (Приведена в конце каждого номера журнала).

#### 8. Соглашение

Файл обозначается следующим образом: **Agreement#1. Ivanov I.I. Hydrogen detectors. (1300)**

Где **Agreement#1** – обозначает принадлежность PDF-версии Соглашения к конкретной рукописи с номером, присвоенным автором (рукописей может быть несколько на электронном носителе);

**Ivanov I.I.** – фамилия первого автора и инициалы;

**Hydrogen detectors** – первые два слова из названия рукописи;

**(1300)** – номер тематического направления или тематической секции из **Тематики журнала** (Приведена в конце каждого номера журнала).

#### 9. Форма передачи рукописи и материалов для публикации - Form#1

Файл обозначается следующим образом: **Form#1. Ivanov I.I. Hydrogen detectors. (1300)**

Где **Form#1** – обозначает принадлежность PDF-версии Формы передачи рукописи и материалов для публикации (MANUSKRIPIT TRANSMITTAL FORM) к конкретной рукописи с номером, присвоенным автором (рукописей может быть несколько на электронном носителе);

**Ivanov I.I.** – фамилия первого автора и инициалы;

**Hydrogen detectors** – первые два слова из названия рукописи;

**(1300)** – номер тематического направления или тематической секции из **Тематики журнала** (Приведена в конце каждого номера журнала).

#### 10. Фотографии

Файл обозначается следующим образом: **Fotos#1. Ivanov I.I. Hydrogen detectors. (1300)**

Где **Fotos#1** – обозначает принадлежность фотографий к конкретной рукописи с номером, присвоенным автором (рукописей может быть несколько на электронном носителе);

**Ivanov I.I.** – фамилия первого автора и инициалы;

**Hydrogen detectors** – первые два слова из названия рукописи;

**(1300)** – номер тематического направления или тематической секции из **Тематики журнала** (Приведена в конце каждого номера журнала).

#### 11. Рецензии

Файл обозначается следующим образом: **Reviews#1. Ivanov I.I. Hydrogen detectors. (1300)**

Где **Reviews#1** – обозначает принадлежность PDF-версии рецензии к конкретной рукописи с номером, присвоенным автором (рукописей может быть несколько на электронном носителе);

**Ivanov I.I.** – фамилия первого автора и инициалы;

**Hydrogen detectors** – первые два слова из названия рукописи;

**(1300)** – номер тематического направления или тематической секции из **Тематики журнала** (Приведена в конце каждого номера журнала).

#### 12. Ключевые слова

Файл обозначается следующим образом: **Keywords#1. Ivanov I.I. Hydrogen detectors. (1300)**

Где **Keywords#1** – обозначает принадлежность **списка ключевых слов** к конкретной рукописи с номером, присвоенным автором (рукописей может быть несколько на электронном носителе);

**Ivanov I.I.** – фамилия первого автора и инициалы;

**Hydrogen detectors** – первые два слова из названия рукописи;

**(1300)** – номер тематического направления или тематической секции из **Тематики журнала** (Приведена в конце каждого номера журнала).

#### 13. Сопроводительное письмо руководителя организации (или письмо автора, если автор – частное лицо).

Файл обозначается следующим образом: **Letter#1. Ivanov I.I. Hydrogen detectors. (1300)**

Где **Letter#1** – обозначает принадлежность PDF-версии письма руководителя организации к конкретной рукописи с номером, присвоенным автором (рукописей может быть несколько на электронном носителе);

**Ivanov I.I.** – фамилия первого автора и инициалы;

**Hydrogen detectors** – первые два слова из названия рукописи;

**(1300)** – номер тематического направления или тематической секции из **Тематики журнала** (Приведена в конце каждого номера журнала).



**ВНИМАНИЕ!!!**

Вместе с электронной версией всех перечисленных документов необходимо направить в редакцию оригиналы всех документов обычной почтой заказным письмом по след адресу: 607183, г. Саров Нижегородской обл., а/я 687.

Редколлегия обращает внимание авторов на то, что несоблюдение приведенных выше правил может задержать публикацию материала и привести к отклонению рукописи от процесса дальнейшего рассмотрения!!! Отклоненные редколлегией рукописи (в бумажном и электронном виде) авторам не возвращаются.

В случае отклонения рукописи автор может в течение трех месяцев направить в редакцию уведомление и исправленный вариант в соответствии с требованиями редакции (при этом за рукописью сохраняется регистрационный номер), а также восстанавливается очередь публикации.

**Раздел 5. Обязательства Редакции перед Высшей Аттестационной Комиссией**Редакция обязуется обеспечивать:

1. Наличие института рецензирования (для экспертной оценки рукописей). Обязательное предоставление редакцией рецензий по запросу авторам рукописей и экспертным советам в Высшую Аттестационную Комиссию Российской Академии Наук.

2. Информационную открытость издания.

Наличие и развитие сетевой версии журнала в Интернете по адресу <http://isjaee.hydrogen.ru/>. Аннотации статей, ключевые слова, информация об авторах должны находиться в свободном доступе в Интернете на русском и английском языках, полнотекстовые версии статей в свободном доступе или доступными только для подписчиков, но не ранее чем через год после выхода материала.

3. Регулярное предоставление информации об опубликованных статьях по установленной форме в систему Российского индекса научного цитирования.

4. Обязательное указание состава редакционной коллегии или совета с указанием учёной степени и учёного звания на сайте научного периодического издания.

5. Обязательное указание мест работы всех авторов и контактной информации для переписки.6. Строгая периодичность.

7. Наличие пристатейных библиографических списков у всех статей в формате, установленном журналом из числа предусмотренным действующим ГОСТом.

8. Наличие ключевых слов на русском и на английском языках для каждой публикации.9. Наличие и строгое соблюдение опубликованных правил представления рукописей авторами.10. В случае отказа в публикации статьи редакция отправляет автору мотивированный отказ.12. Наличие ISSN 1608-8298.

13. Наличие подписного индекса: ОАО «Роспечать» 20487, Объединенного каталога «Пресса России» 41935, Каталога российской прессы "Почта России".

14. Развивать специализацию: по химии, по энергетике, по наукам о Земле, по инженерно-агропромышленным специальностям.

**Раздел 6. Стоимость и порядок оплаты публикаций**

Стоимость публикации рукописи складывается из: А – предпечатной подготовки, экспертизы материалов и рецензирования, а также из Б – стоимости публикации. Стоимость публикации рукописи составляет 20% от стоимости экспертизы и рецензирования рукописи, а также стоимости предпечатной подготовки (литературная обработка, графическая обработка, компьютерная верстка, работа переводчика): Б=0,2 А.

Предварительное рецензирование и предпечатную подготовку рукописей физических лиц и организаций, являющихся **резидентами** РФ, осуществляет предприятие ООО Научно-инновационный центр «Криос»

Предварительное рецензирование и предпечатную подготовку рукописей физических лиц и организаций, являющихся **нерезидентами** РФ, осуществляет предприятие ООО Научно-технический центр «ТАТА».

Оплата нерезидентами РФ производится на валютные счета НТЦ «ТАТА» в удобной для них валюте: в рублях, долларах или евро (по курсу ЦБ РФ) на день платежа на расчетные счета Научно-технического центра «ТАТА».

**Порядок оплаты публикаций**

1. Стоимость подготовки публикации рукописи с 01 июля 2014 года составляет:

- для физических лиц – 25 € за страницу (для авторов из России в рублях по курсу ЦБ);
- для ВУЗов – 30 € за страницу (для авторов из России в рублях по курсу ЦБ);
- для научно-исследовательских институтов РАН – 20 € за страницу (в рублях по курсу ЦБ);
- для предприятий, относящихся к малым формам – 40 € за страницу (для российских предприятий в рублях по курсу ЦБ);
- для министерств регионального уровня – 30 € за страницу (для организаций из России в рублях по курсу ЦБ);

- для министерств федерального уровня – 40 € за страницу (для организаций из России в рублях по курсу ЦБ);
- для акционерных обществ – 40 € за страницу (для российских предприятий в рублях по курсу ЦБ);
- для научно-исследовательских предприятий – 40 € за страницу (для российских предприятий в рублях по курсу ЦБ);
- для государственных промышленных предприятий – 40 € за страницу (для российских предприятий в рублях по курсу ЦБ);
- для публикации материалов, выполненных на контрактной основе – 25 € за страницу (для российских предприятий в рублях по курсу ЦБ);
- для публикации материалов, выполненных в рамках международных контрактов – 25 € за страницу (для российских предприятий в рублях по курсу ЦБ);
- для публикации материалов Национальных и Федеральных центров – 45 € за страницу (для российских предприятий в рублях по курсу ЦБ);
- для публикации материалов ФГУП – 45 € за страницу (для российских предприятий в рублях по курсу ЦБ).
- для пенсионеров – скидка 25%;
- для инвалидов 1 группы – скидка 30%;
- для инвалидов 2 группы – скидка 20%;
- для инвалидов 3 группы – скидка 10%;
- для членов Международной Ассоциации Альтернативная Энергетика и Экология – бесплатно
- для подписчиков – физических лиц – бесплатно.

Студенты и аспиранты могут быть освобождены от оплаты по их заявлению в адрес Редакции и на основании Решения Редакции.

**Физические лица и организации, являющиеся нерезидентами РФ, перечисляют оплату публикаций на валютные счета в удобной для них валюте: в долларах или евро (по курсу ЦБ РФ) на день платежа на один из расчетных счетов предприятий: Научно-технический центр «ТАТА», ООО Научно-инновационный центр «Криос», ООО Научно-инновационный центр «Лаборатория технологий безопасности», ООО Научно-Технологический центр «Саровские лаборатории сенсорики», которые совместно с Научно-техническим центром «ТАТА», участвуют в процессах: рецензирования и экспертизы рукописей, а также подготовки рукописей к публикации.**

2. Данная стоимость определена для публикаций, содержащих:

- объем страниц текста (1800 печатных знаков) – до 7 включительно;
- количество рисунков в рукописи – до 7 включительно;
- количество фотографий (включая фото автора) – до 7 включительно.

3. При превышении указанных параметров оплата производится с применением следующих коэффициентов (К):

- объем страниц свыше 7 –  $K = 1,25$  за каждую последующую страницу;
- количество рисунков свыше 7 – 20 € за каждый дополнительный рисунок (для ВУЗов – 10 € за рисунок, для научно-исследовательских институтов РАН – 10€)
- для ВУЗов – 20 € за страницу (для российских ВУЗов в рублях по курсу ЦБ);
- для научно-исследовательских институтов РАН – 20€ за страницу (в рублях по курсу ЦБ);

4. Стоимость публикаций, носящих **обзорный характер**, составляет при объеме до 20 страниц включительно:

- для физических лиц – 20 € за страницу (для авторов из России в рублях по курсу ЦБ);
- для ВУЗов – 25 € за страницу (для российских ВУЗов в рублях по курсу ЦБ);
- для научно-исследовательских институтов РАН – 25€ за страницу (в рублях по курсу ЦБ);
- для министерств регионального уровня - 30 € за страницу (для организаций из России в рублях по курсу ЦБ);
- для министерств федерального уровня - 40 € за страницу (для организаций из России в рублях по курсу ЦБ);
- для предприятий, относящихся к малым формам – 25 € за страницу (для российских предприятий в рублях по курсу ЦБ);
- для акционерных обществ - 45 € за страницу (для российских предприятий в рублях по курсу ЦБ);
- для научно-исследовательских предприятий – 40 € за страницу (для российских предприятий в рублях по курсу ЦБ);
- для государственных промышленных предприятий – 45 € за страницу (для российских предприятий в рублях по курсу ЦБ);
- для публикации материалов, выполненных на контрактной основе – 30 € за страницу (для российских предприятий в рублях по курсу ЦБ);
- для публикации материалов, выполненных в рамках международных контрактов – 35 € за страницу (для российских предприятий в рублях по курсу ЦБ);
- для публикации материалов ФГУП – 50 € за страницу (для российских предприятий в рублях по курсу ЦБ).

- для публикации материалов Центров (национального или федерального уровня) – 50 € за страницу (для российских предприятий в рублях по курсу ЦБ);
- для пенсионеров – скидка 30%;
- для инвалидов 1 группы – скидка 30%;
- для инвалидов 2 группы – скидка 20%;
- для инвалидов 3 группы – скидка 10%;

Студенты и аспиранты могут быть освобождены от оплаты по их заявлению в адрес Редакции и на основании Решения Редакции.

**Редколлегия публикует вне очереди со сроком рецензирования, предварительной подготовки и опубликования рукописи - 14 дней и на бесплатной основе авторов рукописей, имеющих индекс Хирша  $\geq 15$ .**

**Редколлегия не публикует авторов работ, имеющих возраст более 30 лет с индексом Хирша менее 3, – при превышении объема страниц свыше 20 –  $K = 1,5$ .**

Физические лица и организации, являющиеся нерезидентами РФ, перечисляют оплату публикаций на валютные счета в удобной для них валюте: в долларах или евро (по курсу ЦБ РФ) на день платежа на расчетные счета Научно-технического центра «ТАТА» или ООО Научно-инновационный центр «Криос».

5. Стоимость статей рекламного характера составляет 200 € за страницу (для российских предприятий в рублях по курсу ЦБ).

Стоимость статей рекламного характера (**цветные странички**) составляет 800 € за страницу (для российских предприятий в рублях по курсу ЦБ).

Физические лица и организации, являющиеся нерезидентами РФ, перечисляют оплату публикаций на валютные счета в удобной для них валюте: в долларах или евро (по курсу ЦБ РФ) на день платежа на расчетные счета Научно-технического центра «ТАТА» или ООО Научно-инновационный центр «Криос».

6. Стоимость Специального выпуска журнала (Заказанного организацией) составляет:

- объем до 100 страниц включительно – 3000 € (для российских предприятий в рублях по курсу ЦБ);
- объем от 101 до 150 страниц включительно –  $K = 0,8$  (за превышающий объем);
- объем от 151 до 200 страниц включительно –  $K = 0,6$  (за превышающий объем);
- объем свыше 200 страниц –  $K = 0,4$  (за превышающий объем);
- специальный выпуск в многотомном варианте –  $K = 0,6$  за каждый последующий том;
- специальный выпуск в полноцветном варианте –  $K = 2$ .

Физические лица и организации, являющиеся нерезидентами РФ, перечисляют оплату публикаций на валютные счета в удобной для них валюте: в долларах или евро (по курсу ЦБ РФ) на день платежа на расчетные счета Научно-технического центра «ТАТА» или ООО Научно-инновационный центр «Криос».

7. От оплаты за публикации освобождаются: **Нобелевские лауреаты; академики РАН; ректоры ВУЗов; руководители: НИИ, научных Центров; авторы рукописей, имеющие индекс Хирша  $\geq 20$ ; члены Международной Ассоциации Альтернативная Энергетика и Экология, физические лица, являющиеся подписчиками журнала (годовая подписка).**

8. При подаче рукописи академики РАН, ректоры ВУЗов, НИИ, Научных Центров, студенты, аспиранты и пенсионеры обязаны представить справку, заверенную в организации.

9. При подаче рукописи пенсионеры обязаны предоставить копию пенсионного удостоверения.

10. Любой автор или авторский коллектив имеет право обратиться в редакцию журнала с мотивированным ходатайством об освобождении (частичном освобождении на 25% - 30%) от оплаты за публикацию. Решение об освобождении от оплаты принимается Главным редактором журнала. При освобождении от оплаты срок публикации рукописи может быть продлен до 4 месяцев.

11. Документы об оплате (платежное поручение, квитанция) предоставляются вместе с материалами рукописи.

12. В случае необходимости отсрочки платежа за публикацию рукописи автор или авторский коллектив предоставляет в редакцию журнала письмо с просьбой об отсрочке платежа и гарантией оплаты в определенные сроки.

13. Публикации членов Научного Совета Редколлегии и рецензентов, а также авторов, имеющих рекомендации членов Научного Совета Редколлегии могут осуществляться на бесплатной основе или с частичной оплатой 50% (По Решению Редколлегии и Редакции журнала).

14. Авторские коллективы, среди которых есть Нобелевские лауреаты, полностью освобождаются от оплаты публикаций.

Предварительное рецензирование и предпечатную подготовку рукописей осуществляет предприятие ООО Научно-инновационный центр «Криос»



**ООО Научно – Инновационный Центр «Криос»**

Адрес: 607181, Нижегородская область, г. Саров, ул. Московская, д. 29, офис 311

тел./факс: (83130) 6-31-07, 9-07-08 тел. (83130) 9 - 18- 46

Для расчетов в рублях:

Образец заполнения платежного поручения

ИНН 5254483520	КПП 525401001		
Получатель ООО Научно – Инновационный Центр «Криос»		Сч. №	40702810300000002650
Банк получателя ИНН 7701000940 КПП 525402001		БИК	042204721
ОАО «АКБ Саровбизнесбанк» г. Саров		К/Сч. №	30101810200000000721

**Дополнительные возможности оплаты**

Вы можете также осуществить платеж через систему WebMoney

**Кошелек в рублях (Рубли, РФ): R970392195433**

**Кошелек в долларах: (Доллары США): Z329674429334**

В переводе необходимо указать: «За предпечатную подготовку рукописи №..... и ее публикацию»

**Просьба к авторам!**

В целях ускорения согласования гранок, просьба к авторам, предоставлять максимально возможные каналы связи для быстрой связи Редакции с автором и авторским коллективом (мобильный телефон, скайп, факс, электронную почту и т.д.). Если у автора-корреспондента предвидятся командировки, отпуск и другие неотложные дела, просьба своевременно в письменном виде уведомить Редакцию о назначении ответственного лица для согласования гранок статей.



**I. ВОЗОБНОВЛЯЕМАЯ  
ЭНЕРГЕТИКА****1. Солнечная энергетика**

*А.Штейнфелд* (Швейцария, Цюрих, Швейцарский федеральный институт технологий) (МРК)  
*Г.И. Исаков* (Азербайджан, Баку, Институт физики НАН) (ЗГР)  
*И.Г. Хидиров* (Узбекистан, Ташкент, Институт ядерной физики НАН Узбекистана) (МРК)  
*С.Геруни* (Армения, Ереван, Ереванский гос. ун-т) (МНКСР)  
*С.М. Раза* (Пакистан, Кветта, Университет Белуджистана) (МРК)  
*С.З. Ильяс* (Пакистан, Кветта, Университет Белуджистана) (МРК)  
*А.М. Пенджиев* (Туркменистан, Ашхабат-32, Туркменский политехнический институт) (МРК)  
*В.Ф. Гременок* (Белоруссия, Минск, Объединенный институт физики твердого тела и полупроводников) (МНКСР)  
*В.А. Бутузов* (Россия, Краснодар, ОАО «Южгеотепло»)

- 1-1-0-0** История солнечной энергетики
- 1-2-0-0** Солнечно-водородная энергетика  
*Т.Н. Везироглу* (США, Майами, МАВЭ, UNIDO-ИЧЕТ) (ПГР)
  - 1-2-1-0** Материалы для солнечно-водородной энергетики
- 1-3-0-0** Солнечные электростанции
  - 1-3-1-0** Кремниевые солнечные электростанции
  - 1-3-2-0** Космические солнечные станции
  - 1-3-3-0** Фотоэлементы
  - 1-3-4-0** Фотовольтаический эффект в полупроводниковых структурах. Фотоэлектрические модули
- 1-4-0-0** Наземные солнечные станции
  - 1-4-1-0** Солнечные коллекторы
- 1-5-0-0** Солнечные города
  - 1-5-1-0** Солнечный дом
  - 1-5-2-0** Солнечные холодильные установки
  - 1-5-3-0** Солнечные водоподъемные системы
  - 1-5-4-0** Гелиоэнергетические установки
- 1-6-0-0** Солнечный транспорт
- 1-7-0-0** Концентраторы солнечного излучения

**2. Ветроэнергетика**

*И.З. Богуславский* (Россия, Москва, ОЭЭП РАН) (МРК)  
*В.Л. Окулов* (Россия, Новосибирск, Сиб. отд. РАН)  
*Ван Куик Г.А.М.* (Президент Европейской Академии Ветроэнергетики)

- 2-1-0-0** Ветроэнергетика и архитектура
- 2-2-0-0** Ветроэнергетика и экология
- 2-3-0-0** Уникальные решения ветроэнергетики
- 2-4-0-0** Парусная ветроэнергетика
- 2-5-0-0** Гибридные ветроустановки
- 2-6-0-0** История ветроэнергетики
- 2-7-0-0** Ветро-водородная энергетика
- 2-8-0-0** Электрогенераторы для ветроэнергетики
- 2-9-0-0** Новые конструкции ветроэнергетических установок с вертикальной осью вращения
- 2-10-0-0** Горизонтально-осевые ветроэнергетические установки
- 2-11-0-0** Вертикально-осевые ветроэнергетические установки Савониуса

- 2-12-0-0** Вертикально-осевые ветроэнергетические установки Дарье
- 2-13-0-0** Ветрогелиоэнергетические установки
- 2-14-0-0** Будущее ветроэнергетики
- 2-15-0-0** Аэростатная ветроэнергетика
- 2-16-0-0** Материалы для ветроэнергетики
- 2-17-0-0** Моделирование на ЭВМ динамической составляющей скорости ветра в зависимости от времени
- 2-18-0-0** Комплексное моделирование ветроэнергетической установки с вертикальной осью вращения
- 2-19-0-0** Преобразование энергии в ветроэнергетических установках
- 2-20-0-0** Использование энергии ветра.  
Техника, экономика, экология

**3. Морская гидроэнергетика**

- 3-1-0-0** История приливной энергетики  
*А.Л. Гусев* (Россия, Саров, НТЦ «ТАТА»)
- 3-2-0-0** Энергетика морских волн  
*С.П. Капица* (Россия, Москва, ИФЛ им. П.Л. Капицы)
- 3-3-0-0** Энергетика морских течений

**4. Геотермальная энергетика**

- В.А. Бутузов* (Россия, Краснодар, ОАО «Южгеотепло»)
- 4-1-0-0** История геотермальной энергетики
  - 4-2-0-0** Фундаментальные исследования в области геотермальной энергетики
  - 4-3-0-0** Проблемы освоения геотермальной энергии
  - 4-4-0-0** Роль моделирования и мониторинга при освоении геотермальной энергии. Оценка геотермального резерва
  - 4-5-0-0** Геотермальные станции
    - 4-5-1-0** Геотермальные электростанции
    - 4-5-2-0** Геотермальные тепловые станции
  - 4-6-0-0** Эффективность и надежность геотермальных тепловых и электрических станций
  - 4-7-0-0** Геотермальные ресурсы стран мира и перспективы их освоения

**5. Энергия биомассы**

- А.Л. Гусев* (Россия, Саров, НТЦ «ТАТА»)
- 5-1-0-0** Биогазовые установки
  - 5-2-0-0** Термохимические газогенераторы
  - 5-3-0-0** Энергия биомассы и экология

**6. Малая гидроэнергетика**

- С.Шатворян* (Армения, Ереван, Энергетический стратегический центр) (МНКСР)
- 6-1-0-0** Оборудование малых и микрогидроэлектростанций
  - 6-2-0-0** Деривационные микрогидроэлектростанции

**7. Нетрадиционные источники  
возобновляемой энергии**

- В.А. Хуснутдинов* (Россия, Москва, РАО «ЕЭС России») (МРК)

А.Л. Гусев (Россия, Саров, НТЦ «ТАТА»)

А.Л. Гусев (Россия, Саров, НТЦ «ТАТА»)

**7-1-0-0** Применение льда в энергетике. Ледяные электростанции

**7-2-0-0** Использование холода вечной мерзлоты для термостатирования бытовых и технических объектов

**7-3-0-0** Физико-химические свойства льда

**7-4-0-0** Теплофизические свойства льда

**7-5-0-0** Термодинамические основы получения и применения льда

**7-6-0-0** Оборудование для исследования льда

**7-7-0-0** Установки для получения льда

**7-8-0-0** Способы и механизмы экстренного вскрытия льда для спасения под водой

**7-9-0-0** Бинарный лед и его применение

**7-10-0-0** Применение льда для создания инженерно-технических и архитектурных сооружений

**7-11-0-0** Динамика и прочность льда. Динамика хрупкого разрушения. Экспериментальные методы динамической механики разрушения льда

**7-12-0-0** Численные и смешанные численно-экспериментальные методы динамической механики разрушения льда

**7-13-0-0** Способы удаления ледяных покрытий на водных объектах

**7-14-0-0** Аккумулирование холода и применение энергии льда

**7-15-0-0** Транспортировка айсбергов и получение пресной воды

**7-16-0-0** Термоградиентная энергетика



## 8. Энергокомплексы на основе ВИЭ



## II. НЕВОЗОБНОВЛЯЕМАЯ ЭНЕРГЕТИКА



### 9. Атомная энергетика

Ю.А. Трутнев, акад. РАН (Россия, Саров, ВНИИЭФ) (ПГР)

А.Я. Столяревский (Россия, Москва, РНЦ «Курчатовский институт») (МРК)

А.Г. Чудин (Россия, Москва, Федеральное Агентство по атомной энергии РФ) (МНКСР)

В.А. Афанасьев (Россия, Саров, РФЯЦ-ВНИИЭФ) (МРК)

М.А. Прелас (США, Колумбия, Университет Миссури) (МРК)

**9-1-0-0** Атомно-водородная энергетика

Н.Н. Пономарев-Степной, акад. РАН (Россия, Москва, РНЦ «Курчатовский институт») (РНС)

А.Я. Столяревский (Россия, Москва, РНЦ «Курчатовский институт») (МРК)

В.Н. Фатеев (Россия, Москва, РНЦ «Курчатовский институт») (МРК)

А.Л. Гусев (Россия, Саров, НТЦ «ТАТА»)

**9-1-1-0** История атомно-водородной энергетики

Н.Н. Пономарев-Степной, акад. РАН (Россия, Москва, РНЦ «Курчатовский институт») (РНС)

А.Я. Столяревский (Россия, Москва, РНЦ «Курчатовский институт») (МРК)

А.Л. Гусев (Россия, Саров, НТЦ «ТАТА»)

**9-1-2-0** Высокотемпературные газовые реакторы (ВТГР) для производства водорода высокотемпературными ( $T = 1000^\circ\text{C}$ ) методами

**9-1-3-0** Быстрые реакторы с натриевым охлаждением (БР) для получения среднетемпературного тепла ( $T = 500^\circ\text{C}$ ), производства синтетического газа и водорода

**9-1-4-0** Быстрые реакторы со свинцовым охлаждением (БРЕСТ) как реакторы следующего поколения для получения высокотемпературного тепла ( $T > 500^\circ\text{C}$ )

Г.Л. Хорасанов (Россия, Обнинск, ФГУП «ГНЦ РФ – ФЭИ им. А.И. Лейпунского») (МРК)

**9-2-0-0** Атомная энергетика для транспортных средств  
М.А. Казарян (Россия, Москва, ФИАН им. П.Н. Лебедева) (МРК)

И.В. Шаманин (Россия, Томск, Томский политехнический университет) (МРК)

**9-2-1-0** Радионуклидные источники тепла

**9-2-2-0** Радионуклидные термоэлектрические генераторы

**9-2-3-0** Термо- и радиационно-стимулированные фазовые превращения в сплавах внедрения (карбидах, нитридах, нитридогидридах, карбогидридах и гидридах переходных металлов, высокотемпературных сверхпроводящих материалах, интерметаллических соединениях)



## 10. Взрывная энергетика

В.Е. Фортвов, акад. РАН (Россия, Москва, Институт теплофизики экстремальных состояний Объединенного института высоких температур РАН) (РНС)

А.Л. Михайлов (Россия, Саров, ИФВ РФЯЦ-ВНИИЭФ) (МРК)

Н.Н. Гердюков (Россия, Саров, ИФВ РФЯЦ-ВНИИЭФ) (МРК)

А.А. Штерцер (Россия, Новосибирск, ООО «НПП «МАТЕМ»») (МРК)

В.Н. Герман (Россия, Саров, ИФВ РФЯЦ-ВНИИЭФ) (МРК)

**10-1-0-0** Взрывные технологии

**10-2-0-0** Компьютерное моделирование задач взрывной энергетики

М.А. Сырунин (Россия, Саров, ИФВ РФЯЦ-ВНИИЭФ)

**10-2-1-0** Постановки задач взрывной энергетики

**10-2-2-0** Подвижные лагранжево-эйлеровы сетки

**10-3-0-0** Взрывная дейтериевая энергетика

**10-4-0-0** Взрывная энергетика для синтеза новых веществ

**10-4-1-0** Синтез и спекание материалов взрывом

**10-4-2-0** Ударно-волновое спекание материалов

**10-4-3-0** Компьютерное моделирование процессов ударно-волнового спекания материалов

**10-5-0-0** Взрывчатые вещества

**10-6-0-0** Взрывные камеры

А.А. Штерцер (Россия, Новосибирск, ООО «НПП «МАТЕМ»») (МРК)

**10-7-0-0** Экстремальные состояния вещества.

Детонация. Ударные волны

**10-8-0-0** Энергетические материалы и физика детонации

**10-9-0-0** Уравнения состояния и фазовые переходы



## III. ТЕРМОЯДЕРНАЯ ЭНЕРГЕТИКА



### 11. Термоядерная энергетика

В.Н. Лобанов (Россия, Саров, РФЯЦ-ВНИИЭФ) (МРК)

**11-1-0-0** Исследования в области управляемого термоядерного синтеза

**11-2-0-0** Рентгеновский термоядерный синтез

- 11-3-0-0 Пучковый термоядерный синтез  
 11-4-0-0 Инерциальный термоядерный синтез  
 11-5-0-0 Изотопный эффект  
 11-6-0-0 Криогенные тритиевые мишени  
 11-7-0-0 Мишени высокого давления для исследования процессов мюонного катализа ядерных реакций синтеза  
 11-8-0-0 Международный проект термоядерного энергетического реактора ИТЭР  
 11-9-0-0 Радиологическая защита и ядерная безопасность  
 11-10-0-0 Производство радиоизотопов и их применение  
*М.А. Казарян* (Россия, Москва, ФИАН им. Лебедева) (МРК)  
 11-11-0-0 Топливный цикл и экология  
 11-12-0-0 Проектирование, строительство и эксплуатация ядерных исследовательских и энергетических реакторов  
 11-13-0-0 Промышленное производство компонентов и материалов, необходимых для использования в ядерных реакторах и их топливных циклах  
 11-14-0-0 Снятие с эксплуатации, дезактивация и обращение с отходами энергетических реакторов  
 11-15-0-0 Исследования в области технологии производства лазеров и их применения  
 11-16-0-0 Системы ТОКАМАК  
 11-17-0-0 Промежуточные системы с магнитным удержанием



#### IV. ВОДОРОДНАЯ ЭКОНОМИКА



#### 12. Водородная экономика

- Ф. Караасманоглу* (Турция, Стамбул, Стамбульский технический университет) (МРК)  
*З. Сен* (Турция, Стамбул, Стамбульский технический университет) (МРК)  
*А.Л. Гусев* (Россия, Саров, НТЦ «ТАТА»)  
 12-1-0-0 История водородной энергетики  
*Т.Н. Везироглу* (США, Майами, МАВЭ, UNIDO-ICHET) (ПГР)  
*А.Г. Галеев* (Россия, Сергиев Посад, ФГУП «НИИхиммаш») (МРК)  
 12-2-0-0 Безопасность водородной энергетики  
*А.Г. Галеев* (Россия, Сергиев Посад, ФГУП «НИИхиммаш») (МРК)  
*Я. Клеперис* (Латвия, Рига, Университет Латвии) (МРК)  
*Л.Ф. Беловодский* (Россия, Саров, РФЯЦ-ВНИИЭФ) (МНКСП)  
 12-2-1-0 Рекомбинаторы водорода  
*А.Л. Гусев* (Россия, Саров, НТЦ «ТАТА»)  
 12-2-2-0 Системы обдува инертными газами  
 12-2-3-0 Безопасность криогенных систем  
 12-2-4-0 Технологии безопасного использования водорода на борту транспортных средств  
 12-3-0-0 Газоаналитические системы и сенсоры водорода  
*Я. Клеперис* (Латвия, Рига, Университет Латвии) (МРК)  
*А.М. Полянский* (Россия, С.-Петербург, ООО «НПК Электронные пучковые технологии») (МРК)  
*В.М. Арутюнян*, акад. НАН Армении (Армения, Ереван, Ереванский государственный университет) (РНС)  
*Ю. Шунман* (Нидерланды, Делфт, Делфтский технический университет) (МНКСП)  
*Л.И. Трахтенберг* (Россия, Москва, Институт химической физики им. Н.Н. Семенова РАН)  
 12-4-0-0 Хранение водорода  
*Я. Клеперис* (Латвия, Рига, Университет Латвии) (МРК)  
*О.Н. Сривастава* (Индия, Варанаси, Университет Банарас Хинди) (МРК)

- С.М. Алдошин*, акад. РАН (Россия, Черногловка, ИПХФ РАН) (РНС)  
*Б.П. Тарасов* (Россия, Черногловка, ИПХФ РАН) (МРК)  
 12-4-1-0 В углеродных наносистемах  
*О.Н. Ефимов* (Россия, Черногловка, ИПХФ РАН) (МРК)  
*Б.К. Гулта* (Индия, Варанаси, Университет Банарас Хинди) (МРК)  
*А.В. Вахрушев* (Россия, Ижевск, Институт прикладной механики УрО РАН) (МРК)  
 12-4-2-0 В инкапсулированном газообразном состоянии: в микросферах, микрокапиллярах, пенометаллах, цеолитах и других соединениях  
*В.С. Коган* (Украина, Харьков, ХФТИ) (МРК)  
*Е.Ф. Медведев* (Россия, Саров, РФЯЦ-ВНИИЭФ) (МРК)  
*А.Ф. Чабак* (Россия, Москва, Академия перспективных технологий) (МРК)  
 12-4-3-0 В газообразном состоянии под давлением  
*А.С. Коротеев*, акад. РАН (Россия, Москва, ФГУП «Центр Келдыша») (РНС)  
 12-4-3-1 В газообразном состоянии в крупных хранилищах  
 12-4-3-2 В газообразном состоянии в баллонах  
 12-4-4-0 В жидком состоянии  
*А.М. Архаров* (Россия, Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана) (МРК)  
*А.М. Домашенко* (Россия, Балашиха, ОАО «Криогенмаш») (МРК)  
*В.И. Куприянов* (Россия, Балашиха, ОАО «Криогенмаш») (МРК)  
*А.А. Макаров* (Россия, Сергиев Посад, ФГУП «НИИхиммаш») (МРК)  
*Г.Г. Шевяков* (Россия, Балашиха, ОАО «Криогенмаш») (МРК)  
*В.С. Травкин* (США, Лос-Анжелес, Калифорнийский университет) (МРК)  
*В.С. Коган* (Украина, Харьков, ХФТИ) (МРК)  
*И.Ф. Кузьменко* (Россия, Балашиха, ОАО «Криогенмаш») (МНКСП)  
*А.Г. Галеев* (Россия, Сергиев Посад, ФГУП «НИИхиммаш») (МРК)  
 12-4-4-1 В криогенном жидком состоянии в стационарных хранилищах  
 12-4-4-2 В криогенном жидком состоянии на борту транспортных средств  
*Б.А. Соколов* (Россия, Королев, РКК «Энергия» им. С.П. Королева) (МРК)  
 12-4-5-0 В химически связанном состоянии в жидких средах  
 12-4-6-0 В твердофазном связанном состоянии в металлгидридных системах  
*М.Д. Хэмpton* (США, Орландо, Университет Центральной Флориды) (ЗГР)  
*Б.П. Тарасов* (Россия, Черногловка, ИПХФ РАН) (МНКСП)  
*С.П. Габуда* (Россия, Новосибирск, ИНХ СО РАН) (МРК)  
*В.Л. Кожевников* (Россия, Екатеринбург, ИХТТ УрО РАН) (МРК)  
 12-4-7-0 В адсорбированном состоянии на криоадсорбентах  
 12-4-8-0 В комбинированных системах  
 12-4-9-0 Новые способы хранения водорода  
 12-5-0-0 Методы получения водорода  
*И.Ф. Кузьменко* (Россия, Балашиха, ОАО «Криогенмаш») (МНКСП)  
*В. В. Лунин*, акад. РАН (Россия, Москва, МГУ) (РНС)  
 12-5-1-0 Радиолиз  
*М.А. Прелас* (США, Колумбия, Университет Миссури-Колумбия) (МРК)  
 12-5-2-0 Электролиз  
 12-5-3-0 Термохимическое разложение воды  
 12-5-4-0 Разложение аммиака  
*В.А. Кириллов* (Россия, Новосибирск, Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН) (МРК)  
 12-5-5-0 Каталитическая конверсия (риформинг) газообразных и жидких углеводородов  
 12-5-6-0 Неполное окисление углеводородов



**12-5-7-0 Высокотемпературный метод**  
**12-5-8-0 Гидраты**  
*С.П. Габуда* (Россия, Новосибирск, ИНХ СО РАН) (МРК)  
**12-5-9-0 Бортовые конверторные устройства преобразования органических веществ в водород**  
**12-5-10-0 Генерирование водорода на борту в реакции взаимодействия воды с различными металлами (алюминий, магний и т. д.)**

- 12-5-10-1 Механические и электрические способы удаления окисной пленки во время реакции  
 12-5-10-2 Химические способы удаления окисной пленки во время реакции  
 12-5-10-3 Ультразвуковые способы удаления окисной пленки во время реакции  
 12-5-10-4 Способы увеличения удельной поверхности металлов реагентов  
 12-5-10-5 Термические и барические методы интенсификации реакции генерации водорода  
 12-5-10-6 Устройства для генерации водорода в реакции взаимодействия воды и металлов для бортового применения  
 12-5-10-7 Устройства для генерации водорода в реакции взаимодействия воды и металлов для бытового применения  
 12-5-10-8 Устройства для генерации водорода в реакции взаимодействия воды и металлов для промышленной энергетики  
 12-5-10-9 Физико-математические модели описания процессов генерации водорода  
 12-5-10-10 Перспективные направления развития метода для воплощения его на борту транспортных средств

**12-5-11-0 Получение водорода из глубинного морского сероводорода**

- И.М. Неклюдов* (Украина, Харьков, Харьковский физико-технический институт) (МРК)  
*Н.А. Азаренков* (Украина, Харьков, Харьковский физико-технический институт) (МРК)  
*В.И. Ткаченко* (Украина, Харьков, Харьковский физико-технический институт) (МРК)  
**12-5-12-0 Новые способы получения водорода**

**12-6-0-0 Транспортирование водорода**

- А.Г. Галеев* (Россия, Сергиев Посад, ФГУП «НИИхиммаш») (МРК)  
**12-6-1-0 Транспортирование жидких криогенных продуктов по трубопроводам**  
*А.М. Домашенко* (Россия, Балашиха, ОАО «Криогенмаш») (МРК)  
**12-6-2-0 Охлаждение магистралей криогенных систем**  
**12-6-3-0 Неуставившиеся процессы в криогенных системах**

**12-7-0-0 Топливные элементы**

- Б.А. Соколов* (Россия, Королев, РКК «Энергия» им. С.П. Королева) (МРК)  
*Ю.Н. Шалимов* (Россия, Воронеж, ВГТУ) (МРК)  
*В.П. Пахомов* (Россия, Москва, РНЦ «Курчатовский институт») (МРК)  
**12-7-1-0 Разработка и производство топливных элементов**  
**12-7-1-1 Мембраны для топливных элементов**  
**12-7-1-2 Компьютерное моделирование функционирования топливных элементов**  
**12-7-2-0 Применение топливных элементов**  
**12-7-2-1 Устройства питания на топливных элементах с конверсией метанола в водород**  
**12-7-3-0 Топливные элементы с предварительной обработкой водородсодержащего топлива**

**12-8-0-0 Конструкционные материалы**

- П.Г. Бережко* (Россия, Саров, РФЯЦ-ВНИИЭФ) (МРК)  
*А.М. Полянский* (Россия, С.-Петербург, ООО «НПК Электронные пучковые технологии») (МРК)  
*В.М. Чертов* (Россия, Москва) (МРК)

- Ю.Н. Шалимов* (Россия, Воронеж, ВГТУ) (МРК)  
*П. Сан-Грегорио* (Франция, Тулон-Вар, Университет Тулон-Вара) (ЗГР)  
*А.Т. Пономаренко* (Россия, Москва, Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН) (МНКСР)  
*Л.В. Сливак* (Россия, Пермь, ПГУ) (МНКСР)  
*А.А. Курдюмов* (Россия, С.-Петербург, СПбГУ) (МНКСР)  
*М.В. Гольцова* (Украина, Донецк, ДонНТУ) (МНКСР)  
*Я.И. Бляшко* (Россия, С.-Пб., АОЗТ «МНТО ИНСЭТ») (МРК)  
*Н.М. Власов* (Россия, Подольск, НИИ НПО «Луч») (МРК)  
*И.И. Федик* (Россия, Подольск, НИИ НПО «Луч») (МРК)

**12-8-1-0 Водород в металлах и сплавах**

- В.А. Гольцов* (Украина, Донецк, ДонНТУ) (МРК)  
*Л.Ф. Гольцова* (Украина, Донецк, ДонНТУ) (МРК)

**12-8-2-0 Водородная деградация**

**12-8-3-0 Системы наводороживания конструкционных материалов**

**12-8-4-0 Статическая и динамическая прочность материалов**

- Н.Н. Гердюков* (Россия, Саров, ИФВ РФЯЦ-ВНИИЭФ) (МРК)  
**12-8-5-0 Газары. Применение газаров**  
**12-8-6-0 Электропечи для термовакuumных процессов. Вакуумные электропечи сопротивления**  
*Э.Н. Мармер* (Россия, Москва, ОАО «ВНИИЭТО») (МРК)  
**12-8-7-0 Новые конструкционные материалы для объектов альтернативной энергетики**

**12-9-0-0 Методы получения синтез-газа**

- А.Я. Столяревский* (Россия, Москва, РНЦ «Курчатовский институт») (МРК)  
**12-9-1-0 Адиабатическая конверсия природного газа**

**12-10-0-0 Транспортные средства и приводы на водородном топливе**

- Т. Гертиг* (Германия, Берлин) (МРК)  
*А.Л. Дмитриев* (Россия, С.-Петербург, РНЦ «Прикладная химия») (МРК)  
*А.М. Домашенко* (Россия, Балашиха, ОАО «Криогенмаш») (МРК)  
*Б.А. Соколов* (Россия, Королев, РКК «Энергия» им. С.П. Королева) (МРК)  
*А.Ю. Раменский* (Россия, Москва, «Аудит-Премьер») (МНКСР)  
*В.С. Соколов* (Россия, С.-Петербург) (МНКСР)

**12-11-0-0 Водородные автозаправочные станции**

**12-12-0-0 Водород для энергообеспечения зданий (водородные мини-электростанции на базе топливных элементов)**



**V. КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ**



**13. Наноструктуры**

- А.М. Липанов*, акад. РАН (Россия, Ижевск, Институт прикладной механики УрО РАН) (МРК)  
*Ю.М. Шульга* (Россия, Черноголовка, ИПХФ РАН) (МРК)  
*В.И. Кодолов* (Россия, Ижевск, Научно-образовательный центр химической физики и мезоскопии УдНЦ УрО РАН) (МНКСР)  
*Ю.С. Нечаев* (Россия, Москва, ФГУП «ГНЦ РФ – Центральный институт черной металлургии им. И.П. Бардина») (МНКСР)  
*Б.П. Тарасов* (Россия, Черноголовка, ИПХФ РАН) (МНКСР)  
*Ю.Д. Третьяков*, акад. РАН (Россия, Москва, ФНМ МГУ) (РНС)  
**13-1-0-0 Наносистемы: синтез, свойства, применение**  
*Е.А. Гудилин* (Россия, Москва, ФНМ МГУ) (РНС)  
*В.В. Куршева* (Россия, Саров, НТЦ «ТАТА»)  
**13-2-0-0 Фуллереновые структуры и углеродные наноматериалы для теплоизоляции**



**13-3-0-0** Фуллереновые структуры и углеродные наноматериалы для сенсоров водорода

*М.В. Воробьева* (Россия, Москва, ГИРЕДМЕТ) (МРК)  
*В.М. Арутюнян*, акад. НАН Армении (Армения, Ереван, Ереванский государственный университет) (РНС)

**13-4-0-0** Компьютерное моделирование синтеза углеродных наноматериалов с заданными свойствами

**13-5-0-0** Углеродные наноструктуры для автотранспорта



## VI. ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АЭЭ



### 14. Термодинамический анализ в альтернативной энергетике

*В.А. Хуснутдинов* (Россия, Москва, РАО «ЕЭС России») (МРК)  
*А.Л. Гусев* (Россия, Саров, НТЦ «ТАТА»)

**14-1-0-0** Термодинамический анализ основных энергетических процессов в альтернативной энергетике

**14-2-0-0** Эксергетический анализ основных энергетических процессов в альтернативной энергетике



## VII. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЭНЕРГЕТИКИ



### 15. Основные проблемы энергетики и альтернативной энергетики

**15-1-0-0** Аккумулирование электрической энергии

**15-2-0-0** Сверхпроводящие материалы. Сверхпроводимость. Сверхпроводимость в энергетике

**15-3-0-0** Новые циклы и схемы термотрансформаторов

**15-4-0-0** Проблемы освещения мегаполисов



### 16. Применение гелия и специальных материалов в транспортных средствах

*Ю.А. Рыжов*, акад. РАН (Россия, Москва, Международный инженерный университет) (РНС)

**16-1-0-0** Дирижабли для перевозки крупногабаритных грузов

**16-2-0-0** Дирижабли для контроля за чрезвычайными ситуациями в мегаполисах: автоинспекция, пожарная безопасность, антитерроризм, наблюдение за техническим и экологическим состоянием промышленных зданий и сооружений. Энергонадзор (контроль тепловых утечек зданий в масштабе города)

**16-3-0-0** Пожарные, нейтрализационные, полицейские дирижабли



### 17. Энергетика и экология

*А.Л. Гусев* (Россия, Саров, НТЦ «ТАТА»)  
*О.Л. Фиговский* (Израиль, Мигдал Ха'Емек, Израильский исследовательский центр «Polymate») (МРК)  
*М.В. Воробьева* (Россия, Москва, ГИРЕДМЕТ) (МРК)

**17-1-0-0** Парниковый эффект

**17-2-0-0** Экологические проблемы мегаполисов

**17-3-0-0** Экология воздушной среды и космического пространства

**17-4-0-0** Экология водных ресурсов

**17-5-0-0** Проблемы вредных выбросов в атмосферу тепловыми электрическими станциями

**17-6-0-0** Проблемы загрязнения почвы традиционными энергоносителями

**17-7-0-0** Экологический туризм и экокурорты

**17-8-0-0** Проблемы переработки промышленных и бытовых отходов



### 18. Энергоэффективные способы и устройства разделения и очистки агрессивных газовых смесей

*А.Л. Гусев* (Россия, Саров, НТЦ «ТАТА»)  
*М.А. Казарян* (Россия, Москва, ФИАН им. П.Н. Лебедева) (МРК)  
*А.А. Боброва* (Россия, Саров, РЯЦ-ВНИИЭФ)



### 19. Экология и энергоресурсы пустынь



### 20. Вода, ее свойства. Водоподготовка, применение



### 21. Вибрация и акустические воздействия энергетических объектов на окружающую среду



## VIII. ЗАКОНОДАТЕЛЬНАЯ БАЗА, СМИ, ПОДДЕРЖКА ГОСУДАРСТВА



### 22. Законодательная база

*П.Б. Шелищ* (Россия, Москва, Государственная Дума РФ, президент НАВЭ) (МНКСР)

**22-1-0-0** Законодательная база альтернативной энергетики в России

**22-2-0-0** Законодательное обеспечение инновационного развития водородной энергетики

**22-3-0-0** Законодательная база альтернативной энергетики стран СНГ

**22-4-0-0** Законодательная база экологии



## IX. КАДРОВОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ И ОБРАЗОВАНИЕ



### 23. Образование и научно-исследовательские центры

*Л.А. Илькаева* (Россия, Саров, РЯЦ-ВНИИЭФ) (МНКСР)  
*Б.Ф. Реутов* (Россия, Москва, Федеральное агентство образования и науки РФ) (МРК)

*А.В. Чувиковский* (Россия, Саров, ИПК РЯЦ-ВНИИЭФ) (МРК)

*Ю.П. Щербак* (Россия, Саров, СарФТИ) (МНКСР)

*Ж.-П. Концен* (Бельгия, Кармановский институт гидрогазодинамики) (МРК)

**23-1-0-0** Образовательная деятельность в области альтернативной энергетики и экологии

**23-1-1-0** Образовательная деятельность в рамках школьной программы.

**23-1-2-0** Образовательная деятельность в вузах

**23-2-0-0** Водородные технопарки, наукограды

**23-3-0-0** Молодежь в науке и технике

**X. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ АЭЭ****24. Экономические аспекты**

- 24-1-0-0** Инвестиционная привлекательность различных стран мира и фирм  
**24-2-0-0** Запасы традиционных энергоресурсов стран экспортеров и мировые запасы  
**24-3-0-0** Государственные научно-технические программы развития водородной энергетики  
**24-4-0-0** Экономический анализ  
*В.А. Хуснутдинов* (Россия, Москва, РАО «ЕЭС России») (МРК)  
**24-5-0-0** Бизнес-планирование

**XI. ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ, ТЕХНОЛОГИИ, УСТРОЙСТВА И ИХ ВНЕДРЕНИЕ****25. Нанотехнологии для альтернативной энергетики**

- А.Л. Гусев* (Россия, Саров, НТЦ «ТАТА»)  
*В.В. Куршева* (Россия, Саров, НТЦ «ТАТА»)  
*О.Н. Ефимов* (Россия, Черноголовка, ИПХФ РАН)  
**25-1-0-0** Нанотехнологии в процессах синтеза оксидов металлов, в производстве твердооксидных топливных элементов  
**25-2-0-0** Нанотехнологии в изготовлении клеточных каркасов для медицинских целей  
**25-3-0-0** Радиационно-химические нанотехнологии в производстве новых типов фторполимерных композиционных материалов

**26. Инновационные решения в области энергетики и альтернативной энергетики**

- А.Л. Гусев* (Россия, Саров, НТЦ «ТАТА»)

**27. Информационные технологии****XII. ТРАНСПОРТНЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА****28. Криогенные и пневматические транспортные средства**

- А.Л. Гусев* (Россия, Саров, НТЦ «ТАТА»)  
**28-1-0-0** Криогенный азотный транспорт  
**28-2-0-0** Автомобили на инертных газах для опасных объектов (пожарные, служебные аэропортов, складов горючесмазочных материалов, для взрывоопасных химических производств и др.)  
**28-3-0-0** Пневматические транспортные средства

**29. Бортовые аккумуляторы**

- 29-1-0-0** Тепловые аккумуляторы энергии  
*А.Л. Гусев* (Россия, Саров, НТЦ «ТАТА»)  
**29-1-1-0** Температура выше 273 К  
**29-1-2-0** Температура ниже 273 К  
**29-1-3-0** Температура ниже 77 К

- 29-2-0-0** Маховичные аккумуляторы энергии  
**29-3-0-0** Электрические аккумуляторы энергии  
**29-4-0-0** Пружинные аккумуляторы энергии  
**29-5-0-0** Пневматические аккумуляторы энергии  
**29-6-0-0** Химические аккумуляторы энергии

**30. Мультирежимные транспортные средства**

- А.Л. Гусев* (Россия, Саров, НТЦ «ТАТА»)  
*О.Б. Баклицкая* (Россия, Саров, НТЦ «ТАТА»)  
*М.А. Казарян* (Россия, Саров, НТЦ «ТАТА»)

**31. Системы внешней и бортовой рекуперации энергии транспортных средств**

- А.Л. Гусев* (Россия, Саров, НТЦ «ТАТА»)

**32. Литий-ионные источники тока и суперконденсаторы****XIII. ДОБЫЧА ПРИРОДНЫХ ИСКОПАЕМЫХ****33. Ювенильный водород в процессах геотектоники и геохимии**

- С.В. Дигонский* (Россия, Екатеринбург, ФГУП «Урангеолого-разведка») (МРК)  
*В.Л. Сывороткин* (Россия, Москва, МГУ им. М.В. Ломоносова) (МРК)  
**33-1-0-0** Роль водорода в химическом строении мира-здания  
**33-2-0-0** Движущие силы развития Земли и планет  
**33-3-0-0** Водород в ядре Земли  
**33-4-0-0** Геология и геохимия природных газов зон глубинных разломов  
**33-5-0-0** Транспорт ювенильного водорода через толщу Земли и формирование электроразряженных зон  
**33-6-0-0** Природный синтез углеродистых веществ  
**33-7-0-0** Глубинная дегазация Земли, глобальные катастрофы и аномальные явления

**XIV. КАТАЛИЗ В АЭЭ****34. Катализ**

- З.Р. Исмагилов* (Россия, Новосибирск, Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН) (МРК)  
*С.М. Алдошин*, акад. РАН (Россия, ИПХФ РАН, Черноголовка) (РНС)  
*В.Н. Пармон*, акад. РАН (Россия, Новосибирск, Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН) (РНС)  
*В.А. Кириллов* (Россия, Новосибирск, Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН) (МРК)  
*О.Н. Ефимов* (Россия, Черноголовка, ИПХФ РАН) (МРК)  
*Н.Н. Вершинин* (Россия, ИПХФ РАН, Черноголовка)  
**34-1-0-0** Каталитические методы синтеза альтернативного топлива  
**34-2-0-0** Катализ в совмещенных схемах «производство энергии и получение полезных продуктов из природного газа»

34-3-0-0 Катализ в генерации рабочего тела в газотурбинных установках  
 34-4-0-0 Катализ в топливных элементах  
 34-5-0-0 Катализ в процессах получения синтез-газов и водорода  
 34-6-0-0 Каталитические методы очистки водорода  
 34-7-0-0 Катализ в очистке промышленных газовых выбросов энергетических систем  
 34-8-0-0 Катализ в системах очистки технических вод  
 34-9-0-0 Фотокаталитические и электрокаталитические методы получения водорода  
 34-10-0-0 Разработка и исследование свойств материалов для формирования каталитических слоев в топливных элементах  
 34-11-0-0 О механизмах каталитического действия. Влияние природы металлов и степени их окисления на каталитическую активность  
 34-12-0-0 Наноконпозиты для применения в качестве катализаторов. Влияние размерного фактора на каталитическую активность  
 34-13-0-0 Альтернативные катализаторы без применения платины  
 34-14-0-0 Проблемы отравления катализаторов  
 34-15-0-0 Носители катализаторов: дизайн, синтез, свойства  
 А.Я. Вуль (Россия, С.-Пб., ФТИ им. Иоффе )  
 34-16-0-0 Каталитические слои для топливных элементов в планарном исполнении  
 34-17-0-0 Золь-гель метод для получения катализаторов и носителей катализаторов  
 34-18-0-0 Каталитическая конверсия топлив и мембранные технологии в процессах производства водородсодержащих топливных композиций и особо чистого водорода



## XV. ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ



### 35. Энергосберегающие технологии, системы, материалы и приборы

А.Л. Гусев (Россия, Саров, НТЦ «ТАТА»)



## XVI. ПРОБЛЕМЫ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА



### 36. Проблемы нефтегазовой и угольной промышленности

А.Л. Гусев (Россия, Саров, НТЦ «ТАТА»)

36-1-0-0 Постановка задач для ученых и инженеров с целью формулировки ТЗ для НИР и НИОКР с учетом экологического аспекта.



### 37. Нефтегазовые трубопроводы и экология окружающей среды



## XVII. ОПТИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ И УСТРОЙСТВА



## 38. Оптические явления и устройства



## XVIII. ГАЗОТУРБИННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ



## 39. Газотурбинные технологии



## XIX. ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫЕ ПРОИЗВОДСТВА



## XX. ПРОБЛЕМЫ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

40-1-0-0 Экологически чистые технологии изготовления древесных изделий без применения синтетических смол-связующих



## XXI. НАУКИ О ЗЕМЛЕ



## XXII. ИНФОРМАЦИЯ В ОБЛАСТИ АЭЭ



## 41. Информация

А.И. Саликов (Россия, Москва, ДОР ЦНИИАтоминформ) (МНКСР)

Е.М. Тараева (Россия, Москва, Дор ЦНИИАтоминформ) (МНКСР)

Е.А. Гудилин (Россия, Москва, ФНМ МГУ им. М.В. Ломоносова) (РНС)

И.В. Лобанова (Россия, Саров, НТЦ «ТАТА»)

41-1-0-0 Периодические издания

41-2-0-0 Интернет-ресурсы

41-3-0-0 Научные биографии ученых мира

41-4-0-0 Научные фонды, научные проекты

41-5-0-0 Международные научные конференции

41-6-0-0 Рекламные материалы научных организаций, инвестиционных фирм и фирм-производителей

41-7-0-0 Новые научные книги

41-8-0-0 Интеллектуальная собственность

41-9-0-0 Энциклопедия альтернативной энергетики.

Термины и определения

41-10-0-0 Отзывы, письма в редакцию, краткие сообщения

41-11-0-0 Обращения членов редакционного научного совета

41-12-0-0 Энергетические компании

41-13-0-0 Новости Редколлегии

41-14-0-0 Научные организации

41-15-0-0 Новости науки и техники

РНС — Редакционный научный совет; МПК — Международный редакционный комитет;

МНКСР — Международный научно-консультативный совет редакции;

ЭС — Экспертный совет; МСР — Международный совет рецензентов


**I. RENEWABLE ENERGY**

**1. Solar energy**

A. *Steinfeld* (Switzerland, Zurich, ETH-Swiss Federal Institute) (IEB)  
G. I. *Isakov* (Azerbaijan, Baku, Institute of Physics of NAS of Azerbaijan) (DECH)  
I. G. *Khidirov* (Uzbekistan, Tashkent, Institute of Nuclear Physics of NAS of Uzbekistan) (IEB)  
S. *Geruny* (Armenia, Yerevan, Yerevan State University) (IEB)  
S. M. *Raza* (Pakistan, Quetta, University Of Balochistan) (IEB)  
S. Z. *Ilyas* (Pakistan, Quetta, University Of Balochistan) (IEB)  
A. M. *Pendjiev* (Turkmenistan, Ashkhabat-32, Tutkmenian Polytechnic Institute) (IEB)  
V. F. *Gremenok* (Belorussia, Minsk, Joined Institute of Solid State and Semi-conductor Physics) (IEAB)  
V. A. *Butuzov* (Russia, Krasnodar, "Yuzhgeoteplo")

**1-1-0-0 History of solar energy**
**1-2-0-0 Solar-hydrogen energy**

T. N. *Veziroglu* (USA, Miami, IAHE, UNIDO-ICHET) (HECH)

**1-2-1-0 Materials for solar-hydrogen energy**
**1-3-0-0 Solar power plants**
**1-3-1-0 Silicone solar thermal electric plants**
**1-3-2-0 Space solar stations**
**1-3-3-0 Photoelectric cell**
**1-3-4-0 Photovoltaic effect in semiconductor structures.**
**Photoelectric modules**
**1-4-0-0 Ground solar stations**
**1-4-1-0 Solar collectors**
**1-5-0-0 Solar cities**
**1-5-1-0 Solar buildings**
**1-5-2-0 Solar refrigerators**
**1-5-3-0 Solar water-lifting systems**
**1-5-4-0 Solar energy units**
**1-6-0-0 Solar transport**
**1-7-0-0 Solar radiation concentrators**

**2. Wind energy**

I. Z. *Boguslavskiy* (Russia, Moscow, DBREPE RAS) (IEB)  
V. L. *Okulov* (Russia, Novosibirsk, SB RAS)  
G. A. M. *van Kuik* (Netherlands, Delft, Wind Energy Research Institute)

**2-1-0-0 Wind Energy and Architecture**
**2-2-0-0 Wind Energy and Ecology**
**2-3-0-0 Unique Wind Energy Solutions**
**2-4-0-0 Sail-Driven Wind Energy**
**2-5-0-0 Hybrid Wind Turbines**
**2-6-0-0 History of Wind Energy**
**2-7-0-0 Combined Wind and Hydrogen Energy**
**2-8-0-0 Electric Power Generators for Wind Energy**
**2-9-0-0 New Designs of Vertical-Axis Wind Turbines**
**2-10-0-0 Horizontal-Axis Wind Turbines**
**2-11-0-0 Savonius Vertical-Axis Wind turbines**
**2-12-0-0 Darrieus Vertical-Axis Wind Turbines**
**2-13-0-0 Combined Wind and Solar Power Plants**
**2-14-0-0 Future of Wind Energy**
**2-15-0-0 Balloon-Based Wind Energy**
**2-16-0-0 Wind Energy Materials**
**2-17-0-0 Computer Simulations of the Time Profile of Dynamic Wind Velocity Component**
**2-18-0-0 Integrated Modeling of Vertical-Axis Wind Turbines**
**2-19-0-0 Energy Conversion in Wind Turbines**
**2-20-0-0 Wind Energy Applications. Engineering, Economy, Ecology**

**3. Marine hydroenergetics**
**3-1-0-0 History of energy of tides**

A. L. *Gusev* (Russia, Sarov, STC "TATA")

**3-2-0-0 Sea waves energy**

S. P. *Kapitza* (Russia, Moscow, IPP RAS)

**3-3-0-0 Sea tide energy**

**4. Geothermal energy**

V. A. *Butuzov* (Russia, Krasnodar, "Yuzhgeoteplo")

**4-1-0-0 History of geothermal energy**
**4-2-0-0 Basic research into geothermal energy**
**4-3-0-0 Problems of geothermal energy assimilation**
**4-4-0-0 Role of modeling and monitoring in geothermal energy assimilation. Appraisal of geothermal resources**
**4-5-0-0 Geothermal plants**
**4-5-1-0 Geothermal power plants**
**4-5-2-0 Geothermal heat plants**
**4-6-0-0 Efficiency and reliability of geothermal heat and power plants. Major ways to improve the efficiency of geothermal heat and power plants**
**4-7-0-0 Geothermal resources of world countries and prospects of their development**

**5. Energy of biomass**

S. A. *Markov* (USA, Greencastle, DePauw University) (IEB)

A. L. *Gusev* (Russia, Sarov, STC "TATA")

**5-1-0-0 Biogas plants**
**5-2-0-0 Thermochemical gas generators**
**5-3-0-0 Energy of biomass and ecology**

**6. Small hydroenergetics**

S. *Shatvoryan* (Armenia, Yerevan, Energy Strategy Center) (IEB)

**6-1-0-0 Equipment for small and micro hydro-power plants (HPP)**
**6-2-0-0 Derivation micro hydro-power plants**

**7. Unconventional sources of renewed energy**

V. A. *Khusnutdinov* (Russia, Moscow, RAO UES of Russia) (IEB)

A. L. *Gusev* (Russia, Sarov, STC "TATA")

**7-1-0-0 Application of ice in energy. Glacial power stations**
**7-2-0-0 Application of cold of permafrost for thermostatic control of domestic and process structures**
**7-3-0-0 Physical and chemical properties of ice**
**7-4-0-0 Thermal properties of ice**

- 7-5-0-0 Thermodynamic basis for production and application of ice  
 7-6-0-0 Equipment for ice testing  
 7-7-0-0 Facilities for ice production  
 7-8-0-0 Methods and machinery for ice emergent break up for safety depth devices and over-land vehicles undergoing disaster  
 7-9-0-0 Binary ice in science and technique  
 7-10-0-0 Application of ice for construction of engineering and technical, and architecture structures  
 7-11-0-0 Ice dynamics and strength. Embrittlement dynamics. Experimental methods of ice breaking up dynamic mechanics  
 7-12-0-0 Numerical and combined numerical and experimental methods of ice breaking up dynamic mechanics  
 7-13-0-0 Techniques for removing ice from water reservoirs  
 7-14-0-0 Cold storage and application  
 7-15-0-0 Transport of icebergs and production of fresh water  
 7-16-0-0 Thermogradient energy



## 8. RES based power complexes



## II. NONRENEWABLE ENERGY



## 9. Atomic energy

- Yu.A. Trutnev*, Acad. RAS (Russia, Sarov, RFNC-VNIIEF) (HECH)  
*A.Ya. Stolyarevskiy* (Russia, Moscow, RRC "Kurchatov Institute") (IEB)  
*A.G. Chudin* (Russia, Moscow, Federal Agency for Nuclear Energy) (IEAB)  
*V.A. Afanas'ev* (Russia, Sarov, RFNC-VNIIEF) (IEB)  
*M.A. Prelas* (USA, Columbia, University of Missouri) (IEB)  
**9-1-0-0 Atomic-hydrogen energy**  
*N.N. Ponomaryov-Stepnoy*, Acad. RAS (Russia, Moscow, RRC "Kurchatov Institute") (SEB)  
*A.Ya. Stolyarevskiy* (Russia, Moscow, RRC "Kurchatov Institute") (IEB)  
*V.N. Fateev* (Russia, Moscow, RRC "Kurchatov Institute") (IEB)  
*A.L. Gusev* (Russia, Sarov, STC "TATA")  
**9-1-1-0 History of atomic-hydrogen energy**  
*N.N. Ponomaryov-Stepnoy*, Acad. RAS (Russia, Moscow, RRC "Kurchatov Institute") (SEB)  
*A.Ya. Stolyarevskiy* (Russia, Moscow, RRC "Kurchatov Institute") (IEB)  
*A.L. Gusev* (Russia, Sarov, STC "TATA")  
**9-1-2-0 High-temperature gas reactors (HTGR) for hydrogen production via high-temperature processes**  
**9-1-3-0 Fast reactors with sodium cooling (SC) to produce mid-temperature heat, and synthesis gas and hydrogen**  
**9-1-4-0 Fast reactors with lead cooling as reactors of future generation to produce high-temperature heat**  
*G.L. Khorasanov* (Obninsk, SSC of the RF – Institute for Physics and Power Engineering Named After A.I. Leypunsky) (IEB)  
**9-2-0-0 Atomic energy for vehicles**  
*M.A. Kazaryan* (Russia, Moscow, P.N. Lebedev FIAN) (IEB)  
*I.V. Shamanin* (Russia, Tomsk, Tomsk Polytechnical Univ.) (IEB)  
**9-2-1-0 Radionuclide heat sources**  
**9-2-2-0 Radionuclide thermoelectric generators**

- 9-2-3-0 Thermo- and radiation-stimulated phase transformation in alloys incorporated (carbides, nitrides, nitrides-hydrides, carbohydrides and hydrides of transition metals, high-temperature, super-conducting materials, intermetallic composition)**



## 10. Explosion energy

- V.E. Fortov*, Acad. RAS (Russia, Moscow, Institute of thermal physics of extremal state RAS) (SEB)  
*A.L. Mikhailov* (Russia, Sarov, Institute of Experimental Gasdynamics and Physics of Explosion RFNC-VNIIEF) (IEB)  
*N.N. Gerdyukov* (Russia, Sarov, Institute of Experimental Gasdynamics and Physics of Explosion RFNC-VNIIEF) (IEB)  
*A.A. Sterzer* (Russia, Novosibirsk, MATEM Co. Ltd) (IEB)  
*V.N. German* (Russia, Sarov, Institute of Experimental Gasdynamics and Physics of Explosion RFNC-VNIIEF) (IEB)  
**10-1-0-0 Explosion technologies**  
**10-2-0-0 Computer simulation of problems for explosion energy**  
*M.A. Syrunin* (Russia, Sarov, IEB RFNC-VNIIEF)  
**10-2-1-0 Setting up problems for explosion energy**  
**10-2-2-0 Mobile Lagrangian and Euler grids**  
**10-3-0-0 Explosion deuterium energy**  
**10-4-0-0 Explosion energy for syntheses of new materials**  
**10-4-1-0 Materials synthesis and sticking by the explosion**  
**10-4-2-0 Shock-wave sticking**  
**10-4-3-0 Computer modelling of processes of material shock-wave sticking**  
**10-5-0-0 Explosives**  
**10-6-0-0 Blasting chambers**  
*A.A. Sterzer* (Russia, Novosibirsk, MATEM Co. Ltd) (IEB)  
**10-7-0-0 Extremal state of matter. Detonation. Shock waves**  
**10-8-0-0 Energy materials and physics of detonation**  
**10-9-0-0 Equations of the state and phase transition**



## III. THERMONUCLEAR ENERGY



## 11. Thermonuclear energy

- V.N. Lobanov* (Russia, Sarov, RFNC-VNIIEF) (IEB)  
**11-1-0-0 Investigations on the controlled thermonuclear fusion**  
**11-2-0-0 X-ray thermonuclear fusion**  
**11-3-0-0 Beam fusion**  
**11-4-0-0 Inertial fusion**  
**11-5-0-0 Isotope effect**  
**11-6-0-0 Cryogenic tritium targets**  
**11-7-0-0 High-pressure targets designed for research of nuon catalysis processes in nuclear fusion**  
**11-8-0-0 International project of thermonuclear fusion reactor, ITER**  
**11-9-0-0 Radiological protection and nuclear security**  
**11-10-0-0 Production of radioisotopes and application**  
*M.A. Kazaryan* (Russia, Moscow, FIAN Lebedev Institute of Physics of RAS) (IEB)  
**11-11-0-0 Fuel cycle and ecology**  
**11-12-0-0 Design, construction and maintenance of nuclear research and power reactors**

**11-13-0-0 Production of components and materials required for application in nuclear reactors and fuel cycles thereof**

**11-14-0-0 TOKAMAK systems**

**11-15-0-0 Auxiliary magnetocumulative systems**



#### IV. HYDROGEN ECONOMY



### 12. Hydrogen economy

*F. Karaosmanoglu* (Turkey, Istanbul, Istanbul Technical Univ.) (IEB)

*Z. Sen* (Turkey, Istanbul, Istanbul Technical University) (IEB)

*A.L. Gusev* (Russia, Sarov, STC "TATA")

**12-1-0-0 History of hydrogen economy**

*T.N. Veziroglu* (USA, Miami, IAHE, UNIDO-ICHET) (HECH)

*A.G. Galeev* (Russia, Sergiev Posad, JSC "NIIHIMMASH") (IEB)

**12-2-0-0 Safety of hydrogen energy**

*A.G. Galeev* (Russia, Sergiev Posad, JSC "NIIHIMMASH") (IEB)

*J. Kleperis* (Latvia, Riga, University of Latvia) (IEB)

*L.F. Belovodskiy* (Russia, Sarov, RFNC-VNIIEF) (IEAB)

**12-2-1-0 Hydrogen recombinators**

*A.L. Gusev* (Russia, Sarov, STC "TATA")

**12-2-2-0 Systems of inert gas blowing off**

**12-2-3-0 Ensuring of the safe operation of cryogenic systems**

**12-2-4-0 Safe application of hydrogen on board the vehicle**

**12-3-0-0 Gas analytical systems and hydrogen sensors**

*J. Kleperis* (Latvia, Riga, University of Latvia) (IEB)

*A.M. Polyansky* (Russia, S.-Petersburg, "Electronic & Beam Technologies Ltd.") (IEB)

*V.M. Aroutiounian*, Academician NAS of Armenia (Armenia, Yerevan, Yerevan State University) (SEB)

*J. Schoonman* (Netherlands, Delft, Delft University of Technology) (IEAB)

*L.I. Trakhtenberg* (Russia, Moscow, N. N. Semenov Institute of Chemical Physics RAS) (IEB)

**12-4-0-0 Hydrogen storage**

*J. Kleperis* (Latvia, Riga, University of Latvia) (IEB)

*O.N. Srivastava* (India, Varanasi, Banaras Hindu University) (IEB)

*S.M. Aldoshin*, Acad. RAS (Russia, Chernogolovka, IPCP RAS) (SEB)

*B.P. Tarasov* (Russia, Chernogolovka, IPCP RAS) (IEB)

**12-4-1-0 Hydrogen storage in carbon nanosystems**

*O.N. Efimov* (Russia, Chernogolovka, IPCP RAS) (IEB)

*B.K. Gupta* (India, Varanasi, Banaras Hindu University) (IEB)

*A.V. Vakhroushev* (Russia, Izhevsk, Institute of Applied Mechanics of Ural branch of RAS) (IEB)

**12-4-2-0 Hydrogen storage in an incapsulated gaseous state: in microspheres, in foam metals, in zeolites and others**

*V.S. Kogan* (Ukraine, Khar'kov, NSC Kharkov Institute of Physics and Technology) (IEB)

*A.F. Chabak* (Russia, Moscow, Academy of perspective technologies) (IEB)

*E. F. Medvedev* (Russia, Sarov, RFNC-VNIIEF) (IEB)

**12-4-3-0 Hydrogen storage in gaseous state under pressure**

*A.S. Koroteev*, Academician RAS (Russia, Moscow, Keldysh Research Center) (SEB)

**12-4-3-1 Hydrogen storage in gaseous state in large reservoirs**

**12-4-3-2 Hydrogen storage in gaseous state in tank**

**12-4-4-0 Hydrogen storage in liquid state**

*A.M. Arkharov* (Russia, Moscow, Bauman Moscow State Technical University) (IEB)

*A.M. Domashenko* (Russia, Balashikha, "Cryogenmash") (IEB)

*V.I. Kupriyanov* (Russia, Balashikha, JSC "Cryogenmash") (IEB)

*A.A. Makarov* (Russia, Sergiev Posad, JSC "NIIHIMMASH") (IEB)

*G.G. Shevyakov* (Russia, Balashikha, JSC "Cryogenmash") (IEB)

*V.S. Travkin* (USA, Los Angeles, University of California) (IEB)

*V.S. Kogan* (Ukraine, Khar'kov, NSC Kharkov Institute of Physics and Technology) (IEB)

*I.F. Kuz'menko* (Russia, Balashikha, JSC "Cryogenmash") (IEAB)

*A.G. Galeev* (Russia, Sergiev Posad, JSC "NIIHIMMASH") (IEB)

**12-4-4-1 Hydrogen storage in cryogenic liquid state in large reservoirs**

**12-4-4-2 Hydrogen storage in cryogenic liquid state on board the vehicles**

*B.A. Sokolov* (Russia, Korolyov, S.P. Korolyov Energia RSC) (IEB)

**12-4-5-0 Hydrogen storage in chemically-bonded state in liquid media**

**12-4-6-0 Hydrogen storage in solid phase state in metal hydride systems**

*M.D. Hampton* (USA, Orlando, Univ. of Central Florida) (DECH)

*B.P. Tarasov* (Russia, Chernogolovka, IPCP RAS) (IEB)

*S.P. Gabuda* (Russia, Novosibirsk, IIC SO RAS) (IEB)

*V.L. Kozhevnikov* (Russia, Ekaterinburg, ISSC Ural Branch of RAS) (IEB)

**12-4-7-0 Hydrogen storage in combined systems**

**12-4-8-0 Hydrogen storage in adsorbed state in cryogenic adsorbents**

**12-4-9-0 Novel methods of hydrogen storage**

**12-5-0-0 Hydrogen production methods**

*I.F. Kuz'menko* (Russia, Balashikha, JSC "Cryogenmash") (IEAB)

*V.V. Lunin*, Acad. RAS (Russia, Moscow, M.V. Lomonosov MSU)

**12-5-1-0 Radiolysis**

*M.A. Prelas* (USA, Columbia, University of Missouri-Columbia) (IEB)

**12-5-2-0 Electrolysis**

**12-5-3-0 Hydrogen production via thermochemical dissociation of water**

**12-5-4-0 Hydrogen production by ammonia decomposition**

*V.A. Kirillov* (Russia, Novosibirsk, Boreskov Institute of Catalysis) (IEB)

**12-5-5-0 Method of catalytic conversion (reforming) of gaseous and liquid hydrocarbons**

**12-5-6-0 Hydrogen production by partial oxidation of hydrocarbons**

**12-5-7-0 High-temperature process for hydrogen production**

**12-5-8-0 Hydrates**

*S.P. Gabuda* (Russia, Novosibirsk, IIC SO RAS) (IEB)

**12-5-9-0 Hydrogen production on board of the vehicle from organic fuels**

**12-5-10-0 On board hydrogen production via reaction of interaction of water and metals (aluminium, magnesium etc.)**

**12-5-10-1 Mechanic and electric methods of removal of oxide layer during reaction**

**12-5-10-2 Chemical methods of removal of oxide layer during reaction**

**12-5-10-3 Ultrasonic methods of removal of oxide layer during reaction**

**12-5-10-4 Methods of increase of specific surface of metals**

**1-5-10-5 Thermal and pressure methods of intensification of hydrogen production**

**12-5-10-6 Devices for on board hydrogen production via reaction of interaction of water and metals**

**12-5-10-7 Devices for hydrogen production via reaction of interaction of water and metals for domestic applications**

**12-5-10-8 Devices for hydrogen production via reaction of interaction of water and metals for commercial applications**

**12-5-10-9 Physico-mathematical model of processes of hydrogen production**

**12-5-10-10 Novel lines of development of method for on-board application**

**12-5-11-0 Hydrogen production from deep-sea hydrogen sulphide**



*I.M. Neklyudov* (Ukraine, Khar'kov, Khar'kov Physical Technical Institute) (IEB)  
*N.A. Azarenkov* (Ukraine, Khar'kov, Khar'kov Physical Technical Institute) (IEB)  
*V.I. Tkachenko* (Ukraine, Khar'kov, Khar'kov Physical Technical Institute) (IEB)

#### 12-5-12-0 Novel hydrogen production methods

#### 12-6-0-0 Hydrogen transport

*A.G. Galeev* (Russia, Sergiev Posad, JSC "NIIHMMASH") (IEB)

#### 12-6-1-0 Transport of liquid cryogenic products by pipelines

*A.M. Domashenko* (Russia, Balashikha, JSC "Cryogenmash") (IEB)

#### 12-6-2-0 Cooling of cryogenic system mains

#### 12-6-3-0 Transient processes in cryogenic systems

#### 12-7-0-0 Fuel cells

*B.A. Sokolov* (Russia, Korolyov, S.P. Korolyov Energia RSC) (IEB)

*Yu.N. Shalimov* (Russia, Voronezh, VSTU) (IEB)

*V.P. Pakhomov* (Russia, Moscow, RRC "Kurchatov Institute") (IEB)

#### 12-7-1-0 Research and production of fuel cells

##### 12-7-1-1 Membranes for fuel cells

##### 12-7-1-2 Computer simulation of fuel cell operation

#### 12-7-2-0 Fuel cells application

*12-7-2-1 Power supply on fuel cells with methanol conversion for portable devices*

#### 12-7-3-0 Fuel cells with hydrogenous fuel pre-processing

#### 12-8-0-0 Structural materials

*P.G. Berezhenko* (Russia, Sarov, RFNC-VNIIEF) (IEB)

*A.M. Polyansky* (Russia, S.-Petersburg, "Electronic & Beam Technologies Ltd.") (IEB)

*V.M. Chertov* (Russia, Moscow) (IEB)

*Yu.N. Shalimov* (Russia, Voronezh, VSTU) (IEB)

*P.Saint-Gregoire* (France, University de Toulon et du Var) (DECH)

*F.A. Lewis* (Great Britain, Belfast, The Queen's University of Belfast) (SEB)

*A.T. Ponomarenko* (Russia, Moscow, Enikolopov Institute of Synthetic Polymer Materials of RAS) (IEAB)

*L.V. Spivak* (Russia, Perm', Perm' State University) (IEAB)

*M.V. Gol'tsova* (Ukraine, Donetsk, Donetsk STU) (IEAB)

*N.M. Vlasov* (Russia, Podol'sk, SRI SIA "Luch") (IEB)

*I.I. Fedik* (Russia, Podol'sk, SRI SIA "Luch") (IEB)

#### 12-8-1-0 Hydrogen in metals and alloys

*V.A. Gol'tsov* (Ukraine, Donetsk, DonSTU) (IEB)

*L.F. Gol'tsova* (Ukraine, Donetsk, DonSTU) (IEB)

#### 12-8-2-0 Hydrogen degradation

#### 12-8-3-0 Structural materials hydrogenation systems

#### 12-8-4-0 Static and dynamic strength of structural materials

*N.N. Gerdyukov* (Russia, Sarov, Institute of Experimental Gasdynamics and Physics of Explosion RFNC-VNIIEF) (IEB)

#### 12-8-5-0 Gasars. Application of gasars in marine and air fleet, motor-car construction

#### 12-8-6-0 Electrical furnaces for thermovacuum processes

*E.N. Marmer* (Moscow, VNIIEO)

#### 12-8-7-0 New structural materials for renewable energy structures

#### 12-9-0-0 Synthesis-gas production methods

*A.Ya. Stolyarevskiy* (Russia, Moscow, RRC "Kurchatov Institute") (IEB)

#### 12-9-1-0 Adiabatic conversion of the natural gas

#### 12-10-0-0 Hydrogen fuel vehicles and engines

*T. Gaertig* (Germany, Berlin) (IEB)

*A.L. Dmitriev* (Russia, S.-Petersburg, RSC "Applied Chemistry") (IEB)

*A.M. Domashenko* (Russia, Balashikha, JSC "Cryogenmash") (IEB)

*B.A. Sokolov* (Russia, Korolyov, S.P. Korolyov Energia RSC) (IEB)

*A.Yu. Ramenskiy* (Russia, Moscow, Audit-Premier) (IEAB)

*V.S. Sokolov* (Russia, S.Petersburg) (IEAB)

#### 12-11-0-0 Hydrogen filling stations

#### 12-12-0-0 Hydrogen for providing buildings, structures and houses with energy. Micro hydrogen power plants based on fuel cells



## V. STRUCTURAL MATERIALS



### 13. Nanostructures

*A.M. Lipanov*, Acad. RAS (Russia, Izhevsk, Institute of Applied Mechanics UB RAS) (IEB)

*Yu.M. Shul'ga* (Russia, Chernogolovka, JSC "Cryogenmash") (IEB)

*V.I. Kodolov* (Russia, Izhevsk, BRHE Centre of Chemical Physics and Mesoscopy) (IEAB)

*Yu.S. Nechaev* (Russia, Moscow, Bardin Research Institute of the Ferrous-Metals Industry) (IEAB)

*B.P. Tarasov* (Chernogolovka, IPCP RAS) (IEAB)

*Yu.D. Tretyakov*, Acad. RAS (Russia, Moscow, FMS MSU) (SEB)

#### 13-1-0-0 Nanosystems: synthesis, properties, and application

*E.A. Goodilin*, Member Corresp. RAS (Russia, Moscow, FMS MSU) (SEB)

*V.V. Kyrshcheva* (Russia, Sarov, STC "TATA")

#### 13-2-0-0 Fullerene structures and carbon nanomaterials for heat insulation

#### 13-3-0-0 Fullerene structures and carbon nanomaterials for hydrogen sensors

*M.V. Vorobiova* (Russia, Moscow, GIREDMET) (IEAB)

*V.M. Aroutiounian*, Acad. NAS of Armenia (Armenia, Yerevan, Yerevan State University) (SEB)

#### 13-4-0-0 Computer simulation of synthesis of carbon nanomaterials with specified properties

#### 13-5-0-0 Carbon nanostructures for vehicles



## VI. THERMODYNAMIC BASICS OF AEE



### 14. Thermodynamic analysis in renewable energy

*V.A. Khusnutdinov* (Russia, Moscow, RAO UES of Russia) (IEB)

*A.L. Gusev* (Russia, Sarov, STC "TATA")

#### 14-1-0-0 Thermodynamic analysis of basic energy generation processes in alternative energy

#### 14-2-0-0 Exergetic analysis of basic energy generation processes in alternative energy



## VII. ENVIRONMENTAL ASPECTS OF ENERGY



### 15. Basic problems of energy and renewable energy

#### 15-1-0-0 Electric energy storage

#### 15-2-0-0 Superconductive materials. Superconductivity. Superconductivity of energy

#### 15-3-0-0 New cycles and schemes for thermotransformers

#### 15-4-0-0 Problems of megapolise illumination



**16. Application of helium and special materials in vehicles**

Yu.A. Ryjov, Acad. RAS (Russia, Moscow, International Univ. of Engineering) (SEB)

**16-1-0-0** Airships to transfer large-sized cargoes

**16-2-0-0** Airships to control states of emergency in megapolises: car inspection, fire safety, terrorism combat, technical and ecological state control of industrial buildings and structures. Energy control (heat leak control in buildings on a city's scale)

**16-3-0-0** Fire fighting airships, counteracting, and police airships

**17. Energy and ecology**

O.L. Figovsky (Israel, Israel Research Center Polymate) (IEB)

M.V. Vorobiova (Russia, Moscow, GIREDMET) (IEB)

A.L. Gusev (Russia, Sarov, STC "TATA")

**17-1-0-0** Greenhouse gas effect

**17-2-0-0** Ecological problems of industrial megapolises

**17-3-0-0** Ecology of air atmosphere and space

**17-4-0-0** Ecology of water resources

**17-5-0-0** Problems of unhealthy atmospheric emissions by heat-electric generating plants

**17-6-0-0** Problems of ground pollution by energy carriers

**17-7-0-0** Ecological tourism and ecological resorts

**17-8-0-0** Problems of factory and domestic waste utilization

**18. Energy efficiency methods and facilities for aggressive gas mixture separation and purification**

A.L. Gusev (Russia, Sarov, STC "TATA")

M.A. Kazaryan (Russia, Moscow, P.N. Lebedev FIAN) (IEB)

A.A. Bobrova (Russia, Sarov, RFNC-VNIIEF)

**19. Ecology and power resources of deserts****20. Water, its properties. Water preparation, application****21. Vibration and acoustic effects of energy facilities on the environment****VIII. LEGISLATIVE BASIS, MASS MEDIA, STATE SUPPORT****22. Legislative basis**

P.B. Shelishch (Russia, Moscow, RF State Duma, President of National Association of Hydrogen Energy) (IEAB)

**22-1-0-0** Legislation basis for renewable energy in Russia

**22-2-0-0** Legislation assurance for innovation development of hydrogen energy

**22-3-0-0** Legislation basis for renewable energy in CIS

**22-4-0-0** Legislation basis for ecology

**IX. PERSONNEL MANAGEMENT AND EDUCATION****23. Education and scientific research centres**

B.F. Reutov (Russia, Moscow, Federal Agency for Education and Sciences of RF) (IEB)

A.V. Chuvikovskiy (Russia, Sarov, RFNC-VNIIEF) (IEB)

Yu.P. Shcherbak (Russia, Sarov, Sarov Physicotechnical Institute) (IEB)

J.-P. Contzen (Belgium, von Karman Institute for Fluid Dynamics) (IEB)

**23-1-0-0** Educational activities in the field of alternative energy and ecology

**23-1-1-0** Educational activity within school program

**23-1-2-0** Educational activity in institutes of higher education

**23-2-0-0** Hydrogen trading estates and science and research cities

**23-3-0-0** Young people in alternative energy and ecology science and technology

**X. ECONOMIC ASPECTS OF AEE****24. Economical aspects**

**24-1-0-0** Investment attractiveness of various countries and companies in renewable energy

**24-2-0-0** Resources of conventional energy sources in exporting countries and world resources

**24-3-0-0** National scientific and technological programmes of the development of hydrogen economy

**24-4-0-0** Economical analysis in renewable energy

V.A. Khusnutdinov (Russia, Moscow, RAO UES of Russia) (IEB)

**24-5-0-0** Business-planning in renewable energy

**XI. INNOVATION SOLUTIONS, TECHNOLOGIES, FACILITIES AND THEIR INNOVATION****25. Nanotechnology for renewable energy**

A.L. Gusev (Russia, Sarov, STC "TATA")

V.V. Kursheva (Russia, Sarov, STC "TATA")

O.N. Efimov (Russia, Sarov, STC "TATA")

**25-1-0-0** nanotechnology in the metal oxide synthesis and solid oxide fuel cells production

**25-2-0-0** Nanotechnology in cell framework manufacturing for medical purposes

**25-3-0-0** Radiation-chemical nanotechnology in production of new types fluoropolymer composite materials

**26. Innovative solutions in alternative energy and ecology**

A.L. Gusev (Russia, Sarov, STC "TATA")

**27. Information technologies (IT)****XII. ENVIRONMENTAL VEHICLES****28. Cryogenic and pneumatic vehicles**

A.L. Gusev (Russia, Sarov, STC "TATA")

**28-1-0-0 Cryogenic nitrogen transport**

**28-2-0-0 Inert gas-based cryogenic vehicles for hazardous structures: fire engines, air port auxiliary vehicles, fuel and lubricant storage, vehicles in dangerously explosive chemical production**

**28-3-0-0 Pneumatic vehicles****29. On-board energy accumulators****29-1-0-0 Thermal energy accumulators**

A.L. Gusev (Russia, Sarov, STC "TATA")

**29-1-1-0 Temperature above 273 K****29-1-2-0 Temperature below 273 K****29-1-3-0 Temperature below 77 K****29-2-0-0 Flywheel energy accumulators****29-3-0-0 Electrical energy accumulators****29-4-0-0 Spring energy accumulators****29-5-0-0 Compressed-air energy accumulators****29-6-0-0 Chemical energy accumulators****30. Multy mode vehicles**

A.L. Gusev (Russia, Sarov, STC "TATA")

O.B. Baklitskaya (Russia, Sarov, STC "TATA")

M.A. Kazaryan (Russia, Sarov, STC "TATA")

**31. External and onboard vehicle energy recovery systems**

A.L. Gusev (Russia, Sarov, STC "TATA")

**32. Lithium-ion current sources and supercapacitor****XIII. RECOVERY TECHNIQUES FOR AEE****33. Juvenile hydrogen in geotectonics and geochemistry processes**

S.V. Digonskiy (Russia, Ekaterinburg, FGUP "Urangeo-razvedka") (IEB)

V.L. Syvorotkin (Russia, Moscow, M. V. Lomonosov MSU) (IEB)

**33-1-0-0 Role of hydrogen in chemical composition of the universe****33-2-0-0 Diving forces in the evolution of Earth and planets****33-3-0-0 Hydrogen in the Earth's core****33-4-0-0 Geology and geochemistry of natural gases in deep fault areas****33-5-0-0 Transport of juvenile hydrogen through the Earth stratum and formation of electrically charged zones****33-6-0-0 Natural synthesis of carbon-based substances****33-7-0-0 Deep degasifying of the Earth, global disasters and anomalous phenomena****XIV. CATALYSIS FOR AEE****34. Catalysis for renewable energy**

Z.R. Ismagilov (Russia, Novosibirsk, Boreskov Institute of Catalysis) (IEB)

S.M. Aldoshin, Acad. RAS (Russia, Chernogolovka, IPCP RAS) (SEB)

V.N. Parmon, Acad. RAS (Russia, Novosibirsk, Boreskov Institute of Catalysis of SD RAS) (SEB)

V.A. Kirillov (Russia, Novosibirsk, Boreskov Institute of Catalysis of SD RAS) (IEB)

O.N. Efimov (Russia, Chernogolovka, IPCP RAS) (IEB)

N.N. Vershinin (Russia, Chernogolovka, IPCP RAS)

**34-1-0-0 Catalytic methods for synthesis of alternative fuel****34-2-0-0 Catalysis in combined schemes «energy generation and production of useful products from natural gas»****34-3-0-0 Catalysis in generation of working fluid in gas turbines as an effective alternative flare generation method****34-4-0-0 Catalysis of fuel cells****34-5-0-0 Catalysis in processes of production of synthesis gas and hydrogen****34-6-0-0 Catalytic methods of hydrogen treatment****34-7-0-0 Catalysis in treating of power reactor waste gases****34-8-0-0 Catalysis in process water treatment systems****34-9-0-0 Photocatalytic and electrocatalytic methods for hydrogen production****34-10-0-0 Development and study of material properties to form catalytic layers in fuel cells****34-11-0-0 On mechanism of catalytic action. Effect of metal nature and degree of oxidation thereof on catalytic activity****34-12-0-0 Nanocomposites for application as catalysts. Effect of dimension factor on catalytic activity****34-13-0-0 Alternative catalysts with no platinum****34-14-0-0 Problems of catalyst poisoning****34-15-0-0 Catalyst carriers: design, synthesis, and properties**

A. Ya. Vul' (Russia, St. Petersburg, Ioffe Institute)

**34-16-0-0 Catalytic layers for fuel cells in planar design****34-17-0-0 Sol-gel process for production of catalysts and catalyst carriers****34-18-0-0 Catalytic conversion of fuel and technologies in the process of membrane production of hydrogen fuel compositions and ultra-pure hydrogen****XV. ENERGY SAVING****35. Energy-saving technologies, materials, systems, and instruments**

A.Л. Гусев (Россия, Саров, НТЦ «ТАТА»)



**XVI. PROBLEMS OF OIL-AND-GAS COMPLEX**



**36. Problems of oil, gas, and coal industry**

*А.Л. Гусев (Россия, Саров, НТЦ «ТАТА»)*

**36-1-0-0 Problem definition for scientists and engineers to form a Task Order for research and R&D works taking into account ecological aspect**



**37. Oil and gas pipelines and ecology**



**XVII. OPTICAL PHENOMENA AND FACILITIES**



**38. Optical phenomena and facilities**



**XVIII. GAS-TURBINE TECHNOLOGIES**



**39. Gas-turbine technologies**



**XIX. ENVIRONMENTALLY CONSCIOUS FACTORIES**



**XX. ISSUES OF AGRICULTURE**

**40-1-0-0 Environmental technology manufacturing of wood products without the synthetic resin binder**



**XXI. EARTH SCIENCES**



**XXII. INFORMATION FOR AEE**



**41. Information**

*A.I. Salikov (Russia, Moscow, CNIIATOMINFORM) (IEAB)*  
*E.M. Tararava (Russia, Moscow, CNIIATOMINFORM) (IEAB)*  
*E.A. Goodilin, Member Corresponding RAS (Russia, Moscow, FMS MSU) (SEB)*  
*I.V. Lobanova (Russia, Sarov, STC "TATA")*

- 41-1-0-0 Review of periodicals**
- 41-2-0-0 Review of leading internet-resources**
- 41-3-0-0 Prominent scientists' biographies**
- 41-4-0-0 Scientific funds and scientific projects**
- 41-5-0-0 International scientific conferences**
- 41-6-0-0 Advertising matters of investment companies and manufacturers**
- 41-7-0-0 Review of new scientific books**
- 41-8-0-0 Intellectual property**
- 41-9-0-0 Encyclopedia of renewable energy. Terms and definitions**
- 41-10-0-0 Opinions, letters in publishing office, short articles**
- 41-11-0-0 Messages of members of Scientific editorial board**
- 41-12-0-0 Energetic companies**
- 41-13-00 News of Editorial board**
- 41-14-0-0 Scientific organizations**
- 41-15-0-0 News**



- SEB — Scientific Editorial Board
- IEB — International Editorial Board
- IEAB — International Editorial Advisory Board
- EB — Experts Board
- IRB — International Reviewers Board





# ПОДПИСКА-2015

Международный научный журнал  
«Альтернативная энергетика и экология»

# ISJAEE

**Уважаемые коллеги! Продолжается подписка на второе полугодие 2015 г.**

**Наименование:**

Международный научный журнал  
«Альтернативная энергетика и экология»

Индекс издания: ISSN1608-8298

Периодичность: 2 раза в месяц

Объем издания (страниц): 200–270

Вид рассылки: адресный

Официальный сайт:

<http://isjaee.hydrogen.ru>

Подписка: через редакцию

или по каталогам: Роспечать,

МК-Периодика, Интерпочта и др.

**Уважаемые читатели!**

Вы можете подписаться на Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» на 2015 год, заполнив извещение (форма ПД-4) и перечислив на счет НТЦ «ТАТА» сумму в соответствии с таблицами 1 и 2. Копию корешка извещения, пожалуйста, направьте по адресу:

НТЦ «ТАТА»

607183, Нижегородская обл., г. Саров, а/я 687

Генеральному директору А.Л.Гусеву

Пожалуйста, не забудьте в сопроводительном письме указать почтовый адрес получателя подписки.

Оплата осуществляется перечислением денежной суммы на расчетный счет. Юридическим лицам для получения счета необходимо направить запрос по электронной почте [info@hydrogen.ru](mailto:info@hydrogen.ru) или по факсу (83130) 6-31-07 с указанием реквизитов организации.

Извещение	Форма ПД-4
	<p style="text-align: center;"><b>ООО НТЦ «ТАТА»</b> (наименование получателя платежа)</p> <p style="text-align: center;"><b>5254022656 / 525401001</b> (ИНН получателя платежа)</p> <p>N <b>40702810900000001679</b> (номер счета получателя платежа)</p> <p>В <b>ОАО «АКБ Саровбизнесбанк» г. Саров</b> (наименование банка и банковские реквизиты)</p> <p style="text-align: center;"><b>к/с 30101810200000000721</b></p> <p style="text-align: center;"><b>042204721</b> БИК</p> <p style="text-align: center;">(*наименование платежа)</p> <p>Дата _____ Сумма платежа: _____ руб. ____ коп.</p> <p>Плательщик (подпись) _____</p>
Кассир	Форма ПД-4
Квитанция	<p style="text-align: center;"><b>ООО НТЦ «ТАТА»</b> (наименование получателя платежа)</p> <p style="text-align: center;"><b>5254022656 / 525401001</b> (ИНН получателя платежа)</p> <p>N <b>40702810900000001679</b> (номер счета получателя платежа)</p> <p>В <b>ОАО «АКБ Саровбизнесбанк» г. Саров</b> (наименование банка и банковские реквизиты)</p> <p style="text-align: center;"><b>к/с 30101810200000000721</b></p> <p style="text-align: center;"><b>042204721</b> БИК</p> <p style="text-align: center;">(*наименование платежа)</p> <p>Дата _____ Сумма платежа: _____ руб. ____ коп.</p> <p>Плательщик (подпись) _____</p>
Кассир	

\*Внимание! В графе извещения «Наименование платежа» просьба указать Ф.И.О., почтовый адрес получателя, порядковый номер и год выпуска журнала(ов), например: Иванов И.И., 197198, Санкт-Петербург, пр. Добролюбова, 67-14, № 1-6 за 2004 г., или № 4 за 2002г.





# ПОДПИСКА-2015

Международный научный журнал  
«Альтернативная энергетика и экология»

# ISJAEЕ

Продолжается подписка на «ЗОЛОТУЮ КОЛЛЕКЦИЮ ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ»  
- 185-томник ISJAEЕ

Наименование:  
Международный научный журнал  
«Альтернативная энергетика и экология»  
Индекс издания: ISSN1608-8298  
Периодичность: 2 раза в месяц  
Объем издания (страниц): 200–270  
Вид рассылки: адресный  
Официальный сайт:  
<http://isjaee.hydrogen.ru>  
Подписка: через редакцию  
или по каталогам: Роспечать,  
МК-Периодика, Интерпочта и др.

### Уважаемые читатели!

Вы можете подписаться на «Золотую коллекцию», заполнив извещение (форма ПД-4) и перечислив на счет НТЦ «ТАТА» 42 000 руб. Копию корешка извещения, пожалуйста, направьте по адресу:

НТЦ «ТАТА»  
607183, Нижегородская обл., г. Саров, а/я 687  
Генеральному директору А.Л.Гусеву

Пожалуйста, не забудьте в сопроводительном письме указать почтовый адрес получателя подписки.

Оплата осуществляется перечислением денежной суммы на расчетный счет. Юридическим лицам для получения счета необходимо направить запрос по электронной почте [info@hydrogen.ru](mailto:info@hydrogen.ru) или по факсу (83130) 6-31-07 с указанием реквизитов организации.

Извещение	Форма ПД-4
	<p>ООО НТЦ «ТАТА» (наименование получателя платежа)</p> <p>5254022656 / 525401001 (ИНН получателя платежа)</p> <p>N 40702810900000001679 (номер счета получателя платежа)</p> <p>В ОАО «АКБ Саровбизнесбанк» г. Саров (наименование банка и банковские реквизиты)</p> <p>к/с 30101810200000000721</p> <p>042204721 БИК</p> <p>(*наименование платежа)</p> <p>Дата _____ Сумма платежа: 42_000_руб. ____ коп.</p> <p>Плательщик (подпись) _____</p>
Кассир	Форма ПД-4
	<p>ООО НТЦ «ТАТА» (наименование получателя платежа)</p> <p>5254022656 / 525401001 (ИНН получателя платежа)</p> <p>N 40702810900000001679 (номер счета получателя платежа)</p> <p>В ОАО «АКБ Саровбизнесбанк» г. Саров (наименование банка и банковские реквизиты)</p> <p>к/с 30101810200000000721</p> <p>042204721 БИК</p> <p>(*наименование платежа)</p> <p>Дата _____ Сумма платежа: 42_000_руб. ____ коп.</p> <p>Плательщик (подпись) _____</p>
Квитанция	
Кассир	

\*Внимание! В графе извещения «Наименование платежа» просьба указать Ф.И.О., почтовый адрес получателя, «Золотая коллекция», например: Иванов И.И., 197198, Санкт-Петербург, пр. Добролюбова, «Золотая коллекция».



Стоимость подписки для различных категорий подписчиков на 2016 год

Категория подписчиков	Цена, руб.	
	за полугодие	за год
Аспиранты	9000	18000
Пенсионеры	9000	18000
Физические лица	12000	24000
Малые предприятия	14000	28000
Вузы	14000	28000
Научно-исследовательские организации	15000	30000
Российские научные центры	16000	32000
Муниципальные библиотеки	17000	34000
Национальные библиотеки	18000	36000

<p>Информация о плательщике:</p> <p>_____</p> <p>(Ф.И.О., адрес плательщика)</p> <p>_____</p> <p>(ИНН налогоплательщика)</p> <p>N _____</p> <p>(номер лицевого счета (код) плательщика)</p>	
<p>Информация о плательщике:</p> <p>_____</p> <p>(Ф.И.О., адрес плательщика)</p> <p>_____</p> <p>(ИНН налогоплательщика)</p> <p>N _____</p> <p>(номер лицевого счета (код) плательщика)</p>	

**В редакции журнала можно оформить подписку на любой номер, или полугодие, или коллекцию ISJAEE**

*ВНИМАНИЕ! По этой квитанции Вы можете оплатить как годовую подписку, так и отдельные номера нашего журнала за 2002–2013 гг.*





## SUBSCRIPTION-2015

International Scientific Journal for  
Alternative Energy and Ecology

# ISJAEЕ

**Dear Colleagues!** Subscription for the year 2015 is available

**Issue:** International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology (ISJAEЕ)

**ISSN** 1608-8298

**Periodicity:** 2 times per month

**Issue volume (pages):** 200–270

**Distribution:** Address

**Official site:** <http://isjaee.hydrogen.ru>

**Subscription:** via editorial board and catalogue

Table 3

Subscription	Physical person	Juridical person	Member of International Association for Hydrogen energy	Member of Editorial board of ISJAEЕ
Quarter	\$100	\$150	\$90	\$90
Half year	\$200	\$350	\$180	\$180
Annual	\$400	\$700	\$360	\$360

To have an account, juridical persons are to send order by e-mail to [info@hydrogen.ru](mailto:info@hydrogen.ru) or by fax (83130) 6-31-07 mentioning the institution address.

## ORDER FORM



To: Scientific Technical Centre «TATA»  
P. O. Box 687  
Sarov, Nizhnii Novgorod region 607183, Russia  
Phone/Fax: +7 (83130) 6-31-07  
Phone: +7 (83130) 9-74-72  
E-mail: [gusev@hydrogen.ru](mailto:gusev@hydrogen.ru)



**Please, send me** \_\_\_\_\_ copy/copies of “International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology”, ISSN 1608-8298 (\_\_\_\_\_ issues, 20\_\_ year, \_\_\_\_\_ \$ (please, see Table 1), postage included)

### Payments options

Our Bank details:

Beneficiary Name:	STC "Tata" LC INN5254022656
Beneficiary Address:	SAROV, RUSSIA
Beneficiary Tel:	+7 8313063107
Beneficiary Account Number:	ACC 4070284060000001680
Bank name	SAROVBUSINESSBANK
Bank Address:	SAROV, RUSSIA
Bank ABA:	SWIFT: SARORU2SXXX
Intermediary Bank Name:	DEUTSCHE BANK TRUST COMPANY AMERICAS SWIFT: BKTRUS33 METALLINVESTBANK SWIFT: SCBMRUMM
Intermediary Bank Address:	NEW YORK, USA,
Intermediary Bank ABA:	04457374

Details of payment: «International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology»  
Name \_\_\_\_\_

Organization \_\_\_\_\_

Mailing Address \_\_\_\_\_

Number Building \_\_\_\_\_ Street \_\_\_\_\_

City \_\_\_\_\_ State \_\_\_\_\_

Postal code \_\_\_\_\_ Country \_\_\_\_\_

E-mail \_\_\_\_\_ Phone \_\_\_\_\_

Fax \_\_\_\_\_

Signed \_\_\_\_\_ Date \_\_\_\_\_





# SUBSCRIPTION TO

Golden Collection of Hydrogen Energy

# ISJAEЕ

**Dear Colleagues!** Subscription to **Golden Collection of Hydrogen Energy** is now available! The **Golden Collection of Hydrogen Energy** consists of 185 volumes of International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology

**Issue:** International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology (ISJAEЕ)

**ISSN** 1608-8298

**Number of volumes:** 185

**Official site:** <http://isjaee.hydrogen.ru>

**Distribution:** Address

**Subscription:** via editorial board and catalogue Table 4

Order	Physical person	Juridical person	Member of International Association for Hydrogen energy	Member of Editorial board of ISJAEЕ
Golden Collection of Hydrogen Energy	1000 USD	1500 USD	900 USD	900 USD

To have an account, juridical persons are to send order by e-mail to [gusev@hydrogen.ru](mailto:gusev@hydrogen.ru) or by fax (83130) 6-31-07 mentioning the institution address.



## ORDER FORM



**Please, send me Golden Collection of Hydrogen Energy of International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology, ISSN 1608-8298 (160 volumes, \_\_\_\_\_ USD (please, see Table 4), postage included)**

**Payments options**  
I've arranged a bank transfer to:

STC «TATA» Limited  
ACC: 40702840200001001681  
BEN. BANK: SAROVBUSINESSBANK  
SAROV, RUSSIA  
CORR. ACC USD: 30109840300000000142  
CORRESP. BANK: ALFA-BANK,  
MOSCOW, RUSSIA, SWIFT: ALFARUMM  
CORR. ACC USD: 400927098 with «CHASE MANHATTAN BANK», NEW YORK,  
N.Y.10004, USA. SWIFT: CHASUS33  
Details of payment: «Golden Collection of Hydrogen Energy»

Name \_\_\_\_\_

Organization \_\_\_\_\_

Mailing Address \_\_\_\_\_

Number Building \_\_\_\_\_ Street \_\_\_\_\_

City \_\_\_\_\_ State \_\_\_\_\_

Postal code \_\_\_\_\_ Country \_\_\_\_\_

E-mail \_\_\_\_\_ Phone \_\_\_\_\_

Fax \_\_\_\_\_

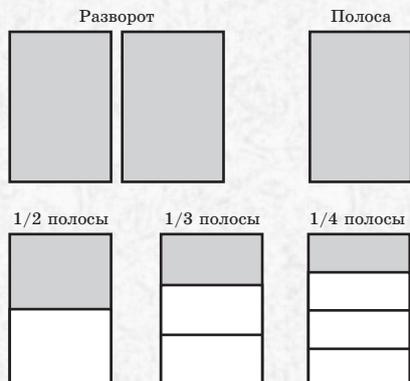
Signed \_\_\_\_\_ Date \_\_\_\_\_



## РЕКЛАМА В МЕЖДУНАРОДНОМ НАУЧНОМ ЖУРНАЛЕ «АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА И ЭКОЛОГИЯ»

Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» приглашает научные институты, организации и промышленные предприятия разместить информацию о конференциях, выставках, разрабатываемой и выпускаемой продукции в области альтернативной энергетики и экологии.

### Площади рекламного модуля



### Требования к исходным рекламным материалам

Все элементы рекламного модуля (иллюстрации, логотипы, текст и др.) предоставляются в отдельных файлах.

#### 1. Текст

Текст набирается гарнитурой Times New Roman, кегль 14, интервал полуторный. Допускается выделение важной информации полужирным начертанием. Формат Microsoft Word for Windows.

Использование OLE-объектов (графики, слайды презентаций, диаграммы в формате Microsoft Excel, результаты вычислений в математических и иных, в том числе собственных программах) в документах не допускается. Такие объекты присылаются в формате исходной программы и дублируются изображением (см. требования к иллюстрациям).

Использование дополнительных шрифтов (например, логотип выполнен специфической гарнитурой) оговаривается дополнительно. В этом случае предоставляется файл, содержащий начертание букв в формате TTF. Использование PS-шрифтов не допускается.

#### 2. Иллюстрации

Все иллюстрации, находящиеся в рекламном модуле, должны предоставляться в отдельных файлах в форматах TIFF или BMP. Не допускается использование многослойных изображений. Черно-белые изображения должны быть в модели Grayscale. Цветные (обложка) — в модели CMYK. Все ч/б растровые изображения должны иметь разрешение 200 dpi, цветные — 250–400 dpi.

Для векторных изображений предпочтительным является использование формата Corel Draw (\*.cdr) до версии 12.0 включительно.

Все встроенные эффекты (линзы, текстурные заливки, тени и т.д.) должны быть переведены в растровое изображение (bitmap). Векторные эффекты (Extrude, Envelope, Contour, Add Perspective, Blend, Distortion, Artistic media) должны быть преобразованы в кривые. Все текстовые объекты должны быть переведены в кривые. Размещение растровых рисунков в документе Corel Draw не допускается.

### Требования к макетам рекламных модулей, изготовленных заказчиком

Макет рекламного модуля должен иметь размер, соответствующий размеру печатного оттиска. Форматы макетов: растровый — TIFF (см. требования), векторный — Corel Draw (см. требования). Использование редактора Microsoft Word для проектирования макетов рекламных модулей не допускается.

Допускается предоставление макета модуля (кроме обложки) в формате Adobe PageMaker версий 6.0, 6.5, 7.0. В этом случае должны предоставляться все связанные элементы, а также все используемые шрифты.

### Стоимость размещения рекламных модулей

Объем рекламного модуля	Технические параметры	Цена публикации в одном номере (руб.)
Обложка (полноцветная)	285x205 мм	300 000
2-я или 3-я страницы обложки (полноцветная)	285x205 мм	25 000
Полный разворот на две полосы*	257x336 мм	10 000
Полная полоса 1/1*	257x168 мм	5 000
1/2 Полосы*	128x168 мм	5 000
1/3 Полосы*	85x168 мм	2 000
1/4 Полосы*	64x168 мм	1 000
СИСТЕМА СКИДОК		
При публикации в 2-3 номерах		10%
При публикации в 4-6 номерах		15%
При публикации в 7-9 номерах		20%
При публикации в 10-12 номерах		50%

Для заказа рекламной площади и получения счета необходимо заполнить форму заявки и отправить ее по адресу [gusev@hydrogen.ru](mailto:gusev@hydrogen.ru) или по факсу (83130) 6-31-07.

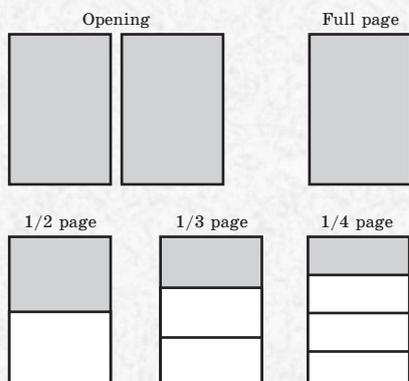
Редакция журнала оставляет за собой право отбора поступивших рекламных объявлений.



## ADVERTISEMENT IN INTERNATIONAL SCIENTIFIC JOURNAL FOR ALTERNATIVE ENERGY AND ECOLOGY

The International scientific journal "Alternative energy and economy" invites scientific institutes, organizations and industrial enterprises to place advertisements on conferences, exhibitions, designed and production products in the field of alternative energy and ecology.

### Spaces for advertisement module



### General information on lay-outs of advertisement modules fabricated by a customer

The lay-out of an advertisement module is to have the dimension in accordance with that of a print. Lay-out formats: raster — TIFF (see General information), vector — Corel Draw (see General information). The use of Microsoft Word editor to design lay-outs of advertisement modules is not allowed.

The module lay-out (except the cover) in the format of 6.0, 6.5, 7.0 Adobe Pagemaker versions is allowed to be provided. In this case, all combined elements, and also all available fonts that are not included in the Microsoft Windows structure are to be provided.

### Information on original advertisements

All elements of the advertisement module (illustrations, symbols, text, etc.) have to be put in individual files.

#### 1. Text

Text is has to be composed by Times New Roman types, font 14, print interval: one and a half. Important information can be printed in italics. Format — Microsoft Word for Windows.

OLE-objects (graphs, presentation slides, diagrams in Microsoft Excel format, results of computations in mathematical and others including own programmes) are not allowed in documents. The objects as such are required to be sent in original programme format, and are copied by illustrations (see General information on illustrations).

The use of additional fonts (for example, a symbol is given by a specific type) is additionally specified. In this case, a file containing letter design in TTF format. PS-fonts is not allowed.

#### 2. Illustrations

All illustrations available in the advertisement module are to be displayed in TIFF or BMP formats. Multilayer displays are not allowed. Black-and white displays are to be used in Grayscale model. Coloured displays (cover) are in CMYK model. All black-and-white raster displays are to be of resolution of 200 dpi, colour — of 250–400 dpi.

The use of Corel Draw (\*.cdr) format to 12 version inclusive is considered to be advantageous for vector display.

All incorporated effects (lenses, texture fillings, shadows, etc.) are to be converted to raster display (bitmap). Vector effects (Extrude, Envelope, Contour, Add Perspective, Blend, Distortion, Artistic media) are to be transformed to curves. All text objects are to be converted to curves. Raster figures are not allowed to be placed in Corel Draw document.

### Advertisement space price

Advertisement module space	Technical parameters	Publication price in one issue (\$US)
1 <sup>st</sup> page of the cover (full-coloured)	160x145 mm	10000
Full opening in two pages	257x336 mm	1000
2 <sup>nd</sup> or 3 <sup>d</sup> pages of the cover (full-coloured)	257x168 mm	300
Full page	128x168 mm	200
1/2 page	85x168 mm	200
1/3 page	64x168 mm	60
1/4 page	64x168 mm	30
Price rebate		
When published in 2-3 issues		5%
When published in 4-6 issues		7%
When published in 7-9 issues		10%
When published in 10-12 issues		15%

To order an advertisement space and make up a bill, please fill in an order form and send it using the following address: gusev@hydrogen.ru or by fax +7 (83130) 6-31-07.

The editorial board reserves the right to choose advertisements entered.





---

607183, Россия, Нижегородская обл., Саров, а/я 683, 687, НТЦ «ТАТА»  
Главному редактору Гусеву Александру Леонидовичу  
Тел.: 8 (83130) 63107, 94472, 90708, 91846; факс: 8 (83130) 63107; 90708  
E-mail: gusev@hydrogen.ru, <http://isjaee.hydrogen.ru>, <http://www.hydrogen.ru>  
Для справок E-mail: [info@hydrogen.ru](mailto:info@hydrogen.ru)

---

To Alexander L. Gusev, Editor-in-Chief  
Scientific Technical Centre "TATA", P.O. B. 683 or 687, Sarov, Nizhni Novgorod region, 607183, Russia  
Phone: +7 (83130) 63107, 94472; fax: +7 (83130) 63107; 90708  
E-mail: [gusev@hydrogen.ru](mailto:gusev@hydrogen.ru), <http://isjaee.hydrogen.ru>, <http://www.hydrogen.ru>  
Information: E-mail: [info@hydrogen.ru](mailto:info@hydrogen.ru)

---

*Международный научный журнал  
«Альтернативная энергетика и экология»*  
Подписано в печать 13.10.2015 г.  
Формат 60×84/8 Тираж 6000 экз.  
Цена договорная

*Журнал включен в каталог «Роспечать» (индекс 10337 «Альтернативная энергетика и экология») и  
Объединенный каталог «Пресса России. Российские  
и зарубежные газеты и журналы» (индекс 41935  
«Альтернативная энергетика и экология»).*

