05-10-96

SANDIA REPORT

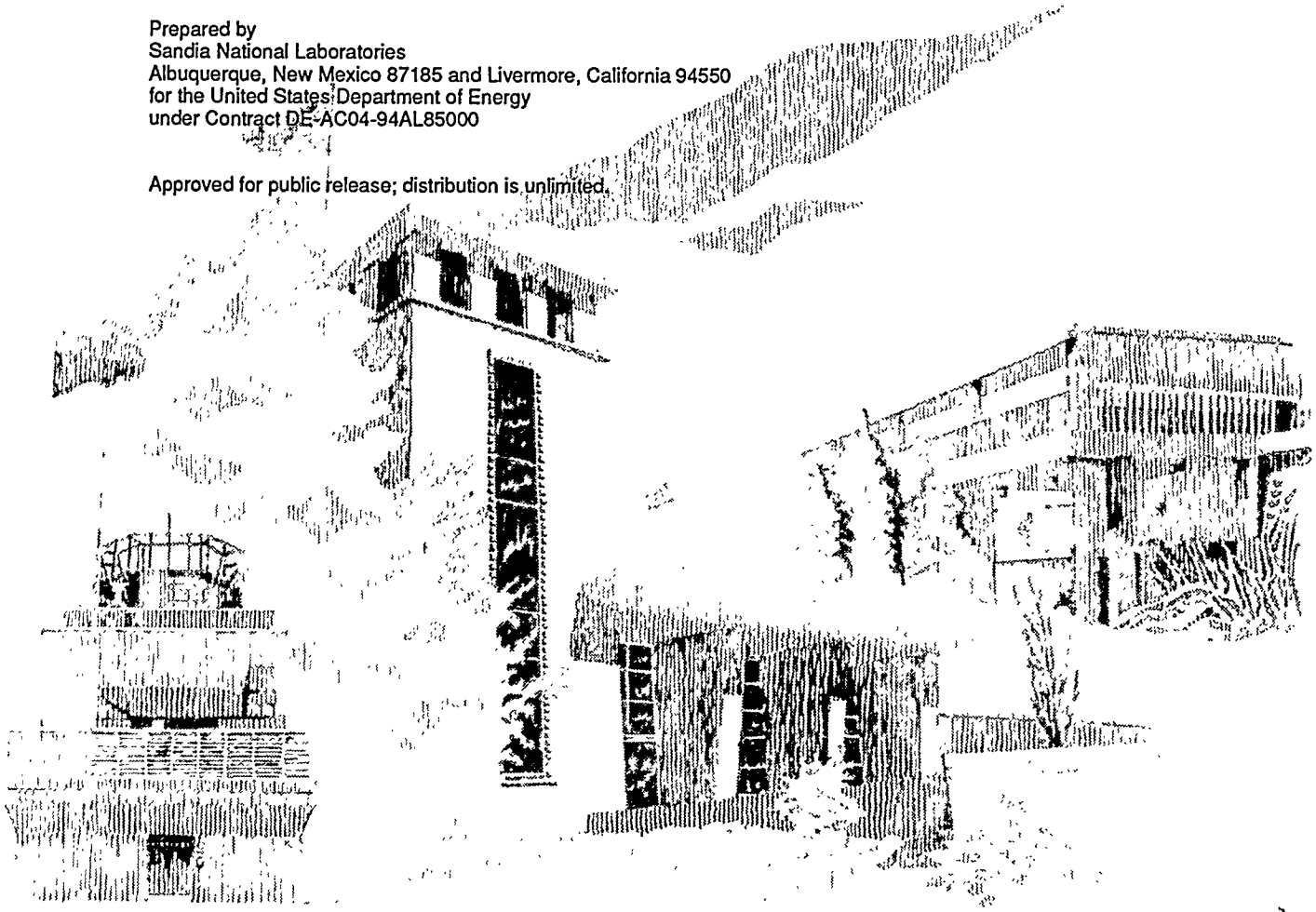
CONF-9509355--

SAND96–0945 • UC–110
Unlimited Release
Printed April 1996

Proceedings – US Russian Workshop on Fuel Cell Technologies

Compiled by Bob Baker and Al Sylwester

Prepared by
Sandia National Laboratories
Albuquerque, New Mexico 87185 and Livermore, California 94550
for the United States Department of Energy
under Contract DE-AC04-94AL85000



Issued by Sandia National Laboratories, operated for the United States Department of Energy by Sandia Corporation.

Printed in the United States of America. This report has been reproduced directly from the best available copy. English and Russian versions were not always available.

Available to DOE and DOE contractors from
Office of Scientific and Technical Information
PO Box 62
Oak Ridge, TN 37831

Prices available from (615) 576-8401, FTS 626-8401

Available to the public from
National Technical Information Service
US Department of Commerce
5285 Port Royal Rd
Springfield, VA 22161

NTIS price codes
Printed copy: A99
Microfiche copy: A01

Inconsistencies between the English language version and the Russian language version:

> In the event of inconsistency between any proceedings documents or papers published herein, the English language meaning shall control.

SAND96–0945
Unlimited Release
Printed April 1996

Distribution
Category UC–110

Proceedings – US Russian Workshop on Fuel Cell Technologies

Bob Baker
Retired–Consultant to SNL
and
Al Sylwester
Technology Integration Department
Sandia National Laboratories
Albuquerque, NM 87185

Abstract

On September 26-28, 1995, Sandia National Laboratories sponsored the first Joint US/Russian Workshop on Fuel Cell Technology at the Marriott Hotel in Albuquerque, New Mexico. This workshop brought together the US and Russian fuel cell communities as represented by users, producers, R&D establishments and government agencies. Customer needs and potential markets in both countries were discussed to establish a customer focus for the workshop. Parellel technical sessions defined research needs and opportunities for collaboration to advance fuel cell technology. A desired outcome of the workshop was the formation of a Russian/American Fuel Cell Consortium to advance fuel cell technology for application in emerging markets in both countries. This consortium is envisioned to involve industry and national labs in both countries. There were approximately 20 attendees each from Russia, Industry, government and the National Laboratories. (*For further information contact Al Sylwester, Sandia National Laboratories, 505-844-8151.*)

Background: The proposal for a Russian/American Fuel Cell Consortium was initiated at the Third Entrepreneurial Workshop on US/Russian Technology Exchange held in Livermore, CA in May 1994. In attendance at this workshop were representatives from the US Fuel Cell industry, US Research Institutes, Russian Institutes

and Ministries and US National Labs. Two outcomes were realized from this workshop. The first was the commitment for a direct relationship between a Russian Institute (VNIEF, Arzamas-16) and a US Fuel Cell Manufacturer (M-C Power). A feasibility study project which will evaluate cooperative Russian-American Fuel Cell Manufacturing has received its initial funding. It should be noted that there are additional ongoing discussions between the Russian Institutes and US Fuel Cell Manufacturers and Research Institutes. The second outcome from this workshop was the identified need for Russian/American Fuel Cell Consortium (RAFCO) to advance fuel cell technologies for mutual benefit. A major focus for RAFCO will be customer-driven, pre-competitive R&D that utilizes existing capabilities of the Russian Institutes and US National Labs. Sandia National Laboratories is hosting the Joint US/Russian Workshop on Fuel Cell Technology to facilitate the formation of RAFCO.

Contents

Contents (continued)

Contents (concluded)

Foreword

Sandia hosted the first Joint US/Russian Workshop on Fuel Cell Technology at the Albuquerque Marriott Hotel September 26-29, 1995. This Fuel Cell Workshop brought together nearly 80 participants from Russia and the US, representing government, industry, and national laboratories. The 18 Russian participants included representatives from several government ministries, including Gazprom, MINATOM, the Russian Ministry of Science, and the Russian Academy of Science, as well as scientists and engineers from the Russian nuclear institutes VNIITF (Chelyabinsk-70) and VNIIEF (Arzamas-16). Participants from the US side included 21 industry personnel and representatives from Department of State, Department of Energy (Energy Efficiency and Renewable Energy, Fossil Energy, and Defense Programs), several national laboratories (Sandia National Laboratories, Los Alamos National Laboratory, Argonne National Laboratory, Pacific Northwest Laboratory), and universities.

Fuel Cells were first developed in the US and in Russia in support of space programs. Fuel cells provide premium power with high energy efficiency and nearly zero emissions and are very attractive for remote power needs. Both countries have substantial government-supported fuel cell research and development (R&D) programs. Fuel cell technology is a national priority in Russia as a source of remote power for Russia's rapidly developing oil and gas industry. MINATOM currently coordiantes fuel cell activities for all the Russian ministries and is involved in the development of a fuel cell industry for Russia. Both VNIIEF and VNIITF have identified fuel cells as a high priority technology and have established substantial programs for fuel cell R&D.

One of the goals of this workshop was to explore further the development of a Russian-American Consortium on Fuel Cell Technology. The concept for this consortium was first proposed by Bob Baker (now retired SNL) and Al Sylwester (SNL Department 6203) in May 1994 at the Third Entrepreneurial Workshop held in Livermore, California. The Albuquerque workshop was designed to involve a broad cross section of the key customers and stakeholders of fuel cell technology in Russia and the US to determine whether the proposed Russian-American Fuel Cell Consortium should exist.

During the three-day workshop, customer needs for fuel cells, the status of fuel cell technology in Russia and the US, emerging market opportunities, and common research needs were identified. Important technical challenges which represent excellent opportunities for precompetitive cooperative R&D, were also identified. The participants agreed that there should be continued Russian/US interactions in fuel cell technology and that a Russian-American Fuel Cell Consortium (RAFCO) should be formed.

At the conclusion of the workshop, a letter of intent (LOI) was prepared and was signed by Sandia and MINATOM. This LOI identified the main goals of a RAFCO as follows:

- to coordinate R&D efforts in fuel cell technology that will result in cost-effective leveraging of the research and financial resources of the participants;
- to seek and identify new and additional funding sources and obtain commitments from these resources;
- to serve as a clearing house to facilitate interactions between the participants;

- to encourage and facilitate nonproliferation safeguards through the redirection of the R&D expertise in Russian and US nuclear labs for peaceful applications.

MINATOM agreed to commit initial financial support to realize the formation of RAFCO, provided that the US would match their level of effort. Sandia agreed to lead continuing efforts to establish RAFCO and to help establish an operating budget of $2-3 million per year. The management, operation, and contracting for the RAFCO will likely benefit from Sandia experience and the existing infrastructure established in the Cooperative Measures Program for contracting with institutes in the former Soviet Union.

Recently, a letter of appreciation from VNIIEF Institute Director V. Belugin was sent to Sandia President Paul Robinson thanking Sandia for hosting the Fuel Cell Workshop and leading the continuing efforts toward forming RAFCO. Separately, a letter from Minister of Atomic Energy V. Mikhailov to Secretary of Energy Hazel O'Leary suggested that the proposed Russian-American Fuel Cell Consortium be a topic for discussion in conjunction with the next Gore-Chernomyrdin Commission Conference.

Sandians from a wide range of organizations, including the Applied Energy Program 6200, the Cooperative Measures Program 5331, Engineered Materials and Processes Center 1800, the Strategic Alliances Department 4501, and Technology Transfer 4200 participated in organizing and executing this successful workshop. Newly purchased simultaneous interpretation equipment was used during this workshop and added substantially to the communication among the participants. The Sandia interpreters and support personnel provided exceptional service, ensuring a successful workshop.

Ladies and Gentlemen, Dear Colleagues,

I would first like to thank the Organizing Committee for the invitation to take part in such an important event like this Workshop.

I would also like to say a few words about the A.N. Frumkin Institute of Electrochemistry of the Russian Academy of Sciences. The Institute was founded by Professor Alexander Naumovich Frumkin in 1958 on the base of the Department of Electrochemistry of the Institute of Physical Chemistry of the Academy of Sciences of the USSR. As B. Lyubovin noted in his speech yesterday, since its foundation our institute has been a participant in all-union programs on fuel cells. I would like to add that Professor A.N. Frumkin was also the first Chairman of the Council on Fuel Cells of the Academy of Sciences of the USSR (1961).

Professor A.N. Frumkin was a great authority. In 1966 he was elected the President of the International Society of Electrochemistry. He founded the journal *Elektrokhimiya* (English title Soviet *Electrochemistry*). The journal is now call the *Russian Journal of Electrochemistry.*

Professor A.N. Frumkin was a member of more than 20 foreign academies of sciences and scientific societies (two of which were in the USA: National Academy of Sciences, and the American Academy of Sciences and Arts) and also received the highest award of the American Chemical Society, the Palladdium Medal.

The 6th International Frumkin Symposium, "Fundamental Aspects of Electrochemistry," dedicated to Frumkin Centenary (1895-1995), was held in Moscow on August 21-25, 1995. Thirty foreign researches took part in this Symposium.

I myself was involved in the decision of scientific problems of fuel cell in the sixties when according to A.N. Frumkin's recommendation, I was performing exchange work in the Prof. J.O'M. Bockris Laboratory of Pennsylvania State University studying the adsorption of organic

substances on metals by the radioactive indicators method with the aim to create electrodes for the fuel cells working on organic fuel.

After the death of A.N. Frumkin, according to his recommendation, I was elected the Director of the Institute of Electrochemistry. Since that time I have maintained interest in the problem of fuel cells.

03.10.95

Background for the 1995 Fuel Cell Workshop

Bob Baker Sandia National Labs—Retired

As you may or may not know, this fuel cell activity was initiated in Moscow in September 1993 in the planning for the March 1994 3rd Entrepreneurial Workshop. The entrepreneurial workshops, sponsored jointly by ACDA and the DOE, are intended to teach entrepreneurial skills to the Russian Nuclear Weapon Institutes. The first two of these entrepreneurial workshops were strictly academic in nature and the third was expected to broaden this scope. As the planning meeting progressed, it became obvious that the Russian customers wanted three things:

1. Less theory and more application.
2. Direct contact with US industry in order to form joint Russian/American ventures.
3. A fuel cell project.

None of the DOE Labs present or represented at the meeting were prepared to present or accept a fuel cell project. Because of the strong Russian interest, I accepted this project for Sandia. I had some skepticism for the success of the project because I knew that the concept for a fuel cell was developed in England in about 1839 and yet, 150 years later, commercialization was not a reality. I returned to the United States and, still skeptical, started to try to develop a fuel cell project. I began talking to Government and Industry fuel cell personnel to determine if fuel cells could be commercialized or were just another thermonuclear power generation like project.

I found that from the industry view point, the lack of fuel cell commercialization was caused by a lack of cost competitiveness with other power sources and an undemonstrated reliability. In addition some solvable technical problems needed to be resolved to achieve economical production. Industry sources assured me that funds for solution of the technical problems and funds for demonstration of reliability would solve these problems. Still skeptical, I continued my investigation. Eventually, I became convinced that fuel cell technology was on the verge of commercialization. I think that if you listen critically to the presentations for the next two days, you will come to the same conclusion.

The problem appeared to be funding. In addition to industry, I needed to talk to funding and using agencies to solicit their participation in the Fuel Cell portion of the workshop.

Why should funding agencies be interested in funding fuel cell development?

In discussions with government agencies I found that their long term interests included:

1. Conservation of fossil fuel supplies.
2. Solutions of environmental problems caused by power production and use.
3. A reliable low cost power source that does not generate nuclear weapon proliferation concerns.

In discussions with fossil fuel producers and utility users, I found their interests to be in understanding and leading changes in fossil fuel use in power generation. Transportation users are vitally interested in reducing environmental pollution.

Because of fuel cells inherent ability to meet these stated governmental needs, industry sees large potential markets particularly in transportation. A power plant market might develop—first overseas, later in the U.S.

Immediately prior to the start of the workshop, I discussed fuel cell development with representatives from several possible funding sources. These included: ACDA, DOE, EPRI, the USIC Industrial Partnering Program, access to Nunn-Luger funds, and access to fossil fuel producer funds. All looked possible given the right circumstance.

The 3rd Entrepreneurial workshop convened with four DOE National Labs, two fuel cell industries, DOE/AL, and EPRI represented. M-C Power and Arzamas-16 quickly found a mutual interest that has resulted in a joint feasibility study. EPRI became interested in the work of the Russian Institutes and has placed R&D contracts with Chelyabinsk-70. These relationships were completed after the workshop ended. An initial concept for a joint Russian/American fuel cell consortium was developed that addressed organization, funding, and implementation issues. The planned mission was:

To facilitate in the development and manufacture of power plants based on fuel cell technology to meet industrial and societal needs especially environmental needs. The consortium would work toward the realization of world-wide market benefits and opportunities in stationary power and transportation applications.

The purpose of this workshop is to re-assess the value of the establishment of such a consortium.

Intentionally Left Blank

Историческая справка о семинаре по топливным элементам 1995 года

Боб Бейкер, Сандийские национальные лаборатории - на пенсии

Как вам, возможно, известно, эта работа по топливным элементам была начата в Москве в марте 1994 года на заседании по планированию Третьего Предпринимательского Семинара. Предпринимательские семинары, совместно финансируемые ACTDA и Министерством энергетики, проводятся с целью обучения российских институтов по ЯО деловым организаторским способностям. Первые из двух проведенных семинаров носили сугубо академический характер и ожидалось, что третий семинар несколько расширит эти рамки. В ходе заседания стало очевидно, что российским заказчикам нужны три вещи:

1. Меньше теории и больше практики.
2. Прямые контакты с промышленностью США для формирования совместных российско-американских предприятий.
3. Проект по топливным элементам.

Ни одна из присутсвующих или представленных на семинаре лабораторий Министерства энергетики не была готова к тому, чтобы выступить с проектом по топливным элементам или принять таковой. Ввиду большого интереса российской стороны к данной тематике, я принял этот проект от лица Сандии. Шансы такого проекта на успех я расценивал с долей скептицизма, поскольку знал, что идея топливного элемента была разработана в Англии в 1839 году, но тем не менее, 150 лет спустя коммерциализация этой идеи так и не стала реальностью. Я вернулся в Соединенные Штаты и, все так же скептически настроеный, начал предпринимать попытки организовать проект по топливным элементам. Я вступил в переговоры с представителями государственных учреждений и промышленности, занимающимися тематикой топливных элементов, чтобы определить, возможно ли коммерциализовать топливные элементы или это будет еще один, подобный "генерированию термоядерной мощности" проект.

Удалось установить, что с точки зрения представителей промышленности, отсутствие коммерциализации топливных элементов объясняется их недостаточной конкурентоспособностью по сравнению с другими источниками энергии, а также непродемонстрированной надежностью. Кроме того, для организации экономически выгодного производства необходимо решить ряд несложных технических задач. Мои источники информации в кругах промышленности заверили меня, что выделение фондов на решение технических задач и фондов на демонстрацию надежности решило бы эти проблемы. Оставаясь скептиком, я продолжил свои исследования. В конце концов, я убедился в том, что технология топливных элементов находится на грани коммерциализации. Думаю, что критически прослушав доклады в течение последующих двух дней, вы придете к тому же заключению.

Как оказалось, проблема заключается в финансировании. Кроме промышленных кругов, мне необходимо было заручиться согласием субсидирующих ведомств и организаций-энергопользователей об участии в части семинара, посвященной топливным элементам.

Почему субсидирующие организации должны быть заинтересованы в финансировании работ по разработке ТЭ?

Из обсуждений с представителями государственных ведомств стало ясно, что их долгосрочные интересы включают в себя:

1. Консервацию запасов ископаемого топлива.
2. Решение экологических проблем, вызванных производством и использованием энергии.
3. Создание надежного, экономически эффективного источника энергии, не представляющего собой опасности с точки зрения распространения ядерного оружия.

Из бесед с производителями ископаемого топлива и пользователями услуг коммерческого энергоснабжения удалось выяснить, что их интересы заключаются в том, чтобы понять и возглавить деятельность по внесению изменений в использование ископаемого топлива для нужд производства энергии. Пользователи транспортных средств жизненно заинтересованы в уменьшении загрязнения окружающей среды.

Поскольку в топливные элементы заложена способность удовлетворить все перечисленные выше государственные требования, промышленность предвидит большой рынок их сбыта, особенно для нужд транспорта. Есть перспективы возникновения рынка энергоустановок - сначала за рубежом, потом в США.

Непосредственно перед началом семинара я провел обсуждения по проблемам ТЭ с представителями нескольких потенциальных источников финансирования. Этими источниками являются: ACTDA, Министерство энергетики, EPRI (Исследовательский институт электроэнергии), Программа промышленного партнерства USIC (Промышленной коалиции США), доступ к фондам Нанна-Лугара и доступ к фондам производителей ископаемого топлива. Все эти варианты возможны при наличии благоприятного стечения обстоятельств.

На третьем Предпринимательском семинаре были представлены четыре национальные лаборатории Министерства энергетики, две отрасли, производящие топливные элементы, Министерство энергетики/AL и EPRI. Комания "M-C Power" и Арзамас-16 быстро нашли область взаимного интереса, что привело к совместной разработке технико-экономического обоснования. EPRI заинтересовался работой российских институтов и заключил договора по НИОКР с Челябинском-70. Эти взаимоотношения были оформлены после окончания семинара. Была разработана первоначальная идея о создании совместного российско-американского консорциума, которая касалась вопросов организации, финансирования и претворения в жизнь. Планируемое назначение консорциума:

Оказывать содействие в разработке и изготовлении энергоустановок на основе технологии топливных элементов с целью удовлетворения промышленных и общественных нужд, в особенности нужд, связанных с охраной окружающей среды. Работа консорциума будет направлена на реализацию преимуществ выведения продукции на мировой рынок и возможностей ее применения для нужд стационарного энергоснабжения и транспорта.

Цель настоящего семинара состоит в повторном анализе ценности создания упомянутого выше консорциума.

Joint US/Russian Workshop on Fuel Cell Technology

Background: The proposal for a Russian/American Fuel Cell Consortium was initiated at the Third Entrepreneurial Workshop on US/Russian Technology Exchange held in Livermore, CA in May 1994. In attendance at this workshop were representatives from the US Fuel Cell industry, US Research Institutes, Russian Institutes and Ministries and US National Labs. Two outcomes were realized from this workshop. The first was the commitment for a direct technology exchange relationship between a Russian Institute (VNIIEF, Arzamas-16) and a US Fuel Cell Manufacturer (MC Power). This joint-venture has received its initial funding. (It should be noted that there are additional ongoing discussions between the Russian Institutes and US Fuel Cell Manufacturers and Research Institutes). The second outcome from this workshop was the identified need for a Russian/American Fuel Cell Consortium (RAFCO) to advance fuel cell technologies for mutual benefit. A major focus for RAFCO will be customer-driven, R&D that utilizes existing capabilities of the Russian Institutes and US National Labs. Sandia National Laboratories is hosting the Joint US/Russian Workshop on Fuel Cell Technology to faciliate the formation of RAFCO.

Consortium Customers: US Industry, US Government Agencies (e.g., DOE, DOC, DOS), Research Institutes (e.g., EPRI, GRI) and Russian Ministries (e.g., Gazprom, MINATOM).

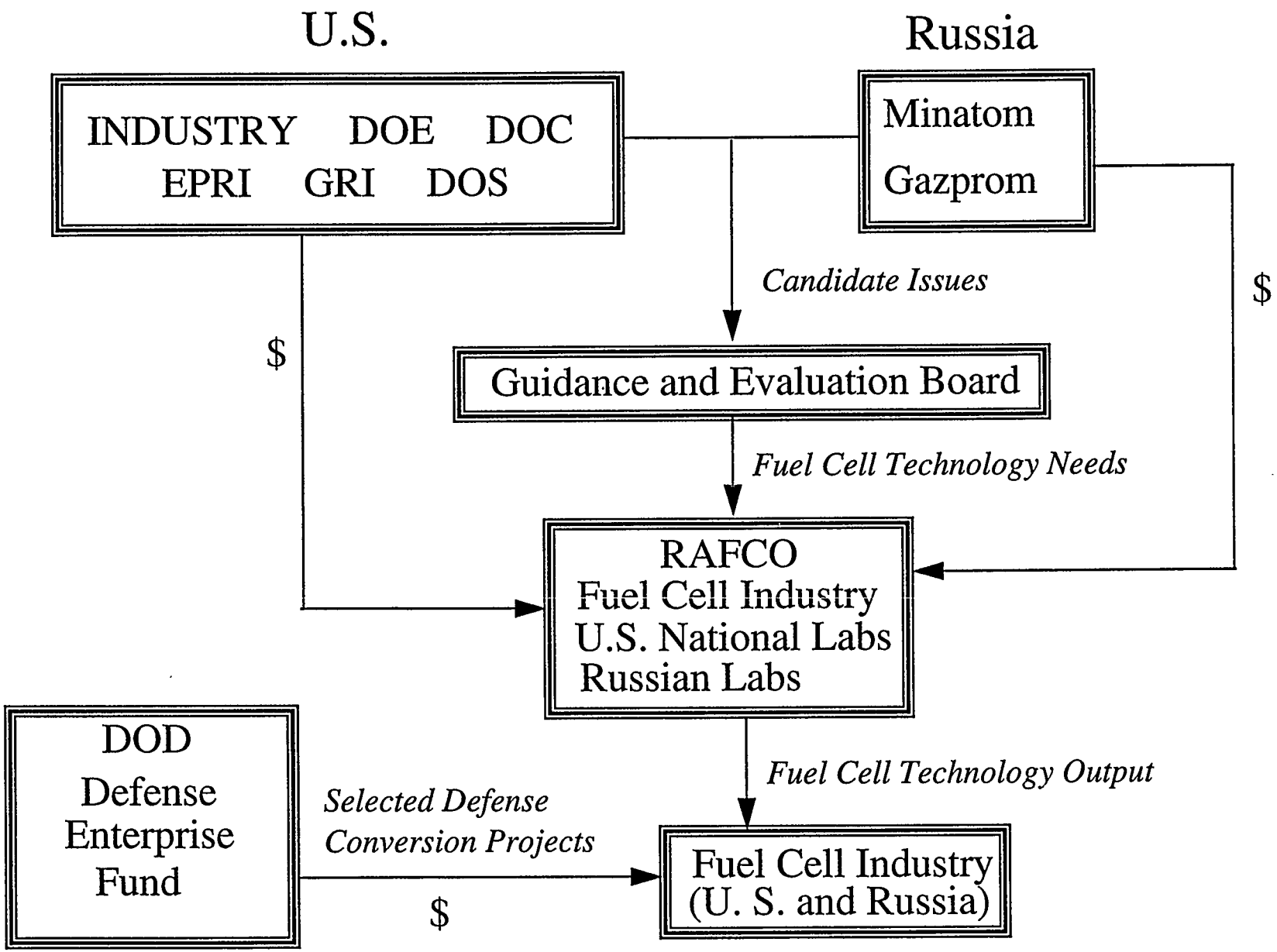
Consortium Purposes: Perform R&D in support of Customer needs in generic fuel cell technologies to ensure their commercialization. Leverage scarce R&D resources to access R&D capabilities at Russian Institutes and US National Labs. Promote Russian/US joint-ventures in fuel cells.

Consortium Members: The initial members of the RAFCO will be the US Fuel Cell Industry, Russian Institutes engaged in fuel cell R&D and the US National Labs. Additional members may join as needed.

Anticipated Benefits: Customers will obtain effective R&D responses to prioritized needs, technology to overcome barriers to fuel cell commercialization and increased leverage for scarce R&D funds. The Fuel Cell Industry will obtain fuel cell R&D and access to emerging markets identified by the consortium. US National Labs and Russian Institutes will obtain funding for enabling R&D on fuel cells which facilitates US and Russian defense conversion.

Mechanisms for Funding: Customers who contribute financial support will form the RAFCO Guidance and Evaluation Board. Priority technology needs will be determined and communicated by the G&E Board to the RAFCO members. RAFCO members will define and propose individual projects consistent with the goals of the consortium and responsive to Customer needs. Projects will be selected by the RAFCO G&E Board. Customers will contribute funding to projects endorsed as responsive to that Customer's needs and consistent with that Customer's missions.

RAFCO PARTICIPANTS



Российско-американский консорциум по топливным элементам (RAFCO)

Историческая справка: Предложение о создании Российско-американского консорциума по топливным элементам было впервые высказано во время проведения 3-его семинара по предпринимательской деятельности ("Школы менеджеров") в Ливерморе в мае 1994 года. В этом семинаре принимали участие представители американской промышленности по производству топливных элементов, американских научно-исследовательских институтов, российских институтов и министерств и американских национальных лабораторий. Этот семинар имел два важных последствия. Во-первых, было достигнуто соглашение о прямом обмене технологией между ВНИИЭФ и американским изготовителем топливных элементов фирмой "Эм-Си Пауэр". Это совместное предприятие в течение ближайших нескольких недель получит исходное финансирование. (Следует отметить, что обсуждения вопросов сотрудничества проходят в настоящее время между российскими институтами и американскими производителями топливных элементов и научно-исследовательскими институтами). Вторым последствием семинара явилась идентификация необходимости создания Российско-американского консорциума по топливным элементам (RAFCO) для того, чтобы достичь прогресса в развитии технологии топливных элементов в целях взаимной выгоды. Консорциум в основном будет заниматься преконкурентной научно-исследовательской работой, руководствуясь нуждами заказчиков и используя существующие возможности российских институтов и американских национальных лабораторий. Сандийские национальные лаборатории находятся в процессе организации и подготовки совместного российско-американского семинара по технологии топливных элементов, одной из целей которого является формирование Консорциума.

Клиенты Консорциума: американская промышленность, правительственные органы США (Министерство энергетики, Министерство торговли, Государственный департамент), научно-исследовательские институты (например, институты исследований электроэнергии и газа) и российские министерства (например, Газпром, Минатом).

Задачи Консорциума: Выполнять научно-исследовательские работы для удовлетворения нужд заказчиков в сфере общих технологий топливных элементов в целях их успешной коммерциализации. Разумно использовать скудные ресурсы на научно-исследовательские работы с тем, чтобы получить доступ к имеющимся в российских институтах и американских лабораториях возможностям проведения научных исследований.

Стимулировать создание российско-американских совместных предприятий по производству топливных элементов.

Члены Консорциума: При создании в Консорциум войдут представители американской промышленности, выпускающей топливные элементы, российские институты, в которых ведутся исследования по топливным элементам, и американские лаборатории. Дополнительные члены могут впоследствии присоединиться.

Предполагаемые выгоды: Заказчики получат результаты научных исследований, проведенных в ответ на высказанные ими нужды и по определенному ими приоритету, а также технологии, которые помогут преодолеть препятствия на пути к коммерциализации топливных элементов. Кроме того, значительно более эффективно будут использоваться явно недостаточные ресурсы на проведение научных исследований. Промышленность, выпускающая топливные элементы, получит результаты научных исследований и доступ к развивающимся рынкам сбыта, идентифицированным Консорциумом. Американские национальные лаборатории и российские институты получат финансирование, которое позволит проведение научно-исследовательских работ, что, в свою очередь, будет содействовать процессу конверсии в обеих странах.

Механизмы финансирования: Клиенты, вносящие денежный вклад в Консорциум, станут членами правления, задающего направления и проводящего оценку деятельности. Нужды индустрии по степени их приоритета будут определены правлением и переданы членам Консорциума. Члены Консорциума определят тематику и предложат индивидуальные проекты, соответствующие целям Консорциума и отвечающие запросам клиентов. Проекты будут отобраны и утверждены правлением Консорциума. Клиенты внесут финансирование на проекты, которые отвечают высказанным ими нуждам и соответствуют их поставленным задачам.

Consortium Decision Process

Marie L. Garcia

Strategic Business Development Consultant
Corporate Planning & Strategic
Business Development Center

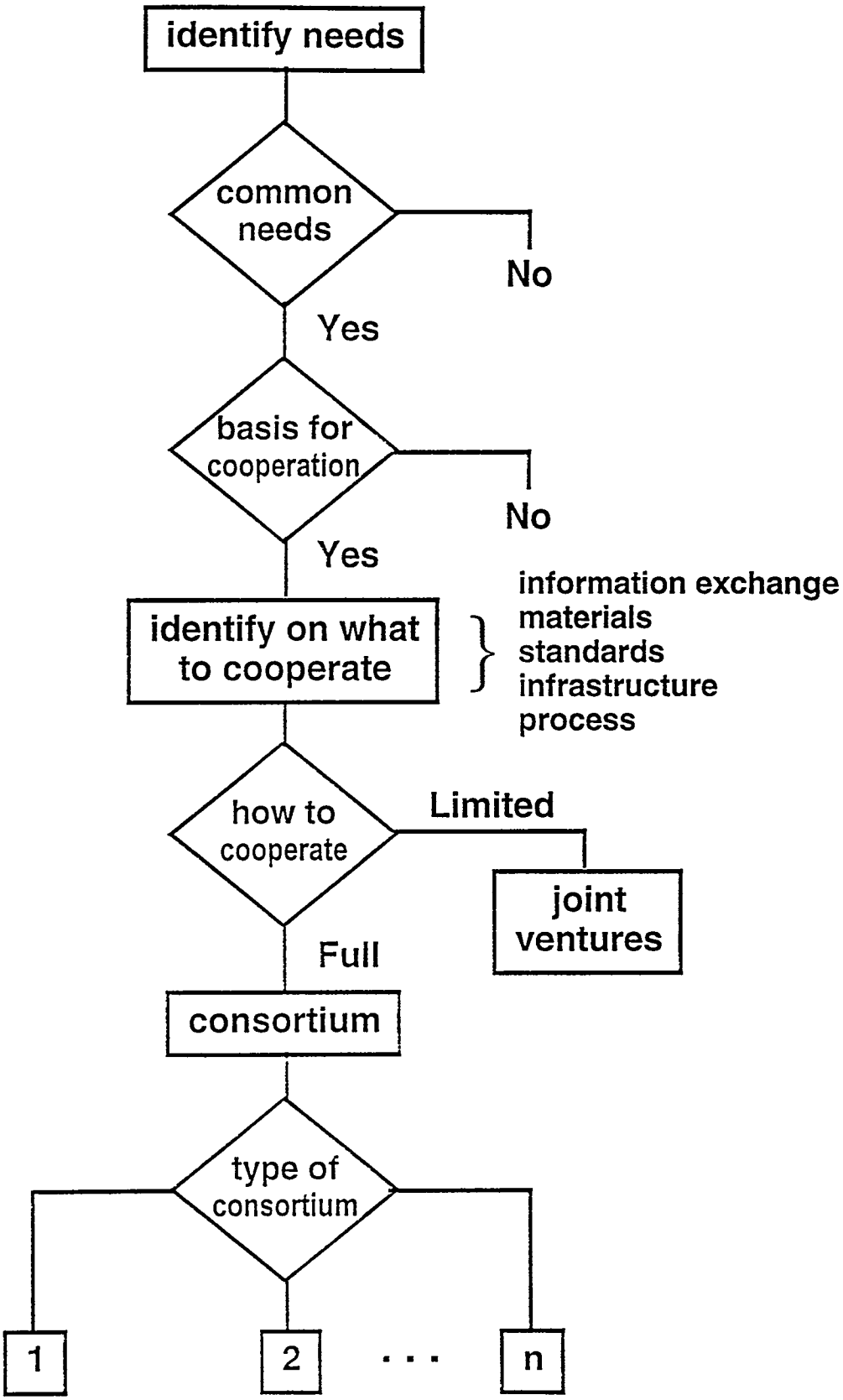
U.S./Russian Fuel Cell Technology Workshop
September 26-28, 1995

Sandia
National
Laboratories

Types of Participants

- Customers
- Funding Agencies
- Industry
- Russian / U. S. Labs

Consortium Decision Process



Partnership 9/95 OHB/MG

Participants' Perspectives

	Customers	Funding Agencies	Industry	Russian/ U.S. Labs
What are the needs?				
What are the common needs?				
On what needs can we cooperate?				
How should we cooperate?				

Partnership 9/95 OHB/MG

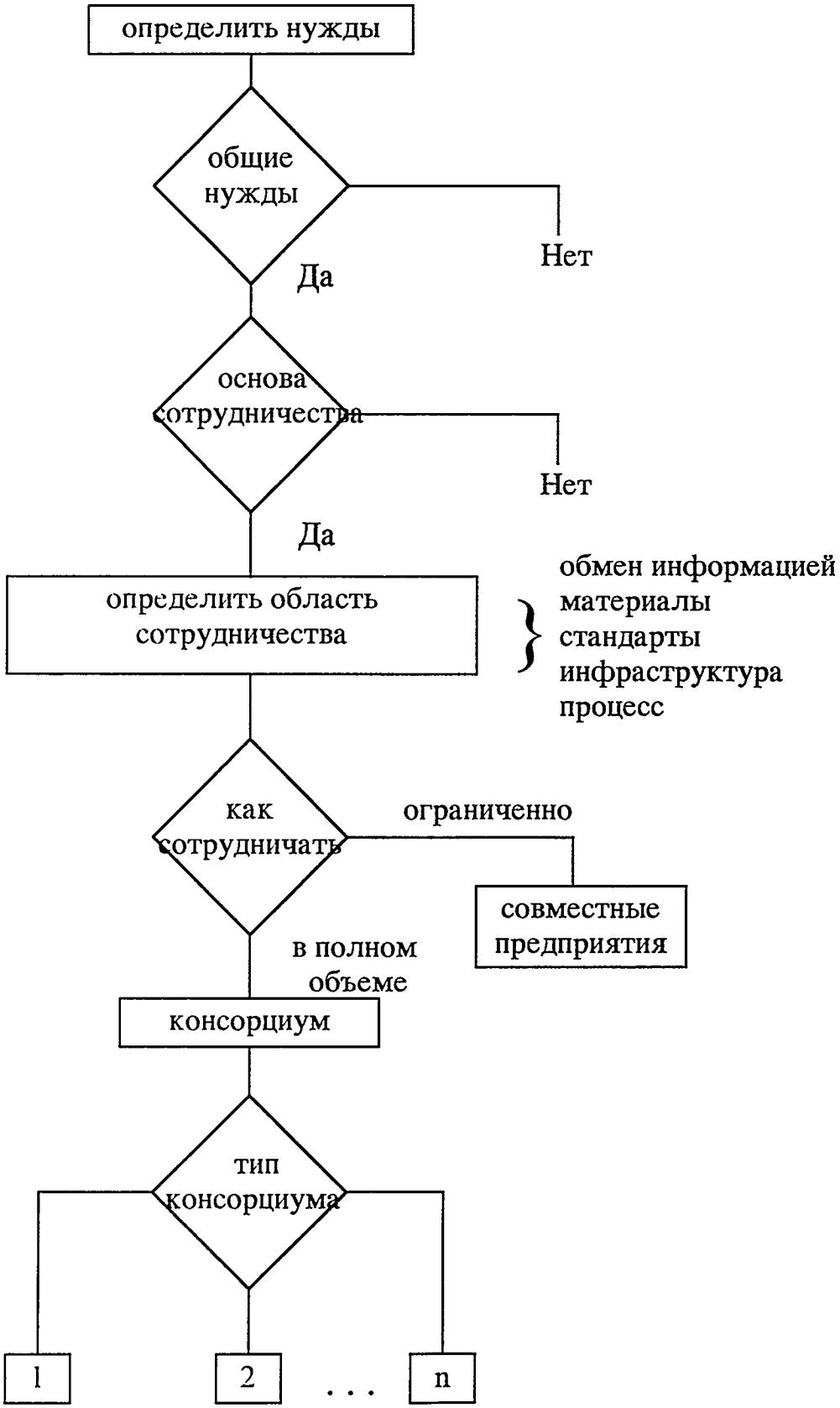
Consortium Characteristics

- Vision / Goals
- Membership
- Funding
- Program Selection & Management
- Research Staff
- Intellectual Property
- Commercialization

Типы участников

- Заказчики
- Финансирующие ведомства
- Промышленность
- Российские/американские лаборатории

Процесс принятия решения о создании консорциума



Перспективы участников

Каковы нужды?
Каковы общие нужды?

В каких областях можно сотрудничать?
Каким образом следует сотрудничать?

Заказчики	Финансирующие ведомства	Промышленность	Российские НИИ/ американские лаборатории

Характеристики консорциума

- Концепция/Цели
- Членство
- Финансирование
- Выбор программы и руководство
- Исследовательский персонал
- Интеллектуальная собственность
- Коммерциализация

Joint U.S./Russian Workshop on Fuel Cell Technology
Sept. 26-28, 1995, Albuquerque, N.M.

U.S. DOE International Energy Policy on Russia

Presentation by

Dr. Barry G. Gale
Office of Policy

KEY OBJECTIVE:
Support Transition to Democracy and Market Based Economy

- Political and economic stability
- Focus on:
  - Stimulating private sector opportunities
  - U.S./Russian commercial partnerships
- Large investments necessary
- What happens to Russia is critical for all NIS and U.S.

KEY U.S. INTERESTS AT STAKE

- Arms control/disarmament/nonproliferation
- Peace dividend:
  - Billions saved in fututre defense expenditures
  - Freedom to focus on domestic issues
- Market opportunites as trading partners
- Access to resources: human, natural
- Mitigate international environment/safety threats

IMPORTANCE OF ENERGY TO RUSSIA

- Energy/electricity production accounts for 22% of industrial output
- Net exports of energy earn 44% of hard currency
- Energy sector investment is 30-40% of total investment
- Russia is:
  - Largest producer of natural gas, followed by the U.S. and Canada
  - Second largest producer of oil, behind Saudi Arabia
  - Third largest producer of coal, behind China and the U.S.
  - Fourth largest producer of nuclear power, behind U.S., France, and Japan

KEY INSTITUTIONAL MECHANISM: Gore-Chernomyrdin Commission (GCC)

- Established at Vancouver Economic Summit
- Purpose: Assist Russia in transition to democracy and market economy
- Role:
  - Monitor U.S. assistance programs
  - Stimulate private sector involvement (U.S.-Russia joint ventures)
  - Stabilize Russian technological base
  - Create new economic partnerships between Russia and the U.S.

GCC COMPOSITION

- COMMISSION CO-CHAIRS:
  - Vice President Gore
  - Prime Minister Chernomyrdin
- COMMITTEES:
  - Business Development
  - Energy Policy
  - Space
  - Defense Conversion
  - Environment
  - Science and Technology
  - New Ones Being Formed (Health, Agribusiness)

ENERGY POLICY COMMITTEE

- Established in September 1993.

Responsible for Promoting:

- Nuclear reactor safety (shutdown of unsafe reactors)
- Increased energy efficiency
- Environmentally sound energy development, transformation, use and export
- Russian and American economic growth
- Removal of barriers to energy trade and investment
- Support for arms control, disarmament, nonproliferation, waste mangement activities related to nuclear weapons

MANY OTHER JOINT RUSSIAN/U.S. COOPERATIVE ENERGY ACTIVITIES

- One example: Peaceful Uses of Atomic Energy
- Established in 1973
- Hazel O'Leary / Viktor Mikhailov Co-Chairs
- Major programs under the agreement:
  - Fundamental properties of matter
  - Magnetic confinement fusion
  - Civilian nuclear reactor safety
  - Environmental Restoration and waste management

KEY TO SUCCESSFUL U.S. POLICY WILL BE ROLE OF U.S. PRIVATE SECTOR

- U.S. Government cannot do it all
- Private investment creates jobs, economic growth, technology transfer, stable commercial and political relationships
- Snowball effect: Initial private sector projects create more and more interest
- Pioneer projects act as demonstration models for transition
- Benefits mutual for U.S. and Russia: New Markets created for export of goods and services and new jobs created

Международная энергетическая политика Министерства энергетики США по отношению к России

Доктор Бэрри Дж. Гейл
Отдел разработки политики МЭ

Главная задача:

Обеспечение перехода к демократии и рыночной экономике

- Политическая и экономическая стабильность
- Фокус на:
  - Стимулирование возможностей для частного сектора
  - Коммерческие ассоциации на основе партнерства между американскими и российскими предприятиями
- Необходимы крупные инвестиции
- Изменения в Российской Федерации играют критическую роль для всех республик бывшего Советского Союза и для США

На карту поставлены ключевые интересы США

- **Контроль над вооружениями/ разоружение / нераспространение ядерного оружия**
- **Дивиденды от сохранения мира:**
  - Экономия миллиардов долларов на сокращениях будущих оборонных затрат
  - Свобода сосредоточить внимание на внутригосударственных проблемах
- **Возможности, возникающие на рынке сбыта, когда стороны выступают в качестве торговых партнеров**
- **Доступ к ресурсам - человеческим и природным**
- **Смягчение международных угроз по отношению к окружающей среде и безопасности**

Важность энергетики для России

- Производство энергии / электричества составляет 22% от общей промышленной продукции
- Чистый доход от экспорта энергии составляет 44% получаемой страной твердой валюты
- Инвестиции в энергетический сектор составляют 30-40% от общего уровня инвестиций
- Россия является:
  - Крупнейшей в мире страной по добыче природного газа; следующие по уровню добычи - США и Канада
  - Второй в мире, после Саудовской Аравии, страной по уровню добычи нефти
  - Третьей в мире страной по уровню добычи угля после Китая и США
  - Четвертой в мире страной по производству атомной энергии после США, Франции и Японии

Основная организация: Комиссия Гора-Черномырдина (КГЧ)

- Основана на Ванкуверской экономической встрече на высшем уровне
- Цель: оказать содействие России в переходе к демократии и рыночной экономике
- Роль:
  - Наблюдение над американскими программами помощи
  - Стимулирование вовлечения частного сектора (совместные американско-российские предприятия)
  - Стабилизация российской технической базы
  - Создание новых экономических ассоциаций на основе партнерства между Россией и США

Состав комиссии Гора-Черномырдина

- **Сопредседатели Комиссии:**
  - **Вице-Президент Гор**
  - **Премьер-Министр Черномырдин**
- **Комитеты:**
  - **Развитие бизнеса**
  - **Энергетическая политика**
  - **Космические исследования**
  - **Оборонная конверсия**
  - **Окружающая среда**
  - **Наука и техника**
  - **Вновь формируемые комитеты (здоровье, сельское хозяйство)**

Комитет по энергетической политике

- Основан в сентябре 1993 года

В обязанности входит стимулирование мероприятий по:

- Обеспечению безопасности ядерных реакторов (закрытие опасных реакторов)
- Увеличению эффективности производства энергии
- Разработке, преобразованию, использованию и экспорту экологически чистых видов энергии
- Уничножению барьеров на пути к торговле энергией и инвестициям в энергетику
- Поддержке деятельности, направленной на контроль над вооружениями, разоружение, нераспространение и утилизацию отходов ядерного оружия

Множество других совместных американско-российских мероприятий в энергетическом секторе

- Один пример - Соглашение о мирном использовании атомной энергии
- Заключено в 1973 году
- Сопредседатели - Хэзель О'Лири и Виктор Михайлов
- Основные программы в рамках Соглашения:
  - Фундаментальные свойства материи
  - Синтез с магнитным удержанием
  - Безопасность гражданских атомных реакторов
  - Восстановление окружающей среды и утилизация отходов

Ключом к успешному осуществлению политики США является роль, которую будет играть американский частный сектор

- Правительство США не в состоянии осуществлять все необходимые мероприятия
- Частные инвестиции способствуют созданию новых рабочих мест, экономическому росту, передаче технологий, стабильным коммерческим и политическим взаимоотношениям
- Эффект снежного кома: в результате первых проектов с участием частного сектора постепенно возрастает интерес
- Проекты первопроходцев выступают в роли демонстрационных моделей для последующего переходного периода
- Взаимовыгоды для США и России: создаются новые рынки для экспорта продукции и услуг, а также увеличивается количество новых рабочих мест

Intentionally Left Blank

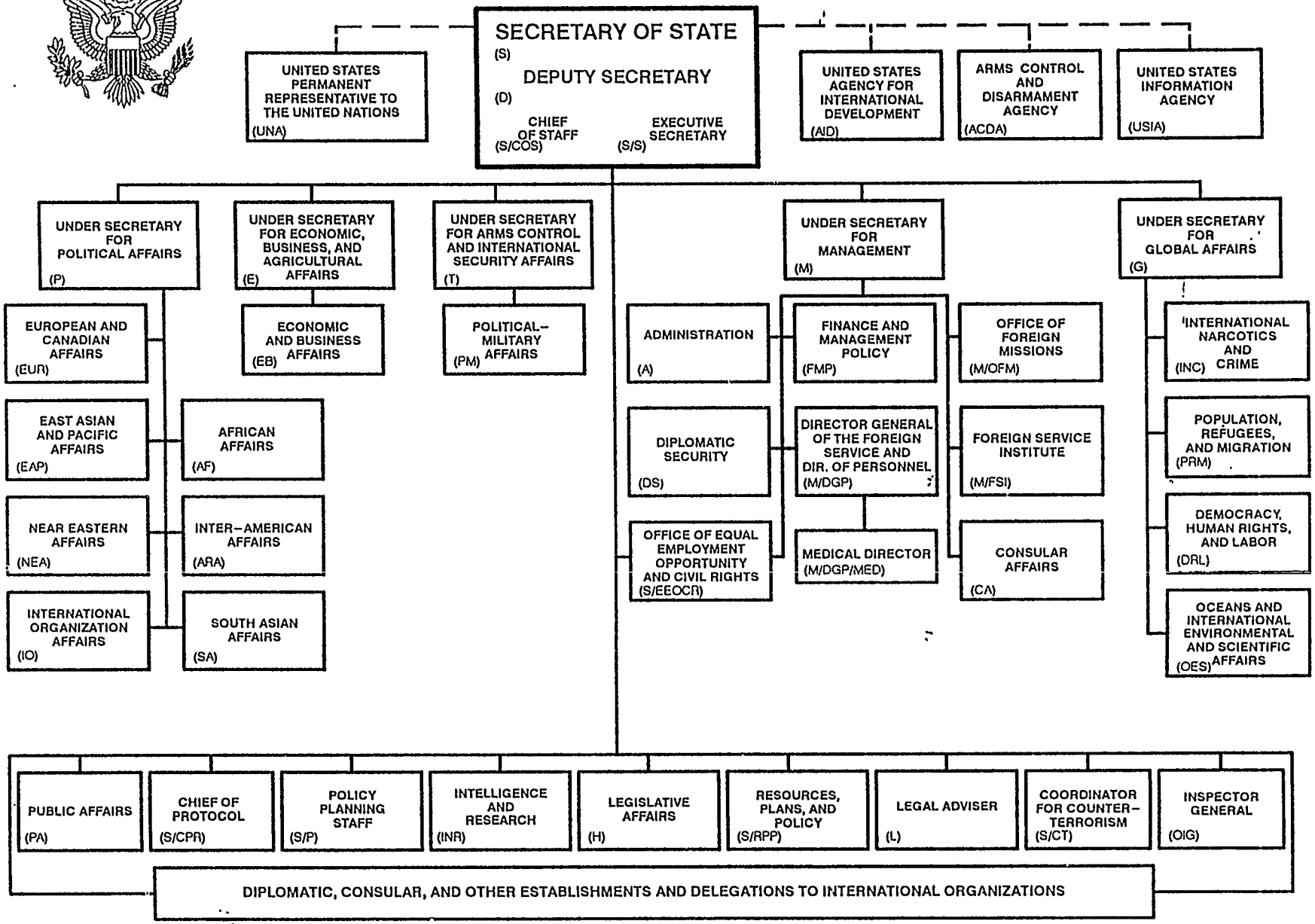
Marilyn L. Pifer, Ph.D.

Science Program Officer for Russia

OES/SCP, Room 4330
Department of State
Washington, DC 20520

202-647-4891
Fax 202-647-0773
mpifer@state.gov

UNITED STATES DEPARTMENT OF STATE



This chart is unofficial, pending 1 FAM functional statement revisions

U.S. Department of State

Bureaus principally concerned with U.S.-Russian technical collaboration

EUR - European Affairs

EUR/RUS = Russia Desk

PM - Political-Military Affairs

PM/RNP = Regional Non-Proliferation

OES - Oceans, Environment, and Science

OES/SCP = Cooperative Programs

* other offices in each Bureau also follow various aspects of U.S.-Russian collaboration

Bilateral S&T Agreements

- Provide legal and operational framework for U.S. scientific cooperation with NIS
- S&T Umbrella Agreement with Russia
  - Several agency/agency MOUs under the S&T Umbrella
- Other government-government agreements
  - Enviroment Agreement
  - Radiation Effects Agreement
  - Others

S&T Umbrella Agreement

- Important provisions:
  - encouragement of direct contacts in cooperation between government and non-government entities
  - facilitation of cooperation via duty-free entry of materials and equipment
  - facilitation of entry and exit of personnel
  - promotion of joint activities
- Two annexes
  - Joint Committee on S&T (role presently filled by GCC S&T Committee)
  - IPR Annex
    - Has become the standard of IPR annex to be used with Russia

Gore-Chernomyrdin Commission (GCC)

- Established to enhance economic and technological cooperation between the US and Russia
- Committees:
  - S&T
  - Environment
  - Space
  - Energy
  - Health
  - Business Development
  - Defense Conversion
  - Agriculture

Gore-Chernomyrdin S&T Committee

- Chaired by U.S. Science Advisor John Gibbons and Russian Science Minister Boris Saltykov

- Three primary purposes:

  -- to enhance S&T cooperation

  -- to promote cooperation in large-scale multidisciplinary projects

  -- to address and solve general problems of cooperation in science & technology (mandate extends beyond S&T committee)

GCC S&T Committee Informatics Task Force

- To promote public and private sector cooperation in Internet technology, particularly in the interest of science and education
- To develop virtual libraries and other Internet applications for academia, private industry, and government
- First bilateral meeting held Sept. 18-19, 1995

Working Group on General Problems of Cooperation

- Statement of Principles on Data and Information exchange to promote free flow of S&T information
- Several subgroups to address specific issues:
  - customs
  - taxes
  - intellectual property rights
  - access to research sites
  - export controls as they affect S&T cooperation
  - visas
- Network of operational contacts to enhance communication on problems of cooperation and their solutions

Science and Technology Centers

- ISTC* - International Science and Technology Center, Moscow
  - Branch offices in other CIS countries
- STCU* - Science and Technology Center in Ukraine, Kiev

*Don't try to pronounce these acronyms

Other Cooperative Arrangements

- "Lab-to-Lab"
- Industry Partnering Program
- No formal "umbrella" agreement for these programs to provide for protection against misuse of funds or for exemptions from customs, taxes, etc.

Civilian Research and Development Foundation for the Independent States of the Former Soviet Union (CRDF)

- established by NSF in September, 1995
- non-governmental, non-profit
- initial endowment of $10 million

CRDF Goals:

- To promote collaboration between scientists, engineers, and entrepreneurs in the U.S. and the former Soviet Union (fSU)
- To support basic and applied research and development (through proof-of-concept stage)
- To redirect the expertise of former Soviet weapons scientists toward peaceful purposes
- To acquaint former Soviet scientists with U.S. business practices and U.S. entrepreneurs with the fSU market

CRDF Organization and Operation

- Established in the U.S. (State of Virginia)
- Governed by a Board of Directors
- Open to participation by all twelve states of the former Soviet Union
- Advisory Board will be made up of representatives of each participating fSU state
- CRDF may accept funds from private and public sources. A small contribution to the Foundation is required of each participating state.

What's Ahead?

- U.S. budget troubles could affect collaborations
- U.S. technical agencies with programs in Russia may suffer serious budget cuts
- Senate version of Foreign Aid Authorization Act (9/21/95) halts all economic assistance to Russia if the sale of nuclear reactors to Iran proceeds

  -- Is cooperation "assistance"?

  -- Is contract work "assistance"?

Intentionally Left Blank

Государственный Департамент США/ Обзор российско-американской программы

Мэрилин Пайфер, Ph.D.
Сотрудник Отдела науки,
ответственный за связи с Россией

Госдепартамент США

Основные бюро, связанные с американо-российским техническим сотрудничеством

EUR - Европейские дела
EUR/RUS - Российское бюро

PM - Военно-политические дела
PM/RNP - Региональное нераспространение

OES - Океаны, окружающая среда и наука
OES/SCP - Программы сотрудничества

* Другие отделы в каждом из Бюро также занимаются различными аспектами американо-российского сотрудничества

Двусторонние соглашения по науке и технике

- Обеспечивают правовые и рабочие рамки сотрудничества США со странами СНГ в области науки
- "Зонтик" соглашения в области науки и техники (НиТ) с Россией
  - Несколько ведомств/ведомственных Меморандумов о взаимопонимании под "зонтиком" НиТ
- Другие межправительственные соглашения
  - Соглашение об охране окружающей среды
  - Соглашение о радиологическом контроле
  - Другие

"Зонтик" соглашения по науке и технике

- Важные положения:
  - стимулирование прямых контактов в области сотрудничества между правительственными и неправительственными субъектами
  - поддержка сотрудничества в виде беспошлинного ввоза материалов и оборудования
  - упрощение процедур въезда и выезда персонала
  - стимулирование совместной деятельности
- Два приложения
  - Межведомственная комиссия по науке и технике (в настоящее время эту роль выполняет комитет по науке и технике при комиссии Гора-Черномырдина)
  - Приложение IPR (Регулирование международной политики)
    - Приложение IPR стало нормативом для построения взаимоотношений с Россией

Комиссия Гора-Черномырдина (КГЧ)

- Создана для укрепления экономического и технического сотрудничества между США и Россией
- Комитеты:
  - Наука и техника
  - Охрана окружающей среды
  - Космос
  - Энергетика
  - Здравоохранение
  - Развитие предпринимательства
  - Оборонная конверсия
  - Сельское хозяйство

Комитет по науке и технике при комиссии Гора-Черномырдина

- Председателями являются Федеральный Советник США по вопросам науки Джон Гиббонс и российский министр по науке Борис Салтыков

- Три основные цели:
  - укрепить сотрудничество в области науки и техники
  - стимулировать сотрудничество по крупномасштабным многодисциплинарным проектам
  - затрагивать и решать общие проблемы сотрудничества в области науки и техники (действие мандата распространяется за рамки комитета по НиТ)

Специальная группа по информатике при комитете по НиТ КГЧ

- Стимулирование участия общественности и частного сектора в освоении технологии Интернета, особенно в интересах науки и образования

- Разработка библиотек виртуальных данных и других применений Интернета для академических институтов, частной промышленности и правительства

- Первая двусторонняя встреча проведена 18-19 сентября 1995 года

Рабочая группа по общим проблемам сотрудничества

- Разработка принципов обмена данными и информацией для стимулирования свободного обмена научно-технической информацией
- Несколько подгрупп, занимающихся специальными вопросами
  - таможенные пошлины
  - налоги
  - права на интеллектуальную собственность
  - доступ к исследовательским объектам
  - контроль над экспортом и его влияние на сотрудничество по НиТ
  - визы
- Сеть рабочих контактов для улучшения связи по проблемам сотрудничества и их решению

Научно-технические центры

- МНТЦ* - Международный научно-технический центр, Москва
  - с отделениями в других странах СНГ

- УНТЦ* - Украинский научно-технический центр, Киев

* Даже не пытайтесь произнести эти сокращения

Другие виды сотрудничества

- “От лаборатории - к лаборатории”

- Программа промышленного партнерства

- Для этих программ не существует “зонтика” формального соглашения, защищающего от финансовых злоупотреблений или освобождающего от таможенных пошлин, налогов и т.д.

Гражданский фонд НИОКР для Независимых Государств бывшего Советского Союза (ГФНИОКР)

- создан по инициативе NSF в сентябре 1995 года
- неправительственный, некоммерческий
- первоначальный фонд 10 млн. долл.

Цели ГФНИОКР

- Способствовать сотрудничеству между учеными, инженерами и предпринимателями в США и бывшем Советском Союзе
- Поддержать фундаментальные и прикладные НИОКР (с учетом этапа подверждения концепции)
- Переориентировать применение знаний ученых бывшего СССР с области разработки вооружений на область использования в мирных целях
- Ознакомить ученых бывшего СССР с американской системой деловых отношений, а предпринимателей США - с рынком бывшего СССР.

Организация и работа ГФНИОКР

- Создан в США (в штате Вирджиния)
- Управляется советом директоров
- Открыт для участия всех двенадцати государств бывшего Советского Союза
- Консультативный совет составляется из представителей каждого участвующего государства бывшего СССР
- ГФНИОКР может принимать средства из частных и общественных источников. От каждого государства-участника требуется небольшой взнос в фонд.

Что впереди?

- Бюджетные проблемы США могут повлиять на сотрудничество
- Технические организации США, ведущие программы с Россией, могут пострадать от серьезных бюджетных сокращений
- Сенатская версия закона о предоставлении помощи иностранным государствам (21/9/95) предусматривает прекращение всякой экономической помощи России, в случае продолжения сделки по продаже ядерных реакторов Ирану
  - Является ли сотрудничество “помощью”?
  - Является ли работа по контрактам “помощью”?

Science and Technology Centers in the Former Soviet Union

Overview

Statistics

Processes

1

Science and Technology Centers in the Former Soviet Union

- ***International Science and Technology Center*** (ISTC) -- based in Moscow
- ***Science and Technology Center in Ukraine*** (STCU) -- based in Kiev
- ***Objective***: To prevent the proliferation of the technology and expertise of weapons of mass destruction by providing weapons scientists and engineers of the former Soviet Union meaningful alternative employment in their own countries

2

Overview of the ISTC

- ISTC is an intergovernmental organization
- Founding parties:
  - U.S., European Union, Japan
  - Russia
- Additional parties:
  - Finland, Sweden
  - Republics of Georgia, Armenia, Belarus, and Kazakstan

Overview of the ISTC
(Continued)

- Full operation began in March 1994
- Governing Board meets quarterly to approve projects and establish policy
- Through June 1995, over 450 proposals have been received; they involve over 300 FSU institutes
- Through June 1995 Board meeting, a total of 157 projects have been approved for funding
- Total project funding to date has been approximately $70 million (~$30M from the U.S.)

Are the Centers Working?

- *ISTC*: As of June 1995, the ISTC Governing Board had approved and funded 157 projects providing support for over 9,500 CIS scientists.
- *STCU*: The Center has an office in Kiev, has issued a first call for proposals, and is now reviewing projects for approval later this year.
- The Russian parliament originally opposed the Science Center concept. Russian board members say the Duma is now positively disposed toward ratification of ISTC agreement.

Whom Does the ISTC Support?

- The ISTC was established to provide peaceful non-weapons opportunities to weapons scientists and engineers of the former Soviet Union.
- The primary focus has been on FSU scientists and engineers with knowledge and expertise related to weapons of mass destruction (nuclear, biological, and chemical), and their delivery systems.
- ISTC support is intended as a disincentive to provide that knowledge to states aspiring to acquire or improve weapons of mass destruction and their delivery capabilities.

What Kinds of Efforts do the STCs Support?

- Projects with commercial potential that can:
  - Produce long-term, non-military, economic support for weapons scientists and engineers
  - Support the redirection of weapons expertise from military to peaceful endeavors
- Basic and applied research and development for peaceful purposes in:
  - Environmental protection and energy production
  - Biotechnology
  - Nuclear reactor safety
  - Other technologies

The Regional Perspective

- For the years 1992-1995, Nunn-Lugar funding restricted support to groups in Russia, Ukraine, Kazakstan, and Belarus.
- For 1996 and beyond, funding through the *Freedom Support Act* will continue to focus on weapons institutes in Russia, Ukraine, Kazakstan, and Belarus, but may include support to groups in Georgia, Armenia, and Kirgizia, if they fit eligibility and selection criteria, and if the projects are consistent with U.S. policy priorities.

The Future of the Science and Technology Centers

- Original funding sources may not be available in the future
- Implement two-part strategic plan:
  - Make other U.S. Government funded programs aware that they can use the Centers for projects that are compatible with Center objectives (*e.g.*, employing weapons scientists)
  - Establish procedures and policies to allow funding from inter-governmental and non-governmental (including industry) sources, universities, and foundations

9

Project Implementation Process

- Overall objectives:
  - Provide alternate employment for FSU weapon scientists
  - Non-weapons fields and subjects
  - Good and useful work with emphasis on civilian and potential commercial applications
  - Potential for continued independent support
  - Establish collaborative arrangements
- Proposal submission (approved by host country)

10

Project Implementation Process
(Continued)

- Evaluation by supporting governments:
  - Independent technical peer review
  - Policy review
- Recommendation to Governing Board
- Governing Board approval
- Implementation by ISTC
- Project execution---possibly with collaborator(s)

11

Project Implementation Process
(Continued)

- Funding procedures:
  - Funding level determined for U.S. support
  - U.S. transfers supporting funds to ISTC on verification of signed *Project Agreement*
  - ISTC disperses funds on basis of work records and deliverables received
  - Auditing procedures
- Current and future funding levels

12

Process for Collaboration

- Collaborative efforts with government, industry, and universities are encouraged
- Centers offer unique advantages:
  - Tax and other protections
  - Access to multilateral funding to leverage existing program support
- Criteria for collaborative projects:
  - Efforts complementary to existing programs
  - Willingness to provide substantive efforts

Process for Collaboration
(Continued)

- Three cases for collaboration:
  - In-place projects
  - Projects in proposal stage
  - New efforts
- On agreement among parties, notify ISTC, DOS
- Joint proposal preparation---if desired (new efforts)
- Assistance / collaboration with proposal revision and development of *Project Agreement*
- Provide substantive collaboration for project duration

Intentionally Left Blank

Научно-технические центры в странах бывшего Советского Союза

Обзор

Статистика

Процессы

Научно-технические центры в странах бывшего Советского Союза

- ***Международный научно-технический центр*** (МНТЦ) — в Москве
- ***Украинский научно-технический центр*** (УНТЦ) — в Киеве
- ***Задача***: предотвратить распространение технологии и опыта разработки оружия массового уничтожения, предоставив ученым и инженерам из стран бывшего Советского Союза, специализирующимся в этой области, возможность осмысленной альтернативной работы в своих странах.

Обзор деятельности МНТЦ

- МНТЦ — межправительственная организация
- Страны — основательницы МНТЦ
  - США, страны Европейского сообщества, Япония
  - Россия
- Другие страны-участницы
  - Финляндия, Швеция
  - Республики Грузия, Армения, Беларусь и Казахстан

Обзор деятельности МНТЦ

(продолжение)

- Центр приступил к работе в полном объеме в марте 1994 г.
- Руководящий совет проводит ежеквартальные заседания для утверждения проектов и правил внутреннего распорядка
- К июню 1995 г. было получено более 450 предложений, предусматривающих вовлечение в проекты более 300 институтов бывшего СССР
- На совещании Руководящего совета в июне 1995 г. было утверждено финансирование 157 проектов
- На сегодняшний день общая сумма финансирования проектов составляет примерно 70 миллионов долларов (из них 30 миллионов выделяют США)

Насколько эффективна работа научно-технических центров?

- ***МНТЦ*:** К июню 1995 г. Руководящий совет МНТЦ утвердил финансирование 157 проектов, обеспечивающих работой более 9500 ученых их стран СНГ
- ***УНТЦ*:** Центр открыл представительство в Киеве, объявил о первом сборе предложений, и в настоящее время рассматривает предложения, утверждение которых планируется в следующем году
- Российское законодательное собрание первоначально выступило против идеи создания Научно-технического центра. В настоящее время представляющие Россию члены Руководящего совета говорят, что Дума теперь склоняется к положительному решению вопроса о ратификации соглашения об участии России в МНТЦ.

5

Кому оказывает поддержку МНТЦ?

- МНТЦ был создан с целью предоставления возможностей мирной, не связанной с оружием работы ученым и инженерам из стран бывшего Советского Союза, специализирующимся в области разработки вооружений.
- Основное внимание было сосредоточено на ученых и инженерах из стран бывшего СССР, обладающих знаниями и опытом, связанными с оружием массового уничтожения (ядерным, биологическим и химическим), а также с системами поражения противника этими видами оружия.
- Поддержка со стороны МНТЦ предусматривается с целью предотвращения передачи таких знаний и опыта государствам, стремящимся приобрести или усовершенствовать оружие массового уничтожения и системы поражения противника этим оружием.

6

Как осуществляется поддержка со стороны НТЦ?

- Проекты, открывающие коммерческие возможности
  - Долгосрочная, невоенная экономическая поддержка ученых и инженеров, специализирующихся в области разработки вооружений
  - Поддержка использования опыта, накопленного в процессе разработки оружия, в мирных целях
- Теоретические и прикладные исследования и разработки в мирных целях
  - Защита окружающей среды и выработка энергии
  - Биотехнология
  - Обеспечение безопасности ядерных реакторов
  - Другие технологические разработки

7

Региональные перспективы

- На протяжении 1992—1995 гг. в соответствии с Законом Нанна—Лугара было предусмотрено ограниченное финансирование групп в России, на Украине, в Казахстане и Белоруссии
- Начиная с 1996 г., финансирование институтов в России, на Украине, в Казахстане и Белоруссии будет продолжаться в соответствии с Законом о поддержке демократии (Freedom Support Act); кроме того, может быть предусмотрено также финансирование институтов в Грузии, Армении и Киргизии, если эти республики будут иметь право на финансирование и соответствовать критериям отбора, а также если такое финансирование будет соответствовать первоочередным внешнеполитическим целям США.

8

Научно-технические центры в будущем

- Источники финансирования, использовавшиеся первоначально, впоследствии могут оказаться недоступными
- Предусматривается выполнение двухэтапного стратегического плана
  - Распространение информации о том, что НТЦ могут быть использованы в рамках других финансируемых США программ в целях выполнения проектов, соответствующих предназначению НТЦ (т. е. предоставления работы специалистам в области разработки вооружений)
  - Разработка процедур и правил, позволяющих финансировать проекты с использованием межправительственных и неправительственных (в том числе промышленных) источников, университетов, фондов и т. п.

9

Процесс внедрения проектов

- Основные цели
  - Предоставление специалистам по разработке оружия из стран бьывшего СССР возможностей альтернативной работы
  - Не относящиеся к вооружениям области и темы исследований и разработок
  - Полезная и эффективная работа, сосредоточенная в основном на возможностях гражданского и коммерческого использования имеющегося опыта
  - Возможности дальнейшей независимой поддержки (самоокупаемости) проектов
  - Заключение соглашений о сотрудничестве
- Представление предложений (утверждаемых страной, в которой будет выполняться проект)

10

Процесс внедрения проектов
(продолжение)

- Оценка проекта правительствами стран, принимающиеми участие в его финансировании
  - Оценка целесообразности проекта независимыми специалистами, ведущими исследования в той же области
  - Пересмотр правил выполнения проекта
- Представление рекомендаций Руководящему совету
- Утверждение проекта и рекомендаций Руководящим советом
- Внедрение проекта Международным научно-техническим центром
- Выполнение проекта (возможно, в сотрудничестве с другими организациями)

11

Процесс внедрения проектов
(продолжение)

- Процедуры финансирования
  - Определение доли США в финансировании проекта
  - Перевод выделяемых США средств на счет МНТЦ после проверки подписанного Соглашения о выполнении проекта
  - Распределение средств в МНТЦ на основе полученных рабочих заданий и графика их выполнения
  - Процедуры ревизий и проверок
- Уровни финансирования в настоящем и в будущем

12

Процесс сотрудничества

- Поддержка и стимуляция сотрудничества между правительствами, промышленными предприятиями и университетами
- Уникальные возможности НТЦ
  - Налоговые и другие льготы
  - Доступ к многостороннему финансированию, обеспечивающему дальнейшую поддержку выполняемых программ
- Критерии, определяющие возможность сотрудничества в ходе выполнения проектов
  - Принятие мер, дополняющих текущие программы поддержки и финансирования
  - Стремление всех сотрудничающих сторон предпринимать существенные шаги в этом направлении

13

Процесс сотрудничества

(продолжение)

- Три этапа сотрудничества
  - Уже внедренные проекты
  - Проекты в стадии рассмотрения предложений
  - Новые проекты
- Уведомление МНТЦ и Государственного департамента США по соглашению сторон
- Совместная подготовка предложений по желанию сторон (новые проекты)
- Оказание помощи и сотрудничество в области оценки и рассмотрения проектов и подготовки Соглашений о выполнении проектов
- Существенный объем сотрудничества в ходе выполнения проекта

14

Intentionally Left Blank

Gazprom Market for Energy Installations Using Fuel Cells

Yu.V. Galitskiy

Deputy Chief of the Administration for Scientific and Technical Progress and the Ecology of the Gazprom RAO

Moscow

The Gazprom RAO [Russian joint-stock company] is a major industrial and financial complex whose job is to provide gas for the national economy of Russia, as well as to supply it under international and intergovernmental agreements.

The existing capacity of its production structures and high level of scientific potential allow Gazprom to forecast the future with confidence.

Some figures on Gazprom:

- length of trunk gas pipelines – 140,000 km;
- gas and gas condensate fields – 70;
- installed capacity of equipment for the transmission and compression of gas – 37 million kW;
- underground gas storage facilities – 16.

Principal engineering and operating characteristics of the Gazprom RAO for 1994

• gas production	570 billion cubic meters
• oil and gas condensate production	7,881,000 tons
• gas treatment	37.4 billion cubic meters
• sulfur	2,123,100 tons
• helium	3,727,000 cubic meters
• liquefied gas	630,000 tons
• diesel fuel	948,000 tons
• gasoline	393,000 tons
• gas ranges	473,000
• profits	5488 billion rubles
• capital spending	7472 billion rubles
• total gas exports	184.7 billion cubic meters
including to CIS countries	78.8 billion cubic meters
• share of Russia in international	38.9%

trade in natural gas

- percentage of gas among principal types of fuel and energy in Russia 48%

Gazprom employs 340,000 people in the production, transmission and treatment of gas and in other spheres of activity.

The facilities of the systems of energy supply in the gas industry are the gas production, treatment and transmission points and drilling installations, as well as the storage facilities for gas, auxiliary facilities supporting the vital activity of technological, municipal and domestic consumers, and systems for automation, electrical and chemical protection, and line remote control and communications gear.

The most numerous industrial facilities in the gas industry are the gas transmission facilities and compressor stations of the trunk gas pipelines. Very high requirements are posed toward the energy supply systems. The supply of power to the facilities of the gas industry is accomplished through the regional and local electrical grids, as well as electric-power plants for internal needs.

Electric-power plants for our internal needs, with piston or gas-turbine drive and operating on natural gas, are used as the principal power source in areas with difficult natural and climatic conditions.

The gas industry has quite a large quantity of LEP [electrical transmission lines] along the rights of way of the trunk gas pipelines, which are intended for the power supply of a host of consumers along the line (cathodic protection installations, valve sites, remote control locations and the like). The power used by these consumers lies within the range of 1–10 kW, but their overall number is considerable and lies within the range of 15,000–20,000. The power is supplied from autonomous power installations where there is a lack of external sources: power units with gas, diesel or gasoline engines of various models, thermo-electric generators, turbo-alternators, wind-power installations etc. Both Russian models – type GTG-150 generators operating as part of AIP autonomous power sources – and power sources from foreign sources – ORMAT turbo-alternators, and turbogenerators from the Canadian firm of Global Thermoelectric and TELAN in the United States – are used.

The reliability of the electrical equipment, electrical transmission lines, transformer substations and electric power plants supporting the operation of enterprises in the gas industry should be exceptionally high, since most of the consumers are in the special group of category one.

The reliability of power supply for the enterprises of the gas industry is being increased, both by means of raising the reliability of individual units and through the adoption of the corresponding circuitry and engineering ideas that would provide for the uninterrupted operation of the power supply through back-ups and the creation of surplus installed capacity.

A large number of electrical generators and electric power plants of various types and capacities are in operation at enterprises of the Gazprom RAO, and which support the stable operation of gas-producing and gas-transmission systems when interruptions arise in power supply from electrical transmission lines. The most numerous of these are electrical units with a capacity of 100, 500 and 630 kW. These units correspond to contemporary requirements for automation, and have acquitted themselves well in operation.

The back-up electrical units and power plants are currently gas turbines, with some outmoded models included among them. The existing inventory of electrical units in the industry requires work for the systematic upgrading of the entire inventory. That work is being performed, and the use of the most modern electrical equipment is planned with a regard for the specific nature and principles of market policy.

The path of creating electric power plants to supply internal needs at the facilities of the industry, providing for the reliable electric power supply for the enterprises in the sector and the sale of the surplus electric power and heat to outside organizations, seems to be the most efficient one.

The further improvement of the engineering and economic values of the electric power plants and the improvement of all of their systems and equipment is of great importance. The Gazprom RAO has developed a power series of electric power sources that is being recommended for use in the industry.

The power series includes ten nominal capacities (14 types of power plant) of power plants, of which five are in the range of 100 to 1,000 kW and five (with nine types of plants) have a nominal capacity in the range of 1,500 to 6,000 kW. The production capabilities of our machinery plants, as well as the contemporary level of development of autonomous sources of electric power with piston and gas-turbine engines and the prospects for their improvement, were taken into account in the development of the power series.

Power Series of Electric Power Plants Recommended for Use at Enterprises of Gazprom RAO

No.	Usage class	Power, kW	Efficiency rating, %
1	A, R	100	36

2	A, R	200	37
3	A, R, O	500	34
4	A	630	38
5	A, R, O	1,000	37
6	A, R, O	1,500	21
7	R, O	2,000	21
8	R, O	2,500	27
9	R, O	4,500	24
10	R, O	6,000	30

Power plants: A – emergency; R – back-up; O – primary.

In recent years, owing to the re-orientation of the economy as well as the refusal of state structures to participate in the design engineering and construction of facilities in the electric power grid and generating sources for new fields, the specialists of the industry have had to solve problems in the emergence and development of electric power supply systems independently. The Gazprom RAO has in this connection developed a conceptual framework for building systems for electric power supply and a series of standard documents governing their creation (the categorization of electrical receivers, calculation of the number of electric power units for internal needs, configurations for the electric power supply of compressor stations on trunk gas pipelines) with the optimal combination of primary, back-up and emergency sources of electric power that have been assimilated by the industry of Russia.

Considerable experience has been accumulated in the sector in the design engineering, construction and operation of electric power supply systems for gas-producing and gas-transmission systems, located both in the assimilated regions of Russia and in regions with difficult natural and climatic conditions.

Gazprom has until recently been supplying gas to the electric power plants of Russia and the near and far abroad without participating in the sale of the end product – the electric power and heat; that is, it has acted as a raw-materials appendage.

Two avenues for the receipt of profits from the operation of electric power plants are currently appearing for the Gazprom RAO: profits from the sale of gas, and profits on the capital invested in the construction of electric power plants.

The Gazprom RAO is conducting active negotiations with a number of firms in the United States, Turkey and Italy, among others, in order to participate in the realization of gas power projects in the near and far abroad.

The Gazprom RAO intends to participate in the design engineering, construction, operation and ownership of electric power plants provided the following conditions are met. An engineering feasibility study should be submitted for this or that project.

Gazprom, after studying it and being convinced of the efficiency of the project, is prepared to create any structures for the realization of the project.

Power installations based on fuel cells, data on which is coming to us more and more often, and the development of low-power energy installations using phosphoric acid and fused carbonate fuel elements, are being financed by the industry and are of undoubted interest to the enterprises and facilities of Gazprom by virtue of their striking technical, operational and other characteristics:

- high efficiency;
- ecological cleanliness;
- reliability in operation;
- high quality of the energy;
- safety in operation;
- compatibility with existing systems and units.

The discussion concerns both low-capacity power installations of 1–100 kW, as well as large-capacity power installations of one megawatt or more.

Given confirmation of the consumer properties and acceptable cost of the power installations, we are prepared to consider any project. We await specific proposals from you.

Thank you very much.

RUSSIAN JOINT-STACK COMPANY "GAZPROM"
Moscow

GAZPROM MARKET FOR POWER PLANTS ON THE BASE OF FUEL CELLS

Heads of the Report
on Russian-American Workshop on Fuel Cells
Albuquerque, USA, September 26, 1995

Galitski Y.V.
Deputy Head, Management
of Scientific and Technical Progress
and Ecology, "GAZPROM"

INTRODUCTION

- Existing capacities of "GAZPROM":
  - 70 gas and gas condensate deposits
  - 37 mln. kW of installed capacities for transportation and compression
  - 16 underground gas storage facilities
  - 340 thousand people involved in GAZPZROM activities.

MAIN TECHNO-ECONOMICAL INDEX OF GAZPROM ACTIVITIES DURING 1994

♦ Gas extraction	570 bln. cubic metres
♦ Oil and gas condensate extraction	7881 thsnd tons
♦ Gas processing	37,4 bln. cubic metres
♦ Sulfur	2123,1 thsnd tons
♦ Helium	3727 thsnd cubic metres
♦ Liquefied gas	630 thsnd tons
♦ Diesel fuel	948 thsnd tons
♦ Gazoline	393 thsnd tons
♦ Gas-stoves	473 thsnd units
♦ Profit	5488 bln roubles
♦ Capital investments	7472 bln roubles
♦ Gas export	184,7 bln. cubic metres
including CIS countries	78,8 bln. cubic metres
♦ Russia's quota in international natural gas commerce	38,9%
♦ Share of gas among fossil fuels	48%

GALITSKI 08.09.95

CUSTOMER OBJECTS IN GAS INDUSTRY

- Sites of gas extraction, processing and transportation.
- Gas storage facilities.
- Auxiliary objects, supporting activities of technological and utility customers
- Automatization systems, systems of electrochemical protection, li telemechanic and communication.

GALITSKI 08.09.95

EXISTING SCHEMES OF POWER SUPPLY

- Gas industry objects are supplied mainly by district and local energy systems nets.
- In the regions of complicated natural and climatic conditions as main electric power supply sources the piston-drived and gas-turbine drived power stations o local needs are used.
- Customers of main gas pipelines within 1-10 kW power range, number of which is 18-20 thousand, are supplied with electric power mainly from electric powe transmission lines, which are located along gas pipelines. When external powe sources are absent, are supplied with power from unattended PPs.

POWER SUPPLY RELIABILITY IMPROVEMENT ON THE "GAZPROM" OBJECTS

- Reliability of electrical equipment, electric power transmission lines, transformer substations and power stations, providing gas industry facilities operation, must be extremely high, because most customers are of the special group of the first category.
- Two ways of reliability improvement:
  - Improvement of reliability of separate electric power units
  - Providing stand-by facilities and creation of redundancy of the power installed.
- A great number of electric units and stations of different types and power ratings including the out-of-date ones are in operation now on the GAZPROM enterprises.
- A work on plan modernization of power supply systems of branch is providing. Using of the most modern electrotechnical equipment is supposed.
- The most effective way is to create power stations for local needs on the objects of the branch.

ROW OF POWER RATINGS OF POWER STATIONS THAT ARE RECOMMENDED FOR APPLICATION ON GASPROM ENTERPRISES

NN	Usage Type	Power Rating, kW	Efficiency, %
1	A,P	100	36
2	A, P	200	37
3	A, P, O	500	34
4	A	630	38
5	A, P, O	1000	37
6	A, P, O	1500	21
7	P, O	2000	21
8	P, O	2500	27
9	P, O	4500	24
10	P, O	6000	30

Power Stations: A - emergency; P - stand-by; O - main.

GALITSKI 08.09.95

NEW CONCEPT OF ENERGY SUPPLY SYSTEM CONSTRUCTION

- In present economical situation specialists of the branch must solve th problems of power supply independently from the state structures.
- In the branch there is accumulated enough experience in design, constructio and operation of power supply systems in different parts of Russia.
- Nowadays GAZPROM has two channels for obtaining the profit of electri power stations operation:
  - profit of gas realization
  - profit from the capital invested in electric power stations construction.
- GAZPROM actively negotiates with a number of corporations of the USA Turkey, Italy, etc. on gas energy projects realization.

GASPROM INTEREST TO THE PPs ON THE BASE OF FUEL CELLS

- PP on FC are of sure interest for GAZPROM enterprises and objects because of their technical, operational and other properties declared.

- We speak both about low power rating of 1-100 kW and electric power stations of high power rating of 1 MW and more.

- We are ready to consider every project if their characteristics are confirmed and the price of PP on FC is acceptable.

GALITSKI 08.09.95

Intentionally Left Blank

РЫНОК ГАЗПРОМА ДЛЯ ЭНЕРГОУСТАНОВОК НА ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ

Ю.В. Галицкий
Заместитель начальника управления научно-технического прогресса и экологии РАО "ГАЗПРОМ"

Москва

РАО "ГАЗПРОМ" представляет собой крупный промышленно - финансовый комплекс, задачей которого является обеспечение газом народного хозяйства России, а также поставка его по межгосударственным и межправительственным соглашениям.

Существующие мощности его производственных структур, высокий уровень научного потенциала позволяют ГАЗПРОМу уверенно прогнозировать будущее.

Некоторые цифры по ГАЗПРОМу:

•протяженность магистральных газопроводов - 140 тыс. км;

•газовых и газоконденсатных месторождений - 70;

•установленная мощность оборудования для транспортировки и компрессирования газа - 37 млн.кВт;

•подземных хранилищ газа - 16.

Основные технико-экономические показатели деятельности РАО "ГАЗПРОМ" за 1994 г.

•Добыча газа	570 млрд.куб.м
•Добыча нефти и газового конденсата	7881 тыс.т
•Переработка газа	37.4 млрд.куб.м
•Сера	2123.1 тыс.т
•Гелий	3727 тыс.куб.м
•Сжиженный газ	630 тыс.т
•Дизельное топливо	948 тыс. т
•Бензин	393 тыс.т
•Плиты газовые	473 тыс.шт.
•Прибыль	5488 млрд.руб.
•Освоено капитальных вложений	7472 млрд.руб.
•Экспорт газа всего,	184.7 млрд.куб.м
в т.ч. в страны СНГ	78.8 млрд. куб.м
•Доля России в международной торговле природным газом	38.9%
•В числе основных видов топлива и энергии в России газ составляет	48%

В добыче, транспорте, переработке газа и иных сферах деятельности ГАЗПРОМа занято 340 тыс. человек.

Объектами систем энергоснабжения в газовой промышленности являются пункты добычи, переработки, транспорта газа, буровые установки, а также хранилища газа, вспомогательные объекты, обеспечивающие жизнедеятельность технологических и коммунально-бытовых потребителей, системы автоматизации, электрохимзащиты, линейной телемеханики и связи.

Наиболее многочисленными промышленными объектами газовой промышленности являются объекты транспорта газа, компрессорные станции магистральных газопроводов. К системам энергоснабжения предъявляются весьма высокие требования. Энергоснабжение объектов газовой промышленности осуществляется от районных и местных сетей электрических систем, а также от электростанций собственных нужд.

В районах со сложными природно-климатическими условиями в качестве основного источника электроэнергии используются электростанции собственных нужд с поршневым и газотурбинным приводом, работающие на природном газе.

В газовой промышленности имеется достаточно большое количество вдольтрассовых ЛЭП, предназначенных для электроснабжения многочисленных линейных потребителей магистральных газопроводов (установки катодной защиты, крановые площадки, пункты телемеханики и т.п.). Мощность таких потребителей лежит в пределах 1...10 кВт, однако общее число их значительно и находится в пределах 15...20 тысяч. При отсутствии внешних источников, питание осуществляется от автономных ЭУ: электроагрегатов с газовым, дизельным, бензиновым двигателями различных моделей, термоэлектрогенераторов, турбоальтернаторов, ветроэнергетических установок и т.д. Используются как российские разработки - термогенераторы типа ГТГ-150, работающие в составе автономных источников питания АИП, так и источники зарубежных фирм - турбоальтернаторы "ORMAT", турбогенераторы канадской фирмы "Global TERMOELECTRIC" и "TELAN" США.

Надежность электрооборудования, ЛЭП, трансформаторных подстанций и электростанций, обеспечивающих работу предприятий газовой промышленности должна быть исключительно высокой, так как большинство потребителей относятся к особой группе первой категории.

Повышение надежности энергоснабжения предприятий газовой промышленности осуществляется как путем повышения надежности отдельных агрегатов, так и принятием соответствующих схемно-технических решений,

обеспечивающих бесперебойность электроснабжения путем резервирования и создания избыточности установленной мощности.

На предприятиях РАО "ГАЗПРОМ" находится в эксплуатации большое количество электрогенераторов и электростанций различных типов и мощностей, которые обеспечивают устойчивую работу газодобывающих и газотранспортных комплексов при возникновении перерывов в электроснабжении от ЛЭП. Наиболее многочисленные из них - электроагрегаты мощностью 100, 500 и 630 кВт. Эти агрегаты соответствуют современным требованиям по автоматизации и хорошо себя зарекомендовали в эксплуатации.

Резервные электроагрегаты и электростанции в настоящее время - газотурбинные, среди которых имеются устаревшие модификации. Существующий парк электроагрегатов отрасли требует проведения работ по плановой модернизации всего парка. Такая работа ведется, намечается применять самое современное электротехническое оборудование с учетом специфики и принципов рыночной политики.

Наиболее эффективным представляется путь создания на объектах отрасли электростанций собственных нужд, обеспечивающих надежное электроснабжение предприятий отрасли и продажу избытков электроэнергии и тепла сторонним организациям.

Важное значение имеет дальнейшее улучшение технико-экономических характеристик электростанций, совершенствование всех их систем и оборудования. РАО "ГАЗПРОМ" разработало мощностной ряд источников электроэнергии, рекомендуемый для применения в отрасли.

Мощностной ряд включает в себя 10 номиналов мощностей (14 типов станций) электростанций, из них 5 в диапазоне мощностей от 100 до 1000 кВт и 5 номиналов (9 типов станций) в диапазоне от 1500 до 6000 кВт. При разработке мощностного ряда учитывались производственные возможности наших машиностроительных заводов, а также современный уровень развития автономных источников электроэнергии с поршневыми и газотурбинными двигателями и перспективы их совершенствования.

Мощностной ряд электростанций, рекомендуемых для применения на предприятиях РАО "ГАЗПРОМ".

NN	Класс использования	Мощность, кВт	КПД, %
1	А,Р	100	36
2	А, Р	200	37
3	А, Р, О	500	34
4	А	630	38
5	А, Р, О	1000	37
6	А, Р, О	1500	21
7	Р, О	2000	21
8	Р, О	2500	27
9	Р, О	4500	24
10	Р, О	6000	30

Электростанции: А - аварийные; Р - резервные; О - основные.

В последние годы, в связи с переориентацией экономики, а также отказом государственных структур от участия в проектировании и строительстве электросетевых объектов и генерирующих источников для новых месторождений, специалистам отрасли пришлось самостоятельно решать проблемы становления и развития систем электроснабжения. И, в связи с этим, РАО "ГАЗПРОМ" разработало концепцию построения систем энергоснабжения и ряд нормативных документов, регламентирующих их создание (категорирование электроприемников, расчет количества электроагрегатов СН, схем электроснабжения КС МГ) при оптимальном сочетании базовых , резервных и аварийных источников электроснабжения, освоенных промышленностью России.

В отрасли накоплен достаточный опыт проектирования, строительства и эксплуатации систем электроснабжения газодобывающих и газотранспортных комплексов, расположенных как в освоенных районах России, так и в районах со сложными природно-климатическими условиями.

ГАЗПРОМ до последнего времени осуществлял поставки газа электростанциям России, ближнего и дальнего зарубежья, не участвуя в реализации конечного продукта - электроэнергии и тепла, то есть выступал в качестве сырьевого придатка.

В настоящее время у РАО ГАЗПРОМ появляются два канала получения прибыли от эксплуатации электростанций: прибыль, от реализации газа, и прибыль от капитала, вложенного в строительство электростанций.

С целью участия в реализации газоэнергетических проектов на территории ближнего и дальнего зарубежья РАО "ГАЗПРОМ" проводит активные переговоры с рядом фирм США, Турции. Италии и др.

РАО "ГАЗПРОМ" намерено участвовать в проектировании, строительстве, эксплуатации и владении электростанциями при выполнении следующих условий. На тот, или иной проект должно быть представлено технико-экономическое обоснование. Изучив его и убедившись в эффективности проекта ГАЗПРОМ готов создавать любые структуры для реализации проекта.

Энергоустановки на базе топливных элементов, данные о которых все чаще поступают к нам, а разработка энергоустановок малой мощности на фосфорнокислых и расплавкарбонатных топливных элементах финансируется отраслью, представляют несомненный интерес для предприятий и объектов ГАЗПРОМа в силу своих декларативных технических, эксплуатационных и других характеристик:

- высокой эффективности;
- экологической чистотоы;
- надежности работы;
- высокого качества энергии;
- безопасности работы;
- совместимости с существующими системами и агрегатами.

Речь идет, как об энергоустановках малой мощности 1-100 кВт, так и об энергоустановках большой мощности - 1 МВт и выше.

При условии подтверждения своих потребительских качеств и приемлемой стоимости энергоустановок, мы готовы рассмотреть любой проект. Будем ждать конкретных предложений с Вашей стороны.

Спасибо за внимание.

РОССИЙСКОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
"ГАЗПРОМ"
г. МОСКВА

РЫНОК ГАЗПРОМА ДЛЯ ЭНЕРГОУСТАНОВОК НА ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ

Тезисы доклада на Российско - Американском семинаре по топливным элементам.
Альбукерке, США, 26 сентября 1995 г.

Ю.В. Галицкий
Заместитель начальника управления научно - технического прогресса и экологии РАО "ГАЗПРОМ"

ВВЕДЕНИЕ

♦ **Существующие мощности РАО "ГАЗПРОМ":**

- 70 газовых и газоконденсатных месторождений;
- 37 млн. кВт установленных мощностей для транспортировки и компрессирования;
- 16 подземных хранилищ газа;
- 340 тысяч человек, занятых в сферах деятельности ГАЗПРОМа.

ОСНОВНЫЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ РАО "ГАЗПРОМ" ЗА 1994 г.

•Добыча газа	570 млрд.куб.м
•Добыча нефти и газового конденсата	7881 тыс.т
•Переработка газа	37.4 млрд.куб.м
•Сера	2123.1 тыс.т
•Гелий	3727 тыс.куб.м
•Сжиженый газ	630 тыс.т
•Дизельное топливо	948 тыс. т
•Бензин	393 тыс.т
•Плиты газовые	473 тыс.шт.
•Прибыль	5488 млрд.руб.
•Освоено капитальных вложений	7472 млрд.руб.
•Экспорт газа всего,	184.7 млрд.куб.м
в т.ч. в страны СНГ	78.8 млрд. куб.м
•Доля России в международной торговле природным газом	38.9%

Ю.В.ГАЛИЦКИЙ 08.09.95

ОБЪЕКТЫ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ В ГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ:

- пункты добычи, переработки, транспорта газа;
- хранилища газа;
- вспомогательные объекты, обеспечивающие жизнедеятельность технологических и коммунально-бытовых потребителей;
- системы автоматизации, электрохимзащиты, линейной телемеханики и связи.

СУЩЕСТВУЮЩИЕ СХЕМЫ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ

- Энергоснабжение объектов газовой промышленности в основном осуществляется от районных и местных сетей энергетических систем.

- В районах со сложными природно-климатическими условиями в качестве основного источника электроэнергии используются электростанции собственных нужд с поршневым и газотурбинным приводом.

- Линейные потребители магистральных газопроводов мощностью от 1 до 10 кВт, общее число которых составляет 18 - 20 тыс., в основном, питаются от вдольтрассовых ЛЭП. При отсутствии внешних источников, эти потребители питаются от автономных энергоустановок.

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ РАО 'ГАЗПРОМ'

- Надежность электрооборудования, ЛЭП, трансформаторных подстанций и электростанций, обеспечивающих работу предприятий газовой промышленности, должна быть исключительно высокой, так как большинство потребителей относится к особой группе первой категории.

- Два пути повышения надежности:
  - повышение надежности отдельных электроагрегатов;
  - резервирование и создание избыточности установленной мощности.

- На предприятиях РАО "ГАЗПРОМ" находится в эксплуатации большое количество электрогенераторов и электростанций различных типов и мощностей, в т.ч. устаревших модификаций.

- Проводится работа по плановой модернизации энергоснабжения отрасли, намечается применять самое современное электротехническое оборудование.

- Наиболее эффективный путь - создание на объектах отрасли электростанций собственных нужд.

Ю.В.ГАЛИЦКИЙ 08.09.95

МОЩНОСТНОЙ РЯД ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ, РЕКОМЕНДУЕМЫХ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ РАО 'ГАЗПРОМ':

NN	Класс использования	Мощность, кВт	КПД, %
1	А,Р	100	36
2	А, Р	200	37
3	А, Р, О	500	34
4	А	630	38
5	А, Р, О	1000	37
6	А, Р, О	1500	21
7	Р, О	2000	21
8	Р, О	2500	27
9	Р, О	4500	24
10	Р, О	6000	30

Электростанции: А - аварийные; Р - резервные; О - основные

Ю.В.ГАЛИЦКИЙ 08.09.95

НОВАЯ КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ

- В сложившейся экономической ситуации специалистам отрасли приходится решать проблемы энергоснабжения независимо от государственных структур.
- В отрасли накоплен достаточный опыт проектирования, строительства и эксплуатации систем электроснабжения в различных районах России.
- В настоящее время у РАО 'ГАЗПРОМ' появляются два канала получения прибыли от эксплуатации электростанций:
  - прибыль от реализации газа;
  - прибыль от капитала, вложенного в строительство электростанций.
- РАО 'ГАЗПРОМ' проводит активные переговоры с рядом фирм США, Турции, Италии, и др. с целью реализации газоэнергетических проектов.

ИНТЕРЕС РАО 'ГАЗПРОМ' К ЭНЕРГОУСТАНОВКАМ НА ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ.

- ЭУ на ТЭ представляют несомненный интерес для предприятий и объектов ГАЗПРОМа в силу своих декларированных технических, эксплуатационных и других характеристик.

- Речь идет, как об ЭУ малой мощности 1 - 100 кВт, так и об электрических станциях большей мощности - 1 МВт и выше.

- Мы готовы рассмотреть любой проект, при условии подтверждения своих потребительских качеств и приемлемой стоимости ЭУ на ТЭ.

Intentionally Left Blank

FUEL CELL ENERGY SERVICE
ENRON'S COMMERCIAL PROGRAM

Malcolm W. Jacobson
Director, Marketing and Finance
Enron Capital and Trade Resources -
Emerging Technologies

Enron, the premier provider of clean fuels worldwide, has launched a unique energy service based on fuel cell technology. The goal of this program is to bring the benefits of fuel cell power to the broad commercial marketplace. These benefits accrue both to end-users of power and distribution utilities.

Enron's Energy Service is currently based on a 200 kilowatt phosphoric acid power plant manufactured by ONSI Corporation, a unit of United Technologies, Inc. This "super clean" power plant is fueled by natural gas or propane, and exhibits extraordinary performance.

Enron offers a comprehensive "no hassle" package that provides customers with immediate benefits with no upfront capital or technical risks. Enron installs, owns, operates, maintains and procures fuel for the power plant. Highly conditioned power and heat are generated on site and delivered to the customer under a long term contract. Customers enjoy lower overall energy cost, enhanced reliability of services, elimination of conventional standby generation and other benefits. Utilities can also benefit from elimination or deferral of distribution upgrades, enhancement of overall system reliability and environmental credits.

Intentionally Left Blank

Коммерческая программа услуг энергоснабжения компании "Энроні на основе технологии топливных элементов

Малькольм У. Джейкобсон
Управляющий финансовыми делами и службой маркетинга компании "Энрон: Ресурсы капитала и торговли - развивающиеся технологииі (Enron Capital and Trade Resources - Emerging Technologies)

Компания "Энрон", основной мировой поставщик экологически чистых видов топлива, начала предлагать уникальные услуги по энергоснабжению на основе технологии топливных элементов. Цель этой программы состоит в представлении премуществ энергосистем на топливных элементах на широком коммерческом рынке. Эти преимущества накапливаются со временем в виде суммарных выгод для конечных пользователей коммунальных услуг и компаний по снабжению электроэнергией.

Программа энергоснабжения компании "Энрон" в настоящее время базируется на фосфорнокислой энергетической установке мощностью 200 кВт, изготовленной корпорацией ONSI, подразделением корпорации "Юнайтед Технолоджиз" (United Technologies). Эта "сверхчистая" установка заправляется природным газом или пропаном и демонстрирует превосходное качество работы.

Компания "Энрон" предлагает пользователям всесторонний, удобный в пользовании комплекс услуг, приносящий непосредственную выгоду заказчикам без технического риска или необходимости немедленного вложения капитала. Компания "Энрон" производит монтаж оборудования, является владельцем, обеспечивает эксплуатацию и техобслуживание, и закупает топливо для энергоустановки. Предприятие производит высококачественную электроэнергию и тепло и снабжает ими заказчиков в рамках долговременных контрактов. Заказчики выражают удовлетворение общей низкой стоимостью энергоснабжения, повышенной надежностью услуг, устранением традиционной резервной выработки электроэнергии и другими преимуществами. Коммунальные службы могут также извлечь выгоды в результате прекращения или отсрочки в проведении модернизации средств распределения, повышения общей надежности системы и в виде льгот за охрану окружающей среды.

Fuel Cell Power:
"A Competitive Option Today"

ENRON CAPITAL & TRADE RESOURCES
WORLDWIDE ENERGY SOLUTIONS

Who is Enron?

- Premier provider of natural gas and clean fuels worldwide
- Largest player in U.S. gas market with $8 billion in sales
- Operations span from "drill bit to bus bar"
- Exploration & Production: Enron Oil & Gas a leading independent producer
- Transmission: 44,000 miles of pipeline worldwide
- Gas Marketing: Daily volume transacted equivalent to 22% of U.S. consumption
- Power Marketing: Enron Power Marketing leading the way as deregulation unfolds
- Power Plant Development/Operations: Over 3,300 MW worldwide
- "Emerging" Technologies: Solar Photovoltaics & Fuel Cells

ENRON CAPITAL & TRADE RESOURCES
WORLDWIDE ENERGY SOLUTIONS

Enron's Fuel Cell Program

- Goal: Bring the benefits of fuel cell power generation technology to the broad commercial marketplace

- Strategy:
  - Alliance with leading manufacturer
  - Energy Service package tailored to the commercial market
  - Alliances with local gas/electric utilities

- Who Can Benefit:
  - Commercial power consumers
  - Utilities

- Status:
  - Now submitting commercial proposals in the U.S. (primarily California and the Northeast)
  - Pursuing strategic alliances with utilities
  - Evaluating international markets

ENRON CAPITAL & TRADE RESOURCES
WORLDWIDE ENERGY SOLUTIONS

Discussion Outline

- Technology Overview
- Enron's Energy Service Package
- The Value to the Power Consumer
- Where Can Fuel Cells Make Sense?
- A "Real Life" Case Study
- Questions/Discussion

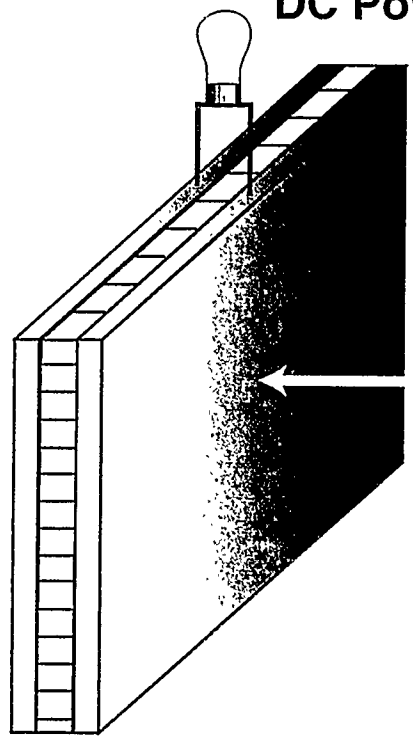
Technology Overview

ENRON CAPITAL & TRADE RESOURCES
WORLDWIDE ENERGY SOLUTIONS

What is a Fuel Cell?

- Produces electricity through electrochemical process
- "Reverse Electrolysis": a battery that doesn't run down
- Basic fuel is hydrogen; typically derived from natural gas or propane
- By products: heat and water
- No pollutants

The Fuel Cell Power System



$$\text{Fuel} + \text{Air} \rightarrow \text{Power} + \text{Water} + \text{Heat} + CO_2$$

$$+ \cancel{NO_x} + \cancel{SO_x} + \cancel{CO} + \cancel{HC} + \cancel{\text{Noise}}$$

ENRON CAPITAL & TRADE RESOURCES
WORLDWIDE ENERGY SOLUTIONS

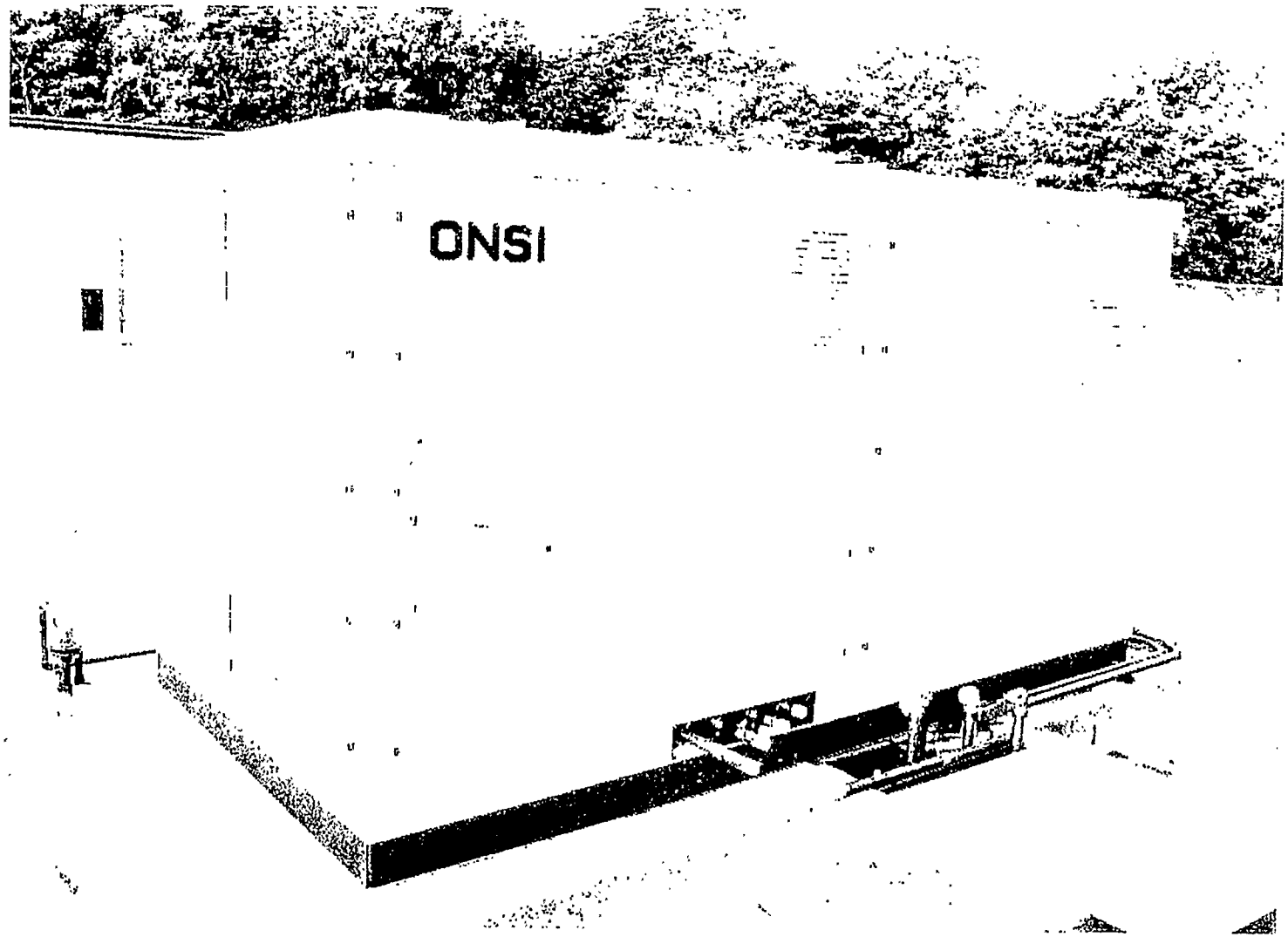
History of Fuel Cells

- Basic fuel cell concept discovered 150 years ago
- Barrier to commercialization: high mfg. cost
- 1960's: first employed in space program
- 70's & 80's: confined to spacecraft, submarines, and other military applications
- Last 3 years: great strides in cost engineering
- Units now in commercial operation in U.S., Europe, and Japan

The Technology for Today

- Packaged 200-kilowatt power plant manufactured by a division of United Technologies, Inc.
- Fuel: low pressure pipeline quality natural gas or propane
- Output: highly conditioned electricity and heat in the form of hot water
- Efficiency: 40% electrical; 80%-plus total
- Footprint: 10'x18'x10'
- Quiet operation/no moving parts
- Fully safety engineered/AGA certified
- Impressive performance history

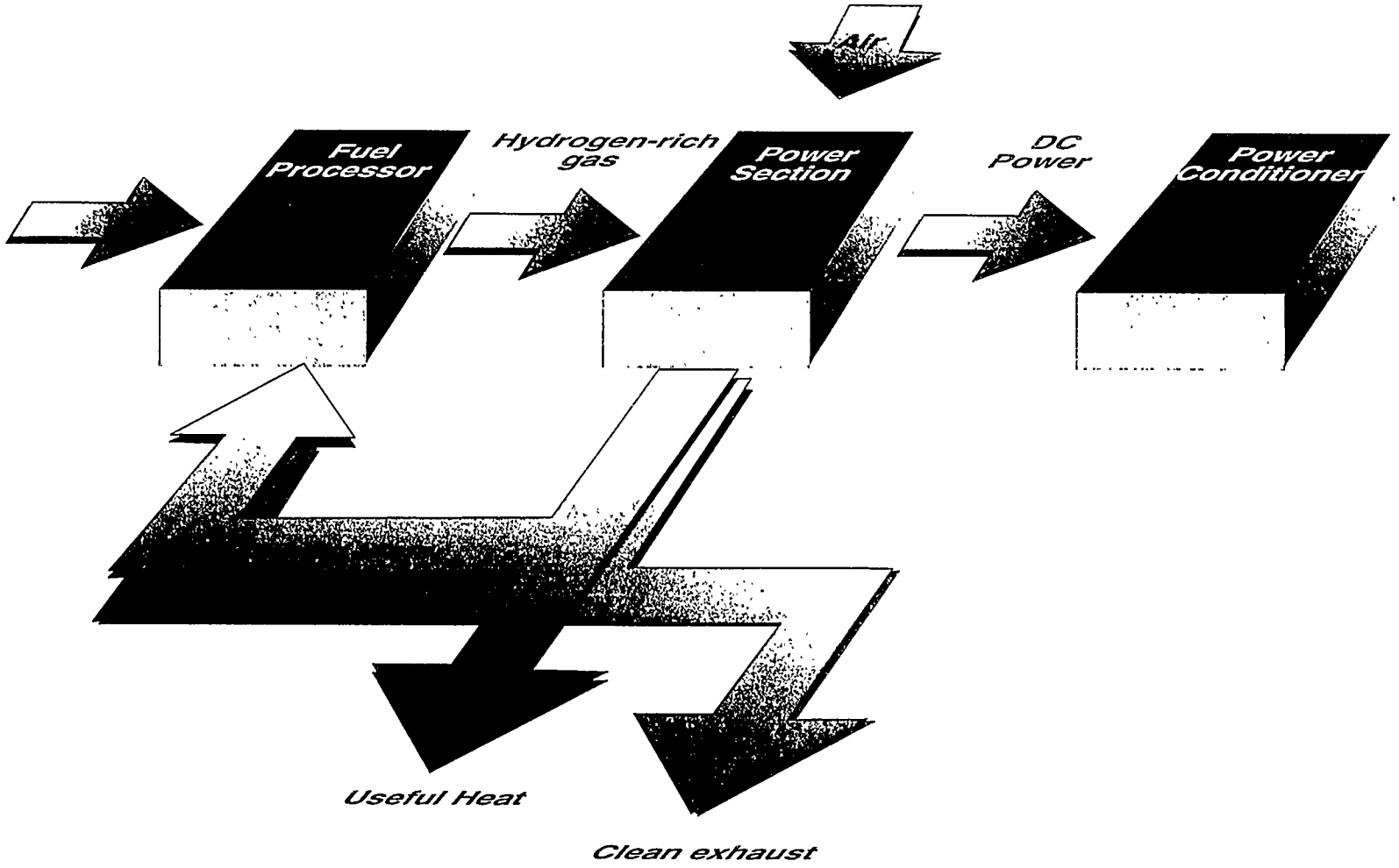
ENRON CAPITAL & TRADE RESOURCES
WORLDWIDE ENERGY SOLUTIONS



PC-25 Fuel Cell Power Plant

ENRON CAPITAL & TRADE RESOURCES
WORLDWIDE ENERGY SOLUTIONS

The Fuel Cell Power System



ENRON CAPITAL & TRADE RESOURCES
WORLDWIDE ENERGY SOLUTIONS

Just How Clean is the PC-25?

Comparative Emissions (ppm)

	PC-25 Fuel Cell	New Combined Cycle Turbine	SCAQMD Standards
NOx	0.5	7.5	3.0
SOx	negl.	negl.	- -
Particulates	negl.	negl.	- -
CO	1.4	9.9	10.0
Non-Methane HC	0.03	6.6	250.0
Water	0.4gpm	- -	- -

ENRON CAPITAL & TRADE RESOURCES
WORLDWIDE ENERGY SOLUTIONS

Enron's Energy Service Offering

ENRON CAPITAL & TRADE RESOURCES
WORLDWIDE ENERGY SOLUTIONS

Enron's Energy Service Deal

"A Hassle Free Package"

- Enron installs, owns, operates, and maintains fuel cell power plants at customer's facility
- Customer buys electricity and heat under a long-term contract with flexible pricing options
- Customer bears no up-front cost and takes on no "technology risk"
- Enron service includes
  - Permitting
  - Installation
  - Fuel procurement
  - Negotiation of terms for utility interconnection and standby
  - Monitoring & maintenance

ENRON CAPITAL & TRADE RESOURCES
WORLDWIDE ENERGY SOLUTIONS

The Value to the Power Consumer

- Lower overall energy costs
- Reduced exposure to future hikes in utility rates
- Enhanced reliability: Utility backs up fuel cell/fuel cell backs up utility
- Elimination of existing or planned UPS systems
- Enhanced power quality: Elimination of grid "noise" for sensitive loads
- Incremental power
- PR value of employing clean, green energy solutions

The Value to the Utility

- Elimination/deferral of transmission and distribution costs
- Enhanced electrical service to customer
- Environmental friendliness/emission credits
- Enhanced system reliability: Insignificant impact from a single point failure
- Reduced reserve requirements
- Dispatchability/remote operation

Where Can Fuel Cells Make Sense Today?

ENRON CAPITAL & TRADE RESOURCES
WORLDWIDE ENERGY SOLUTIONS

The Ideal Site

- Base load (constant) electricity consumption of at least 200 kw
- High existing electricity rates: typically an average of at least 8¢/kwh
- Compatible thermal load for cogenerated hot water; Min 0.7 MMBtu/hr
- High existing cost of thermal energy
- Existing problems with power outages; Need for reliable UPS
- Need for highly conditioned power
- Need for incremental power not available from utility
- Environmental permitting barriers to conventional on-site generation

Compatible Thermal Applications

- Domestic hot water
- Service hot water (laundry, etc.)
- Industrial process water
- Space heating
- Boiler feedwater
- Absorption chiller

Prime Candidates

By Geographic Type:

- U.S.
  - New York City (Con Ed, LILCO territories)
  - California
  - Upstate NY
  - New Jersey
  - Connecticut
  - Philadelphia, Boston, & Detroit
- International
  - Caribbean Islands
  - Latin America
  - Other ?

Prime Candidates

By Facility Type:

- Hospitals/Nursing Homes
- Hotels
- Universities
- Manufacturing Facillities
- Laboratories
- Remote Locations

A "Real Life" Case Study

Case Study

Site: Hotel

Location: Mid-Town Manhattan

Energy Consumption:

- Electricity - 3700 kw peak; 1500 kw min
- Steam - 6137 Mlbs/mo (1 Mlbs = approx 1 MMBtu)
- Gas - 454 Mcf/mo

Current Rates:

- Electricity - Con Ed Sched 9, Rate II, Low Tension Svc.
  - W: 10.95 $/kw + 5.01 ¢/kwh
  - S: 35.44 $/kw + 5.07 ¢/kwh
- Steam - Con Ed; $11.16/MMBtu avg.

Case Study (cont.)

Energy Needs:

- Lower energy bill
- Incremental power to serve additional load

Case Study (cont.)

Energy Service Proposal:

- Install six PC-25 units on second story roof
- Fuel cells baseloaded to provide 1200 kw of power to two separate transformers serving most stable load
- Heat loop configured to pre-heat domestic hot water, displacing steam @ 4.2 MMBtu/hr
- Pricing Structure: Predetermined, escalating capacity charge, electric energy charge, and thermal energy charge
- Contract Term: 20 years with termination provisions

ENRON CAPITAL & TRADE RESOURCES
WORLDWIDE ENERGY SOLUTIONS

Case Study (cont.)

Realized Benefits:

- Savings: $200,175 (17%) estimated year 1
  (versus current utility rates; no standby)
- Ability to add up to 1200 kw incremental load

DEVELOPMENT OF THE WORK ON FUEL CELLS IN THE MINISTRY FOR ATOMIC ENERGY OF RUSSIAN FEDERATION

Mr.Lubovin B.Y.,
Chairman of the Coordinative Counsil of Experts (CCE)
on MINATOM RF "Fuel Cell" Program,
Deputy Head, Chief Directorate of MINATOM RF

Dr.Novitski E.Z.,
Member of CCE of MINATOM RF,
Head of the "Autonomous Power Engineering" Department,
RFNC-VNIIEF

1.

1.1. The beginning of the practical work on fuel cells (FC) in Russia dates back to the time border of 50s-60s when the Ural Electrochemical Plant (UECP) and the Ural Electromechanical Plant (UEMP) of the Ministry of Medium Machine-Building of the USSR (MINSREDMASH, the former name of MINATOM), All-Russia Research Institute of the power sources (now it is a Scientific and Production Organization (SPO) "Kvant", Moscow) and many other institutes of the Ministry of Electrotechnical Industry of the USSR got to the development of the alkaline FC for the spaceships according to the tasks of the SPC "Energy" and for the submarines on the tasks of the Ministry of Defense.

In 1971 a 4.5 kW power plant (PP) on the base of alkaline FC (AFC) for the Moon space program was created, and in 1990 a 60 kW PP for the spaceship, Russian space shuttle "Buran" was built. In October of 1992 in Nitherlands, in the European Center of Space Research and Technologies they continued 10 days continuous testing of the electrochemical generator that is the main component of the spaceship "Buran" power supply system. These testings proved that as far as the out parameters, internal resistance, starting-up efficiency and operational convenience of this system are concerned, there is no its analogs in the world and that it may be used also in the European space programs.

1.2. By the end of the 80s in the Kurchatov Institute of Atomic Energy of the Ministry of Medium Machine Building a group of scientists under the leadership of Academician Rusanov V.D. that worked in the field of hydrogen energetics developed the technology of the solid polymer ion-conducting membranes for the electrolyzers of different types, and there was only one step left to the protone-exchange membrane fuel cells (PEMFC). Now laboratory units of PEMFC stacks of 0.01-1 kW are developed and manufactured here. Further development of PEMFC and related to them metanol FCs (MFC), development of the electrochemical generators (ECG) and power plants on the base of PEMFC and MFC are underway on the Plant of Electromechanic Equipment (PEE) (town Protvino) of MINATOM RF.

1.3. When the conversion of the MINATOM nuclear weapon complex began in 1989, RFNC-VNIITF (Chelyabinsk-70) and RFNC-VNIIEF (Arzamas-16) started work on high-temperature FC: solid oxide FC (SOFC) and molten carbonate FC (MCFC). At the same time also within the conversion program UECP began the development of the phosphoric-acid FC (PAFC) of the medium temperature range. Meanwhile this integrated plant preserves its close and old collaboration with the SPC "Energy".

1.4. The trends of work mentioned above always based on the scientific experience accumulated in the institutes of the Academy of Science of the USSR (AS USSR) or in the

branch institutes. The works of the Institute of Electrochemistry of the AS USSR (school of the Academician Frumkin A.N.), the Institute of High Temperature Electrochemistry (IHTE) of the Ural Department of the AS USSR (the school of the Academician Baraboshkin A.N., SPC "Kvant" (Mr.Lidorenko N.S., Mr.Muchnik G.F., etc.), Moscow State University (Mr. Damaskin B.B., Mr.Petriya O.A.), Moscow Power Engineering Institute (Professor Korovin N.V.), etc. are well known now. The role of the Scientific Society on electrochemistry and corrosion of the Russian Department of the Academy of Science (AS USSR) headed by the Academician Kolotyrkin Y.M. in the development of the home works concerning the fuel cell is notable.

1.5. We need especially distinguish the IHTE. The school of the Academician Baraboshkin A.N. on high- temperature molten carbonate and solid oxide fuel cells is known in the world for 30 years already. Works done within this school in many scientific aspects were the pioneering ones for a long time. From our point of view they made a good service in the world in 70s-80s when there was energy crisis first and then a boom of the ECG-construction.

1.6. The comparison of the home and foreign technology developments of different types of the fuel cells and power plants on their base shows that:

- as for the alkaline fuel cell technology (AFC) and ECG construction on their base the results obtained in Russia are not less worse, but in some aspects are better their foreign analogues. The task is to maintain and advance this level and adapt AFC technology to the needs of the economy;
- in the field of the PAFC Russia lags behind the western countries, and it may seem here more reasonable to organize the production of PPs on the base of PAFC buying licences, organizing JV ,etc. with the leading firms of the USA and Japan ,
- intensive work is conducted in Russia on MCFC, SOFC, PEMFC technologies that gives Russia the opportunity to enter the world market with the PPs on the base of such types of FCs at the same time with the western countries.

2.

2.1. The general situation in energetics in Russia may result in 4-6 years into the unsatisfied demand for the energy resources. Difficult situation in the economy of Russia today does not allow make considerable investments into the construction of the new atomic power stations (APS), heat-electric generating stations (HEGS), generating stations (GS) or to finish construction of the old ones that has already been started, and also it does not allow to increase the production of the fuel and energy resources and modernize centralized power systems in a large scale.

2.2. Taking into consideration the situation given, New Energy Strategy of Russia forsees the following:

- to form the reasonable needs for energy in the society,
- to pursue the active energy saving policy,
- effective usage of all energy and fuel resources instead of the previous orientation of Fuel and Energy Industry (FEI)on the large scale increase of the production of the fuel and energy resources,
- search and development of the alternative sources of electric and heat energy that are more effective and environmentally safe in comparison with the traditional ones, especially for small energetics (0.1-30 MW) intended for energy supply of autonomous customers.

2.3. The demand in Russia for autonomous decentralized electricity and power supply sources is very great, they are necessary, in fact, in all sectors of the energy market. Nearly 50% of the territory of Russia where approximately 25 mln. people live is not covered with the

centralized power supply (Extreme North, Far East, Siberia, etc). In this situation the development of work on creation of PP on the base of the fuel cells appears to be one of the most important trends in the development of the energetics of the country.

3.

3.1. Taking into the consideration this situation and basing on the support of the Ministry for Science and Technical Progress of Russian Federation, of Russian Engineering Academy, MINATOM RF in 1994 adopted the decision:" To consider the work on the development and serial industrial implementation of fuel cells and power plants on their base to be the priority conversion direction of the nuclear weapon complex of the branch".

It is supposed that energetics on the base of fuel cells together with the safe APS of new generation, and along with and in combination with the gas-turbine stations and binar gas and heat plants and non-traditional renewable power sources will form the energetics of the of the XXI century for a long time.

3.2. Figure 1 shows the schedule of work on MINATOM Special Purpose Integrated Program (SPIP) "Development and Serial Industrial Implementation of the Power Plants Based on Fuel Cells" (code "Fuel Cell") that is meant for a period of 1995-2000. Besides the general part this SPIP contains 10 subprograms that cover the work on 6 types of FCs, and also on fuel preparation systems, secondary energy converters, heat utilization systems.

3.3. Taking into consideration the necessity of the quick enter into the Russian market of energy and heat supply, and, first of all, into the market of gas and oil producing industries, and also the status of development and the real capabilities of MINATOM enterprises, regarding the experiense of the foreign corporations that concerns the fuel cells commercialization, MINATOM Coordinative Council of Experts has established the following priorities in the development and serial production implementation of the types of FCs, ECGs and PPs:

- in a short term perspective (3-4 years):
- phosphoric acid and molten carbonate fuel cells, ECGs and PPs on their base in the power range of 1-10, 10-100, 100-1000 kW;
- solid polymer and related metanol FCs, ECGs and PPs on their base in the power range of 1-10 kW;
- R&D on solid oxide fuel cells;
- in a long term perspective (10-15 years):
- molten carbonate fuel cells, ECGs and PPs in the power range of 1-100 kW;
- solid oxide fuel cells, ECGs and PPs in the power range of 10-100, 100-1000 kW;
- solid polymer (metanol of direct oxidizing type) FCs, ECGs and PPs in the power range of 10-100, 100-1000 kW.

3.4. Work on schedule of MINATOM SPIP in the period of 1995-2000 are meant for funding of 230 bln. roubles, in 1995 - funding of 29.3 bln. roubles (in the prices of September 1994, 1 USD=3000 roubles). The sources of funding for the works on SPIP are supposed to from the budget, non-budget sources (funds), money of potential customers and consumers (direct agreements and contracts, etc.), credits and foreign investments.

3.5. MINATOM RF Coordinative Cousil of Experts works hard to give its special purpose program " Fuel Cell" the status of the State Program, to attract the attention to this program of the most possible number of the customers from the different sectors of Russian Economy.

Intentionally Left Blank

РАЗВИТИЕ РАБОТ ПО ТОПЛИВНЫМ ЭЛЕМЕНТАМ В МИНИСТЕРСТВЕ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ.

Б.Ю.Любовин
Председатель координационно-экспертного совета (КЭС)
по проблеме "Топливный элемент" МИНАТОМа РФ,
заместитель начальника Главного управления МИНАТОМа РФ

Е.З. Новицкий
Член КЭС МИНАТОМа РФ, начальник отделения
"Автономная энергетика" РФЯЦ-ВНИИЭФ

1.

1.1. Начало практических работ с топливными элементами (ТЭ) в России относится к рубежу 50-х - 60-х годов, когда Уральский электрохимкомбинат (УЭХК) и Уральский электромеханический завод (УЭМЗ) Минсредмаша СССР (прежнее название МИНАТОМа), ВНИИ источников тока (ныне НПО "Квант", г.Москва) и ряд других институтов Минэлектротехпрома СССР приступили к разработке щелочных ТЭ для космических аппаратов по заданиям НПО (РКК) "Энергия", для подводных аппаратов по заданию Министерства Обороны СССР.

В 1971 г. для Лунной космической программы была создана ЭУ на основе ЩТЭ мощностью 4,5 кВт, в 1990 г. для космического корабля "Буран" - мощностью 60 кВт. В октябре 1992 г. в Голландии, в Европейском центре космических исследований и технологий, были проведены непрерывные десятисуточные испытания электрохимического генератора, являющегося главным элементом системы энергопитания космического корабля "Буран". Эти испытания подтвердили, что по выходным параметрам, внутреннему сопротивлению, оперативности запуска и удобству эксплуатации, он не имеет аналогов в мире и может быть использован также в Европейских космических программах..

1.2. К концу 80-х годов в ИАЭ им. И.В.Курчатова Минсредмаша СССР в рамках работ по водородной энергетике группой академика Русанова В.Д. была разработана технология твердополимерных ионно-проводящих мембран для электролизеров различного назначения, откуда оставалось сделать один шаг к твердополимерному топливному элементу. Сегодня здесь разработаны и изготовлены лабораторные образцы батарей ТПТЭ мощностью от 0.01 до 1 кВт. Дальнейшая разработка ТПТЭ, а также родственных им метанольных ТЭ, разработка электрохимических генераторов (ЭХГ) и энергоустановок (ЭУ) на основе ТПТЭ и МТЭ ведутся с 1991г. на ГП "Завод электромеханического оборудования" (ГП ЗЭМО) МИНАТОМа (г.Протвино).

1.3. С началом конверсии ядерно-оружейного комплекса МИНАТОМа, в 1989г. РФЯЦ-ВНИИТФ (г.Челябинск-70) и в 1990г. РФЯЦ-ВНИИЭФ (г.Арзамас-16) приступили к разработке высокотемпературных ТЭ: твердооксидных (ТОТЭ) и расплавкарбонатных (РКТЭ) соответственно.

С этого же времени и также в порядке конверсии УЭХК приступил к разработке среднетемпературного фосфорнокислого ТЭ (ФКТЭ). При этом комбинат сохраняет старую кооперацию работ с РКК "Энергия".

1.4. Перечисленные направления работ в основе своей всегда имели научный задел, созданный в институтах АН СССР или в отраслевых институтах. Хорошо известны работы Института электрохимии АН СССР (школа академика Фрумкина А.Н.), Института высокотемпературной электрохимии УрО АН СССР (школа академика Барабошкина А.Н.), НПО "Квант" (Лидоренко Н.С., Мучник Г.Ф. и др.), МГУ (Дамаскин Б.Б., Петрия О.А.), МЭИ (профессор Коровин Н.В.) и др. Хорошо известна роль в развитии отечественных работ по ТЭ Научного совета по электрохимии и коррозии РАН (АН СССР) во главе с академиком Колотыркиным Я.М.

1.5. Особо нужно сказать об ИВТЭ. Школа академика Барабошкина А.Н. по высокотемпературным расплавкарбонатным и твердооксидным ТЭ известна миру уже около 30 лет. Работы этой школы в научном плане долго и во многом оставались пионерскими. На наш взгляд, они хорошо послужили в 70-е и в 80-е г.г. всему миру, когда там разразился сначала энергетический кризис, а потом - бум в ЭХГ-строении.

1.6. Сравнение отечественных и зарубежных разработок технологии различных типов ТЭ и ЭУ на их основе показывает:

- по технологии ЩТЭ, по ЭХГ-строению на основе ЩТЭ в России достигнуты результаты, не уступающие, а по ряду характеристик превосходящие западные аналоги. Задача состоит в том, чтобы и в будущем поддерживать и развивать достигнутый уровень, адаптировать технологию ЩТЭ к нуждам народного хозяйства;
- по технологии ФКТЭ Россия сильно отстала от Запада, и здесь разумным представляется налаживание производства ЭУ на основе ФКТЭ путем закупки лицензии, организации СП и т.п. с ведущими фирмами США или Японии;
- по технологиям РКТЭ, ТОТЭ, ТПТЭ (МТЭ) в России ведутся интенсивные работы, что даёт принципиальную возможность России выйти на мировой рынок ЭУ с этими типами ТЭ одновременно с западными странами.

2.

2.1. Общее состояние дел в энергетике России таково, что через 4-6 лет может возникнуть неудовлетворенный спрос на энергоносители. Сложное экономическое положение России не позволяет сегодня вкладывать значительные средства в строительство новых или в завершение строительства законсервированных крупных АЭС, ТЭС, ГРЭС, а также проводить крупномасштабное наращивание производства топливно-энергетических ресурсов, крупномасштабную модернизацию централизованных энергосистем.

2.2. Учитывая сложившуюся ситуацию, Новая Энергетическая стратегия России предусматривает:

- формирование разумных энергетических потребностей общества,
- проведение активной энергосберегающей политики,
- эффективное использование всех видов топливно-энергетических ресурсов, взамен прежней ориентации ТЭК на крупномасштабное наращивание производства топливно-энергетических ресурсов,
- поиск и развитие альтернативных источников электрической и тепловой энергии, более эффективных и более экологически чистых по сравнению с традиционными, особенно для малой энергетики (0,1-30 Мвт), предназначенной для энергоснабжения автономных потребителей.

2.3. В России спрос на автономные децентрализованные источники электро- и теплоснабжения огромен, в них нуждаются, по существу, все секторы энергетического рынка. Около 50% территории России, на которой проживает около 25 млн. человек, не охвачено централизованным энергоснабжением (Крайний Север, Дальний Восток, Сибирь и т.д.). В этих условиях развитие работ по созданию ЭУ на топливных элементах представляется одним из важнейших направлений развития энергетики страны.

3.

3.1. Исходя из такой оценки ситуации, опираясь на поддержку Министерства науки и технической политики РФ, Российской инженерной академии, МИНАТОМ РФ в 1994г. принял решение: "Считать направление работ по созданию и серийному освоению топливных элементов и энергоустановок на их основе приоритетным направлением конверсии ядерно-оружейного комплекса отрасли".

При этом считается, что энергетика на базе ТЭ наряду с безопасными АЭС новых поколений, наряду и вместе (в комбинации) с газотурбинными (ГТУ), бинарными парогазовыми установками (ПГУ) и с нетрадиционными возобновляемыми источниками энергии долго будет определять облик энергетики XXI века.

3.2. На рис. 1 показан план-график выполнения работ в МИНАТОМе по Целевой комплексной программе "Разработка и освоение серийного производства энергетических установок на основе топливных элементов" (шифр "Топливный элемент"), рассчитанной на период 1995-2000 г.г. Кроме общей части, ЦКП содержит 10 подпрограмм, охватывающих работы по 6 типам ТЭ, а также по системам подготовки топлива, вторичным преобразователям энергии, системам утилизации тепла.

3.3. Исходя из необходимости быстрого выхода на российский рынок энерго- и теплоснабжения, в первую очередь,- на рынок газо- и нефтедобывающей отраслей промышленности, а также исходя из уровня разработок и реальных возможностей предприятий МИНАТОМа, учитывая опыт зарубежных фирм по коммерциализации топливных элементов, Координационно-экспертный совет МИНАТОМа установил следующие приоритеты в разработке и в серийном освоении типов ТЭ, ЭХГ и ЭУ:

- в краткосрочной перспективе (3-4 года):
- фосфорнокислые и расплавкарбонатные ТЭ, ЭХГ и ЭУ в классах мощности 1-10, 10-100, 100-1000 кВт;
- твердополимерные и родственные им метанольные ТЭ, ЭХГ и ЭУ на их основе в классах мощности 1-10 кВт; НИОКР по твердооксидным ТЭ;
- в долгосрочной перспективе (10-15 лет): расплавкарбонатные ТЭ, ЭХГ и ЭУ в классах мощности 1-100 МВт;
- твердооксидные ТЭ, ЭХГ и ЭУ в классах мощности 10-100, 100-1000 кВт;
- твердополимерные (метанольные прямого окисления) ТЭ, ЭХГ и ЭУ в классах мощности 10-100, 100-1000 кВт.

3.4. Работы по план-графику ЦКП МИНАТОМа на период 1995-2000г.г. рассчитаны на финансирование в объеме около 230 млрд. руб., в 1995г. - 29,3 млрд. руб. (в ценах сентября 1994г., 3000 руб.=1 USD).
Источниками финансирования работ по ЦКП должны явиться: бюджетные ассигнования, внебюджетные средства (фонды), средства потенциальных заказчиков и потребителей (прямые договоры и т.п.), кредиты и иностранные инвестиции.

3.5. Координационно-экспертный совет МИНАТОМа РФ проводит работу над тем, чтобы придать своей целевой программе "Топливный элемент" статус Государственной программы, привлечь интерес к этой программе как можно большего числа потенциальных потребителей из различных секторов народного хозяйства России.

Best regards, E. Novitski

Fuel Cell Programs in the United States for Stationary Power Applications

Marvin Singer
U. S. Department of Energy

Abstract:

The Department of Energy (DOE), Office of Fossil Energy, is participating with the private sector in sponsoring the development of molten carbonate fuel cell (MCFC) and solid oxide fuel cell (SOFC) technologies for application in the utility, commercial and industrial sectors. Phosphoric acid fuel cell (PAFC) development was sponsored by the Office of Fossil Energy in previous years and is now being commercialized by the private sector.

Private sector participants with the Department of Energy include the Electric Power Research Institute (EPRI), the Gas Research Institute (GRI), electric and gas utilities, universities, manufacturing companies and their suppliers.

Through continued government and private sector support, fuel cell systems are emerging power generation technologies which are expected to have significant worldwide impacts. An industry with annual sales of over a billion dollars is envisioned early in the 21st century. PAFC power plants have begun to enter the marketplace and MCFC and SOFC power plants are expected to be ready to enter the marketplace in the late 1990s.

In support of the efficient and effective use of our natural resources, the fuel cell program seeks to increase energy efficiency and economic effectiveness of power generation. This is to be accomplished through the development and commercialization of cost-effective, efficient and environmentally desirable fuel cell systems which will operate on fossil fuels in multiple end use sectors.

The program objectives are to develop and demonstrate cost effective fuel cell power generation which can be successfully commercialized in the 1990s.

The program activities include basic and applied research and development, proof-of-concept activities, precommercial demonstrations, and associated private sector commercial scale activity. Some of the key elements of the program include:

- Development and demonstration, by 1996, of commercial size MCFC and SOFC integrated system units meeting functional requirements for utility scale, distributed power and on-site generation applications;

- Demonstration of cost reduction, performance and durability improvements which would enable private sector production of competitive market entry power plants before the year 2000;

- Evaluation and identification, by 1999 of advanced fuel cell concepts and configurations which would enable efficiencies over 60% (on higher heating value basis) and installed costs below 1000 dollars per kilowatt for utility scale, distributed power and on-site generation;

- Support of advanced research which would ensure availability of the critical materials and processes required for commercial market entry units before 2000 and advanced units by 2005;

- Cooperation with private sector commercialization activities to facilitate rapid cost reductions and rapid market penetration enabling industry growth to annual sales over $1 billion early in the 21st century.

- Coordination with other fuel cell development and testing activities within the government and private sector in order to leverage the available resources, avoid duplication, and maximize taxpayer return on investment.

The program strategy is to assist the private sector in developing molten carbonate and solid oxide fuel cell technologies and to participate in those field tests which would greatly improve prospects for commercialization by the private sector. The strategy also includes supporting advanced research to provide solutions in critical areas and to identify concepts which offer opportunities for significant reductions in cost and improvements in performance.

This strategy has been selected in order to leverage and focus the available resources of the government and private sectors. The intent is to accomplish important advancements in these technologies through research and development and foster the translation of these advancements into actual economic and environmental benefits.

Commercialization plans have been formulated by the private sector for market entry of these power plants fueled by natural gas in the late 1990s. Introduction of larger power plants with integrated coal gasifiers is anticipated prior to 2010.

Congressional appropriations for this program in fiscal year 1995 are $49.6 million. This is similar to the appropriation levels in fiscal years 1993 and 1994 of $50.4 million and $51.1 million respectively. Private sector resources being devoted to fuel cell development in the United States have also been estimated to be approximately $50 million per year.

Intentionally Left Blank

ПРОГРАММЫ ПО ТОПЛИВНЫМ ЭЛЕМЕНТАМ ДЛЯ СТАЦИОНАРНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК В СОЕДИНЕННЫХ ШТАТАХ АМЕРИКИ

Марвин Сингер
Министерство энергетики США

Краткая аннотация:

Отдел углеводородных источников энергии Министерства энергетики США совместно с частной промышленностью принимает участие в финансировании разработок расплавкарбонатных (РКТЭ) и твердооксидных (ТОТЭ) топливных элементов для применения при производстве электроэнергии для общего пользования, а также в коммерческом и промышленном секторах. В предыдущие годы отделом углеводородных источников энергии Министерства энергетики США финансировались разработки по фосфорнокислым топливным элементам (ФКТЭ), и в настоящее время эти разработки находятся в процессе коммерциализации частной промышленностью.

В этой программе совместно с Министерством энергетики участвуют Институт энергетических исследований (EPRI), Институт газовых исследований (GRI), фирмы, занимающиеся электро- и газоснабжением, университеты, производственные фирмы и их поставщики.

Предполагается, что при продолжающейся поддержке со стороны правительства и частного сектора системы на топливных элементах станут технологиями производства электроэнергии, которые будут иметь значительный глобальный эффект. Мы предвидим, что в начале 21-ого века эта промышленность будет иметь годовой оборот свыше миллиарда долларов. Энергетические установки на ФКТЭ уже начинают занимать определенное место на рынке сбыта и предполагается, что энергетические установки на РКТЭ и ТОТЭ начнут выходить на рынок сбыта в конце 1990-х годов.

Для того, чтобы обеспечить экономичное и эффективное использование наших природных ресурсов, программы по топливным элементам занимаются исследованием путей повышения эффективности и экономичности производства энергии. Такая цель будет достигнута посредством разработки и коммерциализации эффективных по себестоимости, обладающих высокой продуктивностью и экологически привлекательных систем топливных элементов, которые будут эксплуатироваться на природном топливе в секторах с многообразным применением энергии.

Целью программы является разработка и демонстрация экономичного производства энергии с использованием топливных элементов, которое можно будет использовать в коммерческих целях уже в 90-е годы.

Деятельность в рамках программы включает в себя фундаментальные и прикладные исследования и разработки, работу на подтверждение концепции, предкоммерческие демонстрации и связанные с этой деятельностью мероприятия, осуществляемые частным сектором в коммерческом масштабе. Ниже приводятся некоторые из ключевых элементов программы:

- Разработка и демонстрация к 1996-му году системы, интегрирующей РКТЭ и ТОТЭ в единые элементы, которая бы удовлетворяла функциональным требованиям для применения в производстве энергии для энергосистем общего пользования, в распределительных сетях и для производства энергии на месте;
- Демонстрация снижения себестоимости, улучшения рабочих характеристик и срока службы, которые позволили бы частному сектору до 2000-го года начать конкурентноспособное производство энергии на энергетических установках;
- Оценка и определение к 1999-му году передовых концепций и конфигураций топливных элементов, которые позволят достичь КПД, равное 60% (на основе более высокой величины нагрева), и стоимость которых не превысит 1000 долларов на киловатт энергии по отношению к производству энергии в масштабе энергосистем общего пользования и для применения в распределительных сетях и в производстве энергии на местах;
- Поддержка передовых исследований, целью которых является обеспечение наличия критических материалов и процессов, необходимых для выхода на рынок коммерческих элементов до 2000-го года и наиболее совершенных элементов к 2005-му году.
- Сотрудничество с частным сектором в деятельности по коммерциализации с целью содействия быстрому снижению стоимости и быстрому проникновению на рынок сбыта, таким образом способствуя росту годового оборота промышленности до более 1 миллиарда долларов в начале 21-ого века.
- Координация усилий с другими мероприятиями по разработке топливных элементов и испытаниями, проводимыми в рамках правительственного и частного сектора, чтобы привлечь имеющиеся ресурсы, избежать дублирования работ и довести до максимума прибыль на капиталовложения налогоплательщиков.

Стратегия, применяемая в рамках программы, состоит в оказании содействия частному сектору в разработке технологий РКТЭ и ТОТЭ, а также в участии в тех полевых испытаниях, которые значительно улучшат возможности частного сектора для коммерциализации. Стратегия также включает в себя поддержку новых исследований, направленных на нахождение решений в критических областях и на определение концепций, применение которых поможет значительно снизить стоимость и повысить рабочие характеристики.

Такая стратегия была избрана с тем, чтобы уравновесить и направить в правильное русло ресурсы, имеющиеся как у правительственных организаций, так и у частного сектора. Целью стратегии является значительная модернизация этих технологий в результате проведения научных исследований и разработок и

стимулирование переноса этих достижений для получения действительных экономических и экологических выгод.

Частным сектором были составлены планы коммерциализации для вывода этих энергетических установок, работающих на природном газе, на рынок сбыта к концу 1990-х годов. Ввод в эксплуатацию энергоустановок более высокой мощности с интегрированными угольными газогенераторами предполагается до 2010-го года.

В 1995-ом бюджетном году конгресс США ассигновал на эту программу 49,6 миллиона долларов. Такой уровень ассигнований приблизительно равен уровням ассигнований в 1993 и 1994 годах, которые составляли соответственно 50,4 и 51,1 миллиона долларов. Вклад частного сектора в разработку топливных элементов в США также оценивается приблизительно в 50 миллионов долларов в год.

FUEL CELL PROGRAM FOR STATIONARY APPLICATIONS

DEPARTMENT OF ENERGY • UNITED STATES OF AMERICA •

Office of Fossil Energy
Office of Special Technologies

Office of Fossil Energy
Fuel Cell Program

GOALS

Develop Fuel Cell Systems that are:

- Cost Effective
- Efficient
- Clean

Strategic Objectives

NEAR-TERM (TO 2000):

- Demonstrate and Commercially Introduce
  - Gas-fueled, on-site units, multikilowatt range
  - Gas-fueled, utility units, low megawatt range

Strategic Objectives (Continued)

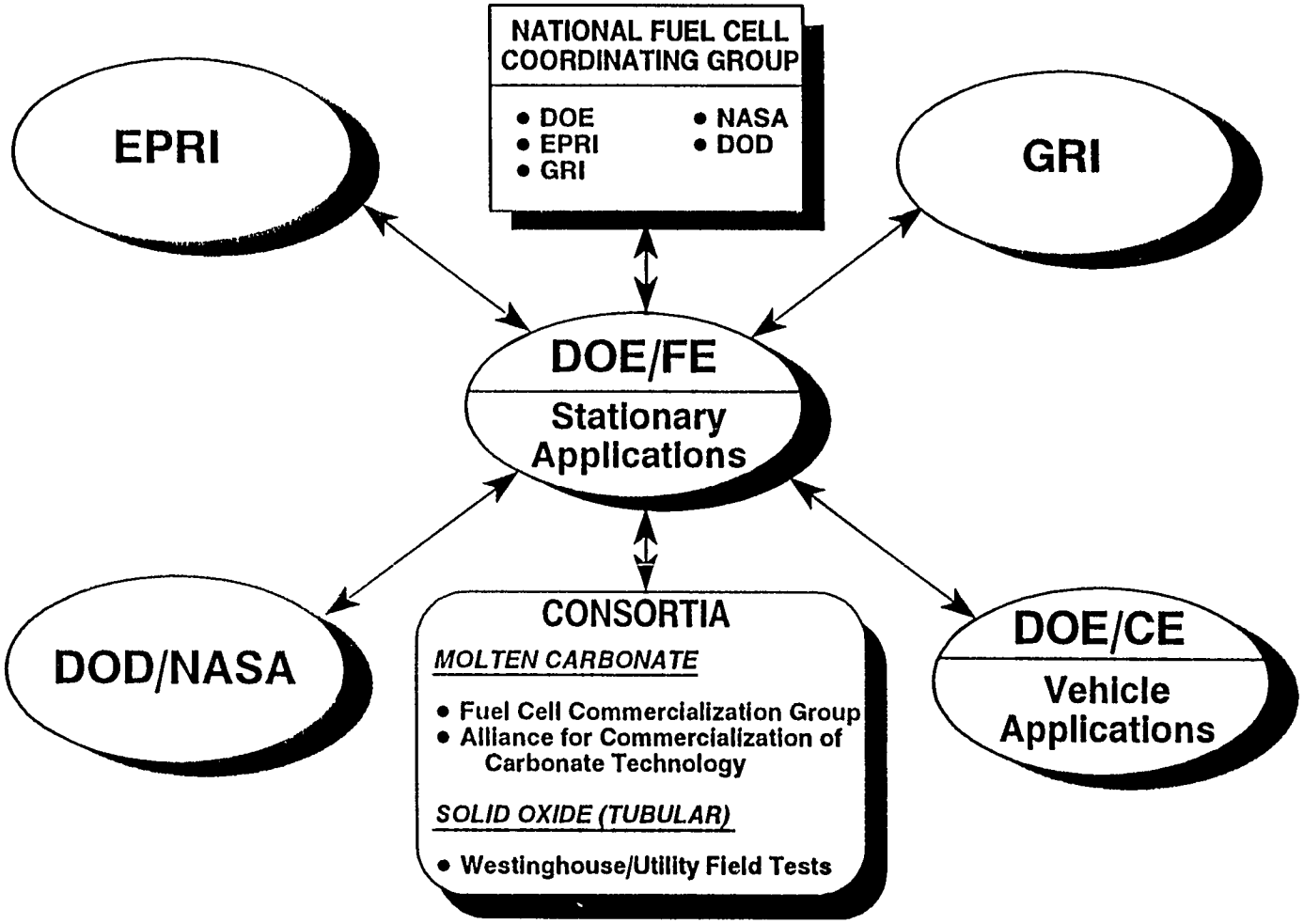
MID-TERM (TO 2010):

- Market penetration, gas based systems
- Commercially demonstrate coal based systems

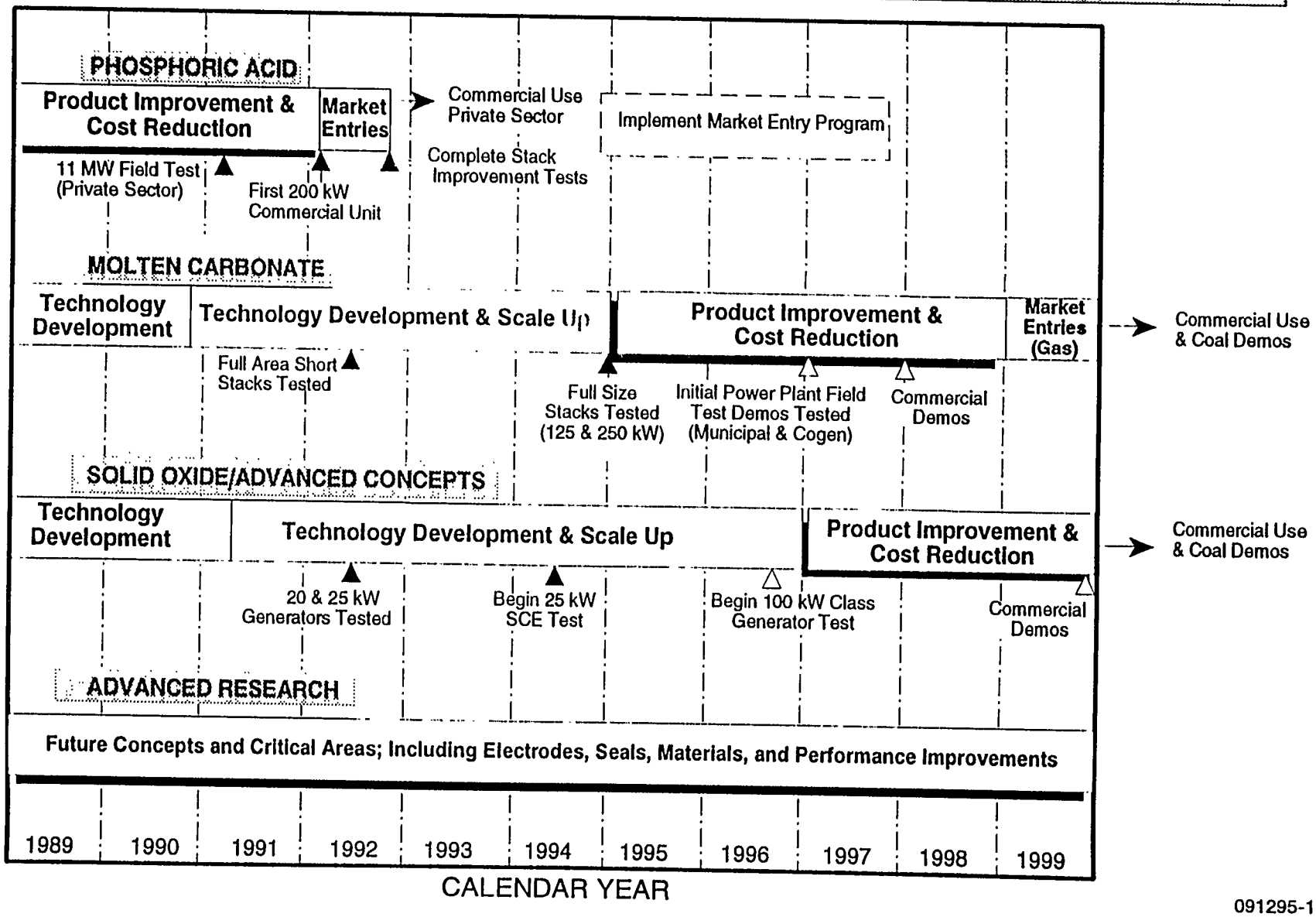
LONG TERM (TO 2030):

- Commercial availability, advanced fuel cell systems

DOE Fuel Cells Program Interactions

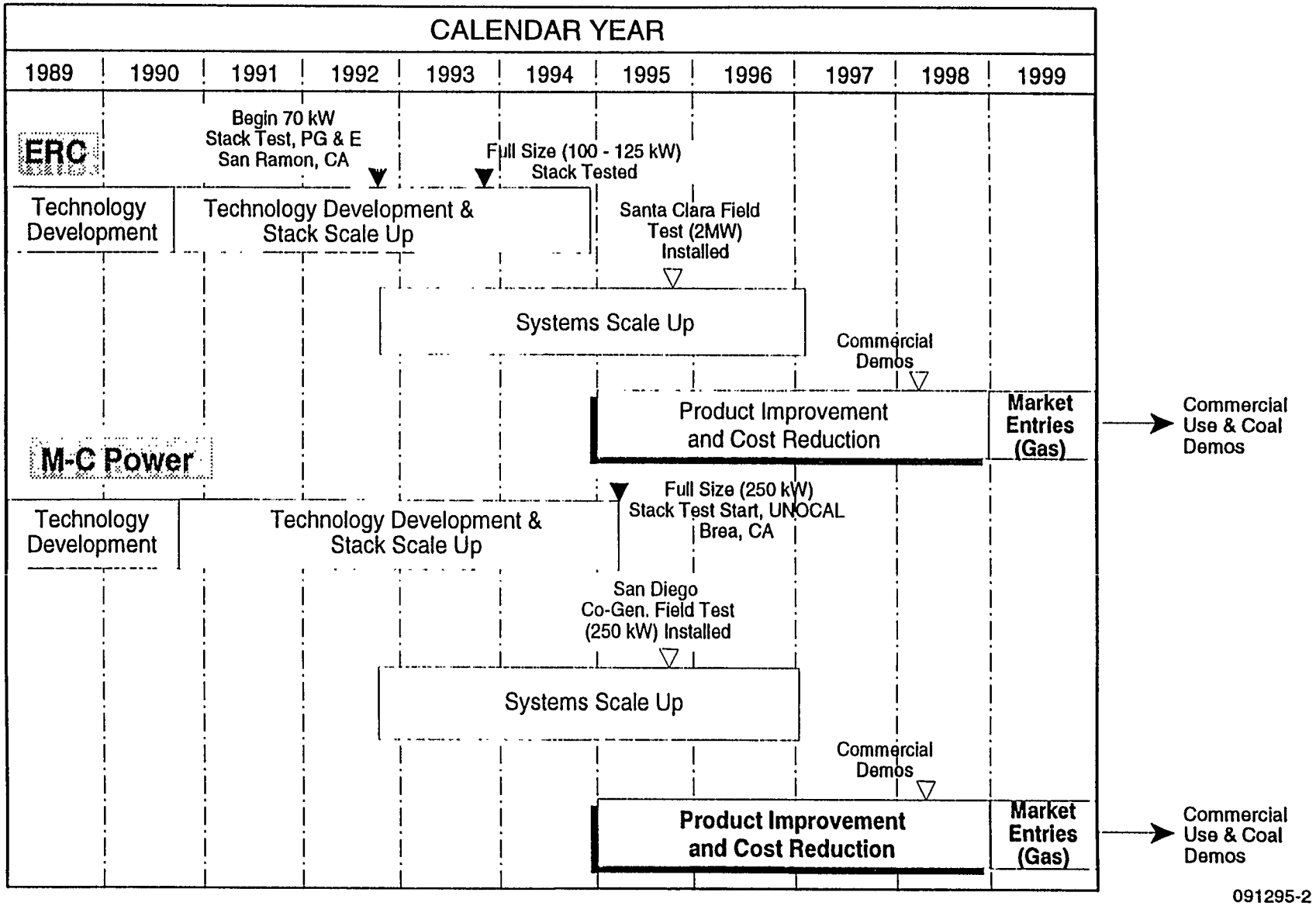


FUEL CELL PROGRAM ACTIVITIES



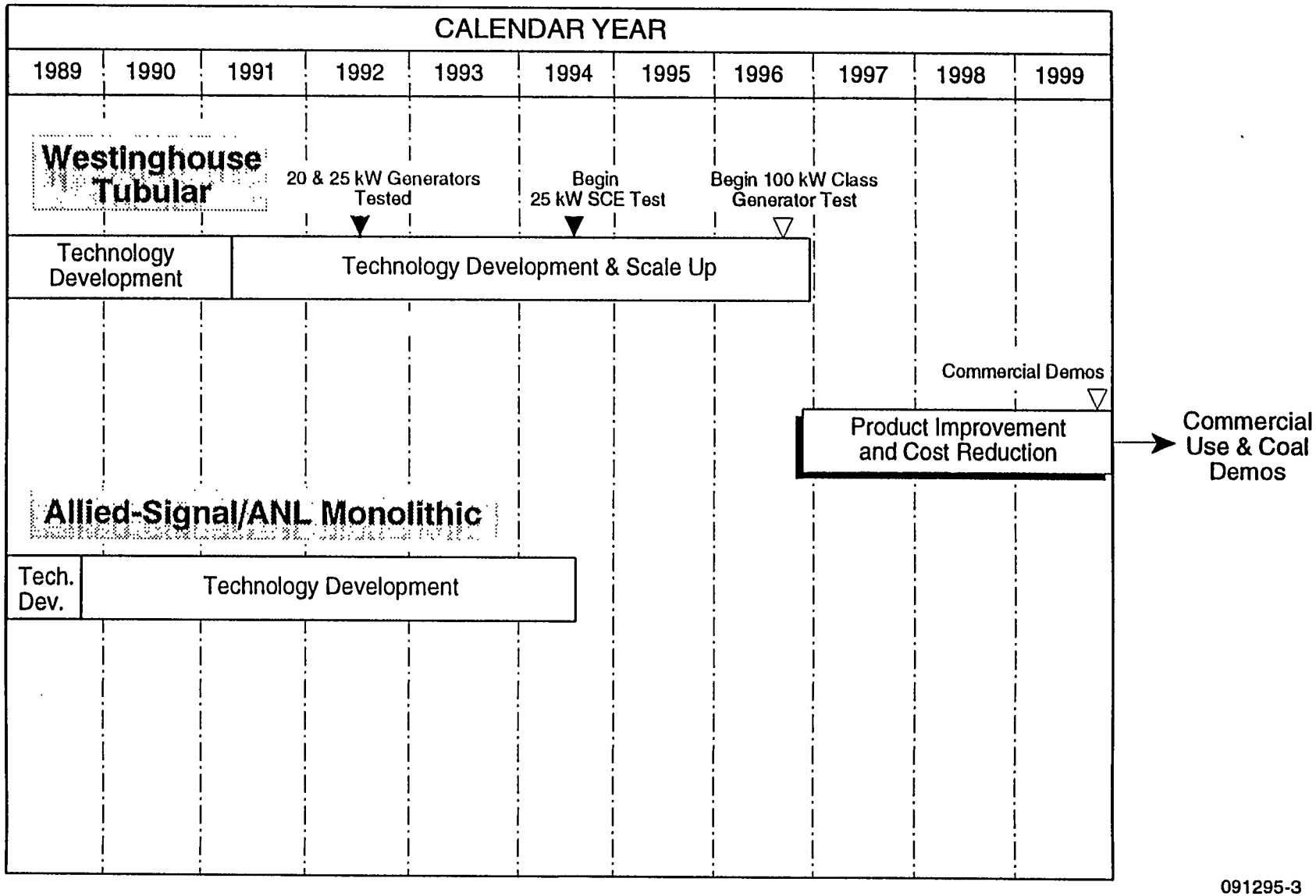
091295-1

MOLTEN CARBONATE FUEL CELL PROGRAM



091295-2

SOLID OXIDE FUEL CELL PROGRAM



091295-3

DOE Perspective on Fuel Cells in Transportation

Robert Kost
Office of Transportation Technologies
U.S. Department of Energy

ABSTRACT

Fuel cells are one of the most promising technologies for meeting the rapidly growing demand for transportation services while minimizing adverse energy and environmental impacts. This paper reviews the benefits of introducing fuel cells into the transportation sector; in addition to dramatically reduced vehicle emissions, fuel cells offer the flexibility to use petroleum-based or alternative fuels, have significantly greater energy efficiency than internal combustion engines, and greatly reduce noise levels during operation. The rationale leading to the emphasis on proton-exchange-membrane fuel cells for transportation applications is reviewed as are the development issues requiring resolution to achieve adequate performance, packaging, and cost for use in automobiles. Technical targets for power density, specific power, platinum loading on the electrodes, cost, and other factors that become increasingly more demanding over time have been established. Fuel choice issues and pathways to reduced costs and to a renewable energy future are explored. One such path initially introduces fuel cell vehicles using reformed gasoline while on-board hydrogen storage technology is developed to the point of allowing adequate range (350 miles) and refueling convenience. This scenario also allows time for renewable hydrogen production technologies and the required supply infrastructure to develop. Finally, the DOE Fuel Cells in Transportation program is described. The program, whose goal is to establish the technology for fuel cell vehicles as rapidly as possible, is being implemented by means of the United States Fuel Cell Alliance, a Government-industry alliance that includes Detroit's Big Three automakers, fuel cell and other component suppliers, the national laboratories, and universities.

Использование топливных элементов для нужд транспорта: Перспектива Министерства энергетики

Роберт Кост
Отдел технологий транспорта
Министерство энергетики США

Аннотация

Топливные элементы представляют собой наиболее перспективную технологию, способную удовлетворить быстро растущий спрос на транспортные услуги при одновременном снижении неблагоприятных воздействий на энергетические ресурсы и окружающую среду. Доклад посвящен анализу преимуществ внедрения ТЭ в транспортный сектор экономики. В дополнение к резкому сокращению транспортных выхлопов, топливные элементы предоставляют большую свободу в использовании нефтяного топлива или его заменителей, имеют значительно более высокий энергетический кпд по сравнению с двигателями внутреннего сгорания и существенно сокращают уровень шумов во время работы. В докладе рассматриваются аргументы в поддержку обоснованности использования мембранных ТЭ с протонным обменом для транспортных нужд, а также требующие разрешения вопросы проектирования, связанные с обеспечением адекватных эксплуатационных качеств, упаковки и стоимости ТЭ для применения в автомобилях. Определены технические цели достижения необходимой энергонапряженности, удельной мощности, концентрации платины на электродах, стоимости и других факторов, обративших на себя внимание в последнее время. Исследуются вопросы выбора топлива и пути снижения себестоимости с выходом на возобновляемые источники энергии в будущем. Один из таких путей предусматривает первоначальное внедрение транспортных средств на ТЭ, работающих на реформинг-бензине, до тех пор, пока технология внутреннего водородного аккумулятора не будет развита до такой степени, чтобы обеспечивать достаточно большие расстояния (350 миль) и удобную дозаправку топливом. При таком варианте отводится достаточное время, чтобы успеть развить технологии возобновляемого производства водорода и необходимую поддерживающую инфраструктуру. Наконец, в докладе приводится описание программы Министерства энергетики США по использованию ТЭ в транспортной индустрии. Программа, целью которой является быстрейшая разработка и внедрение технологии транспортных средств на ТЭ, выполняется силами Альянса США по топливным элементам (United States Fuel Cell Alliance), государственно-промышленного союза, объединяющего атомобилестроительные компании Большой Тройки из Детройта, поставщиков топливных элементов и другой продукции, национальные лаборатории и университеты.

DOE Perspective on Fuel Cells in Transportation

Joint U.S. / Russian Workshop
on Fuel Cell Technology

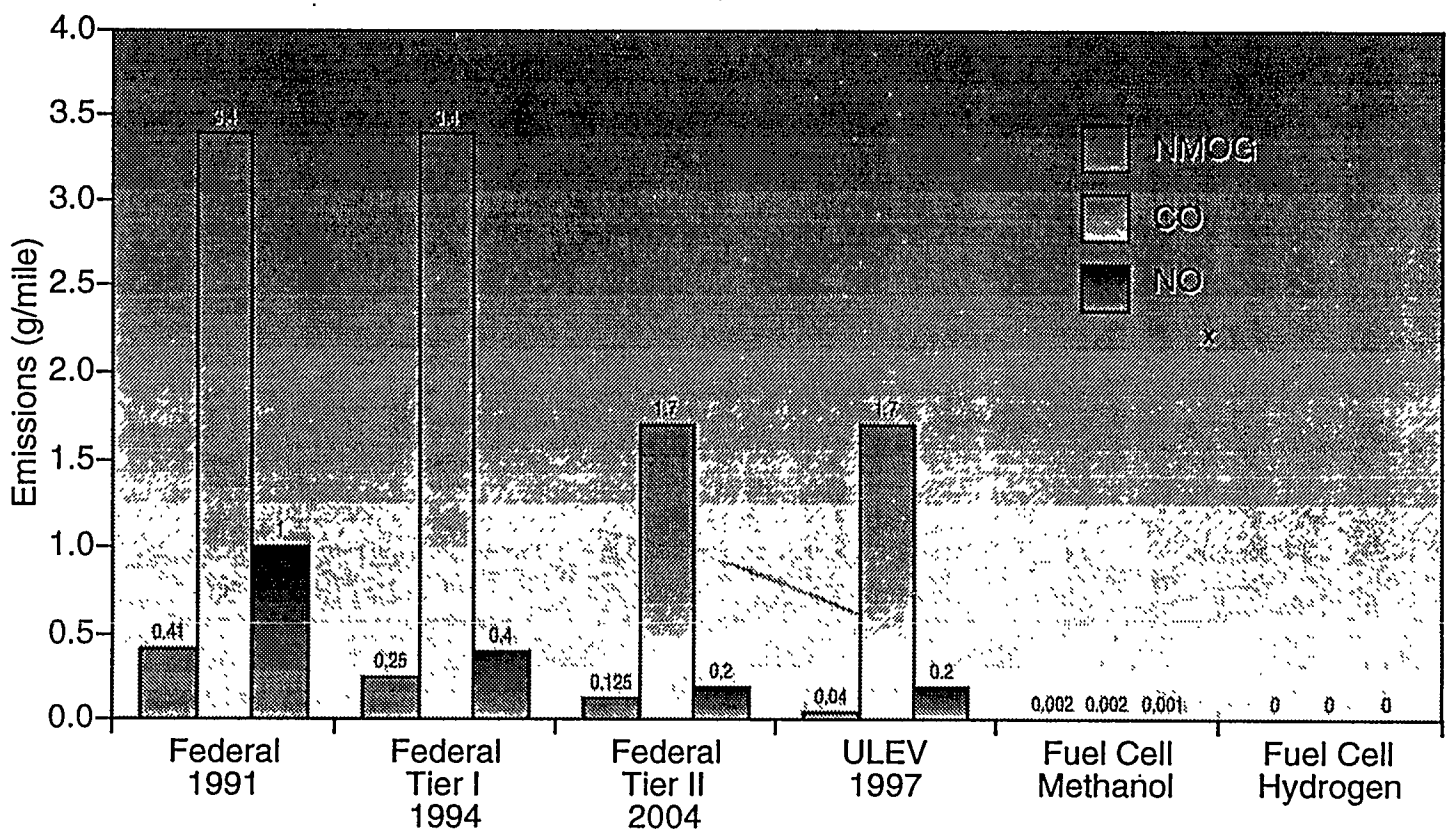
September 26-28, 1995
Albuquerque, NM

Robert Kost, Program Manager
Office of Transportation Technologies
U.S. Department of Energy

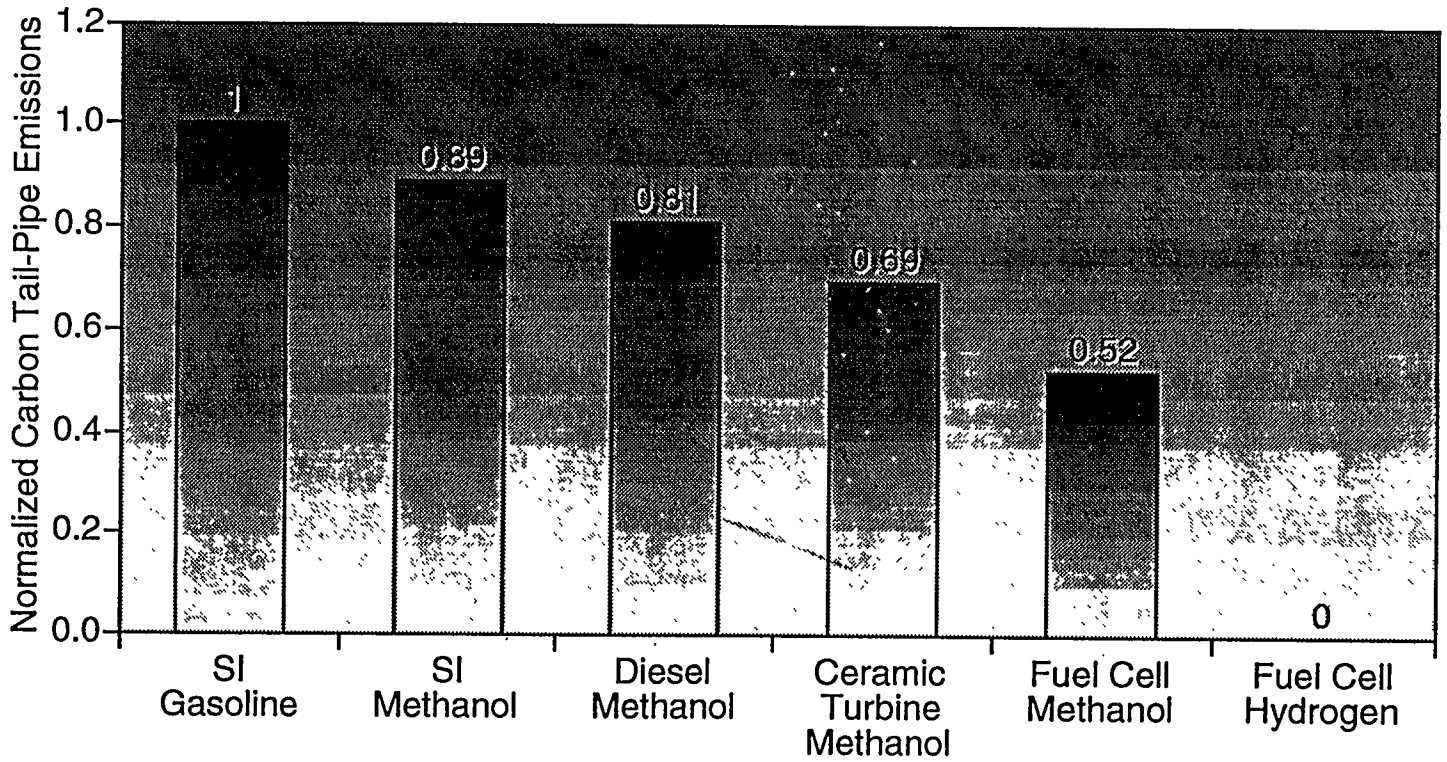
Benefits of Fuel Cells in Transportation

- Improved air quality
  - Fuel cells have dramatically reduced emissions
- Fuel flexibility
  - Fuel cells can use petroleum-based or alternative fuels
- Energy conservation
  - Fuel cells have significantly greater energy efficiency than internal combustion engines
- Quiet operation
  - Noise level is greatly reduced

Passenger Car Emissions Standards



Carbon Dioxide Emissions – Vehicular Fleet



Fuel Cell Technology Choice

	Alkaline	Phosphoric Acid	Proton Exchange Membrane*	Direct Methanol	Solid Oxide
Compact/ Lightweight					
CO_2 Tolerant					
Rapid Startup/ Response					
High Efficiency					
Low Emissions					

*PEM has the most potential for automotive use

Development Issues

- Further development is required to achieve adequate performance, packaging, and cost for use in automobiles
  - Size and weight reduction
  - Start up and response time reduction
  - Fuel storage, conditioning, delivery
  - Durability in automotive environment
  - Manufacturing cost reduction

Technical Targets for Fuel Cell Systems

	Units	1997	2000	2004
Power Density	kW/kg	0.25	0.33	0.40
Specific Power	kW/l	0.25	0.33	0.40
Platinum Loading	mg/cm^2	0.25 *	0.25 *	0.1
Cold Start Time	min	10	5	2
Cost (per kW peak)	$/kW	70	50	35

*Ford Target

Source: PNGV

Fuel Choice Issues

	Gasoline	Methanol	Hydrogen
On-Board Fuel Cell Efficiency	Good	Better	Best
Total Fuel Cycle Efficiency	~Same	~Same	~Same
Vehicle Emissions	<<ULEV	<<ULEV	0
Vehicle Complexity	More	More	Less
Vehicle Range	Highest	Intermediate	Lowest
Infrastructure	In place/readily available	Requires modification/ reasonably available	None/not readily available

Fuel Choice Summary

- Hydrogen is the most desirable fuel for fuel cells, but
  - supply infrastructure is non-existent
  - it is difficult to store on board, limiting range
  - it will cost more than other fuels for the foreseeable future
  - the public may perceive hydrogen as more dangerous than other fuels

- Reformed methanol is being tested because
  - it is an easily stored, transportable liquid fuel
  - it can be readily reformed into hydrogen, but
  - supply infrastructure modifications will be necessary
  - it will cost more than gasoline for the foreseeable future

- Reformed gasoline is a transition fuel for fuel cell vehicles
  - it is a liquid fuel, providing greater range than methanol
  - the supply infrastructure is in place
  - it is readily accepted by the public, but
  - reforming gasoline is more difficult than methanol

FY 1995/FY 1996 Funding Summary for Fuel Cells in Transportation

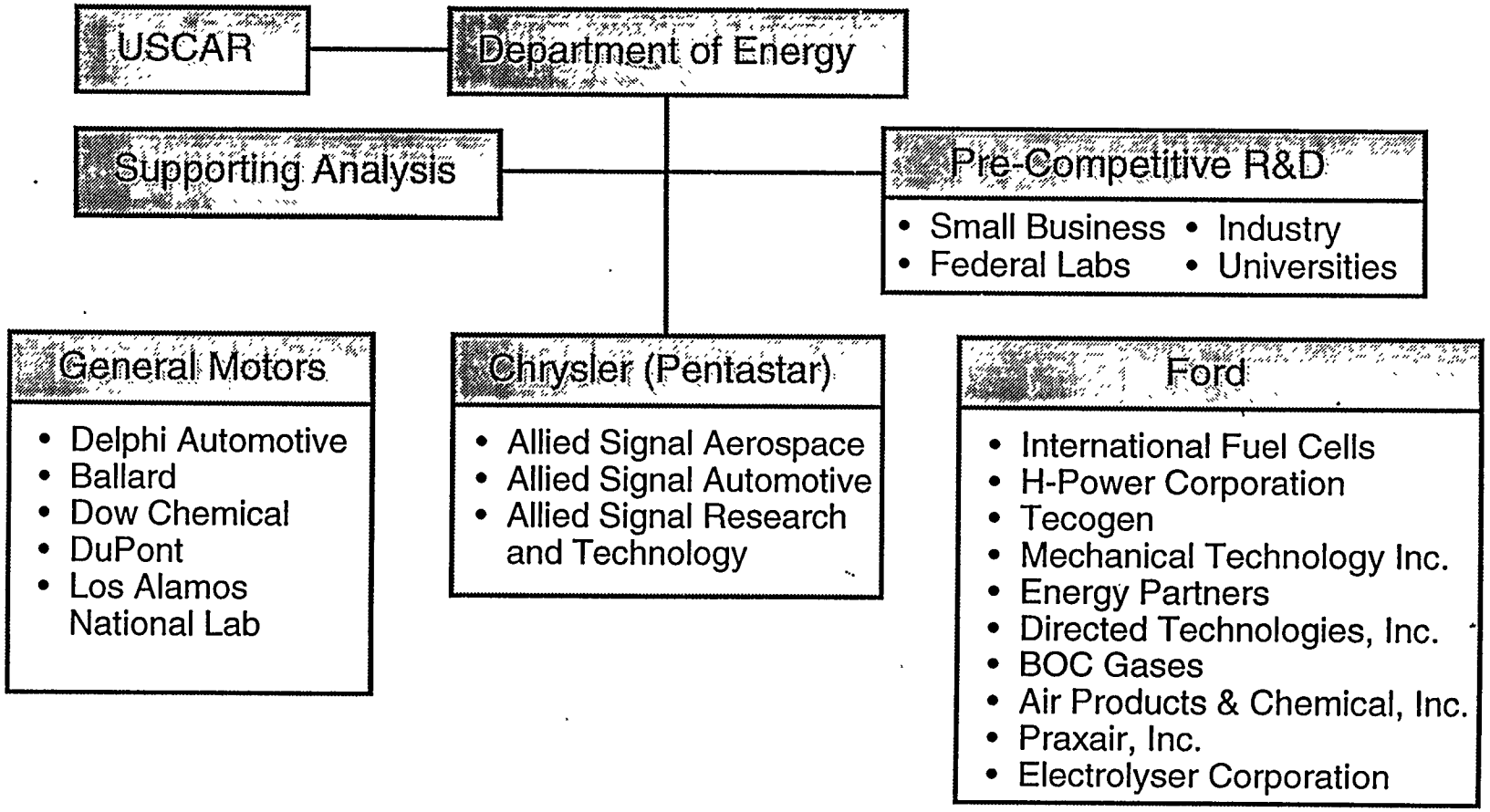
Office of Propulsion Systems

	FY 1995 Appropriations	FY 1996 Request
Light Duty Vehicles	**$16.1 M**	**$28.2 M**
PEM with On-Board Reformer		
PEM with On-Board Hydrogen		
Heavy Duty Vehicles	**$3.5 M**	**$3.0 M**
Phosphoric Acid Fuel Cell Bus		
Fuel Cell Locomotive		
Research and Development	**$3.0 M**	**$10.2 M**
Exploratory Research		
Reformer & Hydrogen Storage		
Power Management Devices		
Supporting Analyses & Assessments	**$0.5 M**	**$0.8 M**
	$23.1 M	**$42.2 M**

ALIGNMENT OF DOE FUEL CELL SYSTEMS R&D WITH PNGV TECHNICAL ROADMAP PRIORITIES

CONTRACTOR	FUNDING	OBJECTIVE	DIFFERENTIATION	DELIVERABLE
GM Delphi LANL	$36M /30 months (phase 2)	PEM system w/ methanol reformer	membrane development, methanol reformer	30-kW system (3/97)
Chrysler Pentastar Allied Signal	$15M /30 months (phase 1)	PEM system w/ hydrogen storage	manufacturing-driven, design-to-cost	50-kW system (1/97)
Ford 5 PEM suppliers 6 Hydrogen suppliers (competing)	$14M /30 months (phase 1)	PEM system w/ hydrogen storage	hydrogen infrastructure studies, PEM technology competition	50-kW system (1/97)

United States Fuel Cell Alliance



Cost Reduction

- Pathways to reduced costs have been identified
  - Low-cost separator plates
    - Molded (rather than machined) carbon
    - Alternative separator materials (e.g., inexpensive coated metals)
  - Alternative polymer membrane materials
  - Low cost electrodes
    - Low platinum loading
    - Alternative electrocatalysts (e.g., alloy catalysts)
  - Mass manufacturing techniques
- Developers reasonably confident of reaching technical targets

HEAVY DUTY VEHICLE PROGRAM

FUEL CELL BUS PROGRAM

TBB-1 at Georgetown University undergoing route & emissions testing

TBB-2 at SCAQMD will be evaluated by MTA & tested for durability at ETEC

TBB-3 will be delivered to DOT/FTA in September 1995 - may be run in Chicago & Tennesee

FUEL CELL LOCOMOTIVE INITIATIVE

Proposals received for megawatt-sized system. Funding stopped.

RESEARCH & DEVELOPMENT

EXPLORATORY RESEARCH

Continue research on PEM and Direct Methanol fuel cells. Focus on higher performance, lower cost, and higher reliability.

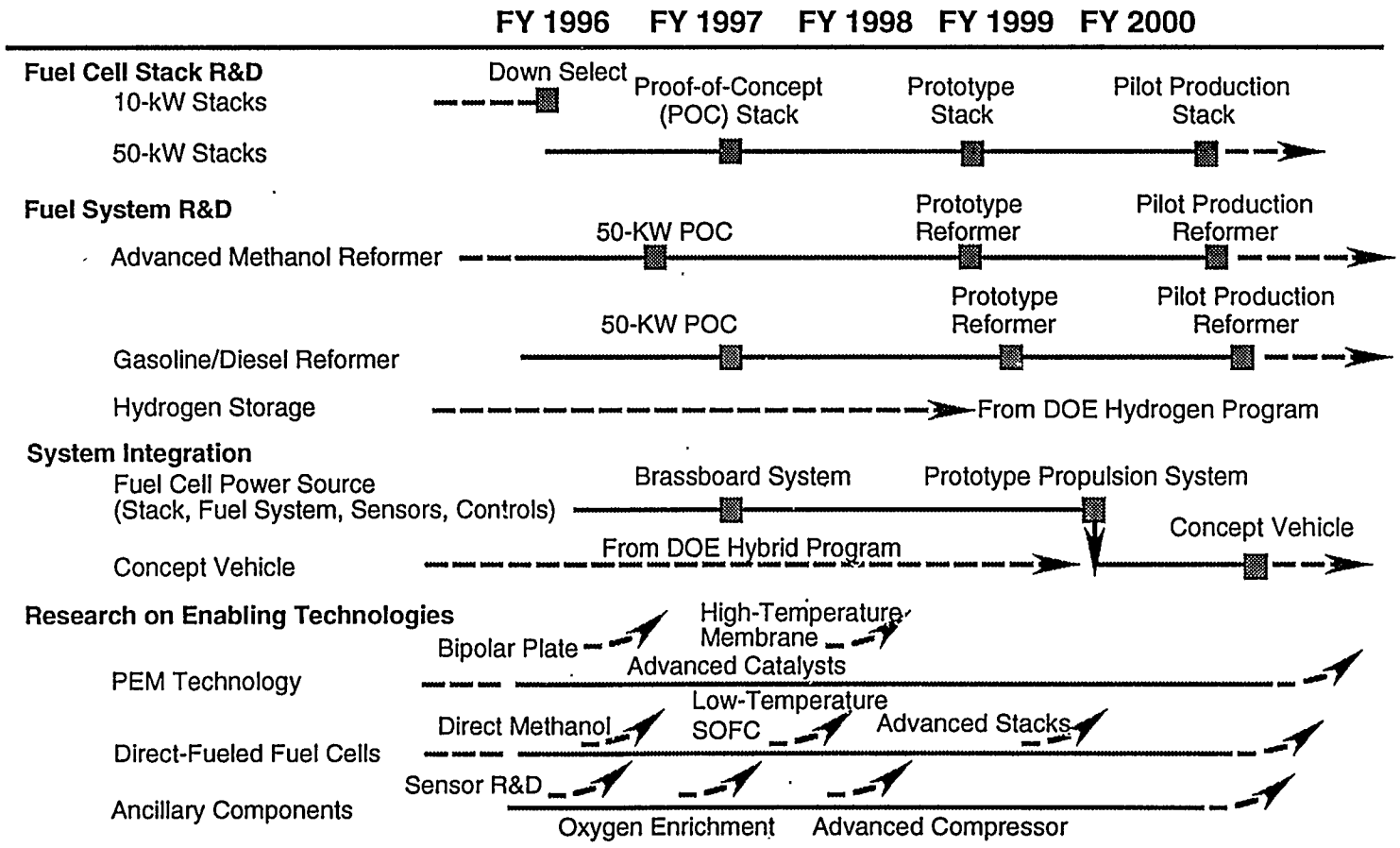
REFORMER & HYDROGEN STORAGE

Contract with A.D. Little Inc. Phase II A demonstrated 10-kW POX reformer concept. Phase IIB, initiated in FY 95, will result in fabrication and testing of a 50-kW proof-of-concept ethanol reformer.

PRDA

Selection made and awards expected in September for R&D on PEM, Direct Methanol fuel cells, and balance of plant. Focus on pre-competitive R&D to improve performance and lower cost. Initiate new PRDA in FY 1996.

Fuel Cells in Transportation Program Schedule



DOE Fuel Cells in Transportation

Intentionally Left Blank

Использование топливных элементов для нужд транспорта: Перспектива Министерства энергетики

Совместный американо-российский семинар по технологии топливных элементов

26-28 сентября 1995 года
Альбукерк, Нью-Мексико

Роберт Кост, руководитель программы
Отдел технологий транспорта
Министерство энергетики США

Преимущества использования топливных элементов на транспорте

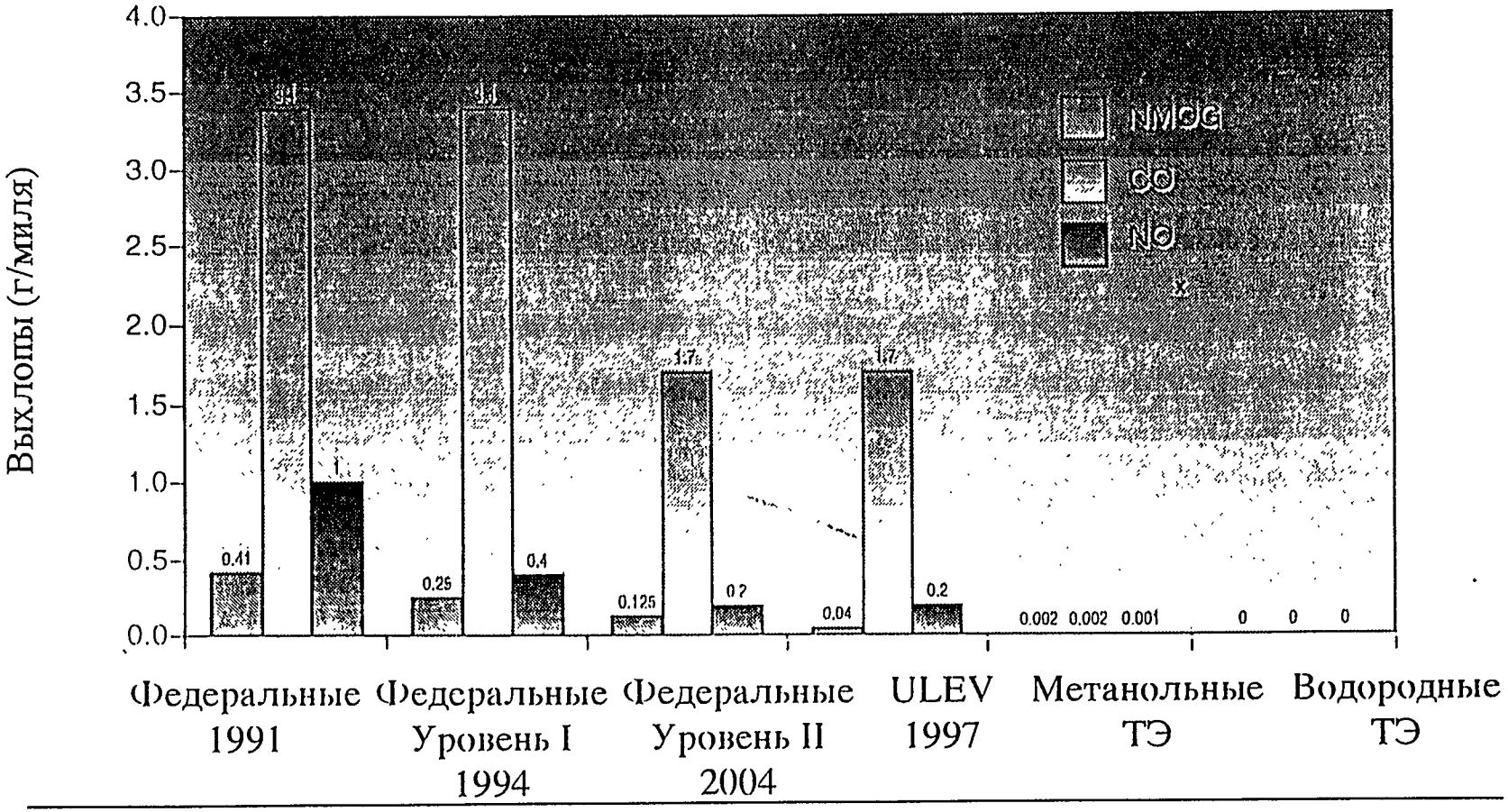
- Улучшенное качество воздуха
  - Топливные элементы резко сокращают уровень выхлопов

- Гибкость в использовании топлива
  - Топливные элементы позволяют использовать нефтяное или альтернативные виды топлива

- Экономия энергии
  - Топливные элементы обладают гораздо более высоким энергетическим кпд, чем двигатели внутреннего сгорания

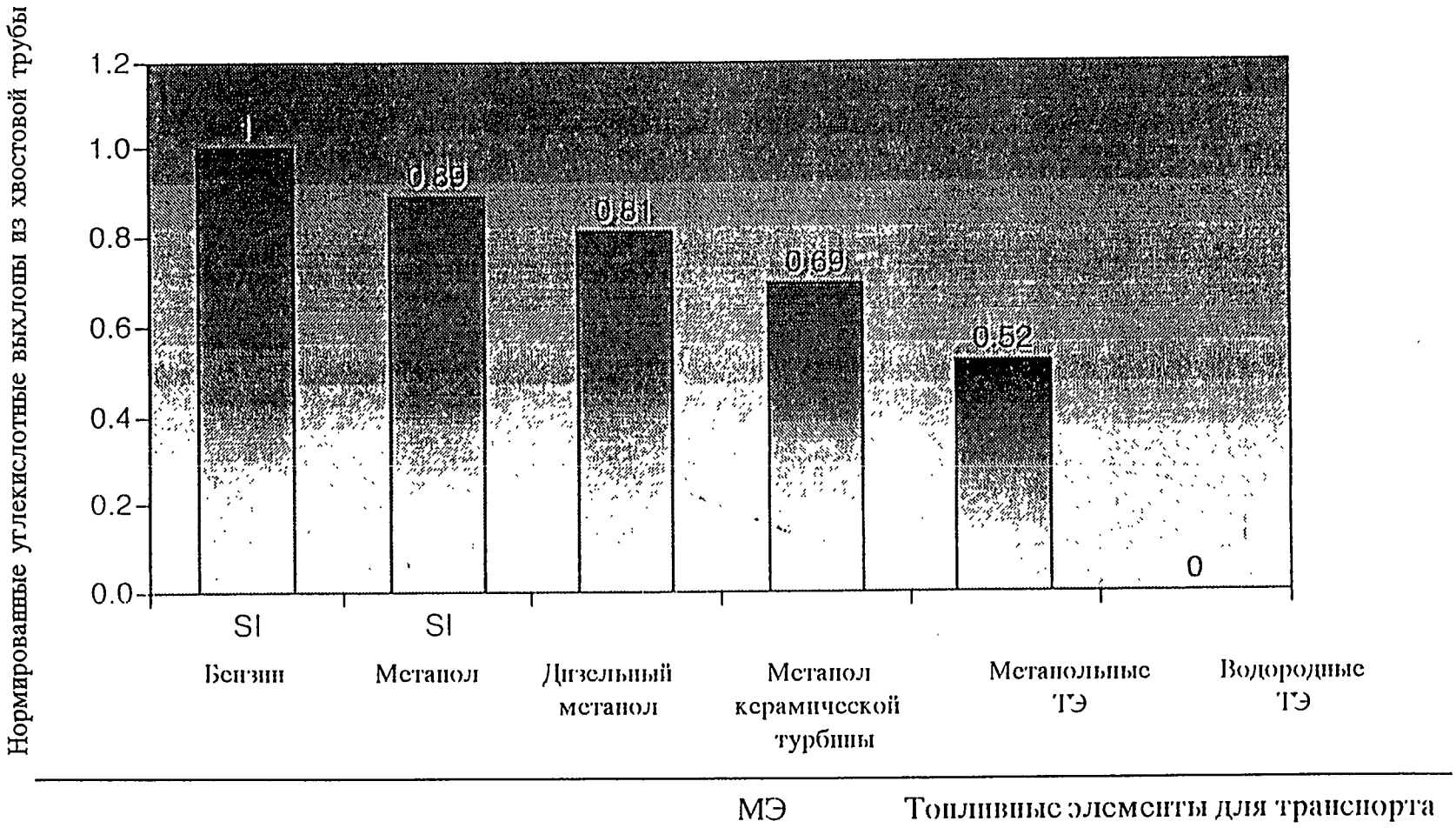
- Бесшумная работа
  - Уровень шума значительно снижен

Нормы автомобильных выхлопов



МЭ Топливные элементы для транспорта

Выхлопы углекислого газа - Парк автомашин



Выбор технологии топливных элементов

	Щелочные	Фосфорно-кислые	С протоно-обменной мембраной*	Метанольные прямого окисления	Твердо-оксидные
Компактность/ легкий вес		■			
Устойчивость к CO_2	■				
Быстрое зажигание/ срабатывание					■
Высокий кпд				■	
Низкий уровень выхлопов					

*Протонообменные ТЭ обладают наилучшим потенциалом для использования на автомобилях

Вопросы разработки

- Требуется дальнейшая разработка для достижения адекватных эксплуатационных характеристик, упаковки и стоимости ТЭ с точки зрения применения в автомобилях

  - Уменьшение размера и веса
  - Сокращение времени запуска и срабатывания
  - Хранение, подготовка и подача топлива
  - Надежность работы в автомобильной среде
  - Снижение заводской себестоимости

Технические цели для систем на топливных элементах

	Единицы	1997	2000	2004
Плотность энерговыделения	квт/кг	0,25	0,33	0,40
Удельная мощность	квт/l	0,25	0,33	0,40
Концентрация платины	мг/см^2	0,25*	0,25*	0,1
Время запуска из холодного состояния	мин	10	5	2
Стоимость (за квт макс.)	$/квт	70	50	35

* Цель компании “Форд”

Источник: PNGV

Вопросы выбора топлива

	Бензин	Метанол	Водород
Кпд автомобильного топливного элемента	Хороший	Лучше	Самый лучший
Кпд полного топливного цикла	~ то же	~ то же	~ то же
Транспортные выхлопы	<< ULEV	<< ULEV	0
Сложность конструкции	Сложнее	Сложнее	Проще
Дальность пробега	Высокая	Средняя	Низкая
Инфраструктура	Имеется/готова к использованию	Требует изменений/ имеется в разумных пределах	Нет/ требуется подготовка

Обобщение вопросов выбора топлива

• Водород является наиболее желательным топливом для топливных элементов, но
- поддерживающей инфраструктуры не существует
- трудно хранить на борту автомобиля, ограниченная дальность пробега
- в обозримом будущем его стоимость будет превышать стоимость других видов топлива

• Реформированный метанол проходит сегодня испытания, потому что
- это легко хранимое, транспортабельное жидкое топливо
- оно с легкостью реформируется в водород, но
- потребуются изменения поддерживающей инфрастуктуры
- в обозримом будущем его стоимость будет превышать стоимость бензина

•Реформированный бензин - это переходное топливо для автомобилей на ТЭ
- это жидкое топливо, обеспечивающее большую дальность пробега, чем метанол
- имеется поддерживающая инфраструктура
- имеется поддержка со стороны общественности, но
- реформировать бензин гораздо труднее, чем метанол

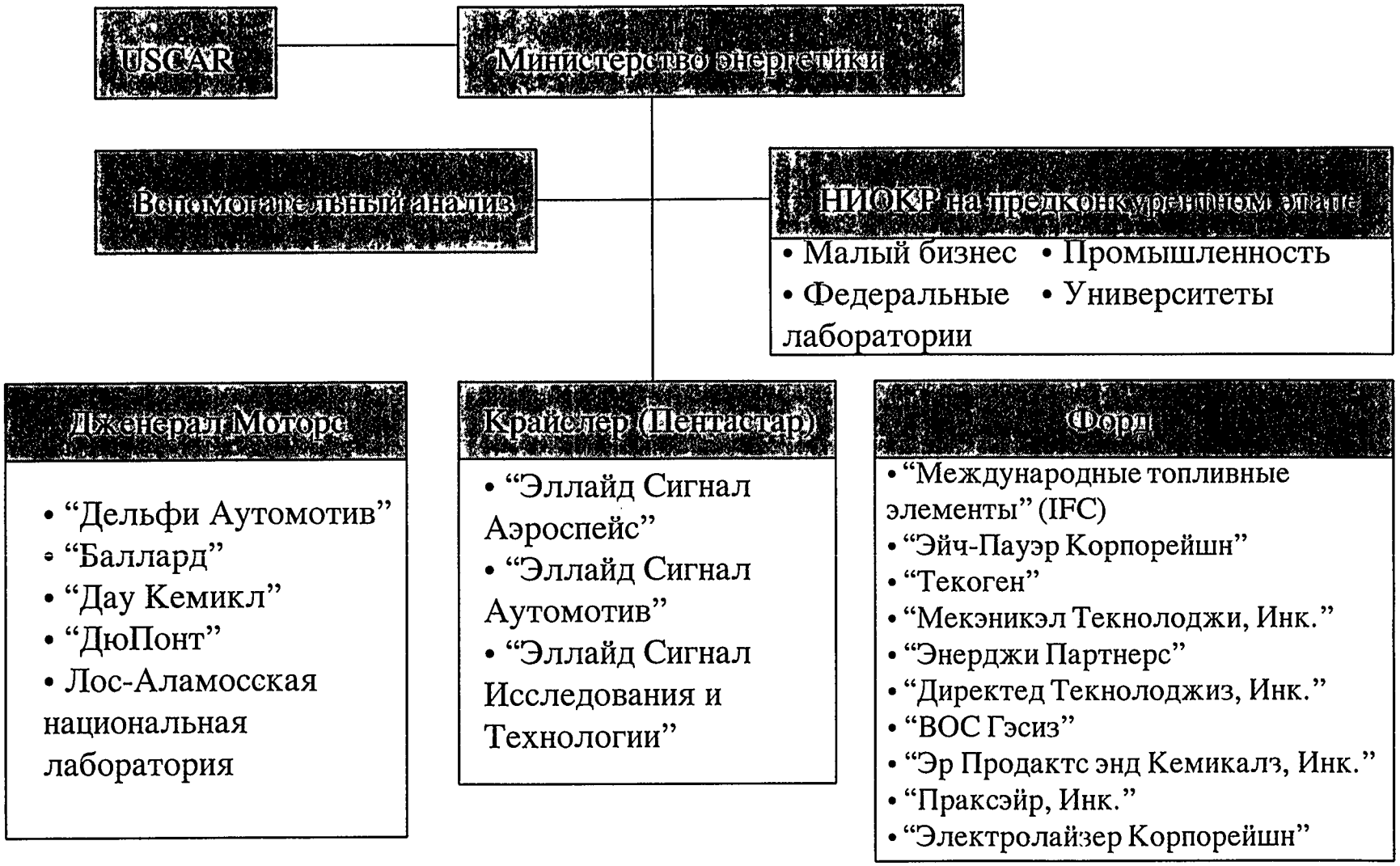
Обзор финансирования программы по топливным элементам на транспорте на 1995/96 финансовый год

Отдел по двигательным установкам	1995 фин. год Ассигнования	1996 фин. год Заявка
Пассажирский транспорт	**16,1 млн. долл**	**28,2 млн. долл.**
Протонообменные ТЭ со встроенным реформером		
Протонообменные ТЭ с внутренним водородным аккумулятором		
Тяжелый грузоподъемный транспорт	**3,5 млн. долл.**	**3,0 млн. долл.**
Автобус на фосфорно-кислых ТЭ		
Локомотив на ТЭ		
НИОКР	**3,0 млн. долл.**	**10,2 млн. долл.**
Поисковые исследования		
Реформер и водородный аккумулятор		
Устройства контроля мощности		
Вспомогательный анализ и оценка	**0,5 млн. долл**	**0,8 млн. долл.**
	23,1 млн. долл.	**42,2 млн. долл.**

Сравнение НИОКР Министерства энергетики по системам ТЭ с техническими приоритетами, намеченными PNGV

ПОДРЯДЧИК	ФИНАНСЫ	ЦЕЛЬ	ЗАДАЧИ	ПОСТАВКИ
"Дженерал Моторс" "Дельфи" Лос-Аламосская лаборатория	36 млн. долл./ 30 месяцев (фаза 2)	Система на ПОТЭ с метанольным реформером	Разработка мембраны, реформера метанола	Система мощностью 30 квт (3/97)
"Крайслер" "Пентастар" "Эллайд Сигнал"	15 млн. долл./ 30 месяцев (фаза 1)	Система на ПОТЭ с водородным аккумулятором	Стимулирование производства, учет себестоимости	Система мощностью 50 квт (1/97)
"Форд" 5 поставщиков ПОТЭ 6 поставщиков водорода (конкурирующих)	14 млн. долл./ 30 месяцев (фаза 1)	Система на ПОТЭ с водородным аккумулятором	Изучение инфраструктуры, связанной с применением водорода, конкуренция по технологии ПОТЭ	Система мощностью 50 квт (1/97)

Альянс США по топливным элементам



Снижение себестоимости

- Найдены пути снижения себестоимости
  - Недорогие сепараторные пластины
    - Сформованный угольный электрод (а не механически обработанный)
    - Альтернативные материалы сепараторов (например, недорогие металлы с нанесенным покрытием)
  - Альтернативные полимерные материалы мембраны
  - Недорогие электроды
    - Низкая концентрация платины
    - Альтернативные катализаторы (например, катализаторы из сплавов)
- Разумная уверенность разработчиков в достижении технических целей

- Reducing the level of investment necessary to advance and improve the reliability of energy distribution systems from generating centers to end consumers

Research and development carried on in the past few years in Russia, as well as other industrially developed countries, has shown that all the stated requirements can be completely satisfied by a trend now rapidly becoming apparent in the electrical power industry: the use of fuel cells to generate electricity.

Studies performed by Russian and foreign scientific organizations together with practical experience gathered worldwide in the use of fuel-cell power plants shows that such installations will be of value chiefly to small and decentralized generating systems—particularly in Russia, which has the world's largest reserves of natural gas.

At present, up to 70% of Russian territory (inhabited by more than 25 million persons) is not covered by central electrical distribution systems. Such areas include the Far North, the Far East, eastern Siberia and other portions of Russia.

Widespread use of fuel-cell power plants and the solution of energy-delivery problems will aid in reducing the negative environmental impacts of the energy industry; improving the reliability of electrical and thermal distribution systems; creating a market for electrical energy and promoting independent generators; and increasing the technical and economic performance figures of the electrical and thermal energy industry for the country as a whole.

In the field of fuel-cell power plants, Russia is at parity with the leading foreign countries, with respect to both technical and economic performance and the level of scientific research being conducted. Civilian use of these generating systems on a broad scale, however, demands that a number of problems be solved, chiefly those relating to the need for longer plant service lives, lower unit cost of electricity, and so forth.

In April of this year, mindful of the importance of this task for the state and the necessity to provide coordination between industries and plants involved in this effort, the Ministry of Science and Technical Policy of the Russian Federation issued a decree creating a new area of concentration, "Fuel-Cell-Based Power Plants for

Civilian Needs," in the GNTPR[1] "Environmentally Clean Power Industry," which will form the basis for financial support in this area out of the federal budget. The Russian Ministry of Atomic Energy, which took the initiative in posing this problem for solution by programming methods at the federal level, is now working with other interested organizations and institutions in Russia to develop proposals for fuel-cell power plant projects to be included in this area of concentration. Methodological direction and coordination of this work is being provided by the Russian Ministry of Science. By the end of 1995, the scientific council of the GNTPR "Environmentally Clean Power Industry" is to examine and adopt a decision as to projects in the area of concentration "Fuel-Cell-Based Power Plants for Civilian Needs." Approved projects will be carried out with funds from the federal budget as well as other sources, including the budgets of subjects of the Russian Federation with an interest in establishing the non-state sector of the economy.

The Ministry of Science, in view of funds allocated for the implementation of the program, will provide an annual update of target figures, expenses for program activities, the mechanism of program implementation, and personnel involved.

In performing the role of a state customer, the Ministry of Science will be responsible for timely and correct preparation and implementation of projects, coordinating domestic activities in this area of concentration, and the efficient use of resources allocated for program implementation.

---

[1]Translator's Note: I cannot be certain of the meaning of this abbreviation; possibly something like "State Scientific and Technical Development Project."

Intentionally Left Blank

Об участии государства в создании энергетических установок на основе топливных элементов для гражданских нужд в России

Ф.Н.Пехота
Министерство науки и технической политики РФ

Энергетическая стратегия России связывает обеспечение устойчивого и эффективного энергоснабжения страны с решением, в частности, следующих научно-технических задач:

- техническое перевооружение и обновление основных производственных фондов электроэнергетики и теплового хозяйства:
- создание в соответствии с требованиями Формирующегося в стране энергетического рынка условий и технической базы для развития децентрализованного электро- и теплоснабжения удаленно расположенных от централизованных систем энергообеспечения или изолированных районов;
- коренное сокращение негативного воздействия объектов электро- и теплоэнергетики на окружающую среду:
- существенное повышение эффективности использования органического топлива, в первую очередь, природного газа при производстве электроэнергии и тепла:
- сокращение инвестиций, необходимых для развития и повышения надежности систем доставки энергии от центров ее производства до конечных потребителей.

Исследования и разработки, выполненные за последние годы в России, а также в других индустриально развитых странах, свидетельствуют, что всем перечисленным выше требованиям может в полной мере отвечать быстро развивающееся в мире направление электроэнергетики, базирующееся на использовании топливных элементов.

Исследования российских и зарубежных научных организации и накопленный в мире практический опыт по использованию энергети ческих установок с топливными элементами свидетельствуют о том, что такие энергетические установки, особенно в России. обладающей крупнейшими в мире запасами природного газа, будут иметь значение, в первую очередь, для малой энергетики и децентрализованного энергоснабжения.

В России в настоящее время до 70% всей площади (на которой проживает свыше 25 млн.чел.) не охвачено системами централизованного электроснабжения. К этим территориям относятся Крайний Север, Дальний Восток, Восточная Сибирь и другие районы России.

Широкое использование энергетических установок на основе топливных элементов наряду с решением задач по энергообеспечению будет содействовать снижению негативного воздействия энергетики на окружающую природную среду, увеличению надежности электро- и теплоснабжения, формированию рынка электроэнергии и развитию ее независимых производителей, повышению технико-экономических показателей всей системы электро- и теплоснабжения страны.

По ряду типов энергетических установок на основе топливных элементов Россия не уступает передовым зарубежным странам как по технике-экономическим показателям, так и по уровню выполняемых научных исследований. Однако, для широкого использования таких энергоустановок в гражданских целях необходимо решить ряд проблем, в первую очередь с:вязанных с необходимостью существеннего увеличения ресурса работы установок, снижения удельной стоимости получаемой энергии и т.д.

Учитывая значимость проблемы для государства, необходимость координации межотраслевых связей технологически сопряженных отраслей и

производств для решения данной проблемы Министерство науки и технической политики Российской Федерации в апреле текущего года приняло решение о разработке нового основного направления "Энергетические установки на основе топливных элементов для гражданских нужд" ГНТПРа "Экологически чистая энергетика", на базе которой будет осуществляться Финансовая поддержка этого направления за счет средств федерального бюджета. В настоящее время Минатом России - инициатор постановки данной проблемы для решения программными методами на Федеральной уровне - совместно с другими заинтересованными российскими организациями и учреждениями разрабатывает предложения по составу проектов в области энергетических установок на основе топливных элементов для включения в указанное направление. Методическое руководство и координацию этой работы осуществляет Миннауки России. Научный совет по ГНТПР "Экологически чистая энергетика" до конца 1995 г. должен рассмотреть и принять решение по составу проектов направления "Энергетические установки на основе топливных элементов для гражданских нужд". Утвержденные проекты будут реализовываться как за счет средств Федерального бюджета, так и других источников, в том числе за счет средств бюджетов субъектов Российской Федерации, заинтересованных организаций негосударственного сектора экономики.

Миннауки России, с учетом выделяемых на реализацию программы финансовых средств ежегодно будет проводить уточнение целевых показателей и затрат по программным мероприятиям, механизма реализации программы. состава исполнителей.

Выполняя роль государственного заказчика, Миннауки России несет ответственность за своевременную и качественную подготовку и реализацию проектов, осуществляет координацию деятельности в стране в этом направлении, обеспечивает эффективное использование средств. выделяемых на реализацию программы.

RUSSIAN FEDERAL NUCLEAR CENTER –
ALL-RUSSIAN RESEARCH INSTITUTE OF TECHNICAL PHYSICS
(RFNC — VNIITF)

PROGRAM OF SCIENTIFIC INVESTIGATIONS AND DEVELOPMENT OF SOLID -OXIDE FUEL CELLS (SOFC) IN VNIITF. PROPOSALS ON SCIENTIFIC & TECHNICAL COLLABORATION AND SOFC COMMERCIALIZATION.

Yu. N. Kleschev — Chief Technologist, Dr. of Sciences
V. F. Chukharev — SOFC Laboratory Head, Dr. of Sciences

456670 Snezhinsk, Chelyabinsk Region
P.O. 245, Russia
FAX: 7 - (351) 723–2077
E–MAIL: AVN@ONTI.CH70.CHEL.SU
Phone: 7 (351) 722 3982

VNIITF

Albuquerque— September 1995

CONTENTS

VNIITF

I. INTRODUCTION

1. FUEL CELLS (FC) HAVE A SIGNIFICANT PLACE IN THE PRESENT-DAY POWER ENGINEERING AND WILL BE THE MOST IMPORTANT ELEMENT IN THE POWER ENGINEERING OF THE NEAREST FUTURE (EFFICIENCY. ECOLOGICAL SAFETY)

2. SOFC ARE THE MOST PERSPECTIVE IN THEIR COMMERCIAL USAGE DU TO THEIR UNQUESTIONABLE OPERATIONAL ADVANTAGES:

- - SOLID ELECTROLYTE (CERAMICS) ⇒ DURABILITY (SERVICE LIFE);
- - ADVANCED TECHNOLOGIES (SPRAY COATING) ⇒ DIMENSIONS, SPECIFIC CHARACTERISTICS;
- - HIGH EFFICIENCY;
- - ECOLOGICAL SAFETY;
- - USAGE OF DIFFERENT TYPE FUELS .

VNIITF

3. AT PRESENT SOFC COMMERCIALIZATION

IS RESTRAINED BECAUSE OF:

- A NUMBER OF MATERIALS TECHNOLOGY PROBLEMS;
- COMPLEXITY AND SPECIFICITY OF TECHNOLOGIES;
- COSTS.

DEPENDS ON:

- CONCENTRATION AND ENHANCING OI FINANCING;
- INVOLVING OF NUCLEAR CENTERS SPECIALISTS IN DEVELOPMENT;
- INTEGRATING OF RUSSIAN AND AMERICAN NUCLEAR CENTERS EFFORTS IN THE JOINT PROJECTS WIT COMMERCIAL STRUCTURES;
- REAL DEMONSTRATION OF ACHIEVEMENTS TO CONSUMERS.

4. DEVELOPMENT OF SCIENCE, ENGINEERING AND ALSO EXPERIMENTS CORROBORATE THAT THESE PROBLEMS WILL BE SOLVED IN THE NEAREST TIME

VNIITF

RF MINISTRY FOR ATOMIC ENERGY HAS APPROVED A SPECIAL COMPLEX PROGRAM IN 1995

DEVELOPMENT AND PUTTING INTO SERIES PRODUCTION OF POWER PLANTS (PP) BASED ON FUEL CELLS (FC)

1. PP BASED ON METHANOL FC
2. PP BASED ON ALKALINE FC
3. PP BASED ON SOLID-POLYMER FC
4. PP BASED ON PHOSPHOROUS ACID FC
5. PP BASED ON MELT-CARBONATE FC
6. PP BASED ON SOLID-OXIDE FC
7. SYSTEMS FOR FUEL PREPARATION
8. SOURCES OF SECONDARY POWER SUPPLY
9. SYSTEMS FOR HEAT UTILIZATION
10. SYSTEMS FOR HYDROGEN STORAGE AND REGENERATION
11. MEANS OF CONTROL AND AUTOMATIZATION

PROGRAM STRUCTURE

VNIITF

II. FIELD OF VNIITF INVESTIGATIONS AND DEVELOPMENT

- MAIN GOAL AND FIELD OF VNIITF INVESTIGATIONS – " DEVELOPMENT AND SERIES PRODUCTION OF POWER PLANTS (PP) ON THE BASIS OF SOFC ".

- BASIC DIRECTIONS:

2.1. MATERIALS TECHNOLOGY INVESTIGATIONS

2.2. DEVELOPMENT OF TECHNOLOGIES

2.3. DEVELOPMENT OF CONSTRUCTIONS

2.4. MANUFACTURE AND INVESTIGATIONS OF EXPERIMENTAL SAMPLES

2.5. PUTTING INTO SERIES PRODUCTION

VNIITF

2.1. MATERIALS TECHNOLOGY INVESTIGATIONS:

a) BASE SOLID ELECTROLYTE — ZIRCONIUM DIOXIDE STABILIZED BY YTTRIUM OXIDE ⇒ YSZ

b) FUEL ELECTRODE (ANODE) — COMPOSITION ON THE BASIS OF Ni AND ELECTROLYTIC CERAMICS YSZ ⇒ Ni + YSZ

c) AIR ELECTRODE (CATHODE) — COMPOSITION ON THE BASIS OF MANGANITE - LANTHANUM - STRONTIUM ⇒ MLS

d) CURRENT LEADS:

– ON THE FUEL SIDE – Ni, Cr(Co)LS

– ON THE OXYGEN SIDE – Pt, Cr(Co)LS, ALLOYS Cr, Fe, Y_2O_3

VNIITF

e) STRUCTURAL COMPOUNDS – CERAMICS ON THE BASIS OF

$ZrO_2 + Y_2O_3$ (CaO), SiO_2 , Al_2O_3 , HEAT-RESISTANT STEELS AND ALLOYS.

f) SEALING COMPOUNDS – COMPOSITIONS

ON BASIS OF BaO WITH ADDITIONS, $CaO \bullet SiO_2 \bullet Al_2O_3$,

HIGH-TEMPERATURE SOLDERS , GLAZES,

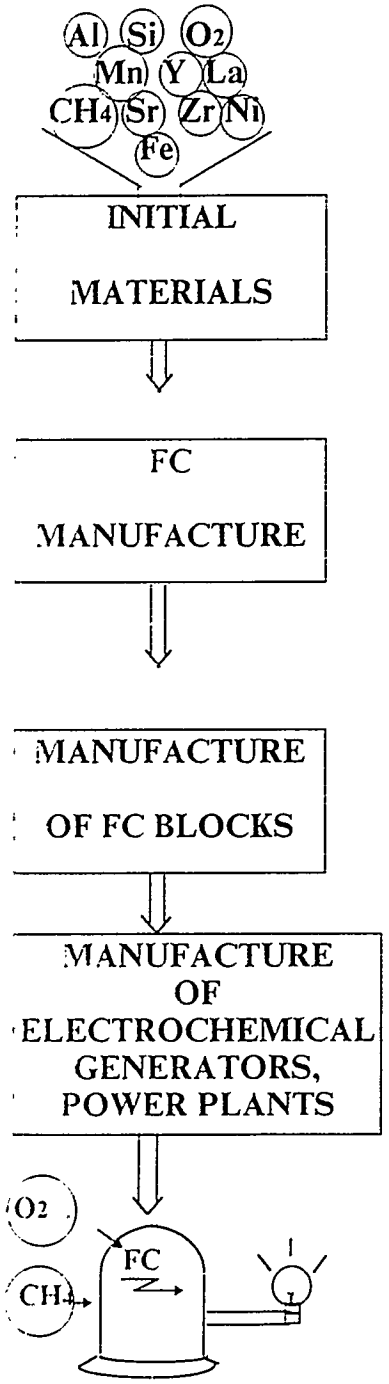
ORGANIC SILICATES

IN VNIITF THE INVESTIGATIONS ARE CONSTANTLY PERFORMED WITH RESPECT TO SEARCH OF MORE EFFECTIVE MATERIALS FOR SOLID ELECTROLYTES, ELECTRODE COATINGS, CURRENT LEADS, STRUCTURAL MATERIALS AND THEIR CONNECTIONS.

VNIITF

2.2 DEVELOPMENT OF TECHNOLOGIES

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGIES COVERS THE WHOLE CYCLE OF INITIAL MATERIALS PREPARATION, FC MANUFACTURE, ASSEMBLING OF SOFC MODULES, ELECTROCHEMICAL GENERATORS AND POWER PLANTS ON THEIR BASIS AND SUBSEQUENT CONTROL AND TESTS.



- obtaining of powders
- making up compositions of powders
- synthesis of powder compositions
- grind, separation of powders
- methods to control quality
- preparation of compositions with thermoplastic binders
- molding of structural details (casting, pressing, rolling)
- annealing, caking
- machining of ceramics
- making of electrode coatings, caking
- ion-plasma technologies for coating electrode layers
- methods to control the quality and the characteristics of FC
- connection of the construction elements by the method of high-temperature hermetic sealing, soldering, welding
- methods to control quality, hermetic sealing and FC block characteristics
- technology for manufacturing and assembling the elements of the construction, gas pipelines, thermal insulation, body (case)
- methods to control quality
- technologies to investigate power plants characteristics
- technologies for enriching natural fuel
- technologies for heat utilization
- technologies for energy conversion

VNIITF

BASIC TECHNOLOGIES ARE:

- MANUFACTURE OF SINGLE FC:
  - SOLID ELECTROLYTE;
  - ELECTRODES (ANODE, CATHODE);
  - CURRENT COLLECTORS

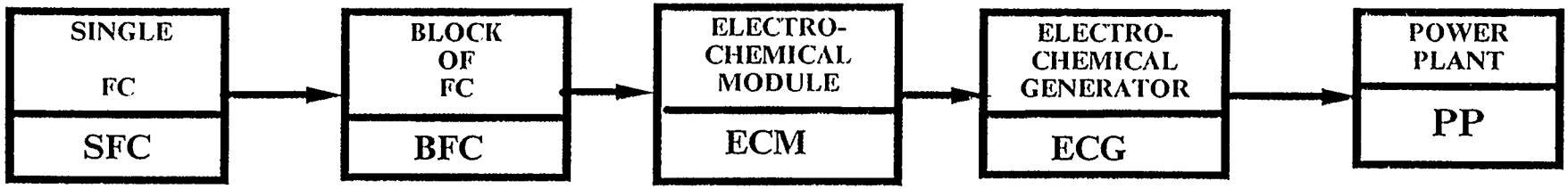
- ASSEMBLING OF FC INTO A MODULE:
  - CONNECTION;
  - HERMETIC SEALING.

IN VNIITF RESEARCH WORK IS CONSTANTLY PERFORMED WITH RESPECT TO IMPROVING THE AVAILABLE TECHNOLOGIES AND DEVELOPMENT OF THE NEW EFFICIENT ONES.

VNIITF

2.3 DEVELOPMENT OF CONSTRUCTIONS

– THIS FIELD OF DEVELOPMENT COVERS THE WHOLE DESIGN CYCLE



WITH THE NECESSARY SET OF ACCESSORY EQUIPMENT:

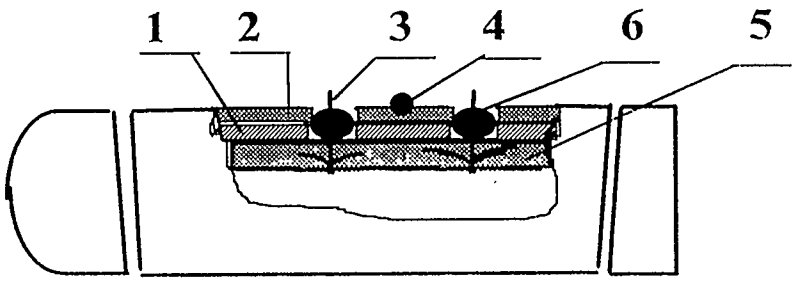
- SYSTEMS FOR GAS PREPARATION AND DISTRIBUTION;
- INITIAL WARM-UP;
- AUTOMATICS OF HANDLING AND CONTROL;
- SYSTEMS OF HEAT UTILIZATION;
- ENERGY CONVERTERS

– *IN VNIITF THE WHOLE CYCLE OF CALCULATIONS, INCLUDING STRENGTH, THERMAL AND GAS ONES, IS PERFORMED.*

VNIITF

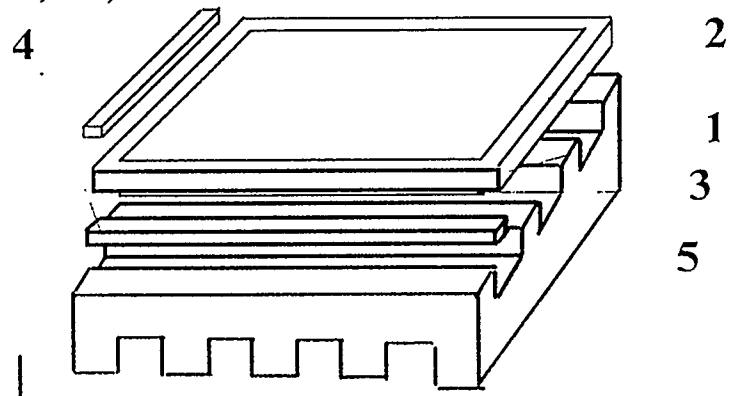
- IN VNIITF TWO MAIN BASE CONSTRUCTIONS OF SINGLE FUEL CELLS ARE USED:

a) THE TUBULAR ONES — ∅ 10 mm, L=210 mm;



1 — SOLID ELECTROLYTE ($ZrO_2+Y_2O_3$)
2 — ANODE COATING (Ni+YSZ)
3 — CURRENT CONDUCTOR (Pt, ∅ 0,3 mm)
4 — CURRENT CONDUCTOR (Ni, ∅ 0,3 mm)
5 — CATHODE COATING (La 0,6 Sr 0,4 MnO_3)
6 — ENAMEL

б) THE PLANAR ONES — 50x50 mm



1 — SOLID ELECTROLYTE
2 — ANODE COATING
3 — CATHODE COATING
4 — SEALING COMPOUND
5 — SEPARATOR

VNIITF

SPECIAL COMPLEX PROGRAM OF RF MINISTRY FOR ATOMIC ENERGY FOR DEVELOPMENT AND PUTTING INTO SERIES PRODUCTION OF POWER PLANTS ON THE BASIS OF FUEL CELLS

SECTION 6: POWER PLANTS BASED ON SOLID—OXIDE FUEL CELLS

MAIN DEVELOPER — RFNC-VNIITF

T U B U L A R F C

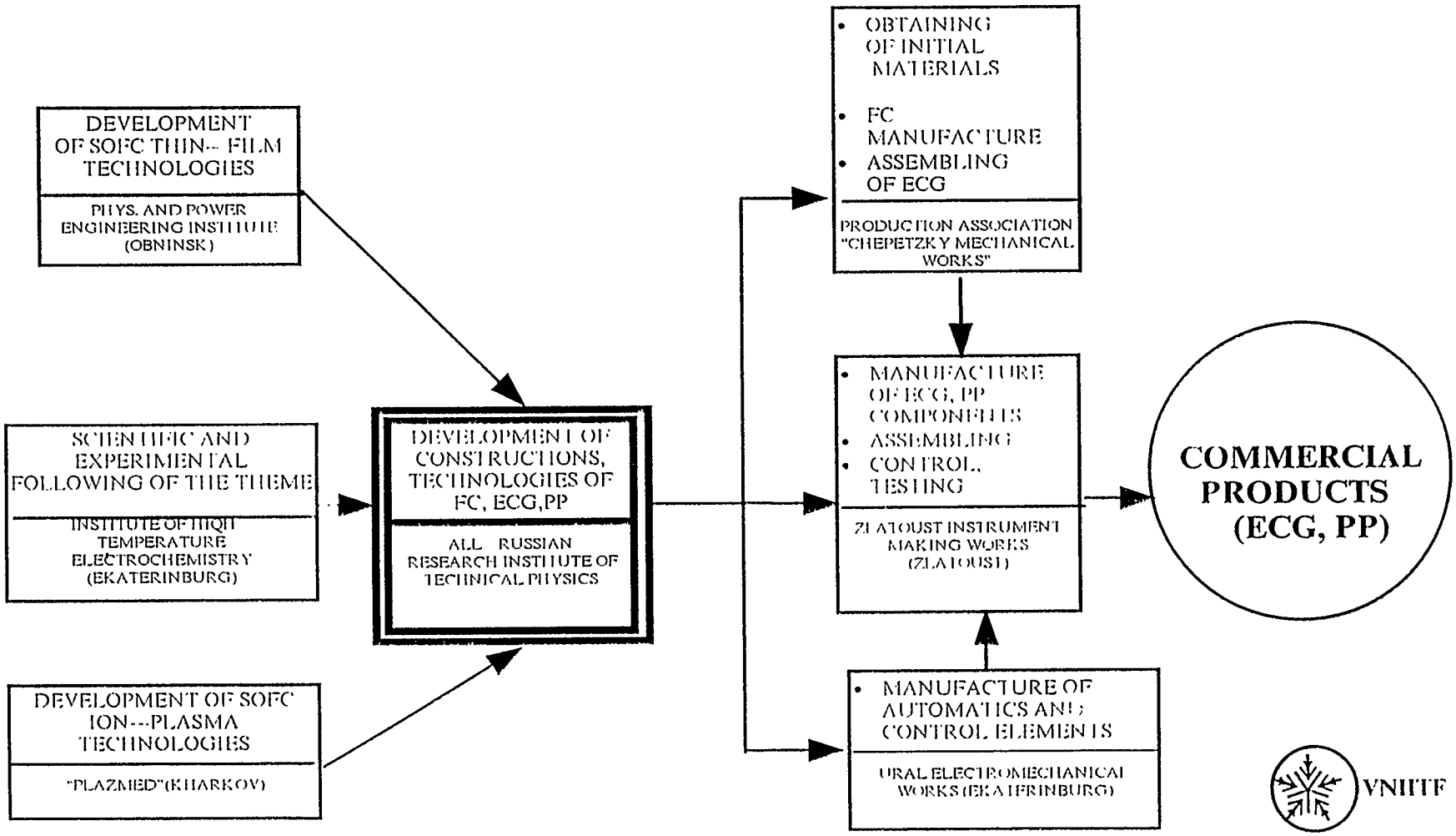
		1995	1996	1997	1998	1999	2000
1	INVESTIGATIONS OF MATERIALS AND TECHNOLOGIES IMPROVEMENT.MARKETING						
2	Development and investigation into experimental samples of ECG having power						
		100 W					
		300 W	testing				
		1 кW	manufacture	testing			
		10 кW	project	manufacture	test ing		
		more than 10кW	project	manufacture		testing	
3	Development of commercial autonomous current source for the system of telemetering control of gas parameters ACS - 400 W		manufa-cture	testing	putting into series production	commertial products	
4	Development of commercial project with respect to cathode protection station (CPS) of gas pipeline - 500 W		manufacture	testing	putting into series production	commercial products	
5	Development of commercial project of 5 кW power plant		project	manufacture	testing	putting into series production	com-mercial products

P L A N A R F C

		1995	1996	1997	1998	1999	2000
1	INVESTIGATIONS OF MATERIALS AND TECHNOLOGIES IMPROVEMENT.MARKETING						
2	Development and investigation into experimental ECG of power						
	slip casting technology	100 W	manufac-ture / testing				
		500 W	project	manufacture	testing		
		1 кW	project	manufacture	testing		
3	Development of base spraying technologies for planar FC						
4	Development and investigation into experimental samples of power						
	film technologies	100 W	manufature	testing			
		500 W	project	manufacture	testing		
		1 кW	project	manufacture	testing		
5	Development of commercial projects with planar FC				putting into series production	commercial products	

VNIITF

2.5. PUTTING INTO SERIES PRODUCTION OF SOFC



III. ASSESSMENT OF COMMODITY MARKET.

MARKETING INVESTIGATIONS SHOW THAT IN RUSSIA THE POTENTIAL CONSUMERS OF ECG AND PP BASED ON FC MAY BE, AT PRESENT, OIL-GAS EXTRACTIVE BRANCHES OF INDUSTRY:

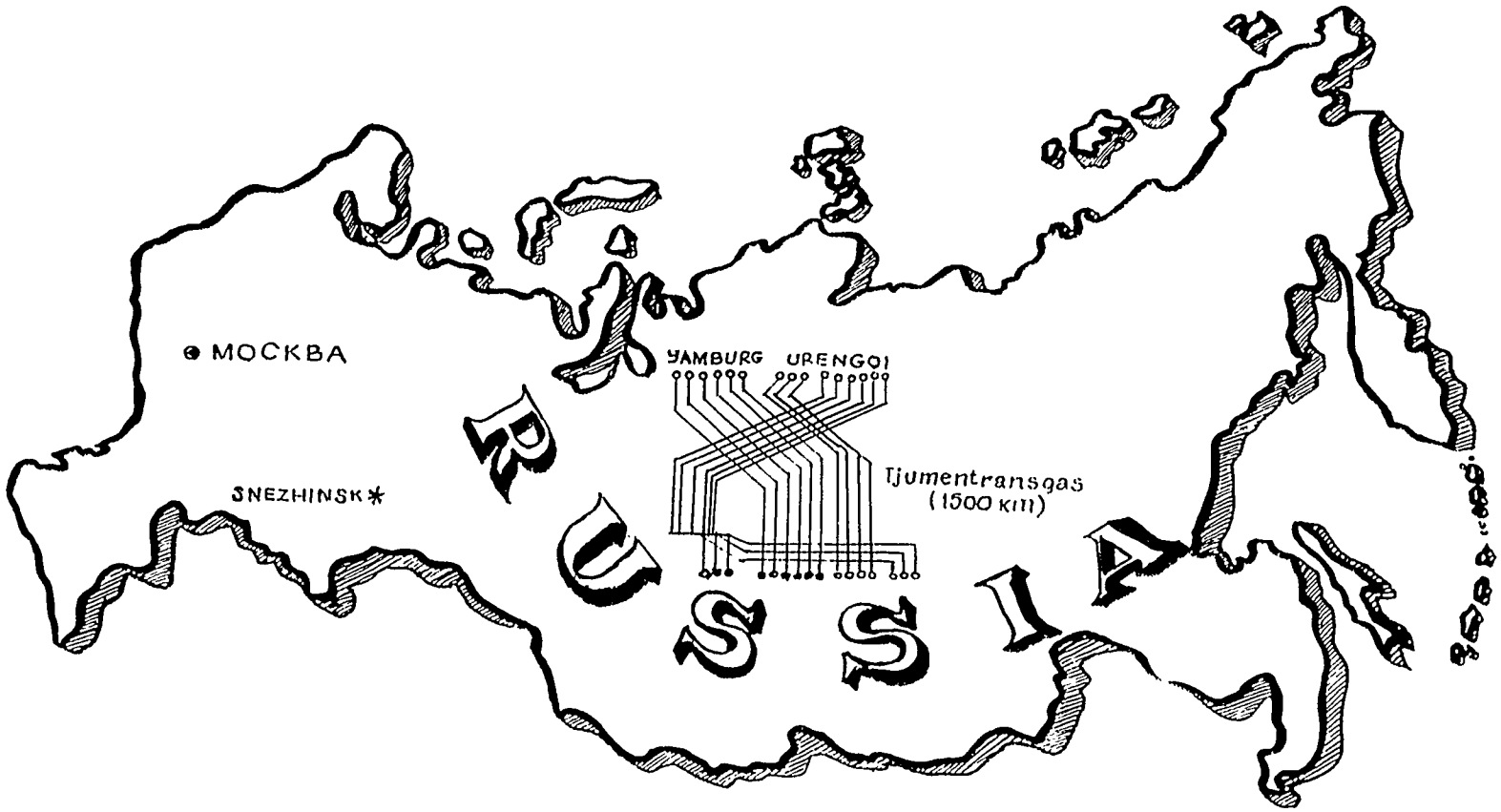
a) AUTONOMOUS POWER SUPPLIES OF UP TO 0,5 kW POWER FOR TELEMETERING CONTROL OF GAS PARAMETERS DURING GAS EXTRACTION (PRODUCTION) AND ITS TRANSPORTATION;

b) CATHODE PROTECTION STATIONS OF GAS PIPELINE WITH POWER RANGE FROM 0,5 TO 1 kW;

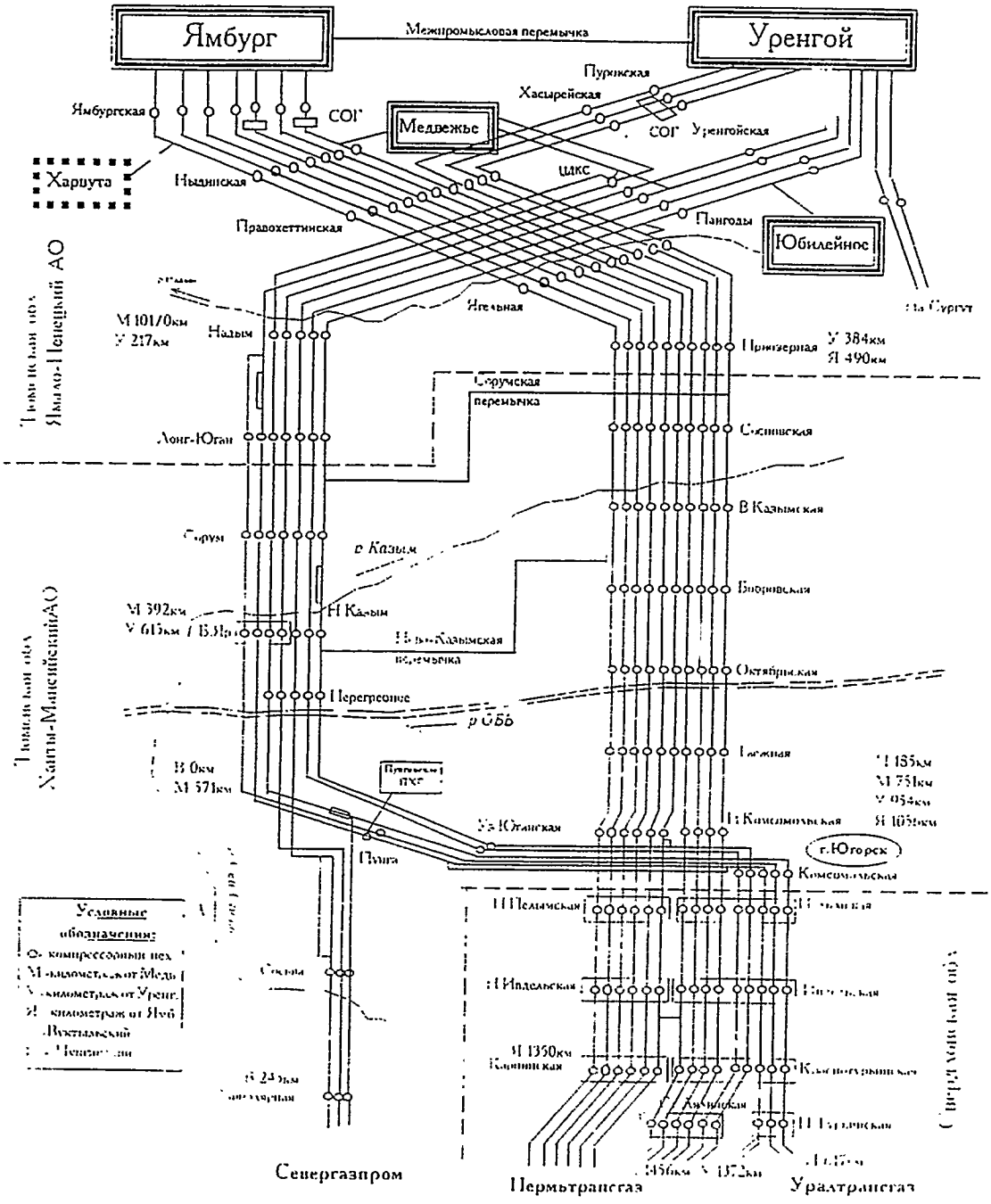
c) SOURCES OF LOW POWER (5—10 kW) FOR POWER SUPPLY OF DWELLING HOUSES AND SETTLEMENTS BEING REMOTE FROM ELECTRIC POWER LINES (EPL).

VNIITF

III. ASSESSMENT OF COMMODITY MARKET



SCHEME
OF MAIN GAS PIPELINES OF THE ENTERPRISE "TYUMENTRANSGAS" (1994)



уточный	200	1.050	50
годовой	73.000	350.000	12.500

Транспорт газа, млн.м3

ASSESSMENT OF COMMODITY MARKET VOLUME
(USING TYUMENTRANSGAS BY WAY OF EXAMPLE)

1. CATHODE PROTECTION STATIONS (CPS) WITH THEIR POWER WITHIN THE RANGE FROM 0,5 TO 1,0 kW.
   AT THE ROUTE CONSISTING OF 17 GAS PIPELINES 1500 KM IN LENGTH IT IS REQUIRED TO PLACE CPS THROUGH THE INTERVAL EQUAL TO 10 KM ALONG ALL THE ROUTE.
   NECESSARY NUMBER OF CPS: $N_1 = 1500:10 \times 17 = 2550$

2. AUTONOMOUS CURRENT SOURCES (ACS) OF POWER UP TO 0,5 kW FOR POWER SUPPLY OF TELEMETERING CONTROL STATIONS (TCS).
   IT IS PROPOSED TO PLACE TCS THROUGH THE INTERVAL EQUAL TO 50 KM.
   NECESSARY NUMBER OF ACS: $N_1 = 1500:50 \times 17 = 510$
   WHEN INTEGRATING THE POWER SUPPLY SIMULTANEOUSLY FOR TCS AND CPS IT IS REQUIRED TO MOUNT 2550 PP OF 1 KW POWER.

3. IN ORDER TO MEET THE IMMEDIATE REQUIREMENTS FOR POWER SUPPLY OF LOOKOUT HOUSES, DWELLING HOUSES IT IS REQUIRED TO PLACE 300 PP OF 5-10 kW POWER (IN EXPERT'S OPINION).

VNIITF

•THUS, THE POTENTIAL NECESSITY FOR POWER PLANTS OF LOW POWER FOR TYUMENTRANSGAS:

POWER	0,5kW - 1,0kW (OR)	5 - 10 kW
NUMBER,pieces	3060	2550	300

- ANALOGOUS ASSESSMENTS CAN BE PERFORMED FOR SEVERGASPROM, PERM'TRANSGAS, URALTRANSGAS AND OTHER REGIONS.
- IF THE PRODUCTION OF PP OF 10 kW POWER IS ORGANIZED WITH OUTPUT UP TO 100 PIECES, THEN TYUMENTRANSGAS REQUIREMENTS FOR THEM WILL BE SATISFIED DURING 2 - 2,5 YEARS.
- CONSIDERING THAT THE QUARANTEE SERVICE LIFE OF PP CAN BE EQUAL TO 2 YEARS (~ 15000 HOURS), THEIR RESTORATION (RENOVATION) PROVIDES THEIR CONSTANT PRODUCTION FOR A LONG TERM.

CONCLUSION: DATA SUBSTANTIATE THE AVAILABILITY OF STABLE COMMODITY MARKET FOR PP OF LOW POWER IN RUSSIA

VNIITF

PREDICTED COMMERCIAL PRICE FOR POWER PLANT OF 1 kW POWER

№	Designation of expenses	Cost (in thous.USD)
1	Materials	1,5
2	Wages	2,1
3	Taxes(39 % .item2)	0,82
4	Payment for resources (energy, gas, heat, water, equipment) 75% ,item2	1,58
5	Net cost	6.0
6	Profit (40%.item5)	2.4
7	Profit tax(30%.item6)	0,72
8	Net profit (6 - 7)	1,68
9	Price of manufacture (5+6)	8,4
10	Value-added tax (21.5 %,item8)	1.8
11	Commercial price (9+10)	10,2

ВНИИТФ

IV. COLLABORATION DIRECTIONS

1. SCIENTIFIC AND TECHNICAL COLLABORATION CONCERNED WITH DEVELOPMENT AND INVESTIGATION INTO SOFC MATERIALS, TECHNOLOGIES AND CONSTRUCTIONS:

- SOLID ELECTROLYTES
- ANODE COATINGS
- CATHODE COATINGS
- SEALING COMPOUNDS
- MATERIALS OF CURRENT CONNECTION
- GAS REFORMERS (CATALYSTS)
- DEVELOPMENT AND MODELLING OF EXPERIMENTAL PLANTS BASED ON SOFC
- JOINT DEVELOPMENT OF REAL PROJECTS ON ECG AND PP (FOR THE SYSTEM OF TELEMETERING CONTROL, CATHODE PROTECTION LINES, POWER SUPPLY OF HOUSES AND SO ON)

2. FORMATION OF THE JOINT ENTERPRISE FOR PERFORMING SCIENTIFIC INVESTIGATIONS, DEVELOPMENT AND MANUFACTURE OF COMMERCIAL PP BASED ON SOFC.

VNIITF

FORM OF COLLABORATION

1. SPONSORS. (WHERE ARE YOU, ANGELS?)

   (IDEA BELONGS TO Mr MILTON SHERMAN McCORKLE)

2. CONTRACTS BETWEEN VNIITF AND CUSTOMER (USA) WITH RESPECT TO PERFORMING INDIVIDUAL RESEACH WORK (item IV. 1) ARE FINANCED BY THE CUSTOMER.

3. CONTRACTS BETWEEN VNIITF AND PARTNER (USA) WITH RESPECT TO THE JOINT PERFORMING OF RESEARCH WORK (item IV. 1)
   FINANCING — ON THE SHARE BASIS (VNIITF + PARTNER).

4. ORGANIZATION OF RUSSIAN—AMERICAN CONSORTIUM (RAFCo).
   FINANCING FROM THE CONSORTIUM BUDGET.

VNIITF

5. ORGANIZATION OF THE RUSSIAN—AMERICAN JOINT—STOCK COMPANY (JOINT ENTERPRISE) FOR SOLVING THE LOCAL TASK — DEVELOPMENT AND PRODUCTION OF THE COORDINATED PROJECT OF POWER PLANT OF 1 kW POWER AND ADVANCING OF THE PRODUCT IN THE RUSSIAN MARKET. FINANCING — ON THE SHARE BASIS.

6. ORGANIZATION OF THE RUSSIAN—AMERICAN LONG—TERM JOINT—STOCK COMPANY (JOINT ENTERPRISE) FOR SOLVING THE STRATEGIC TASK— PERFORMING OF SCIENTIFIC RESEACHES, DEVELOPMENT AND MANUFACTURE OF COMMERCIAL POWER PLANT BASED ON SOFC AND WINNING OF THE RUSSIAN MARKET.
FINANCING — ON THE SHARE BASIS.

VNIITF PROPOSES AND IS READY TO SUPPORT ANY FORMS OF MUTUALLY BENEFICIAL COLLABORATION.

VNIITF

ATTENTION, RYSKY PROJECT!

V. PROJECT OF PROPOSALS (BRIEFLY) WITH RESPECT TO CREATION OI THE RUSSIAN—AMERICAN JOINT ENTERPRISE FOR PERFORMING SCIENTIFIC INVESTIGATIONS, DEVELOPMENT AND MANUFACTURE OF POWER PLANTS ON THE BASIS OF SOLID OXCIDE FUEL CELLS — - RASOFCo -

1. MAIN PURPOSE — PERFORMING OF SCIENTIFIC INVESTIGATIONS, DEVELOPMENT AND PRODUCTION OF POWER PLANTS, BASED ON SOFC, WINNING OF RUSSIAN MARKET, GETTING OF PROFITS.

2. TASK OF THE FIRST LEVEL — COMPLETION OF BASE INVESTIGATIONS AND TECHNOLOGIES, DEVELOPMENT OF THE COMMERCIAL POWER PLANT OF 1 kW POWER, TESTS, PUTTING INTO SERIES PRODUCTION, SERIES PRODUCTON, SALE OF POWER PLANTS TO ENTERPRISES OF JOINT—STOCK COMPANY "GASPROM" IN RUSSIA, ORGANIZING OF MAINTENANCE, GETTING OF PROFITS.

VNIITF

3. PARTICIPANTS OF THE JOINT ENTERPRISE.

ON THE PART OF RUSSIA:

— VNIITF — MAIN DEVELOPER
— IVTE (INCTITUTE OF HIGH—TEMPERATURE ELECTROCHEMISTRY) — SCIENTIFIC INVESTIGATIONS, TECHNOLOGY
— FEI (PHYS. AND ENG. INCTITUTE) — THIN—FILM TECHNOLOGY OF SOFC
— PO CHMZ (PRODUCTION ASSOCIATION "CHEPETZKY MECHANICAL WORKS") — SERIES PRODUCTION OF FC AND BFC
— UEMZ — SERIES PRODUCTION OF CONTROL AND AUTOMATICS ELEMENTS
— ZRZ (ZLATOUST INSTRUM. MAKING WORKS) — SERIAL ENTERPRISE FOR FINAI ASSEMBLY OF POWER PLANTS, SALE, MAINTENANCE

ON THE PART OF USA:

---

4. CONTRIBUTION OF RUSSIAN PART — SPECIALISTS, ROOMS, EQUIPMENT, RESOURCES, MATERIALS, TECHNOLOGIES
CONTRIBUTION OF AMERICAN PART — PARTICIPATION FINANCING OF FOUNDING, CREDIT FOR ORGANIZING SERIES PRODUCTION

VNIITF

5. ITEM OF PRODUCTION — POWER PLANTS BASED ON SOFC OF 1 kW POWER FOR POWER SUPPLY OF STATIONS FOR TELEMETERING CONTROL (TCS) OF GAS PIPELINE PARAMETERS AND FOR CATHODE PROTECTION STATIONS (CPS) OF OIL—GAS PIPELINES.

6. CONSUMER — ORGANIZATIONS TRANSPORTING GAS, JOINT—STOCK COMPANY "GAZPROM" OF RUSSIA — TYUMENTRANSGAS, SEVERGASPROM, PERM'TRANSGAS, URALTRANSGAS AND OTHERS.

7. MARKET REQUIREMENTS — NO LESS THAN 2500 POWER PLANTS ARE REQUIRED ONLY FOR TYUMENTRANSGAS. CONSIDERING RENOVATION, THE STEADY MARKET IS EXPECTED TO TAKE PLACE FOI THE NEAREST 10—15 YEARS.

VNIEF

8.MAXIMUM OUTPUT WHICH IS SUGGESTED TO BE REACHED BY THE JOINT ENTERPRISE IS UP TO 1000 POWER PLANTS PER YEAR.

9.PREDICTED COMMERCIAL PRICE OF THE POWER PLANT — 10,2 THOUS. USD
PLANNED NET PROFIT — 1,68 THOUS. USD.

10.BASIC STAGES:

- R & D WORK (COMPLETION OF INVESTIGATIONS, DEVELOPMENT OF A POWER PLANT, MANUFACTURE OF THE TEST SAMPLE, TESTS — I quarter 1996 - IV quarter1996
- PUTTING INTO SERIES PRODUCTION — II quarter1996 - II quarter 1997
- SERIES OUTPUT — beginning from III quarter 1997

VNIITF

11. FOR ORGANIZING THE JOINT ENTERPRISE

THE FOLLOWING IS NECESSARY ON THE PART OF THE AMERICAN PARTNER:

- CONSTITUTIVE (FOUNDING) CONTRIBUTION — 2,9 MLN USD DURING TWO YEARS

- CREDIT — 1,8 MLN USD IN 1997

REPAYMENT OF THE CREDIT — DURING 2,5 JIET

12.STEADY NET PROFIT BEGINS SINCE 2000 YEAR IN THE SUM OF 1,68 MLN USD IN THE PROPORTION — RUSSIA : USA = 0,6 : 0,4

VNIITF

PLAN FOR ORGANIZING PRODUCTION AND FINANCING

No item	Years / Indices	1 1996	2 1997	3 1998	4 1999	5 2000	6 2001
1	Necessary financing (mln USD), including	3,0	2,3	2,2	2,3	2,3	2,48
	1.1.R&D work	US–1,0* RUS-0,3*	RUS-0,3*	Co-0,2	Co-0,3	Co-0,28	Co-0,3
	1.2. Putting into production	US-1,5*					Co-0,18
	1.3. Production		US- 1,8**	Co-1,8(×2)	Co-1,8(×3,3)	Co-1,8(×3,3)	Co-1,8
	1.4 Management	US - 0,2*	US - 0,2*	Co-0,2	Co-0,2	Co-0,2	Co-0,2
2	Plan of PP output (pieces)		300	600	1000	1000	
3	Income from realization (mln. $)		3,06	6,12	10,2	10,2	
	From it: 3.1 Expenditures connected with production		1,8	3,6	6,0	6,0	
	3.2 Value - added tax		0,54	1,08	1,8	1,8	
	3.3 Profit		0,72	1,44	2,4	2,4	
	3.4 Profit tax		0,22	0,44	0,72	0,72	
	3.5 Net profit		0,5	1,0	1,68	1,68	
4	Distribution of net profit						
	4.1 Repayment of a credit		0,1	0,5	1,2	-	
	4.2 R&D work		0,2	0,3	0,28	0,3	
	4.3 Improvement of production					0,18	
	4.4 Expenditures for management		0,2	0,2	0,2	0,2	
	4.5 Net profit rest					1,0	

* - as a founding (constitutive) contribution
**- credit
Co - company RASOFCo

VI. CONCLUSION

- POWER PLANTS BASED ON SOFC ARE THE RELIABLE PERSPECTIVE ANI PROFITABLE MODERN SCIENTIFIC AND TECHNICAL DEVELOPMENT

- VNIITF AND RUSSIA MINATOM ENTERPRISES ARE POSSESSED OF THE POTENTIAL BEING SUFFICIENT FOR THE DEVELOPMENT OF POWER PLANTS BASED ON SOFC

- RUSSIA HAS A STEADY COMMODITY MARKET OF POWER PLANTS

- COMMERCIALIZATION OF SOFC IS RESTRAINED AS A RESULT OF INSUFFICIENT SOLUTION OF A NUMBER OF MATERIALS TECHNOLOGY AND TECHNOLOGYCAL PROBLEMS WHICH WILL BE SOLVED IN THE NEAREST TIME

- THE FOLLOWING CAN CONTRIBUTE TO COMMERCIALIZATION ACCELERATION:
  — CONCENTRATION OF RUSSIAN AND AMERICAN NUCLEAR CENTER SPECIALISTS EFFORTS
  — ENHANCING OF FINANCING.

VNIITF

Intentionally Left Blank

РОССИЙСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ЯДЕРНЫЙ ЦЕНТР –
ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ТЕХНИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ
(РФЯЦ – ВНИИТФ)

ПРОГРАММА НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И РАЗРАБОТКИ ТВЕРДООКСИДНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ (ТОТЭ) ВО ВНИИТФ. ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО НАУЧНО – ТЕХНИЧЕСКОМУ СОТРУДНИЧЕСТВУ И КОММЕРЦИАЛИЗАЦИИ ТОТЭ.

Ю.Н.КЛЕЩЕВ – ГЛАВНЫЙ ТЕХНОЛОГ, К.Т.Н.
В.Ф.ЧУХАРЕВ – НАЧАЛЬНИК ЛАБОРАТОРИИ ТОТЭ, К.Т.Н.

П/Я 245, СНЕЖИНСК, ЧЕЛЯБИНСКОЙ ОБЛ.
456670 РОССИЯ
ФАКС: 7 – (351) 723–2077
E–MAIL: AVN@ONTI.CH70.CHEL.SU
ТЕЛ: 7–(351) 722–3982

ВНИИТФ

АЛЬБУКЕРКЕ – СЕНТЯБРЬ 1995

СОДЕРЖАНИЕ

ВНИИТФ

I. ВВЕДЕНИЕ

1. ТОПЛИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ (ТЭ) ЗАНИМАЮТ ВСЁ БОЛЬШЕЕ МЕСТО В ЭНЕРГЕТИКЕ СЕГОДНЯ И СТАНУТ ВАЖНЕЙШИМ ЭЛЕМЕНТОМ В ЭНЕРГЕТИКЕ БЛИЖАЙШЕГО БУДУЩЕГО (ЭФФЕКТИВНОСТЬ, ЭКОЛОГИЧНОСТЬ).

2. ТОТЭ ЯВЛЯЮТСЯ НАИБОЛЕЕ ПЕРСПЕКТИВНЫМИ В КОММЕРЧЕСКОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ БЛАГОДАРЯ ИХ НЕОСПОРИМЫМ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМ ПРЕИМУЩЕСТВАМ:

- - ТВЕРДЫЙ ЭЛЕКТРОЛИТ (КЕРАМИКА) →ДОЛГОВЕЧНОСТЬ (СРОК СЛУЖБЫ);
- - ПЕРЕДОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ (НАПЫЛЕНИЕ) → ГАБАРИТЫ, УДЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ;
- – ВЫСОКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ;
- – ЭКОЛОГИЧНОСТЬ;
- – ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ТОПЛИВА.

ВНИИТФ

3. КОММЕРЦИАЛИЗАЦИЯ ТОТЭ СЕГОДНЯ

СДЕРЖИВАЕТСЯ ИЗ – ЗА:

- **РЯДА МАТЕРИАЛОВЕДЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ;**
- **СЛОЖНОСТИ И СПЕЦИФИЧНОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ;**
- **СТОИМОСТИ .**

ЗАВИСИТ ОТ:

- **КОНЦЕНТРАЦИИ И УСИЛЕНИЯ ФИНАНСИРОВАНИЯ;**
- **ПРИВЛЕЧЕНИЯ К РАЗРАБОТКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ ЯДЕРНЫХ ЦЕНТРОВ;**
- **ОБЪЕДИНЕНИЯ УСИЛИЙ АМЕРИКАНСКИХ И РОССИЙСКИХ ЯДЕРНЫХ ЦЕНТРОВ В СОВМЕСТНЫХ ПРОЕКТАХ С КОММЕРЧЕСКИМИ СТРУК-ТУРАМИ;**
- **РЕАЛЬНОЙ ДЕМОНСТРАЦИИ ДОСТИЖЕНИЙ ПОТРЕБИТЕЛЮ.**

4. РАЗВИТИЕ НАУКИ, ТЕХНИКИ И ЭКСПЕРИМЕНТЫ СВИДЕТЕЛЬСТВУЮТ О ТОМ, ЧТО ЭТИ ПРОБЛЕМЫ В БЛИЖАЙШЕЕ ВРЕМЯ БУДУТ РЕШЕНЫ.

ВНИИТФ

МИНИСТЕРСТВО АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ РОССИИ ПРИНЯЛО В 1995 ГОДУ СПЕЦИАЛЬНУЮ КОМПЛЕКСНУЮ ПРОГРАММУ

РАЗРАБОТКА И ОСВОЕНИЕ СЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК НА ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ

1. ЭУ НА ОСНОВЕ МЕТАНОЛЬНЫХ ТЭ
2. ЭУ НА ОСНОВЕ ЩЕЛОЧНЫХ ТЭ
3. ЭУ НА ОСНОВЕ ТВЕРДОПОЛИМЕРНЫХ ТЭ
4. ЭУ НА ОСНОВЕ ФОСФОРНОКИСЛЫХ ТЭ
5. ЭУ НА ОСНОВЕ РАСПЛАВКАРБОНАТНЫХ ТЭ
6. ЭУ НА ОСНОВЕ ТВЕРДООКСИДНЫХ ТЭ
7. СИСТЕМЫ ПОДГОТОВКИ ТОПЛИВА
8. ИСТОЧНИКИ ВТОРИЧНОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ
9. СИСТЕМЫ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛА
10. СИСТЕМЫ ХРАНЕНИЯ И РЕГЕНЕРАЦИИ ВОДОРОДА
11. СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ

СТРУКТУРА ПРОГРАММЫ

ВНИИТФ

II. ОБЛАСТЬ ИССЛЕДОВАНИЙ И РАЗРАБОТКИ ВНИИТФ

– ОСНОВНАЯ ЦЕЛЬ И ОБЛАСТЬ ИССЛЕДОВАНИЙ ВНИИТФ – "РАЗРАБОТКА И СЕРИЙНОЕ ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЭНЕРГОУСТАНОВОК (ЭУ) НА ОСНОВЕ ТОТЭ".

– ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ:

2.1. МАТЕРИАЛОВЕДЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.2. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЙ

2.3. РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИЙ

2.4. ИЗГОТОВЛЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ

2.5. ОСВОЕНИЕ СЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

ВНИИТФ

2.1. МАТЕРИАЛОВЕДЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ:

а) БАЗОВЫЙ ТВЕРДЫЙ ЭЛЕКТРОЛИТ – ДВУОКИСЬ ЦИРКОНИЯ, СТАБИЛИЗИРОВАННАЯ ОКСИДОМ ИТТРИЯ ⇒ YSZ

б) ТОПЛИВНЫЙ ЭЛЕКТРОД (АНОД) – КОМПОЗИЦИЯ НА ОСНОВЕ Ni И ЭЛЕКТРОЛИТНОЙ КЕРАМИКИ YSZ ⇒ Ni + YSZ

в) ВОЗДУШНЫЙ ЭЛЕКТРОД (КАТОД) – КОМПОЗИЦИЯ НА ОСНОВЕ МАНГАНИТА – ЛАНТАНА – СТРОНЦИЯ ⇒ MLS

г) ТОКОВЫВОДЫ (ТОКОСОЕДИНИТЕЛИ):

– НА ТОПЛИВНОЙ СТОРОНЕ – Ni, Cr(Co)LS

– НА КИСЛОРОДНОЙ СТОРОНЕ – Pt, Cr(Co)LS, СПЛАВЫ Cr, Fe, Y_2O_3

ВНИИТФ

д) КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ – КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ $ZrO_2 + Y_2O_3$ (CaO), SiO_2 , Al_2O_3 , ЖАРОСТОЙКИЕ СТАЛИ И СПЛАВЫ.

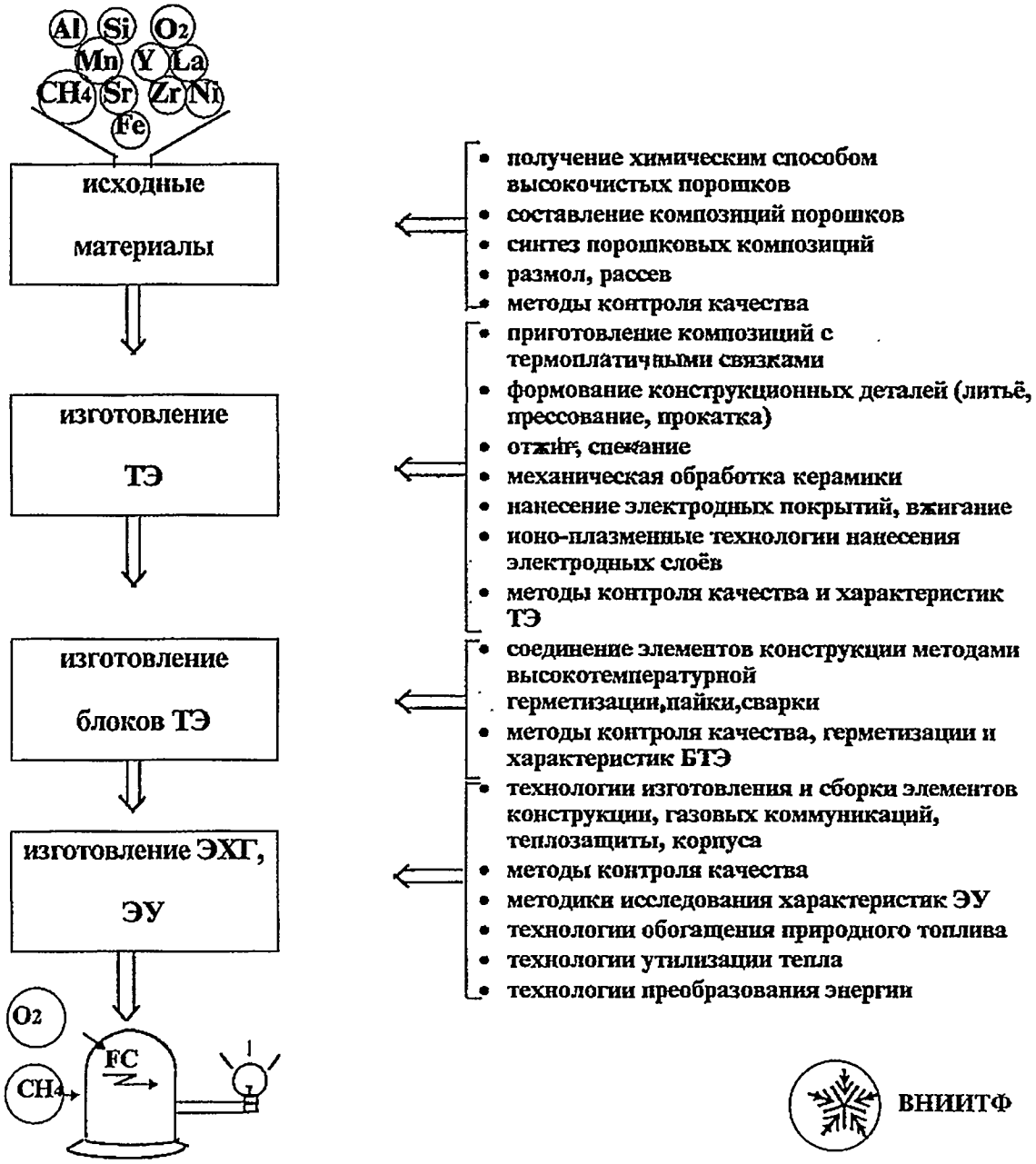
е) КОНСТРУКЦИОННЫЕ СОЕДИНЕНИЯ (ГЕРМЕТИКИ) – КОМПОЗИЦИИ НА ОСНОВЕ BaO С ДОБАВКАМИ, $CaO \cdot SiO_2 \cdot Al_2O_3$, ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ ПРИПОИ, ГЛАЗУРИ, ОРГАНОСИЛИКАТЫ

ВО ВНИИТФ ПОСТОЯННО ПРОВОДЯТСЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ПОИСКУ БОЛЕЕ ЭФФЕКТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ТВЕРДЫХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ, ЭЛЕКТРОДНЫХ ПОКРЫТИЙ, ТОКОВЫВОДОВ, КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИХ СОЕДИНЕНИЙ.

ВНИИТФ

2.2. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЙ

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЙ ОХВАТЫВАЕТ ВЕСЬ ЦИКЛ ПОДГОТОВКИ ИСХОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТЭ, СБОРКИ МОДУЛЕЙ ТОТЭ, ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ГЕНЕРАТОРОВ И ЭНЕРГОУСТАНОВОК НА ИХ ОСНОВЕ И ПОСЛЕДУЮЩЕГО КОНТРОЛЯ И ИСПЫТАНИЙ.



ОСНОВНЫМИ ОПРЕДЕЛЯЮЩИМИ ТЕХНОЛОГИЯМИ ЯВЛЯЮТСЯ:

-ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЕДИНИЧНОГО ТЭ:

- **ТВЕРДЫЙ ЭЛЕКТРОЛИТ;**
- **ЭЛЕКТРОДЫ (АНОД, КАТОД);**
- **ТОКОСЪЕМЫ.**

- СБОРКА ТЭ В МОДУЛЬ:

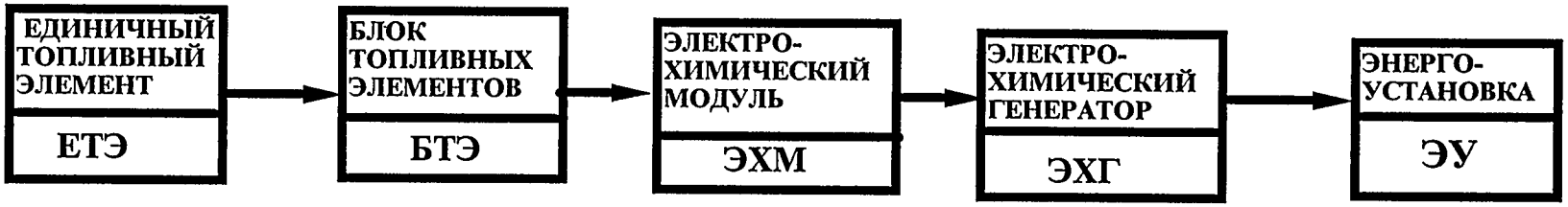
- **СОЕДИНЕНИЕ;**
- **ГЕРМЕТИЗАЦИЯ.**

ВО ВНИИТФ ВЕДЕТСЯ ПОСТОЯННАЯ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ РАБОТА ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ СУЩЕСТВУЮЩИХ И РАЗРАБОТКЕ НОВЫХ ЭКОНОМИЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ.

ВНИИТФ

2.3. РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИЙ

– ЭТА ОБЛАСТЬ РАЗРАБОТКИ РАСПРОСТРАНЯЕТСЯ НА ВЕСЬ ЦИКЛ КОНСТРУИРОВАНИЯ



С НЕОБХОДИМЫМ КОМПЛЕКТОМ ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ:

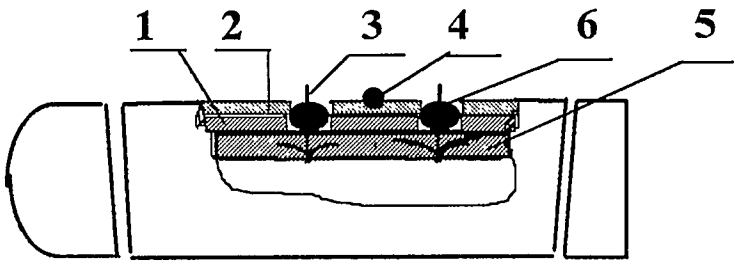
- СИСТЕМЫ ПОДГОТОВКИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГАЗА;
- СТАРТОВОГО РАЗОГРЕВА;
- АВТОМАТИКИ УПРАВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ;
- СИСТЕМЫ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛА;
- ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЭНЕРГИИ

– ВО ВНИИТФ ПРОВОДИТСЯ ПОЛНЫЙ ЦИКЛ РАСЧЕТНЫХ РАБОТ – ПРОЧНОСТНЫЕ, ТЕПЛОВЫЕ, ГАЗОВЫЕ.

ВНИИТФ

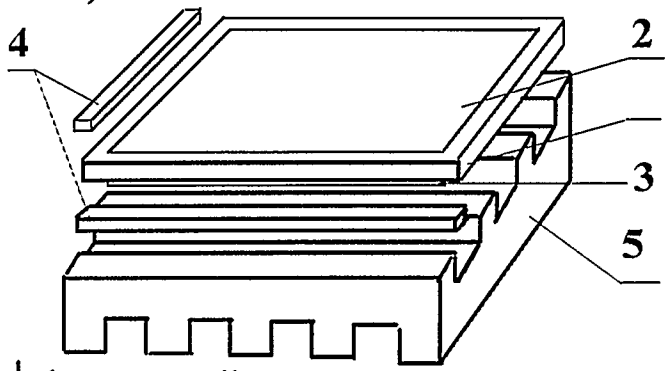
–ВО ВНИИТФ ИСПОЛЬЗУЮТСЯ ДВЕ ОСНОВНЫЕ БАЗОВЫЕ КОНСТРУКЦИИ ЕДИНИЧНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ:

а) ТРУБЧАТЫЕ –∅ 10 мм, L= 210 мм;



1- ТВЕРДЫЙ ЭЛЕКТРОЛИТ ($ZrO_2 + Y_2O_3$)
2- АНОДНОЕ ПОКРЫТИЕ (Ni + YSZ)
3- ТОКОПРОВОД (Pt, ∅ 0,3мм)
4- ТОКООТВОД (Ni , ∅ 0,3мм)
5- КАТОДНОЕ ПОКРЫТИЕ ($La_{0.6}Sr_{0.4}MnO_3$)
6- ЭМАЛЬ

б) ПЛАНАРНЫЕ – 50 X 50 мм



1- твердый электролит
2- анодное покрытие
3- катодное покрытие
4- герметик
5- сепаратор


ВНИИТФ

ЦЕЛЕВАЯ КОМПЛЕКСНАЯ ПРОГРАММА МАЭ РФ
“ РАЗРАБОТКА И ОСВОЕНИЕ СЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК НА ОСНОВЕ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ”

РАЗДЕЛ 6: ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ НА ТВЕРДООКСИДНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ

ГЕНЕРАЛЬНЫЙ РАЗРАБОТЧИК – РФЯЦ-ВНИИТФ

Т Р У Б Ч А Т Ы Й ТЭ

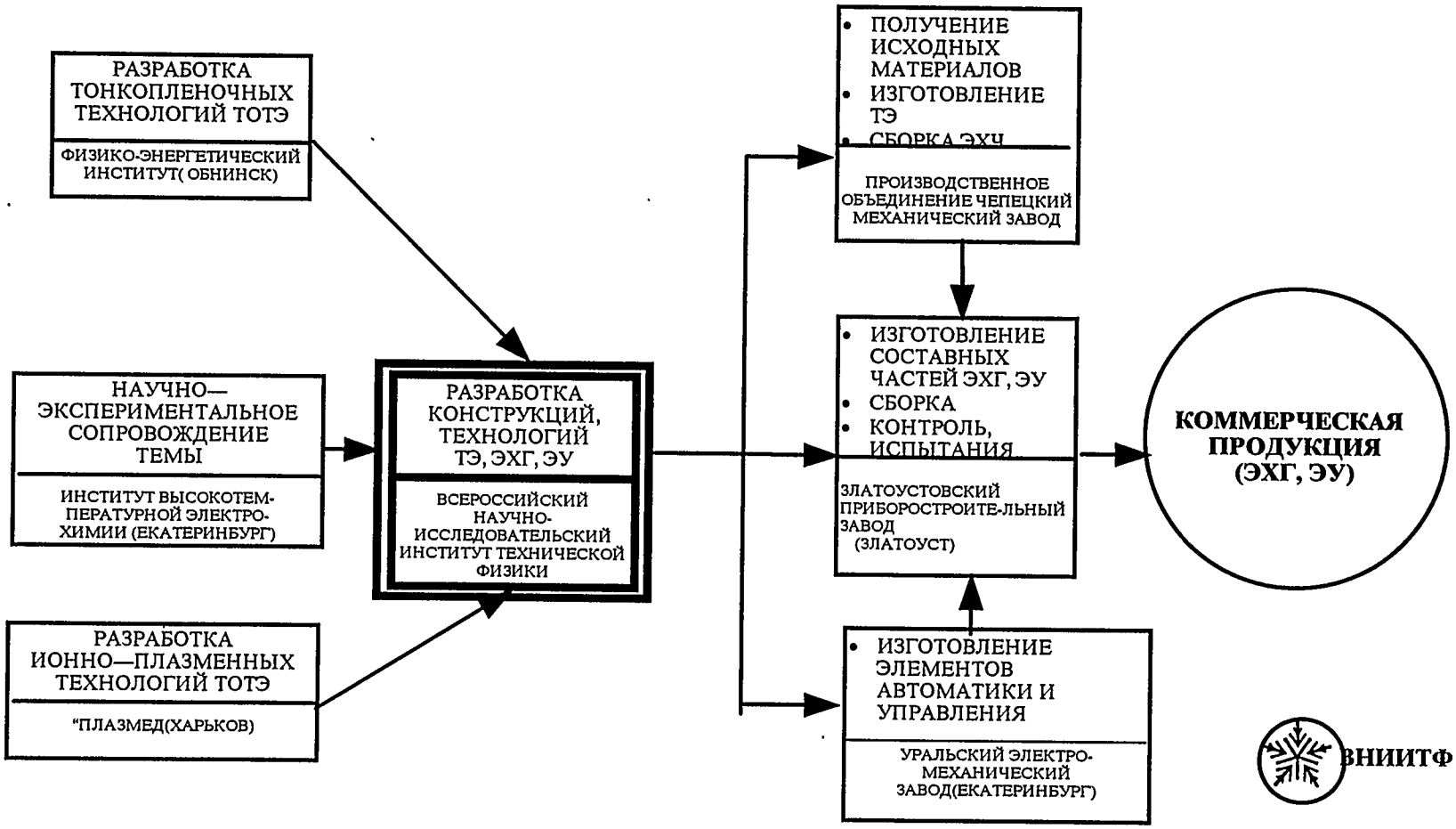
		1995	1996	1997	1998	1999	2000
1	ИССЛЕДОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ.МАРКЕТИНГ						
2	Разработка и исследования экспериментальных образцов ЭХГ мощностью						
	100 Вт						
	300 Вт		испытания				
	1 кВт		изготовление	испытания			
	10кВт		проект	изготовление	испытания		
	более 10кВт		проект	изготовление	испытания		
3	Разработка коммерческого автономного источника тока для систем телеметрического контроля параметров газа АИТ- 400 Вт		изготовление	испытания	освоение серийного производства	коммерческая продукция	
4	Разработка коммерческого проекта станции катодной защиты газопроводов СКЗ- 500 Вт		изготовление	испытания	освоение серийного производства	коммерческая продукция	
5	Разработка коммерческого проекта энергоустановки мощностью 5 кВт		проект	изготовление	испытания	освоение серийного производства	коммерческая продукция

П Л А Н А Р Н Ы Й Т Э

		1995	1996	1997	1998	1999	2000
ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ТЭ. МАРКЕТИНГ							
Разработка и исследования экспериментальных ЭХГ мощностью							
шликерная технология	100 Вт		изготовление	испытания			
	500Вт		проект	изготовление		испытания	
	1кВт		проект	изготовление		испытания	
Разработка базовых напылительных технологий планарного ТЭ							
Разработка и исследование экспериментальных образцов мощностью							
пленочные технологии	100 Вт		изготовление		испытания		
	500 Вт		проект	изготовление		испытания	
	1 кВт		проект		изготовление		испытания
Разработка коммерческих проектов с планарными ТЭ						освоение серийного производства	коммерческая продукция

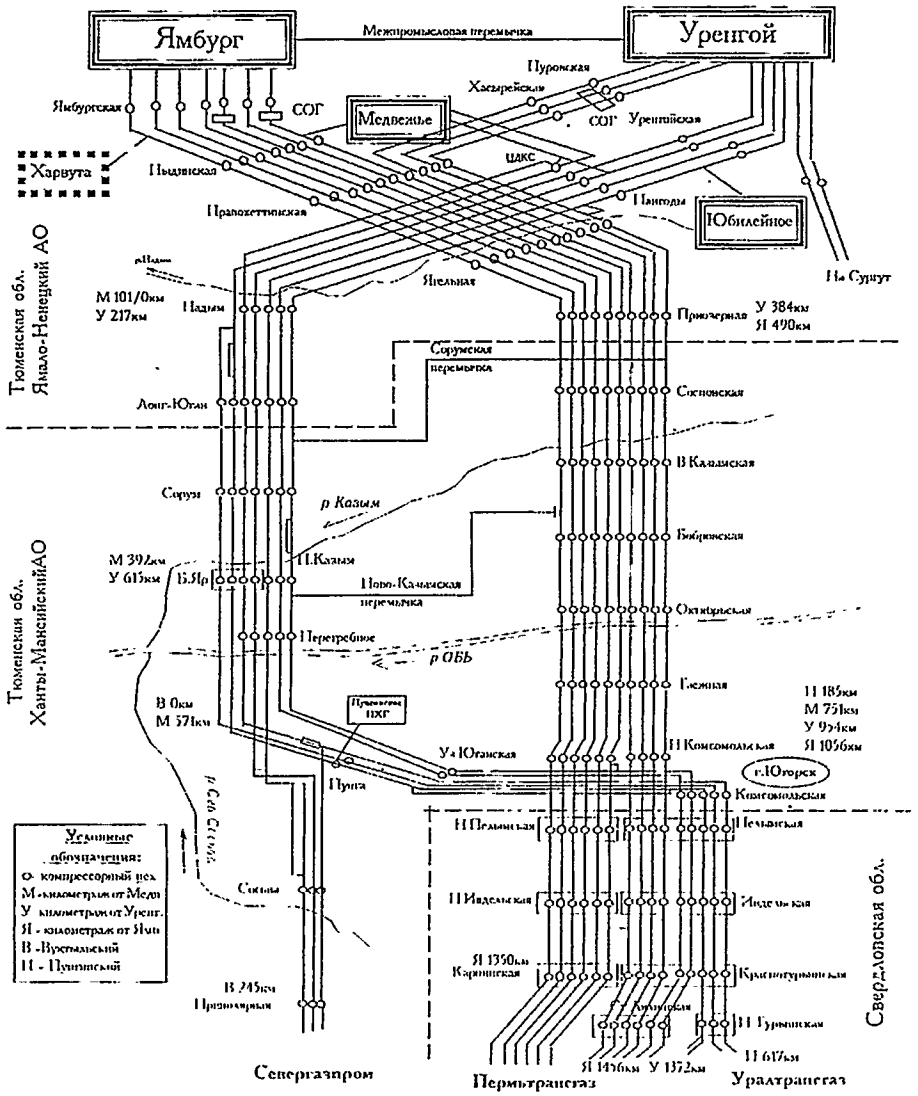
ВНИИТФ

2.5. ОСВОЕНИЕ СЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА ТОТЭ



Схема

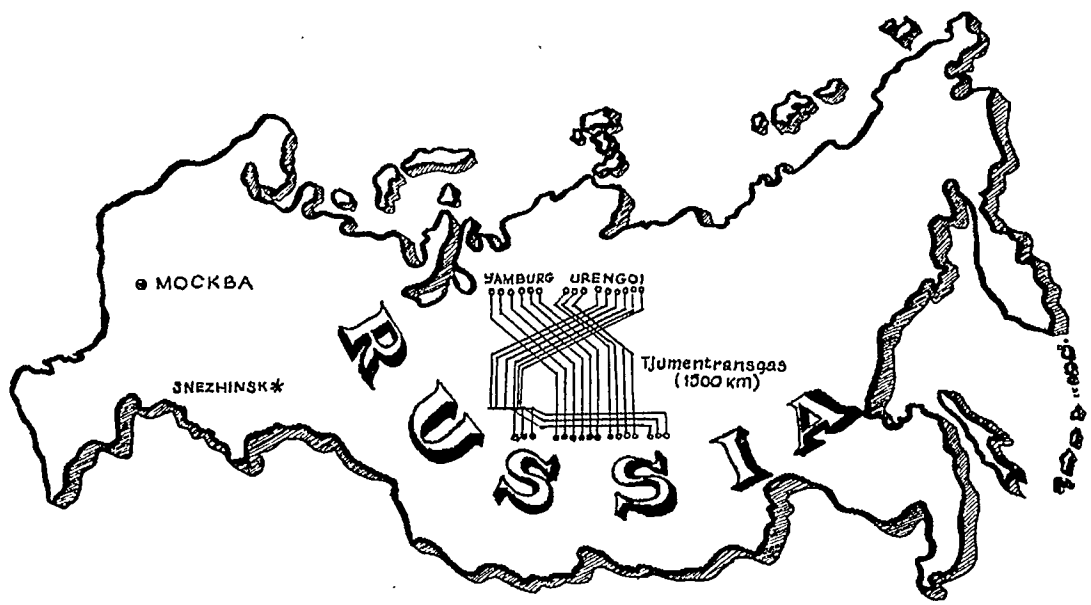
магистральных газопроводов предприятия "Тюментрансгаз" (на 1994 г.)



суточный	200	1.050	50
годовой	73.000	350.000	12.500

Транспорт газа, млн.м3

III. ОЦЕНКА РЫНКА СБЫТА



III. ОЦЕНКА РЫНКА СБЫТА.

МАРКЕТИНГОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОКАЗЫВАЮТ, ЧТО В РОССИИ В НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ ПОТЕНЦИАЛЬНЫМИ ПОТРЕБИТЕЛЯМИ ЭХГ И ЭУ НА ТОТЭ МОГУТ СТАТЬ НЕФТЕ—ГАЗОДОБЫВАЮЩИЕ ОТРАСЛИ ПРОМЫШЛЕННОСТИ:

а) АВТОНОМНЫЕ ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ МОЩНОСТЬЮ ДО 0,5 КВТ ДЛЯ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ГАЗА ПРИ ДОБЫЧЕ И ТРАНСПОРТИРОВКЕ ЕГО .

б) СТАНЦИИ КАТОДНОЙ ЗАЩИТЫ ГАЗОПРОВОДОВ МОЩНОСТЬЮ ОТ 0,5 ДО 1 КВТ.

в) ИСТОЧНИКИ МАЛОЙ МОЩНОСТИ (5—10) КВТ ДЛЯ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ ЖИЛЫХ ДОМОВ И ПОСЕЛКОВ, УДАЛЕННЫХ ОТ ЛИНИЙ ЭНЕРГОПЕРЕДАЧ (ЛЭП).

РАСЧЕТ ОБЪЕМА РЫНКА СБЫТА
(НА ПРИМЕРЕ ТЮМЕНТРАНСГАЗА)

1. СТАНЦИИ КАТОДНОЙ ЗАЩИТЫ (СКЗ) МОЩНОСТЬЮ ОТ 0,5 ДО 1,0кВт.
   НА ТРАССЕ, СОСТОЯЩЕЙ ИЗ 17 ГАЗОПРОВОДОВ ДЛИНОЙ 1500 КМ,
   ТРЕБУЕТСЯ УСТАНОВИТЬ СКЗ ЧЕРЕЗ КАЖДЫЕ 10 КМ.
   НЕОБХОДИМОЕ КОЛИЧЕСТВО СКЗ: N_1= 1500:10× 17= 2550

2. АВТОНОМНЫЕ ИСТОЧНИКИ ТОКА (АИТ) МОЩНОСТЬЮ ДО 0,5 кВт ДЛЯ
   ПИТАНИЯ СТАНЦИЙ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ (СТК).
   НА ТРАССЕ ПРЕДПОЛАГАЕТСЯ УСТАНОВИТЬ СТК ЧЕРЕЗ КАЖДЫЕ 50 КМ.
   НЕОБХОДИМОЕ КОЛИЧЕСТВО АИТ: N_1= 1500:50× 17= 510
   ПРИ СОВМЕЩЕНИИ ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ ОДНОВРЕМЕННО ДЛЯ СТК
   И СКЗ ПОТРЕБУЕТСЯ 2550 ШТУК МОЩНОСТЬЮ 1 кВт.

3. ДЛЯ ПЕРВООЧЕРЕДНОГО УДОВЛЕТВОРЕНИЯ ПОТРЕБНОСТИ В
   ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИИ ВАХТОВЫХ ДОМИКОВ, ЖИЛЫХ ДОМОВ
   ТРЕБУЕТСЯ ДО 300 ШТУК УСТАНОВОК МОЩНОСТЬЮ 5-10 кВт
   (ЭКСПЕРТНО).

ВНИИТФ

- ТАКИМ ОБРАЗОМ, ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ПОТРЕБНОСТЬ В ЭНЕРГОУСТАНОВКАХ МАЛОЙ МОЩНОСТИ ДЛЯ ТЮМЕНТРАНСГАЗА:

МОЩНОСТЬ	ИЛИ - ИЛИ 0,5кВт - 1,0кВт		5 - 10 кВт
КОЛИЧЕСТВО,шт	3060	2550	300

- АНАЛОГИЧНЫЕ РАСЧЕТЫ МОГУТ БЫТЬ ПРОВЕДЕНЫ ДЛЯ СЕВЕРГАЗПРОМА, ПЕРМЬТРАНСГАЗА, УРАЛТРАНСГАЗА И ДР. РЕГИОНОВ.
- ЕСЛИ ОРГАНИЗОВАТЬ ПРОИЗВОДСТВО ЭНЕРГОУСТАНОВОК МОЩНОСТЬЮ 1,0 кВт С ЕЖЕМЕСЯЧНЫМ ВЫПУСКОМ ДО 100 ШТУК, ТО ТЮМЕНТРАНСГАЗ МОЖЕТ БЫТЬ ОБЕСПЕЧЕН В ТЕЧЕНИЕ 2 - 2,5 ЛЕТ.
- УЧИТЫВАЯ, ЧТО ГАРАНТИЙНЫЙ СРОК СЛУЖБЫ ЭНЕРГОУСТАНОВОК МОЖЕТ БЫТЬ УСТАНОВЛЕН В ТЕЧЕНИЕ 2 ЛЕТ (~ 15000 ЧАСОВ), ОБНОВЛЕНИЕ (РЕНОВАЦИЯ) ЭНЕРГОУСТАНОВОК ОБЕСПЕЧИВАЕТ ПОСТОЯННОЕ ИХ ПРОИЗВОДСТВО НА ДЛИТЕЛЬНЫЙ СРОК.

ВЫВОД: ДАННЫЕ ДОКАЗЫВАЮТ О НАЛИЧИИ В РОССИИ УСТОЙЧИВОГО РЫНКА СБЫТА ЭНЕРГОУСТАНОВОК МАЛОЙ МОЩНОСТИ

ВНИИТФ

ПРОГНОЗИРУЕМАЯ КОММЕРЧЕСКАЯ ЦЕНА ЭНЕРГОУСТАНОВКИ МОЩНОСТЬЮ 1 кВт

№ п/п	Наименование затрат	Стоимость (тыс. $)
1	Материалы	1,5
2	Зарплата	2,1
3	Налоги (39 % п.2)	0,82
4	Плата за ресурсы (энергия, газ, тепло,вода, оборудование) 75%п.2	1,58
5	Себестоимость	6,0
6	Прибыль (40% п.5)	2,4
7	Налог на прибыль(30% п.6)	0,72
8	Чистая прибыль (6 - 7)	1,68
9	Цена изготовления (5+6)	8,4
10	Налог НДС (21,5 % п.8)	1,8
11	Коммерческая цена (9+10)	10,2

ВНИИТФ

IV. НАПРАВЛЕНИЯ СОТРУДНИЧЕСТВА

1. НАУЧНО - ТЕХНИЧЕСКОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО ПО РАЗРАБОТКЕ И ИССЛЕДОВАНИЮ МАТЕРИАЛОВ, ТЕХНОЛОГИЙ И КОНСТРУКЦИЙ ТОТЭ:

- ТВЕРДЫЕ ЭЛЕКТРОЛИТЫ
- АНОДНЫЕ ПОКРЫТИЯ
- КАТОДНЫЕ ПОКРЫТИЯ
- ГЕРМЕТИКИ
- МАТЕРИАЛЫ ТОКОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ
- ГАЗОВЫЕ РЕФОРМЕРЫ (КАТАЛИЗАТОРЫ)
- РАЗРАБОТКА И МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ УСТАНОВОК НА ТОТЭ
- СОВМЕСТНАЯ РАЗРАБОТКА РЕАЛЬНЫХ ПРОЕКТОВ ЭХГ И ЭУ (ДЛЯ СИСТЕМЫ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ, ЛИНИЙ КАТОДНОЙ ЗАЩИТЫ, ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ ДОМОВ И ДР.)

2. СОЗДАНИЕ СОВМЕСТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ ПО ПРОВЕДЕНИЮ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ , РАЗРАБОТКЕ И ИЗГОТОВЛЕНИЮ КОММЕРЧЕСКИХ ЭНЕРГОУСТАНОВОК НА ТОТЭ.

ВНИИТФ

ФОРМЫ СОТРУДНИЧЕСТВА

1. СПОНСОРЫ. (ГДЕ ВЫ, АНГЕЛЫ?)

(ИДЕЯ ПРИНАДЛЕЖИТ М-РУ)

2. КОНТРАКТЫ МЕЖДУ ВНИИТФ И ЗАКАЗЧИКОМ (США) ПО ПРОВЕДЕНИЮ ОТДЕЛЬНЫХ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ (П. IV. 1) ФИНАНСИРУЮТСЯ ЗАКАЗЧИКОМ.

3. КОНТРАКТЫ МЕЖДУ ВНИИТФ И ПАРТНЕРОМ (США) ПО СОВМЕСТНОМУ ПРОВЕДЕНИЮ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ (П. IV. 1) ФИНАНСИРОВАНИЕ НА ДОЛЕВОЙ ОСНОВЕ (ВНИИТФ + ПАРТНЕР).

4. ОРГАНИЗАЦИЯ РОССИЙСКО-АМЕРИКАНСКОГО КОНСОРЦИУМА (RAFCo). ФИНАНСИРОВАНИЕ ИЗ БЮДЖЕТА КОНСОРЦИУМА.

ВНИИТФ

8.МАКСИМАЛЬНЫЙ ОБЪЕМ ВЫПУСКА, КОТОРЫЙ ПРЕДПОЛАГАЕТСЯ ДОСТИЧЬ СОВМЕСТНОМУ ПРЕДПРИЯТИЮ - ДО 1000 УСТАНОВОК В ГОД.

9.РАСЧЕТНО - ПРОГНОЗИРУЕМАЯ КОММЕРЧЕСКАЯ ЦЕНА УСТАНОВКИ - 10,2 ТЫС. USD
ПЛАНИРУЕМАЯ ЧИСТАЯ ПРИБЫЛЬ - 1,68 ТЫС. USD.

10.ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ:

• НИОКР (ЗАВЕРШЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ, РАЗРАБОТКА ЭУ, ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОБРАЗЦА, ИСПЫТАНИЯ	Iкв.96 - IV кв.96
• ОСВОЕНИЕ СЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА	IIкв.96 - II кв.97
• СЕРИЙНЫЙ ВЫПУСК	с IIIкв.97

ВНИИТФ

11. ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ СОВМЕСТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ ОТ АМЕРИКАНСКОГО ПАРТНЕРА НЕОБХОДИМО:

- УЧРЕДИТЕЛЬНЫЙ ВЗНОС - 2,9 МЛН. USD В ТЕЧЕНИЕ 2-х ЛЕТ
- КРЕДИТ - 1,8 МЛН. USD В 1997 ГОДУ

  КРЕДИТ ВОЗВРАЩАЕТСЯ В ТЕЧЕНИЕ 2,5 ЛЕТ

12. УСТОЙЧИВАЯ ЧИСТАЯ ПРИБЫЛЬ НАЧИНАЕТСЯ С 2000 ГОДА В СУММЕ 1,68 МЛН. USD В ПРОПОРЦИИ RUS : US = 0,6 : 0,4

ВНИИТФ

ПЛАН ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА И ФИНАНСИРОВАНИЯ

NN пп	Годы / Показатели	1 1996	2 1997	3 1998	4 1999	5 2000	6 2001
1	Необходимое финансирование (млн. $), в том числе:	3,0	2,3	2,2	2,3	2,3	2,48
	1.1. НИОКР	US–1,0* RUS–0,3*	RUS–0,3*	Co–0,2	Co–0,3	Co–0,28	Co–0,3 Co–0,18
	1.2. Освоение производства	US–1,5*					Co–1,8
	1.3. На производство		US–1,8**	Co–1,8(×2)	Co–1,8(×3,3)	Co–1,8(×3,3)	Co–0,2
	1.4. На управление	US–0,2*	US–0,2*	Co–0,2	Co–0,2	Co–0,2	
2	План выпуска ЭУ (штук)		300	600	1000	1000	
3	Доход от реализации (млн.$)		3,06	6,12	10,2	10,2	
	Из него: 3.1. Затраты на производство		1,8	3,6	6,0	6,0	
	3.2. НДС		0,54	1,08	1,8	1,8	
	3.3. Прибыль		0,72	1.44	2,4	2,4	
	3.4. Налог с прибыли		0,22	0,44	0,72	0,72	
	3.5. Чистая прибыль		0,5	1,0	1,68	1,68	
4	Распределение чистой прибыли						
	4.1. Погашение кредита		0,1	0,5	1,2	–	
	4.2. НИОКР		0,2	0,3	0,28	0,3	
	4.3. Совершенствование производства					0,18	
	4.4. На управление		0,2	0,2	0,2	0,2	
	4.5. Остаток чистой прибыли					1,0	

* – в качестве учредительного взноса

** – кредит

Co – компания RASOFCo

VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- ЭНЕРГОУСТАНОВКИ НА ТОТЭ ЯВЛЯЮТСЯ НАДЕЖНОЙ, ПЕРСПЕКТИВНОЙ И ВЫГОДНОЙ СОВРЕМЕННОЙ НАУЧНО - ТЕХНИЧЕСКОЙ РАЗРАБОТКОЙ

- ВНИИТФ И ПРЕДПРИЯТИЯ МИНАТОМА РОССИИ ОБЛАДАЮТ ДОСТАТОЧНЫМ ПОТЕНЦИАЛОМ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ЭУ НА ТОТЭ

- РОССИЯ ОБЛАДАЕТ УСТОЙЧИВЫМ РЫНКОМ СБЫТА ЭУ

- КОММЕРЦИАЛИЗАЦИЯ ТОТЭ СДЕРЖИВАЕТСЯ ИЗ - ЗА НЕДОСТАТОЧНОЙ РЕШЕННОСТИ РЯДА МАТЕРИАЛОВЕДЧЕСКИХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ, КОТОРЫЕ В БЛИЖАЙШЕЕ ВРЕМЯ БУДУТ РЕШЕНЫ

- УСКОРЕНИЮ КОММЕРЦИАЛИЗАЦИИ МОГУТ СПОСОБСТВОВАТЬ
  - КОНЦЕНТРАЦИЯ УСИЛИЙ СПЕЦИАЛИСТОВ АМЕРИКАНСКИХ И РОССИЙСКИХ ЯДЕРНЫХ ЦЕНТРОВ
  - УСИЛЕНИЕ ФИНАНСИРОВАНИЯ.

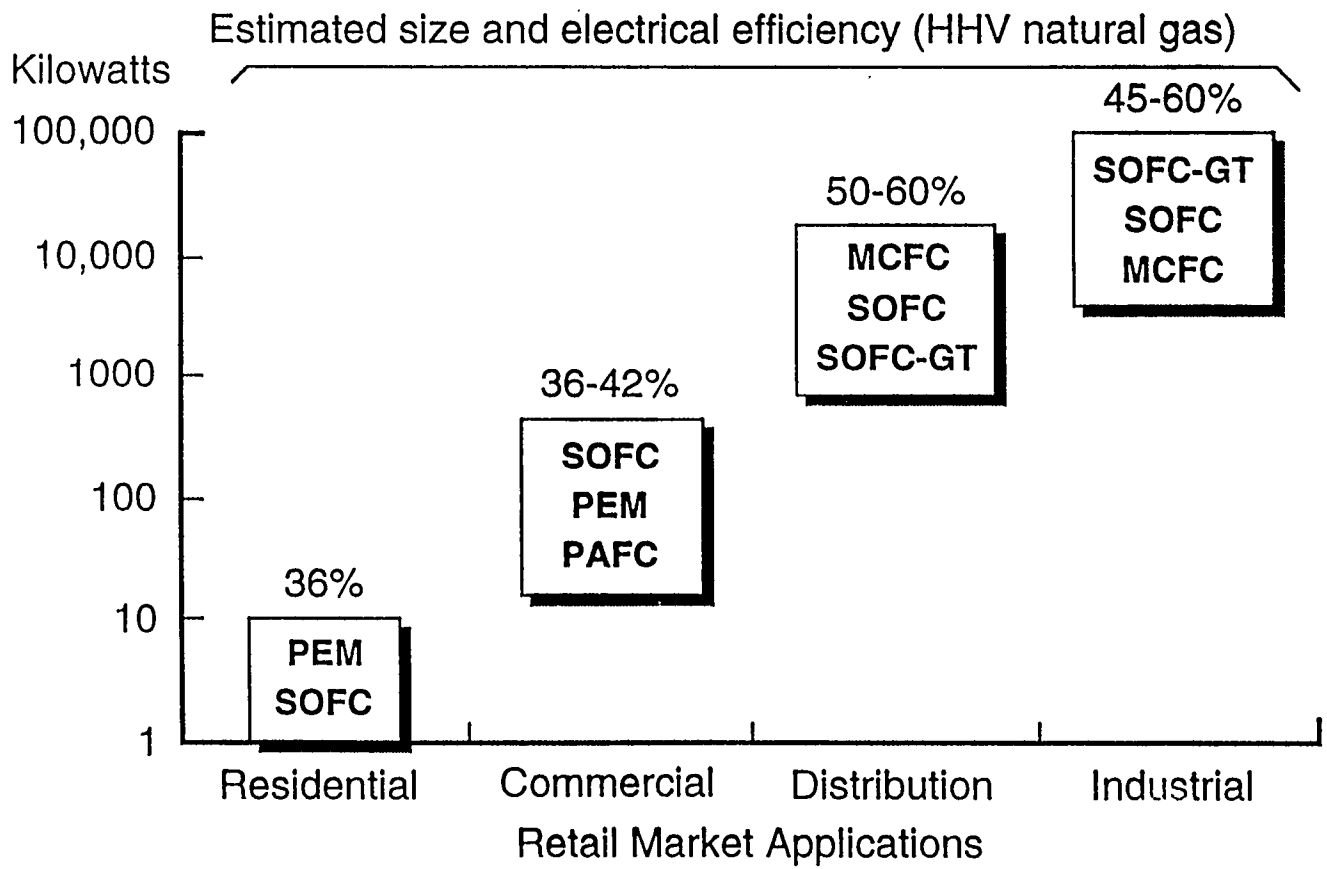
ВНИИТФ

EPRI

Electric Power Research Institute

9985/JBO/lb.

FUEL CELL TECHNOLOGY POSITIONING



1564.04

PC25A - 200kW - PAFC's

No. of Units sold	~ 70
No. of Units Installed	~ 50
U.S. =	20
Asia =	21
Europe =	9

Total, hrs	501434.
Total, MW hrs	86157.
Ave Load, kW	172.
Ave Availability, %	95.1.

as of 1/1/95

(2) PC25 A Fuel Cell Durability

High time units (July 31, 1995)

Owner	Total Operating Hours
Tokyo Gas #1	17,033h
Tokyo Gas #2	13,139h
Tokyo Gas #3	16,494h
Tokyo Gas #4	16,153h
Tokyo Gas #6	15,641h
Tokyo Gas #7	12,961h
Osaka Gas #1	15,275h
Osaka Gas #2	21,210h
Osaka Gas #3	12,067h
Osaka Gas #4	19,698h
Osaka Gas #5	13,201h
Osaka Gas #6	14,975h
Osaka Gas #7	15,985h
Osaka Gas #10	11,811h
Toho Gas	11,031h
PEC	12,595h
Brooklyn Union Gas	20,919h
Consolidated Natural	16,742h
Equitable Gas	20,014h
National Fuel Gas	18,751h
People Gas Light	10,521h
Sacramento MUD	10,367h
Rochester Gas	14,341h
Southern California Gas #1	23,590h
Southern California Gas #2	21,874h
Southern California Gas #5	17,421h
Southern California Gas #7	15,845h
Southern California Gas #8	14,238h
Austria Ferngas	15,222h
CLC S.R.L	14,522h
Heag	15,630h
Imatran Voima	21,232h
Natur Gas	16,159h
Ruhr Gas	19,535h
Service Gas	18,681h
Sydkraft	20,949h
Thyssen Gas	20,950h

(3) PC25 A Power Plant Longest Continuous Runs
(as of August 07, 1995)

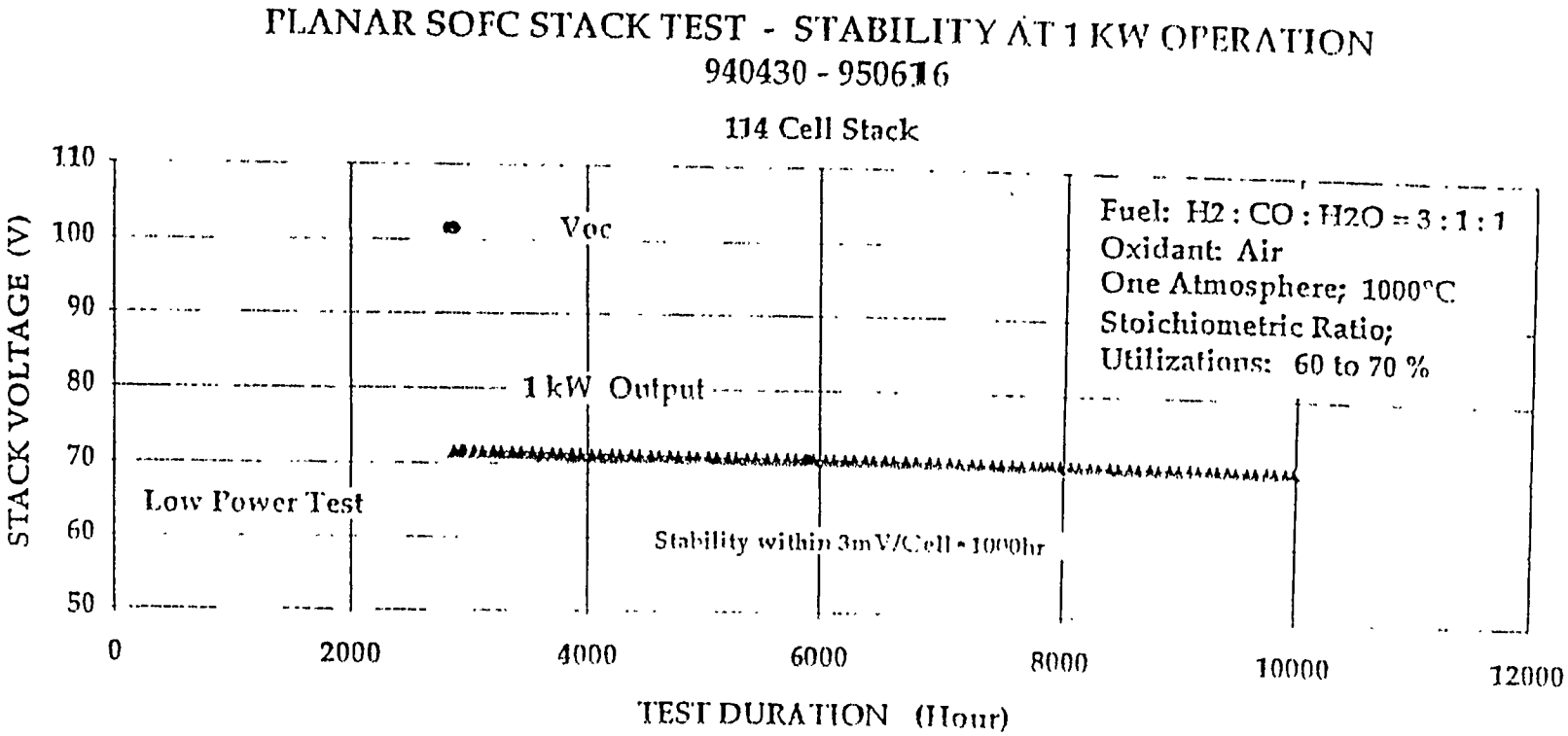
Owner	Run Hours	Dates
Southern California Gas	8,029h	09/06/94 To Present
Southern California Gas	8,005h	09/07/94 To Present
Southern California Gas	7,570h	08/17/93 To 06/28/94
Tokyo Gas	6,325h	08/19/93 To 05/10/94
Brooklyn Union Gas	5,869h	03/15/94 To 11/15/94
Southern California Gas	5,675h	02/01/94 To 09/26/94
Osaka Gas	5,476h	12/10/92 To 07/26/93
Tokyo Gas	5,402h	10/13/94 To 05/26/95
Southern California Gas	5,371h	09/01/93 To 04/13/94
PEC	5,351h	01/11/94 To 08/22/94
Southern California Gas	5,296h	11/18/94 To 06/27/95
National Fuel Gas	5,177h	05/07/93 To 12/09/93
Sacramento MUD	5,105h	11/22/94 To 06/23/95
Thyssen Gas	4,988h	03/16/94 To 10/10/94
Equitable Gas	4,788h	03/11/94 To 09/26/94
PEC	4,704h	08/31/94 To 03/15/95
Southern California Gas	4,660h	03/10/94 To 09/21/94
Sydkraft	4,598h	10/05/94 To 04/15/95
Tokyo Gas	4,513h	10/14/94 To 04/20/95
Equitable Gas	4,311h	09/09/93 To 03/08/94
Ruhr Gas	4,101h	05/03/94 To 10/21/94

Westinghouse

- Westinghouse is, without a doubt, the present solid oxide fuel cell technology leader. They have installed and operated five 3-20KW units with good results in the U.S. and Japan and are planning a 100KW unit for The Netherlands.

ZTEK

PLANAR SOFC STACK - TEST DATA



Approaches

Thin films of contemporary electrolyte materials to reduce resistance losses (RP2426-55)

New electrolyte materials (RP2706-5)

Improve stability of known lower temperature ion-conducting electrolytes (RP8002-30, RP2426-58)

Moderate temperature proton conductors (RP8062-1, RP8002-13)

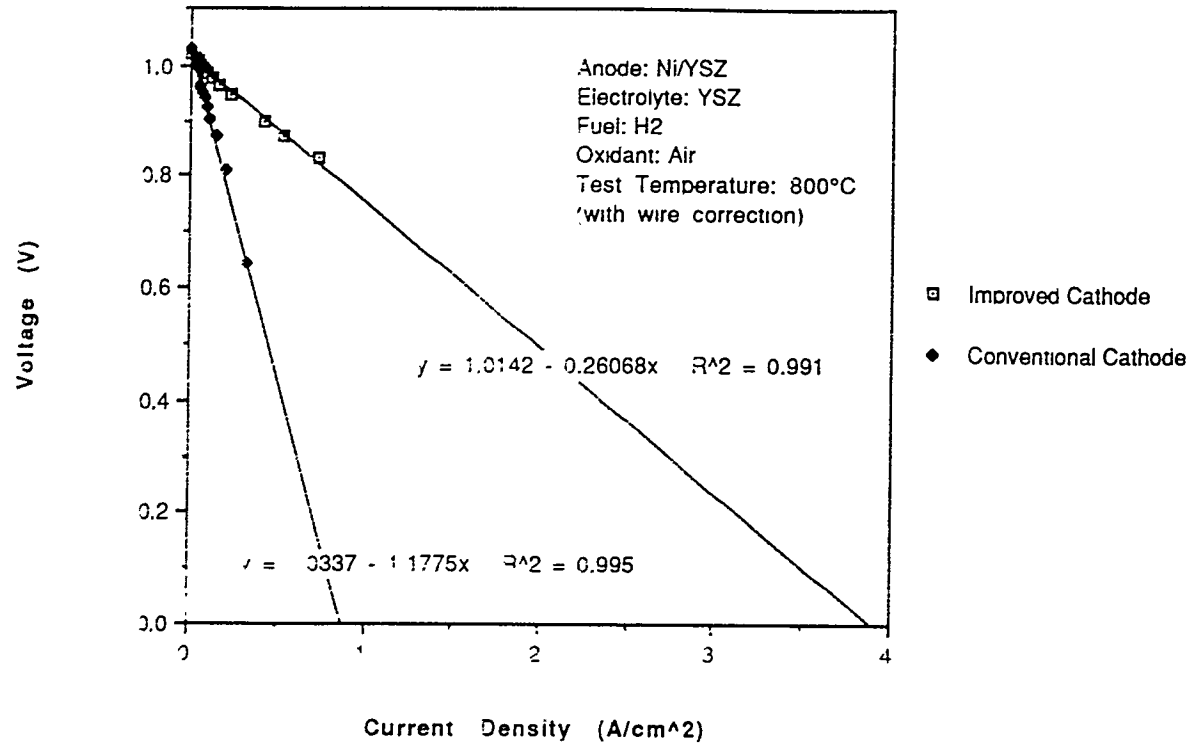
Results

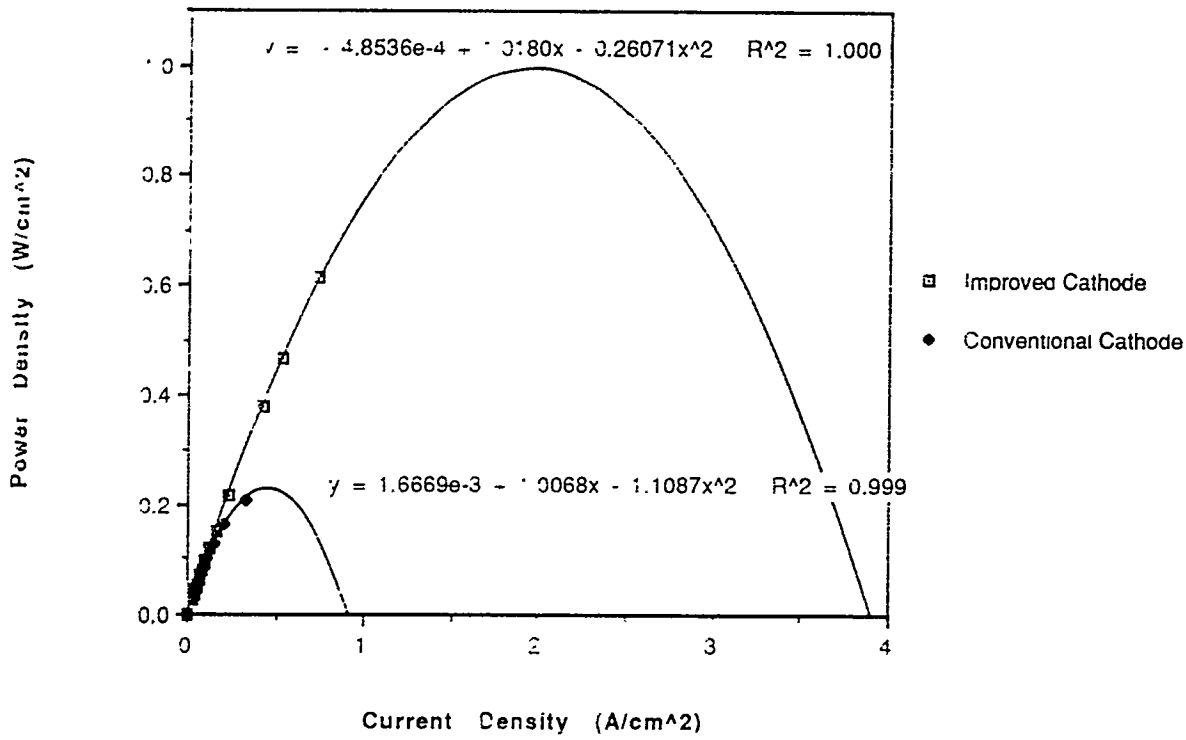
Northwestern University currently running a complete fuel cell (anode, cathode, electrolyte) 19 microns thick. (Less than 1/2 the thickness of a hair!)

The University of Utah is showing that a thin film (500Å) of zirconia can stabilize a ceria electrolyte for use in a fuel cell environment.

Results at Stanford and IGT indicate that barium cerate (a good moderate temperature proton conductor) can function as a fuel cell or a hydrogen separator membrane

Voltage and Power Density vs. Current Density with Improved Cathode: A comparison with conventional electrode.





b)

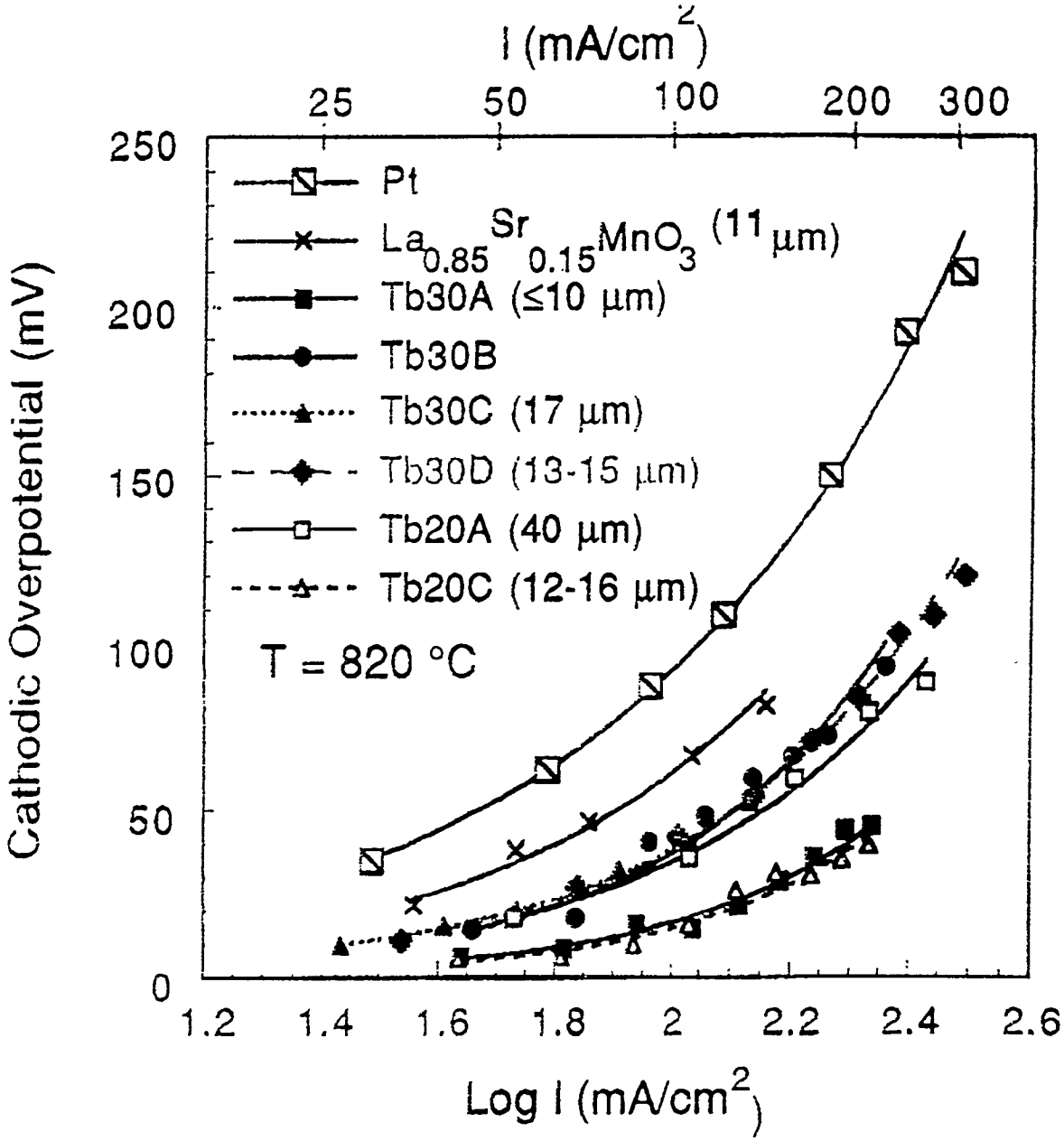
EPRI Solid Oxide Fuel Cell Projects

Project-RP# Contractor/Term	Purpose	Total Funding	1994 G&S	1994 ER	1995 G&S	1995 ER	'95 COMMENTS
1676-14 - Northwestern University (10/89 - 9/95)	Thin film SOFC	$418K EPRI $418K GRI (091)	$160K		$100K		
1676-19 - Georgia Tech (1/94 12/98)	Proton Fuel Cell	$187.5 EPRI $312.5 NSF	$37K				Cosponsor
3068-1 - Ztek (1/93 - 12/94)	Planar SOFC development	$382K TVA $732K EPRI $405K Ztek	$382K		$375K		Core & Baseline
3608-2 - TMI (5/94 - 12/96)	Planar SOFC concept & applications	$50K EPRI $50K RG&E	$40K		$50K		Tailored Collaboration
3932-1 SCE (5/93 - 12/95)	NFCRC	$2250K EPRI	$1500K		$750K		
8002-13 Stanford University (8/88 7/95)	Low temperature SOFC materials/ SOFC proton conductors	$511K EPRI		$15K		$0K	
8062-9 - University of PA ('92 96)	Single material SOFC	$300K EPRI $375K GRI (095)		$175K		$125K	100 IC 100 Cofund
8062-1 - IGT (11/91 - 12/94)	Solid proton conductors $BaCeO_3$ for H_2 separation	$55K EPRI		$23K		$20K	
8062-2 - Argonne National Lab (5/89 4/96)	SOFC Evaluation	$400K EPRI $1200K DOE		$125K		$50K	
8062-04 Ceramatec (3/92 2/95)	Evaluate ceramics SOFC electrolyte	$170K EPRI		$70K		$125K	
8062-5 - MIT (5/94 5/96)	SOFC Anodes	$150K EPRI		$50K		$75K	
8062-6 - University of Utah (6/91 - 5/98)	Lower temperature SOFC electrolytes	$740K EPRI		$110K		$80K	Dow will begin cofund in '95
8062-07 - TMI (5/92 - 12/94)	Verify new planar SOFC concept	$290K EPRI *$100K GRI (092) *$100K So. Cal Ed $67K Interscience		$75K		$77K	Cofund
8062-10 Russian Nuclear Federation (1/1/95-12/96)	Proton Conducting Fuel Cells	$100K EPRI $50K IGT $50K M-C Power			$75K	$25K	Cofund
8062-8 University of Texas	Lower Temp SOFC	$80K EPRI		20K		60K	
8062-1 University of Washington (3/95-3/2000)	Proton Conductors	$187.5 EPRI 312 NSF			37K		
3068-3 Westinghouse	New SOFC Technology	$100K Penelec $150K EPRI $250K West			250K		IC

9983/RG/Hb.F

Rev.12/15/94

Overpotentials of Y8ZTb20 and Y8ZTb30 Cathodes on YSZ in Air

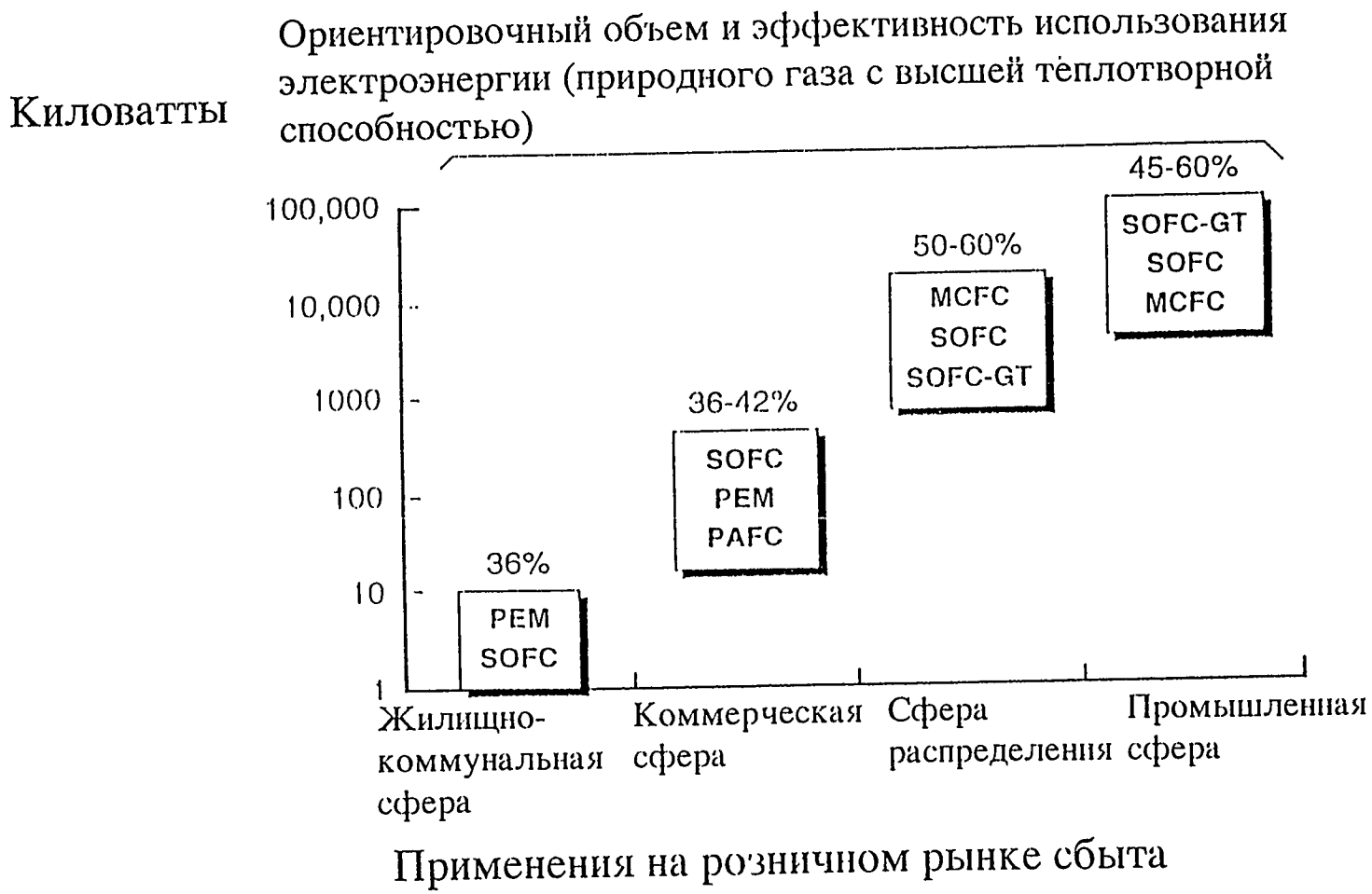


Intentionally Left Blank

EPRI

Исследовательский институт электроэнергии

Состояние технологии по топливным элементам



PC25A - 200 кВт - ФКТЭ

Количество проданных установок	**~ 70**
Количество установок, введенных в эксплуатацию	**~ 50**

в США= 20
в Азии= 21
в Европе= 9

Всего, часов	**501434.**
Всего, меговатт часов	**86157.**
Средняя нагрузка, кВт	**172.**
Средний коэфф. готовности, %	**95.1**

(2) Продолжительность службы топливных элементов PC25 A

Установки с высоким показателем наработки (на 31 июля, 1995 года)

Владелец	Общее время наработки
Tokyo Gas #1	17 033 ч
Tokyo Gas #2	13 139 ч
Tokyo Gas #3	16 494 ч
Tokyo Gas #4	16 153 ч
Tokyo Gas #6	15 641 ч
Tokyo Gas #7	12 961 ч
Osaka Gas #1	15 275 ч
Osaka Gas #2	21 210 ч
Osaka Gas #3	12 067 ч
Osaka Gas #4	19 698 ч
Osaka Gas #5	13 201 ч
Osaka Gas #6	14 975 ч
Osaka Gas #7	15 985 ч
Osaka Gas #10	11 811 ч
Toho Gas	11 031 ч
PEC	12 595 ч
Brooklyn Union Gas	20 919 ч
Consolidated Natural	16 742 ч
Equitable Gas	20 014 ч
National Fuel Gas	18 751 ч
People Gas Light	10 521 ч
Sacramento MUD	10 367 ч
Rochester Gas	14 341 ч
Southern California Gas #1	23 590 ч
Southern California Gas #2	21 874 ч
Southern California Gas #5	17 421 ч
Southern California Gas #7	15 845 ч
Southern California Gas #8	14 238 ч
Austria Ferngas	15 222 ч
CLC S.R.L.	14 522 ч
Heag	15 630 ч
Imatran Voima	21 232 ч
Natur Gas	16 159 ч
Ruhr Gas	19 535 ч
Service Gas	18 681 ч
Sydkraft	20 949 ч
Thyssen Gas	20 950 ч

(3) Самые долгие периоды непрерывной работы ЭУ PC25 A
(на 07 августа, 1995 года)

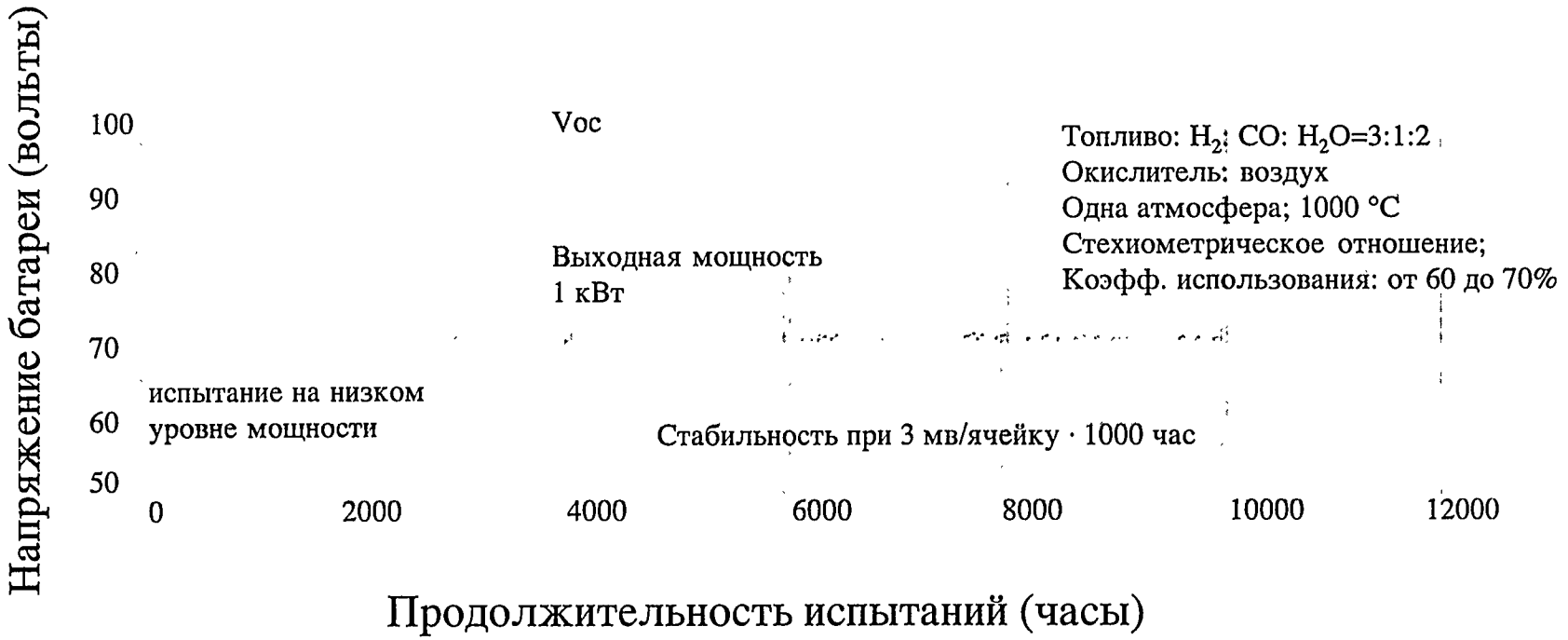
Владелец	Время наработки	Даты
Southern California Gas	8 029 ч	06/09/94 по настоящее время
Southern California Gas	8 005 ч	07/09/94 по настоящее время
Southern California Gas	7 570 ч	17/98/93 по 28/06/94
Tokyo Gas	6 325 ч	19/08/93 по 10/05/94
Brooklyn Union Gas	5 869 ч	15/03/94 по 15/11/94
Southern California Gas	5 675 ч	01/02/94 по 26/09/94
Osaka Gas	5 476 ч	10/12/92 по 26/07/93
Tokyo Gas	5 402 ч	13/10/94 по 26/05/95
Southern California Gas	5 371 ч	01/09/93 по 13/04/94
PEC	5 351 ч	11/01/94 по 22/08/94
Southern California Gas	5 296 ч	18/11/94 по 27/06/95
National Fuel Gas	5 177 ч	07/05/93 по 09/12/93
Sacramento MUD	5 105 ч	22/11/94 по 23/06/95
Thyssen Gas	4 988 ч	16/03/94 по 10/10/94
Equitable Gas	4 788 ч	11/03/94 по 26/09/94
PEC	4 704 ч	31/08/94 по 15/03/95
Southern California Gas	4 660 ч	10/03/94 по 21/09/94
Sydkraft	4 598 ч	05/10/94 по 15/04/95
Tokyo Gas	4 513 ч	14/10/94 по 20/04/95
Equitable Gas	4 311 ч	09/09/93 по 08/03/94
Ruhr Gas	4 101 ч	03/05/94 по 21/10/94

Компания “Вестингхаус”

• Компания “Вестингхаус”, без сомнения, является на сегодня лидером в области технологии твердо-оксидных топливных элементов. Они ввели в эксплуатацию и освоили пять установок мощностью 3-20 кВт, показавших хорошие результаты в США и Японии, и планируют освоить 100-киловаттную установку для Нидерландов.

ZTEK Батарея планарных ТОТЭ - Данные испытаний

Испытание батареи планарных ТОТЭ - стабильность работы при 1 кВт
940430 - 950616
114-элементная батарея



Подходы

Тонкие пленки современных материалов электролитов для снижения потерь сопротивления (RP2426-55)

Новые материалы электролитов (RP2706-5)

Повышение устойчивости известных низко-температурных ионопроводящих электролитов (RP8002-30, RP2426-58)

Проводники протонов умеренной температуры (RP8062-1, RP8002-13)

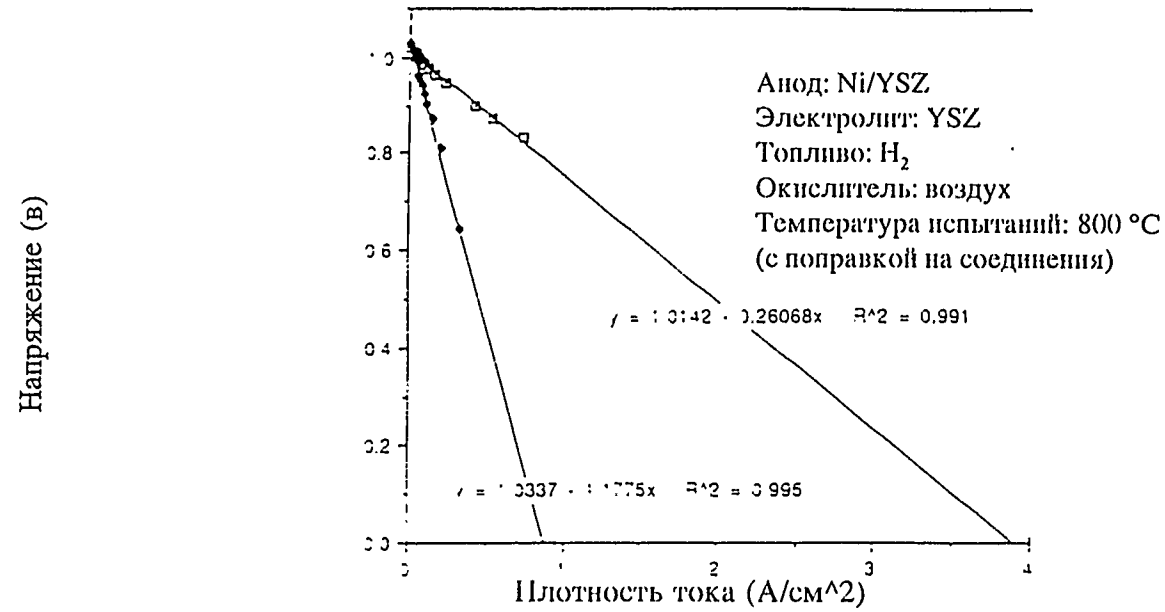
Результаты

Северо-Западный Университет проводит в настоящее время испытания полностью собранного топливного элемента (анод, катод, электролит) толщиной 19 микрон. (В половину меньше, чем толщина человеческого волоса!)

В Университете Юты продемонстрировано, что тонкая пленка (500Å) оксида циркония способна стабилизировать электролит из оксида церия с целью его дальнейшего использования в среде топливного элемента

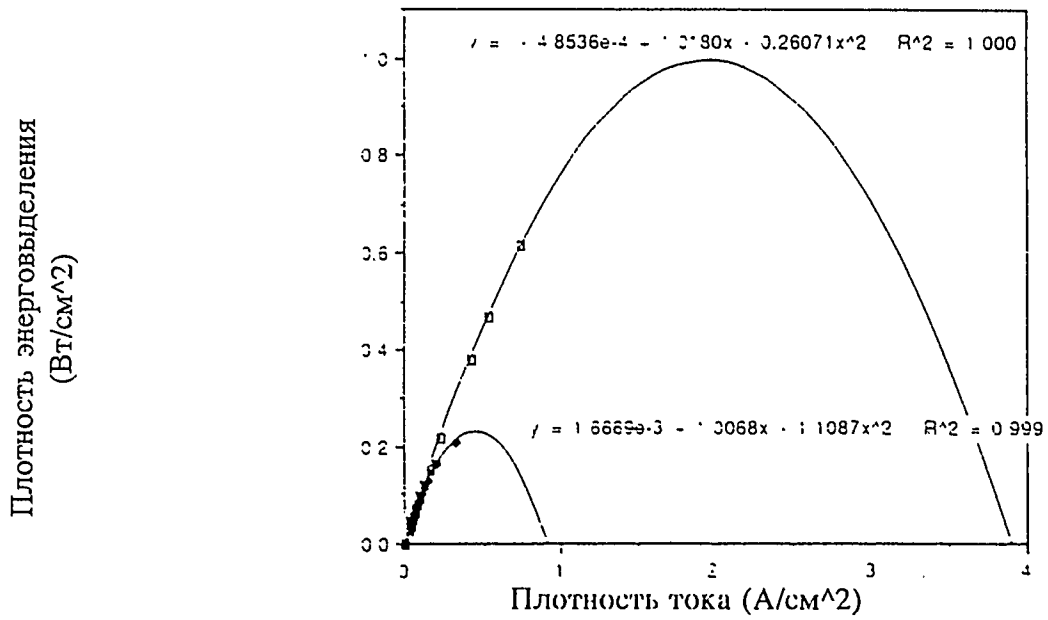
Результаты в Стэнфорде и IGT показывают, что церат бария (хороший протонный проводник умереной температуры) может функционировать как топливный элемент или водородная сепараторная мембрана

Зависимость напряжения и плотности энерговыделения от плотности тока при наличии усовершенствованного катода: Сравнение с обычным электродом



□ Улучшенный катод

• Обычный катод



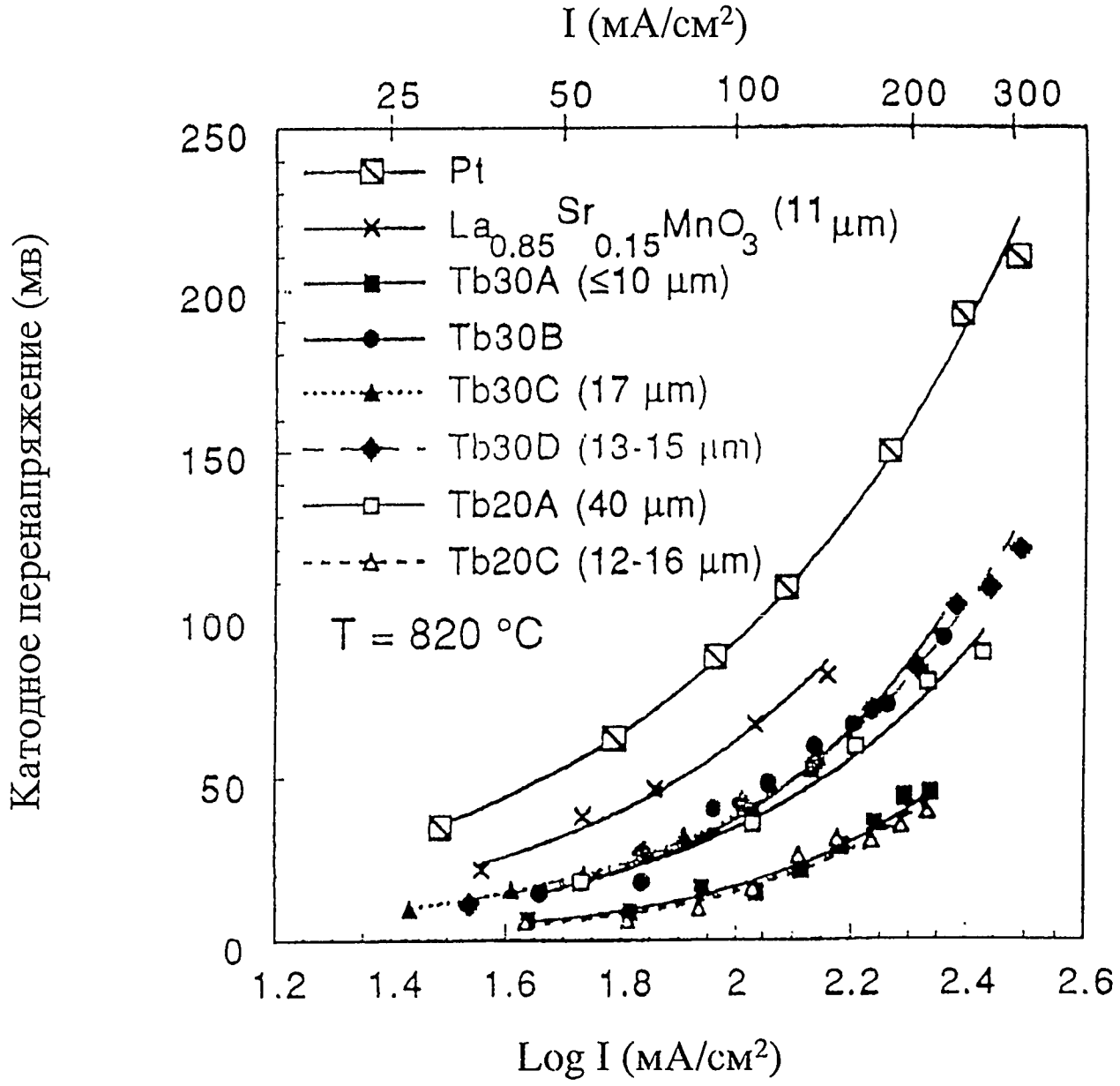
□ Улучшенный катод

• Обычный катод

Проекты EPRI по твердо-оксидным топливным элементам

Проект-RP# Подрядчик/Срок	Цель	Объем финансирования	1994 G&S	1994 ER	1995 G&S	1995 ER	'95 Примечания
1676-14 - Северо-Западный Университет (10/89 - 9/95)	Тонкопленочные ТОТЭ	418 тыс. долл. EPRI 418 тыс. долл. GRI (091)	$ 160 тыс. долл.		$ 100 тыс. долл.		
1676-19 - Джоржия Тех (университет) (1/94 - 12/98)	Протонные ТЭ	187,5 тыс. долл.. EPRI 312,5 тыс. долл. NSF	$ 17 тыс. долл.				Совместное финансиров.
3068-1 - Ztek (1/93 - 12/94)	Разработка планарных ТОТЭ	382 тыс. долл. TVA 732 тыс. долл. EPRI 405 тыс. долл. Ztek	$ 382 тыс. долл.		$ 375 тыс. долл.		Финансир. фундамент. исследований
3608-2 - TMI (5/94 - 12/96)	Разработка концепции и применения планарных ТОТЭ	50 тыс. долл. EPRI 50 тыс. долл. RG&E	$ 40 тыс. долл.		$ 50 тыс. долл.		Спец. виды сотрудничества
3932-1 - SCE (5/93 - 12/95)	NFCRC	2250 тыс. долл. EPRI	$ 1500 тыс. долл.		$ 750 тыс. долл.		
8002-13 - Стэнфордский Университет (8/88 - 7/95)	Низкотемпературные материалы ТОТЭ/Протонные проводники ТОТЭ	514 тыс. долл. EPRI		$ 15 тыс. долл.		$ 0 тыс. долл.	
8062-9 - Университет Пенсильвании ('92 - '96)	Однокомпонентные материалы ТОТЭ	300 тыс. долл. EPRI 375 тыс. долл. GRI (095)		$ 175 тыс. долл.		$ 125 тыс. долл.	100 TC 100 Совм. фин.
8062-1 - IGT (11/91 - 12/94)	Твердые протонные проводники $BaCeO_3$ для сепарации H_2	55 тыс. долл. EPRI		$ 23 тыс. долл.		$ 20 тыс. долл.	
8062-2 - Аргоннская нац. лаборатория (5/89 - 4/96)	Оценка ТОТЭ	400 тыс. долл. EPRI 1200 тыс. долл. DOE		$ 125 тыс. долл.		$ 50 тыс. долл.	
8062-04 - Ceramatec (3/92 - 2/95)	Оценка оксида церия как электролита ТОТЭ	170 тыс. долл. EPRI		$ 70 тыс. долл.		$ 175 тыс. долл.	
8062-5 - MIT (5/94 - 5/96)	Аноды ТОТЭ	150 тыс. долл. EPRI		$ 50 тыс. долл.		$ 75 тыс. долл.	
8062-6 - Университет Юты (6/91 - 5/98)	Низкотемпературные электролиты ТОТЭ	740 тыс. долл. EPRI		$ 110 тыс. долл.		$ 80 тыс. долл.	Совм. финансир. с Dow с '95 года
8062-07 - TMI (5/92 - 12/94)	Проверка новой концепции планарных ТОТЭ	290 тыс. долл. EPRI 100 тыс.долл.GRI(092) 100 тыс. So.Cal.Ed 67 тыс. Interscience		$ 75 тыс. долл.		$ 77 тыс. долл.	Совм. финансировние
8062-10 - Российская ядерная федерация (1/1/95 - 12/96)	Протоно-проводящие топливные элементы	100 тыс. долл. EPRI 50 тыс. долл. IGT 50 тыс. M-C Power			$ 75 тыс. долл.	$ 25 тыс. долл.	Совм. финансирование
8062-8 - Университет Техаса	Низкотемпературные ТОТЭ	80 тыс. долл. EPRI		$ 20 тыс. долл.		$ 60 тыс. долл.	
8062-1 - Университет Вашингтона (3/95 - 3/2000)	Протонные проводники	187,5 тыс. долл. EPRI 312 тыс. долл. NSF			$ 37 тыс. долл.		
3068-3 - Вестингхаус	Новая технология ТОТЭ	100 тыс. Penelec 150 тыс. долл. EPRI 250 тыс. долл. West			$ 250 nsc.		TC

Перенапряжения катодов Y8ZTb20 и Y8ZTb30 на YSZ на воздухе



Development of Molten Carbonate Fuel Cell Technology at M-C Power Corporation

Daniel Dilger
Marketing Coordinator
M-C Power Corporation
8040 South Madison Street
Burr Ridge, IL 60521

ABSTRACT:

M-C Power Corporation was founded in 1987 with the mission to further develop and subsequently commercialize molten carbonate fuel cells (MCFC). The technology chosen for commercialization was initially developed by the Institute of Gas Technology (IGT). At the center of this MCFC technology is the Internally Manifolded Heat EXchange (IMHEX®) separator plate design. The IMHEX® technology design provides several functions within one component assembly. These functions include integrating the gas manifold structure into the fuel cell stack, separating the fuel gas stream from the oxidant gas stream, providing the required electrical contact between cells to achieve desired power output, and removing excess heat generated in the electrochemical process. Development of this MCFC technology from lab-scale sizes too a commercial area size of $1m^2$ has focused our efforts on demonstrating feasibility and evolutionary progress. The development effort will culminate in a proof-of-concept 250kW power plant demonstration in 1996. The remainder of our commercialization program focuses upon lowering the costs associated with the MCFC power plant system in low production volumes.

M-C Power has established and leads a commercialization Team consisting of organizations with global experience, they include: Stewart & Stevenson Services, Bechtel Corporation and The Institute of Gas Technology. This Team provides the expertise and capabilities needed to develop and commercialize a cost-effective power plant based on M-C Power's MCFC stack technology. M-C Power is also currently working with both VNIIEF and Gazprom on a feasibility study to develop MCFC systems for Russian markets. This Russian/ American alliance greatly increases the potential of developing reliable low cost MCFC technology.

Within our Product Development Improvement effort we have recognized the need for an aggressive approach to cost reduction. This is a factor being pushed by the market place, as much as our fellow team members and program sponsors. This presentation will touch on the direction of our overall commercialization program and will also address the current progress of the technology relating to: performance, cost and the likelihood of achieving the goals we have chosen to undertake.

Intentionally Left Blank

Разработка технологии производства топливных элементов на расплавленном углеродном топливе корпорацией "Эм-Си пауер корпорейшн"

Дэниел Дилгер
Координатор по маркетингу
Корпорация "Эм-Си пауер корпорейшн"
8040 Саут Мэдисон стрит
Берр Ридж, штат Иллинойс 60521

РЕФЕРАТ:

Корпорация "Эм-Си пауер корпорейшн" была основана в 1987 году для дальнейшей разработки и последующего промышленного изготовления топливных элементов на расплавленном углеродном топливе (MCFC). Технология, выбранная для промышленного изготовления, была разработана Институтом газовой технологи. В основе технологии MCFC лежит конструкция сепараторной пластины теплообмена с внутренним коллектором (IMHEX®). Конструкция на основе технологии IMHEX® обеспечивает выполнение нескольких функций в одном узле. Эти функции включают интеграцию конструкции газового коллектора в батарею топливных элементов, отделение потока топливного газа от потока окисляющего газа, установление необходимого электрического контакта между элементами для обеспечения требуемой выходной мощности, и отвод избыточного тепла, вырабатываемого в ходе электрохимического процесса. В ходе развития технологии MCFC с лабораторного уровня до промышленных масштабов при площади в 1 $м^2$, мы сосредоточили наши усилия на демонстрации экономической целесообразности и эволюционного развития. Целью разработок является создание экспериментальной демонстрационной установки на 250 кВт в 1996 году. Остальная часть нашей программы промышленного использования сосредоточена на снижение стоимости энергетических установок на основе технологии MCFC при небольших объемах производства.

Корпорация "Эм-Си пауер корпорейшн" создала и осуществляет руководство группой коммерциализации, состоящей из организаций с мировым опытом, среди которых: компании "Стюарт энд Стивенсон сервисиз", "Бектел корпорейшн", и Институт газовой технологии. Эта группа обладает необходимыми знаниями и возможностями для разработки и промышленного производства экономичной энергетической установки на основе технологии батарей MCFC корпорации "Эм-Си пауер корпорейшн". Корпорация "Эм-Си пауер корпорейшн" в настоящее время работает с институтом ВНИИЭФ и Газпромом над техноэкономическим обоснованием систем MCFC для российского рынка. Этот российско-американский союз значительно увеличивает потенциал для разработки дешевой и надежной технологии MCFC.

В ходе наших работ по улучшению разработки изделий мы осознали необходимость в активном подходе к вопросам снижения стоимости. Этому способствуют как условия рынка, так и наши коллеги по группе и спонсоры программы. В настоящей презентации мы коснемся основного направления нашей программы промышленного освоения и рассмотрим текущее состояние дел с технологией в таких ее аспектах как рабочие характеристики, стоимость и вероятность достижения целей, которые мы перед собой поставили.

STATUS OF DEVELOPMENT OF THE POWER PLANTS ON THE BASE OF MCFC IN RFNC-VNIIEF

Dr.Novitski, E.Z.
Head of the "Autonomous Power Engineering" Department,

Dr.Savkin, G.G.,
Chief Technologist

RFNC-VNIIEF, Arzamas-16

1. Introduction.

VNIIEF started work on Molten Carbonate Fuel Cells (MCFC) and power plants (PP) on their base in 1991 when one of the priority directions in the conversion of the Automatics Department within VNIIEF nuclear weapon complex was finally determined. A group of enthusiasts relying upon the scientific start of the Institute of High-Temperature Electrochemistry of the Ural Branch of the Russian Academy of Science (Yekaterinburg) has prepared their proposals for VNIIEF and MINATOM leaders, developed technical proposals on adjustment of the laboratory technology of the active MCFC components using the capabilities of the Technological VNIIEF Department, and at the same time it has worked out technical proposals on electrochemical generator (ECG) with the power output of 1 kW for the needs of the Joint Stock Company GAZPROM, in particular, to provide telecontrol and communication, cathode protection of the pipelines. In a year on the base of this group an independent Department (called "Autonomous Power Engineering") was organized that has as the main direction of work ECG-building. Some results of VNIIEF work in the direction of Autonomous Power Engineering (AVEN) are presented further.

2. Technological Works on Active MCFC Components.

2.1. Anode (Ni+10% Cr) and cathode (NiO) are made now using the method of powder rolling, matrix (g-LiAlO2) and electrolyte plate eutectic K2CO3 and Li2CO3) are made by the calandre method of forming. Now we can't say yet that we have optimized the electrochemical group of MCFC. We continue this work and hope to go through with it.

In the power range up to 10kW the terms Power Plant and Electrochemical Generator (ECG) coincide in their meaning, because PP and ECG in this case have the same composition of units, assemblies and equipment.

The best testing results of single MCFC are the following: 100-120 mA/cm2 at the voltage of 0.7V. We manage to preserve these results while transferring from the FC with an active area 100mmx100mm to the FC with an active area 0f 210mmx210mm.

2.2. Along with this we conduct the works on manufacturing of all the active components of MCFC using tape casting method on the industrial equipment that makes it possible to cast the tape 350mm

wide. The results of the first testings of the fuel cells with an active area 100mmx100mm were positive: 90 mA/cm2 at voltage of 0.7V.

2.3. Maximum time of testing appeared to be 150-200 hours.

3. Technological Work {ESC}on Separator Plates.

3.1. The first experience of the separator plate with an active area of 210mmx210mm manufacturing was explosive stamping. Unfortunately, none of our reasonable innovations here gave us any positive result, so we had to give up this method temporaly. But we've planned some research work on physics and chemistry of explosive stamping.

3.2. For the stacks containing 3, 5 and 10 MCFC pilot stacks we use now separator plates that have mechanically processed active areas. The thickness of these plates is 6-8mm. We have to undertake this procedure temporaly. And all the disadvantages that we have in this case in the design of MCFC stack are clear for the specialists without any comments, I think.

3.3. We conduct active work on the adjustment of the separaror plate 0.3- 0.5mm thick that is being manufactured by stamping on big presses. By the end of 1995 we hope to obtain the first samples of these plates.

4. Manufacturing and Testing of the Pilot ECG.

4.1. We have manufactured and tested the 1st and the 2nd modifications of ECG-1000 using the mass, dimentional and heat equivalent of the MCFC stack with the power output of 1kW at the output voltage of 27V DC. Such ECG performances must be provided by 40 MCFC with an active area of each element 420 cm2, which is being manufactured now.

4.2. The main blocks of ECG are desulfurization unit, natural gas water steam reformer, water separator, starting and anode burners, automatic unit, voltage inverter.
We have been working on all these units for a year and half and all of them show good operability withi the ECG assembly.

4.3. The Process-Flow Diagram of ECG that we have chosen provides the autonomous work of the generator according to the scheme: the main pipeline - reducer - ECG - the load.

4.4. The difficulty that we have is connected with the parallel work in VNIIEF on MCFC adjustment, on MCFC stack and on ECG at the same time. And to work on the stack, for example, we have to use in the thermostate the stack of, so to speak, mixed composition: we use the assemblies of 3, 5 and 10 MCFCs and instead of MCFCs that we lack we use their mass and dimentional and heat equivalent.

4.5 Three and five MCFC stacks with an active area of 420 cm2 at two- and three cycles of testing demonstrated stable results: 90-120 mA/cm2 at the voltage of 0.7-0.72V.

Maximum power output at the load on 5 MCFC stack was approximately 150V. Maximum time of MCFC stack testing is 110 hours.

4.6. While 3 cell stack testing we have recieved load power approximately 50 W.

5. Calculating, Design, Research and Fundamental Works.

5.1. As it may be clear from the previous part, we have to solve many problems concerning the provision of the ECG operability by making calculations. Appropriate algorythms, mathematical techniques are established, methods of control and measurements of mass transfer and heat transfer in different points of ECG are worked out.

That demanded great efforts of our specialists and mathematicians, but just owing to this it was possible to conduct testings of the ECG of the mixed composition.

5.2. Basing on the results of work of 1 kW ECG we plan and design MCFC stacks, MCFC ECG and MCFC PP of the following power ranges: 10 kW, 100kW, 200 kW, 1MW.

5.3. Fundamental and applied research on the task being solved are the parts of the PP on the base of FC development in VNIIEF. The Program of this research work began to form in 1991 too. Now it is constantly being increased. In this Program they formulated the tasks on MCFC development as the main direction of VNIIEF research work in the field of FC along with the tasks concerning other types of FC and PP on their base and general tasks concerning several types of FC at the same time.

A separate report will be presented to your attention by my Deputy on R&D, Dr. Borissenok, V.A.

6. Our Main Goal.

6.1. Our main goal is to enter the market as soon as it is possible, meaning, first of all, the market of GAZPROM. And because of this we have to supply GAZPROM with several PPs for the joint demonstration. This is the base of our relations with GAZPROM nowadays.

6.2. At the same time we don't consider our primary task to provide the life-time and reliability of work of the PP that are demanded by GAZPROM. This task will be solved during the next stage of the developments.

7. The Choice of Way to Follow.

During the last a year and a half after the Enterpreneural Work-shop of the Weapon Laboratories of Russia and the USA in Livermore the situation hasn't changed: we consider three ways to follow:

- we may continue working relyinng just on our own capabilities.
- we can have orientation on the purchase of separate components for MCFC.
- we can have orientation on the joint manufacturing (Joint Venture) together with M-C Power establishment.

We intend to use all the possibilities that any of these ways can offer untill we obtain some positive result.

СОСТОЯНИЕ РАЗРАБОТКИ ЭНЕРГОУСТАНОВОК НА ОСНОВЕ РКТЭ В РФЯЦ-ВНИИЭФ

Е.З.Новицкий
Начальник отделения "Автономная энергетика",
доктор физ.-мат. наук, профессор

Г.Г.Савкин
Начальник технологического отделения,
кандидат технических наук

РФЯЦ-ВНИИЭФ, г.Арзамас-16

1. Введение.

К разработке расплавкарбонатных топливных элементов (РКТЭ) и энергоустановок (ЭУ) на их основе ВНИИЭФ приступил в 1991г., когда окончательно определилось одно из приоритетных направлений конверсии отделения автоматики в составе ядерно-оружейного комплекса ВНИИЭФ. Группа энтузиастов, основываясь на научном заделе ИВТЭ УрО РАН (г.Екатеринбург) подготовила свои предложения для руководства ВНИИЭФ и МИНАТОМа, разработала технические предложения по отработке лабораторной технологии активных компонентов РКТЭ силами технологического отделения ВНИИЭФ, и одновременно с этим разработала техническое предложение на электрохимический генератор (ЭХГ) с выходной мощностью 1 кВт для нужд РАО ГАЗПРОМ, а именно: для обеспечения телеконтроля и связи, катодной защиты магистральных газопроводов. Еще через год на базе этой группы энтузиастов было образовано самостоятельное отделение "Автономная энергетика" (АВЭН) с основным направлением работ ЭХГ-строение. Краткие итоги работ во ВНИИЭФ по направлению АВЭН излагаются ниже.

2. Технологические работы по активным компонентам РКТЭ.

2.1. Анод (Ni + 10% Cr) и катод (NiO) производятся сегодня методом пористого проката, матрица (гамма - $LiAlO_2$) и электролитная пластина (эвтектика K_2CO_3 и Li_2CO_3) - формованием каландровым способом. Сегодня еще нельзя сказать, что электрохимическая группа РКТЭ нами оптимизирована. Эта работа продолжается, и мы намерены довести ее до конца.

Лучшие результаты испытаний единичных РКТЭ составляют: 100-120мА*см-2 при напряжении 0,7В. Такие результаты сохраняются при переходе от ячейки с размерами активной поверхности 100мм*100мм к ячейке с размерами 210мм*210мм.

В классе мощностей до 10 кВт понятия энергоустановка (ЭУ) и электрохимический генератор (ЭХГ) совпадают, т.к. ЭУ и ЭХГ имеют при этом один и тот же состав узлов, агрегатов и оборудования.

2.2. Наряду с этим ведутся работы по производству всех активных компонентов РКТЭ методом ленточного литья на промышленном оборудовании, позволяющем отливать ленту шириной до 350мм. Первые результаты испытаний ячеек с площадью 100мм*100мм дали положительные результаты: 90мА*см при напряжении 0,7В.

2.3. Максимальное время, в течение которого проводились опыты, составляло 150-200 час.

3. Технологические работы по сепараторным пластинам.

3.1. Первым, не очень удачным опытом разработки сепараторной пластины с рабочей поверхностью 210мм*210мм, была штамповка взрывом. Никакие разумные ухищрения не дали, к сожалению, положительного результата, так что от производства пластин штамповкой взрывом временно пришлось отказаться. Намечены некоторые исследования, связанные с физикой и химией штамповки взрывом.

3.2. Для 3-х, 5-ти и 10-ти элементных экспериментальных батарей РКТЭ в настоящее время используются сепараторные плиты с механической обработкой их активных поверхностей. Толщина таких плит составляет 6-8мм. Эта мера принята нами как вынужденная и временная. Все минусы, которые мы при этом имеем в конструкции батареи РКТЭ, специалистам понятны, я думаю, без комментариев.

3.3. Активно ведется отработка сепараторной пластины толщиной 0,3- 0,5мм с помощью штамповки на мощных прессах. К концу 1995г. мы надеемся получить первые образцы таких пластин.

4. Изготовление и испытания экспериментальных образцов ЭХГ.

4.1. Изготовлены и испытаны с массо-габаритным и тепловым эквивалентом батареи РКТЭ 1-ая и 2-ая модификации ЭХГ-1000 с расчетной выходной мощностью 1 кВт при выходном напряжении 27В постоянного тока. Такие характеристики ЭХГ должна обеспечивать батарея из 40 шт. РКТЭ с активной поверхностью каждого элемента 420 см , которая находится в стадии изготовления.

4.2. Главными агрегатами ЭХГ являются: блок сероочистки, пароводяной риформер природного газа, смеситель водородосодержащего топлива с водяным паром, влагоотделитель, стартовая и анодная горелки, блок автоматики, преобразователь напряжения (инвертор).

Все перечисленные агрегаты проходят отработку в течение уже полутора лет и показывают хорошую работоспособность в составе ЭХГ.

4.3. Выбранная нами в процессе отработки ЭХГ пневмогидравлическая схема обеспечивает автономную работу генератора по схеме: магистральный газопровод - редуктор - ЭХГ - нагрузка.

4.4. Сложность нашей ситуации состоит в том, что отработка РКТЭ, батареи РКТЭ и ЭХГ проводятся во ВНИИЭФ параллельно. При этом, для отработки периферийного оборудования ЭХГ мы вынуждены вводить в термостат вместо полномасштабной батареи батарею так называемой смешанной комплектации: устанавливается сборка из 3-х, 5-ти или 10-ти шт. РКТЭ, а вместо недостающих РКТЭ их массо-габаритный и тепловой эквивалент.

4.5. При двух-, трехкратных испытаниях (циклах) на стенде 3-х и 5-ти элементные батареи с активной поверхностью 420 см показывали в рабочем режиме устойчивые результаты: 90-120 мА*см при напряжении 0,7-0,72В.

Максимальная мощность, полученная в нагрузке с 5-ти элементной батареи, составляла около 150Вт. Максимальное время, в течение которого проводились испытания батарей РКТЭ, составляет 110 час.

4.6. При испытании 3-х элементной батареи в составе ЭХГ была получена мощность в нагрузке около 50 Вт.

5. Расчетные, проектные, поисковые и фундаментальные работы.

5.1. Как ясно из предыдущего раздела, в условиях работы с батареей смешанной комплектации многие вопросы обеспечения работоспособности ЭХГ приходится решать расчетным путем. Созданы соответствующие алгоритмы, математический аппарат, отработаны методики измерения и контроля массо- и теплопереноса в разных точках ЭХГ.

Это потребовало больших усилий со стороны наших расчетчиков и математиков, но только благодаря этому и стало возможным проведение испытаний ЭХГ со смешанной комплектацией.

5.2. Имея результаты работы с ЭХГ мощностью 1 кВт, мы рассчитываем и проектируем батареи РКТЭ, ЭХГ и ЭУ следующих классов мощности: 10 кВт, 100 кВт, 200 кВт, 1 МВт.

5.3. Составной частью разработки энергетических установок (ЭУ) на основе топливных элементов во ВНИИЭФ являются фундаментальные и прикладные исследования по решаемой задаче. Формирование Программы этих исследований началось также в 1991 году. В настоящее время она постоянно дополняется. В Программе сформулированы задачи, относящиеся не только к разработке РКТЭ - основному направлению исследований ВНИИЭФ в области ТЭ - но и задачи, относящиеся к другим типам ТЭ и ЭУ на их основе или общие для нескольких типов ТЭ.

Этой части наших работ посвящен отдельный доклад, который будет представлен моим заместителем по НИР Борисенком В.А.

6. Наша главная цель.

6.1. Наша главная цель - как можно скорее выйти на рынок, рынок ГАЗПРОМа в первую очередь. А для этого нам необходимо поставить в ГАЗПРОМ несколько экземпляров энергоустановки для совместной показательной демонстрации. На этом и строятся сегодня наши отношения с ГАЗПРОМом.

6.2. При этом мы не ставим себе в качестве первостепенной задачу обеспечить требуемые ГАЗПРОМом срок службы и надежность работы энергоустановки. Эта задача будет решаться на следующем этапе разработки.

7. Выбор пути.

За истекшие полтора года после Предпринимательского Семинара в Ливерморе ядерно-оружейных лабораторий России и США ситуация не изменилась: перед нами по-прежнему три пути

- продолжать работу в расчете только на собственные силы и возможности
- ориентироваться на заказные работы по отдельным компонентам РКТЭ (на закупку)
- создать совместное производство (предприятие) с M-C Power.

Мы намерены использовать все возможности, которые может дать каждый из этих путей, пока не будет получен положительный результат.

Research and Development Issues for Molten Carbonate Fuel Cells

by
Michael Krumpelt
Argonne National Laboratory

Presented at
U.S./Russian Fuel Cell Technology Workshop
Albuquerque, NM

September 24-26, 1995

Molten Carbonate Fuel Cells Are on the Threshold of Commercialization

- MC-Power is building 250 kW stacks and is designing 1 MW power modules
- ERC has built 100 kW stacks and will soon start up a 2 MW system
- In Japan, industrial consortia led by Hitachi and IHI and including many second tier companies are developing 1-5 MW power plants

Continuing Research Will Improve the Economics of the Technology

- Replacements for the NiO cathodes will prolong the life
- Improved corrosion resistance of the bipolar plate will also prolong the life and may improve the cell potential
- Higher current densities will decrease the capital cost of the stack in terms of $/kW

Electrochemical Technology/Argonne National Laboratory

Mechanism of NiO Dissolution/Ni Deposition/Shorting

$$NiO + CO_2 \rightarrow Ni^{2+} + CO_3^{2-}$$

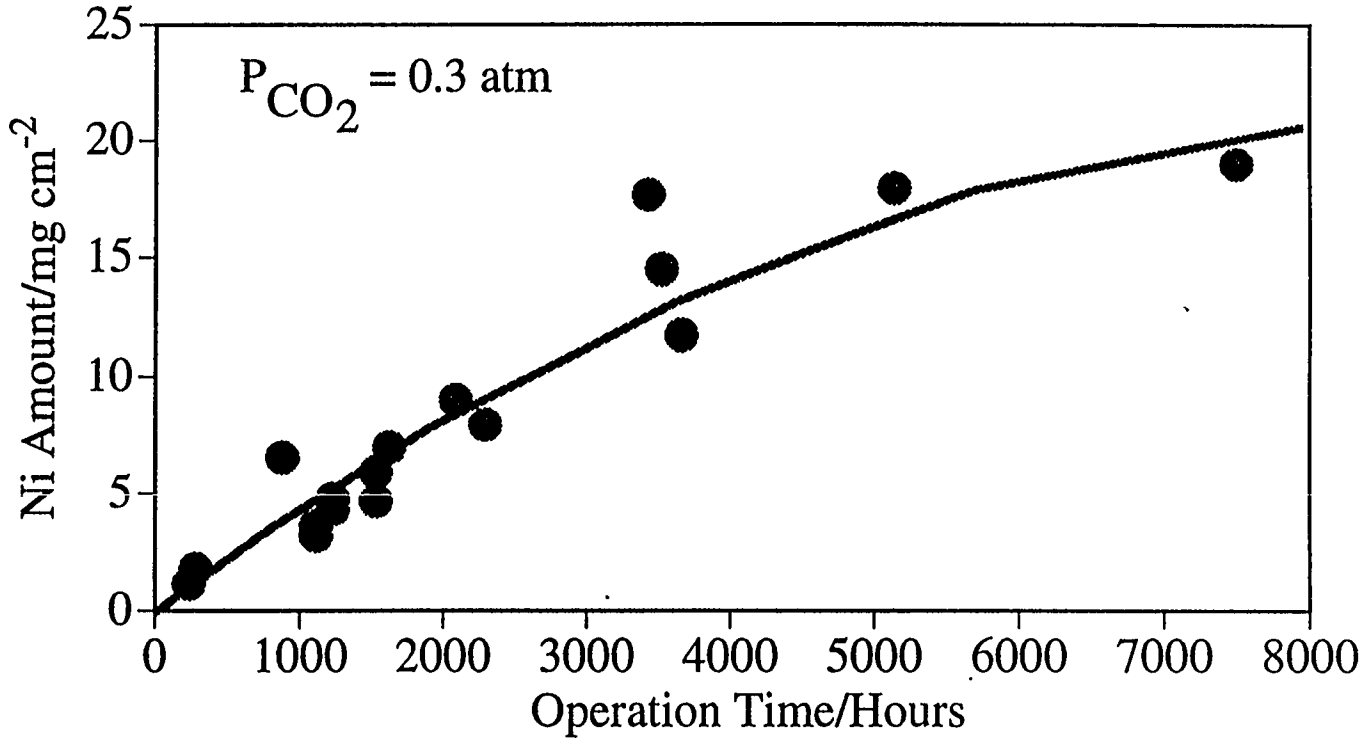
(acidic dissolution)

$$Ni^{2+} + H_2 + CO_3^{2-} \rightarrow Ni \downarrow + H_2O + CO_2$$

(metal)

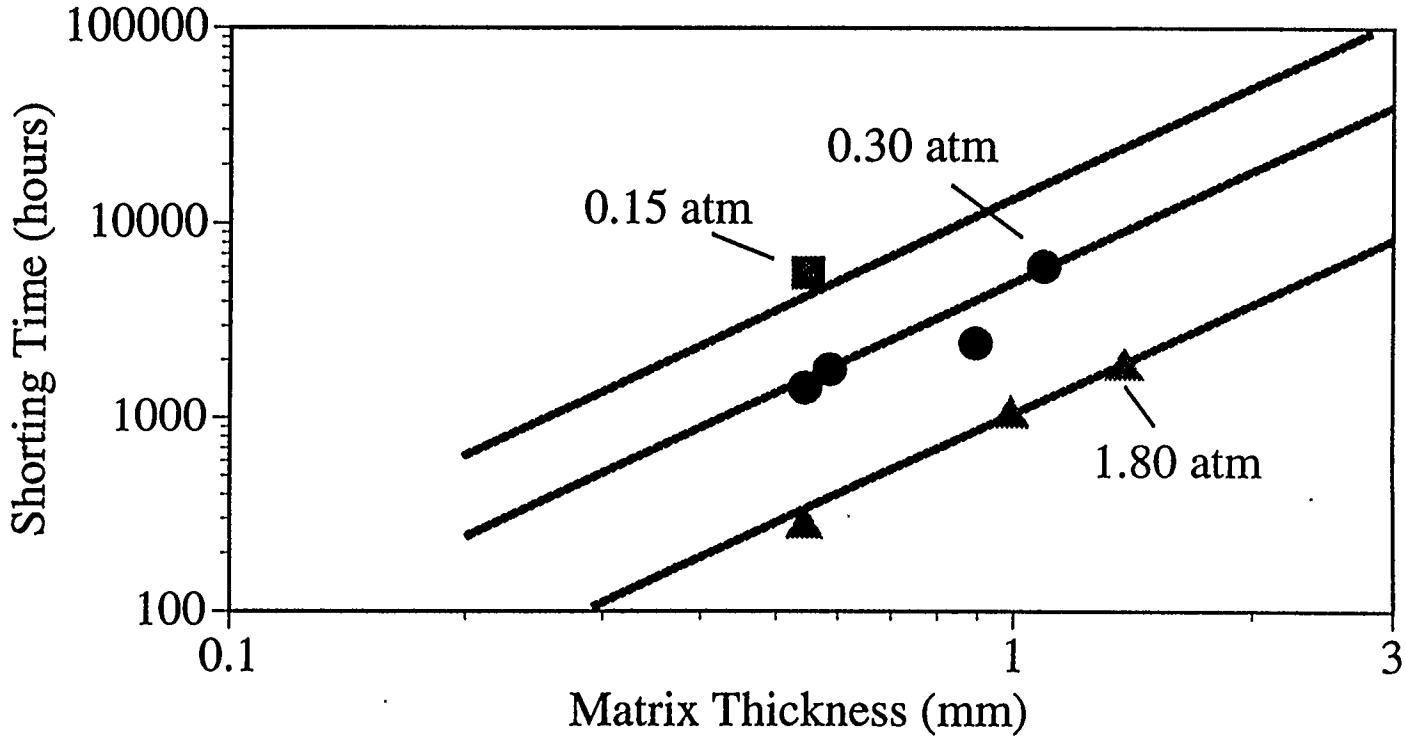
Mitsubishi Electric

Nickel Amount in the Matrix vs. Operation Time Under P_{CO_2} = 0.3 atm Using Li_2CO_3/K_2CO_3 = 62/38 Electrolyte



Mitsubishi Electric

Shorting Time vs. the Matrix Thickness, Showing the Dependence on P_{CO_2}



Mitsubishi Electric

Cathode Materials: Solubility, Stability, and Cost

Cathode Material	Solubility, wppm	$\Delta G°$, kcal at 1000K		Raw Material Cost, $/lb
NiO	10.	NiO	-35.7	3.93
$LiCoO_2$	0.5	CoO	-39.7	21.70
$LiFeO_2$	7.	FeO	-49.5	0.82
		(H_2O)	-45.8)*	

*Ni^{++} or Co^{++}, solubilized from the cathode, are reduced by humidified H_2 anode gas to their metals; solubilized Fe^{++} is not reduced by humidified H_2 anode gas

Electrochemical Technology/Argonne National Laboratory

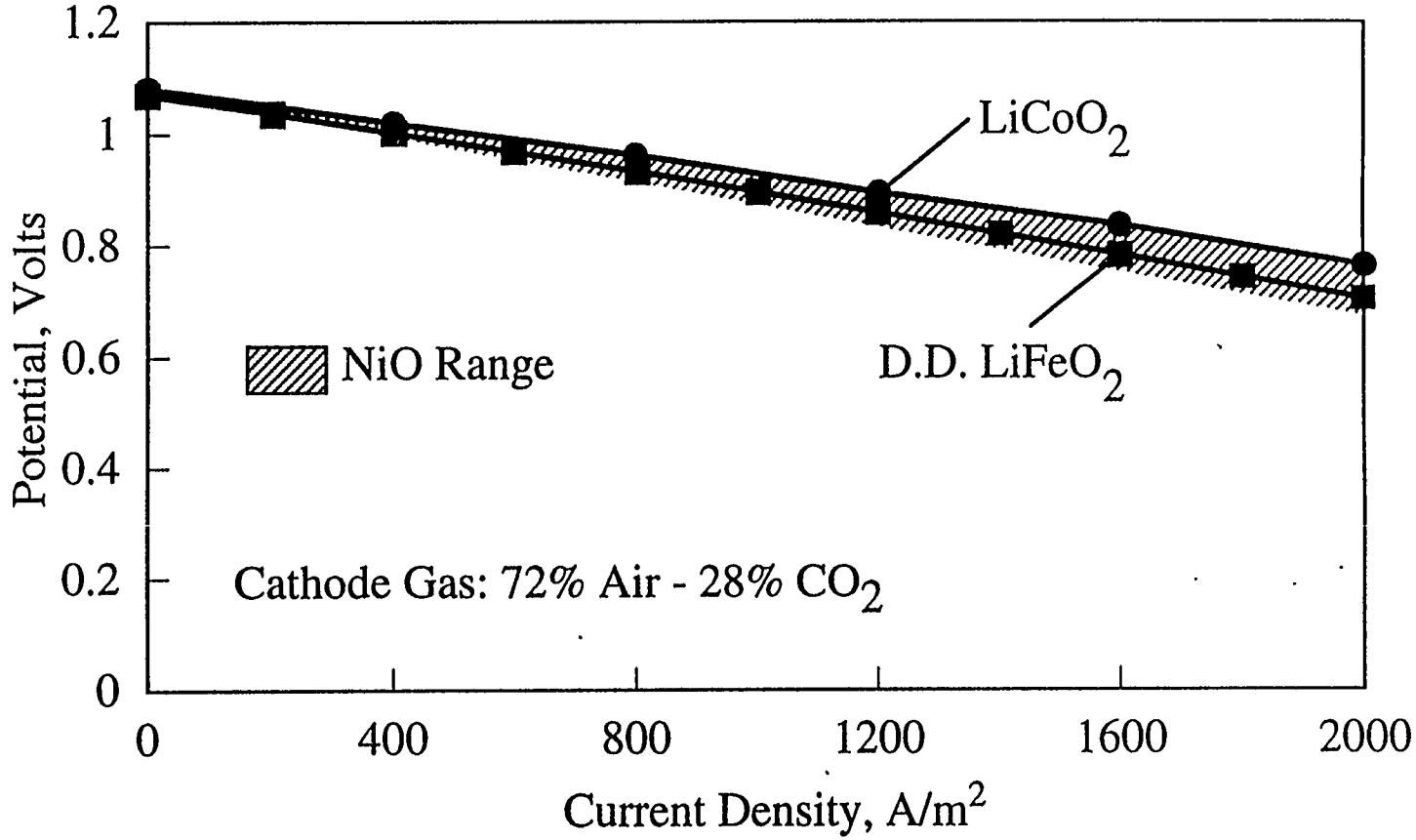
Resistivity of $LiFeO_2$ Improved by Doping

Material	Resistivity*
NiO	0.1 Ω • cm
$LiCoO_2$	1 Ω • cm
$LiFeO_2$	300 Ω • cm
$LiFeO_2$-Ni Doped	120 Ω • cm
$LiFeO_2$-Co Doped	7 Ω • cm
$LiFeO_2$-Doubly Doped	0.3 Ω • cm

*Measured at 650°C in air

Electrochemical Technology/Argonne National Laboratory

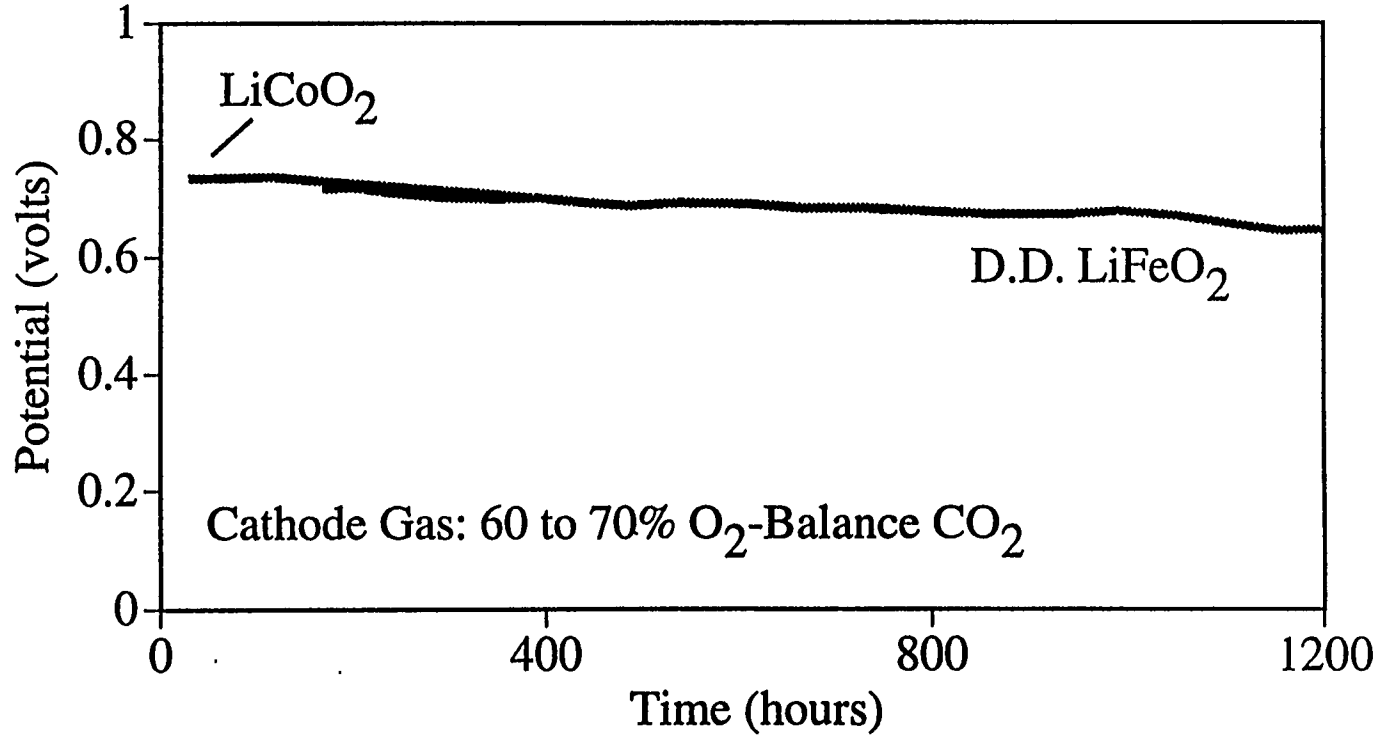
Potential of D.D $LiFeO_2$ and $LiCoO_2$ is Similar to that of NiO in an Air-CO_2 Cathode Gas at 1 atm



Electrochemical Technology/Argonne National Laboratory

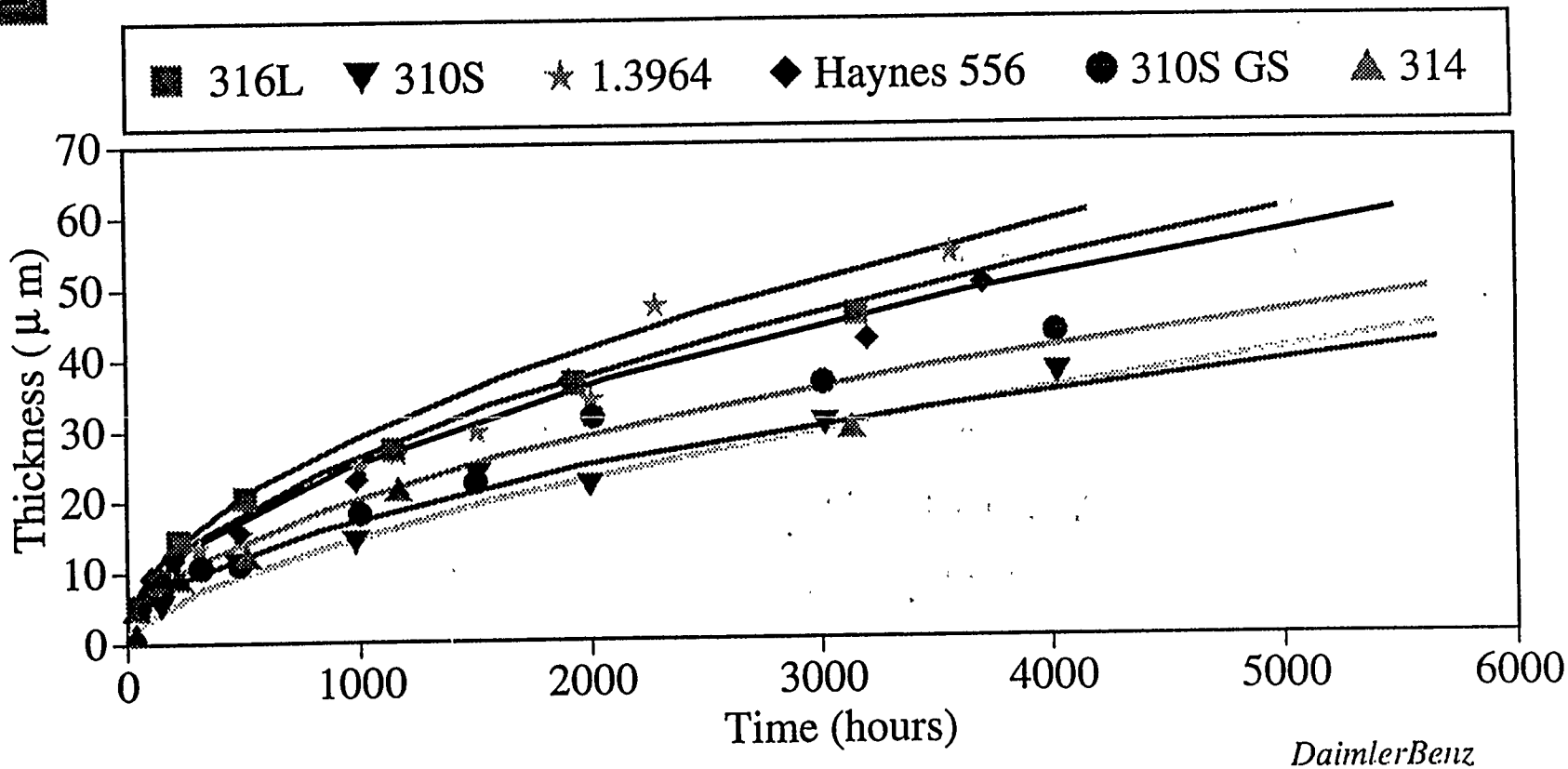
Cathode Life Tests
25-cm² MCFCs at 3200 A/m²

(Note Specific Power Exceeds 2000 W/m²)



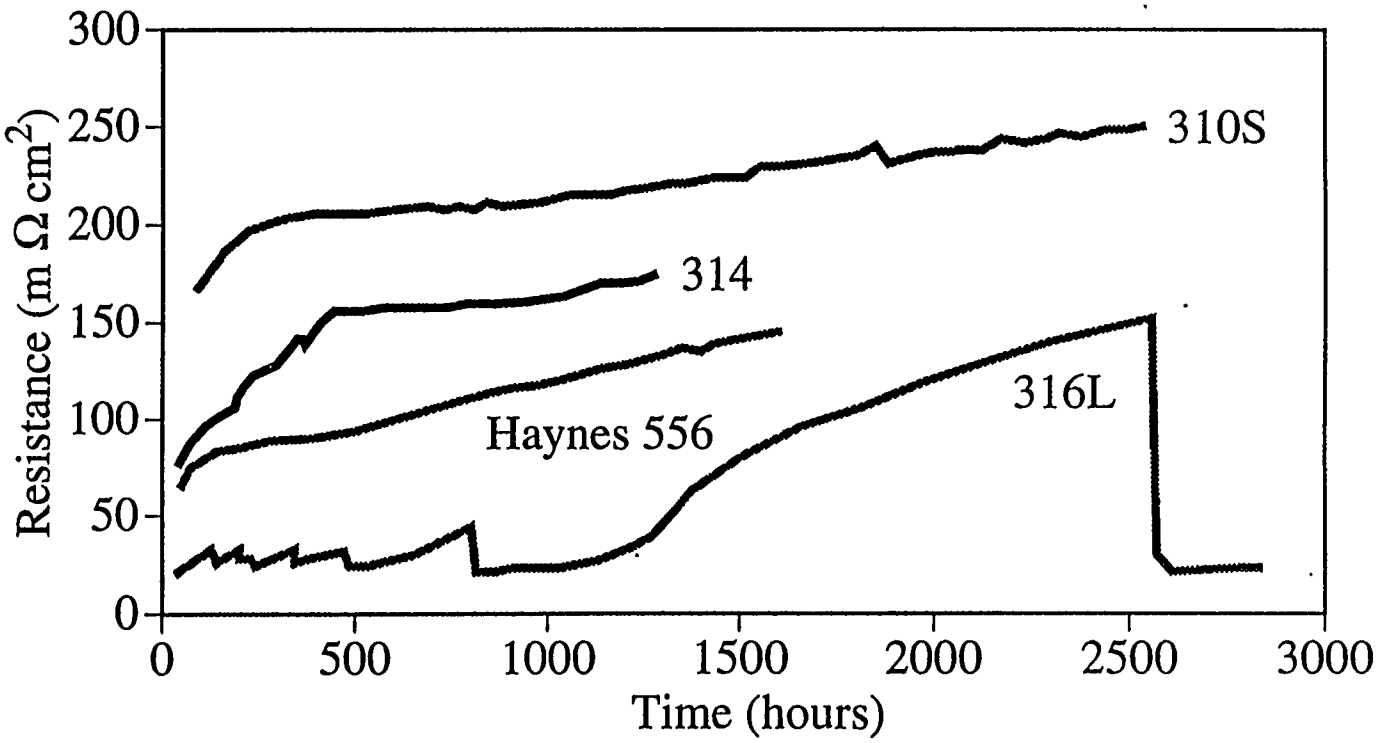
Electrochemical Technology/Argonne National Laboratory

Oxide Growth on Standard Materials Under MCFC Cathode Conditions at 650°C



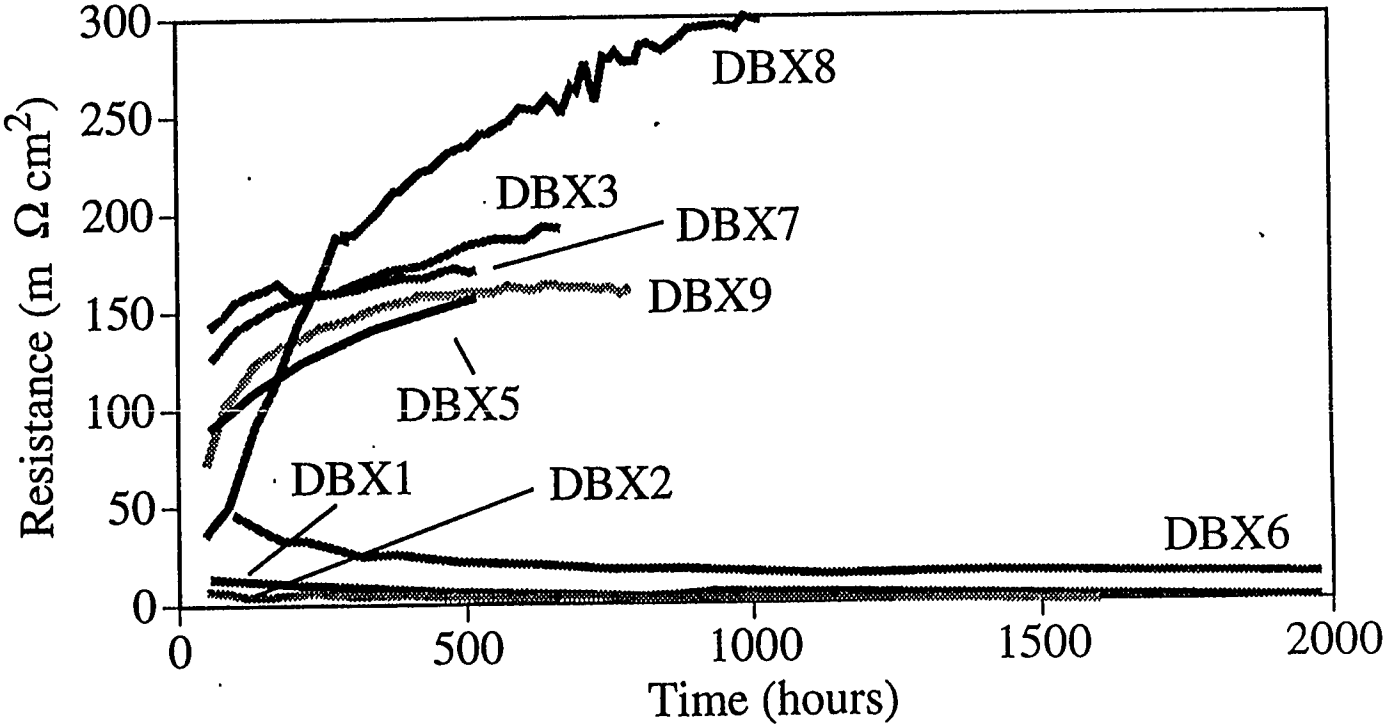
DaimlerBenz

Oxide Resistance of Standard Materials as a Function of Time



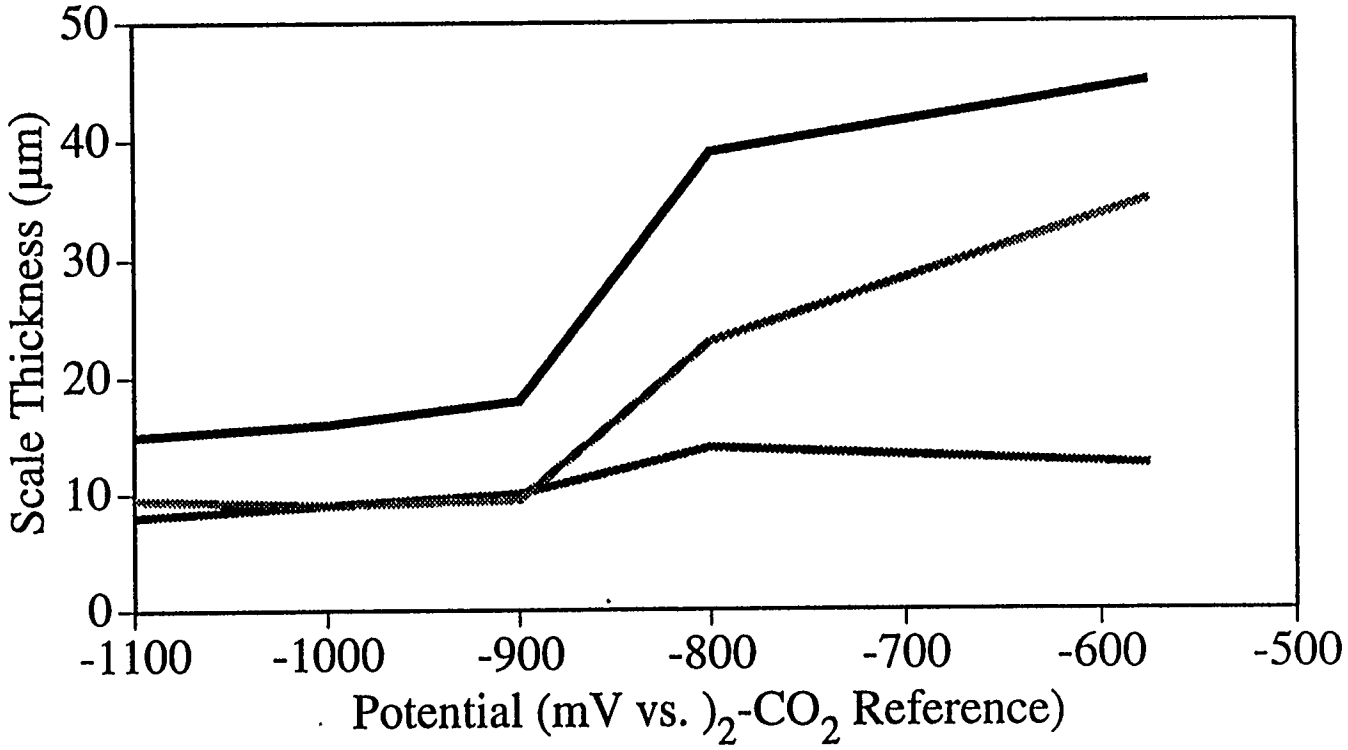
DaimlerBenz

Oxide Resistence of Modified Materials as a Function of Time



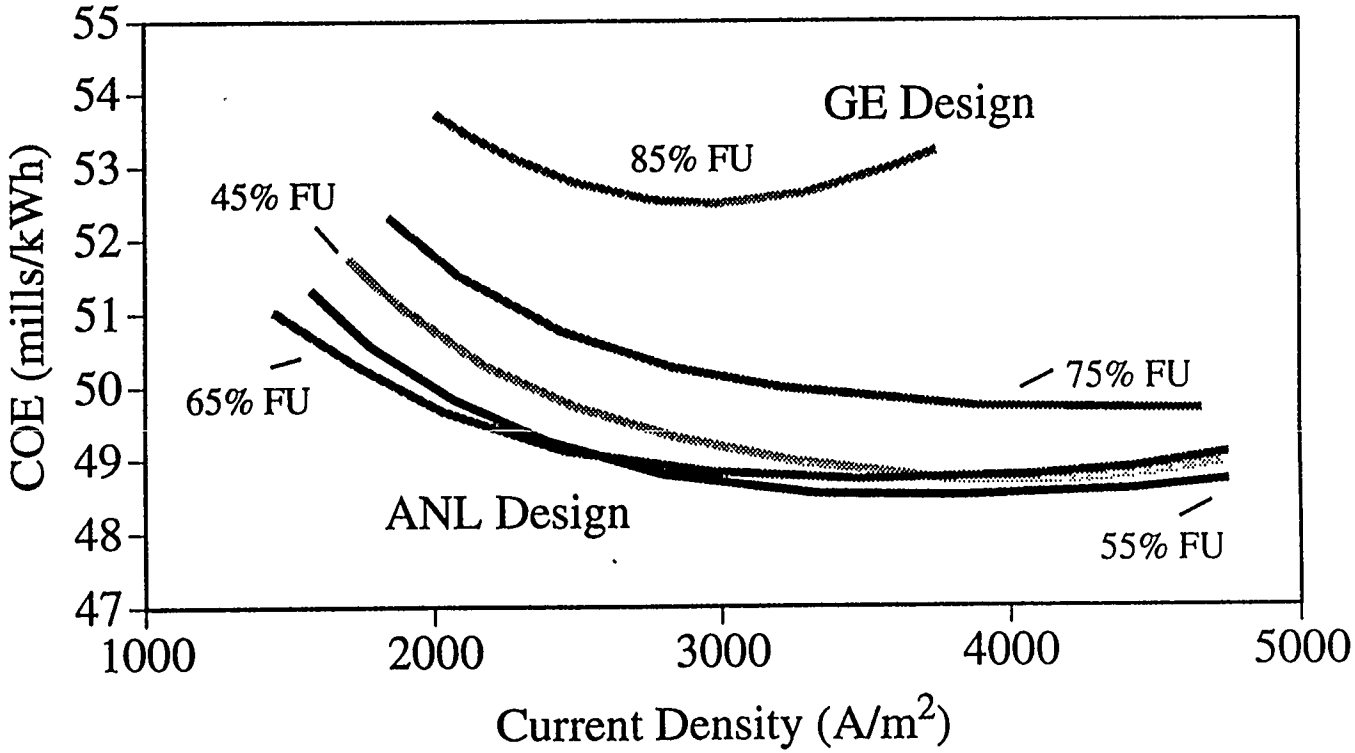
DaimlerBenz

Trend in Surface Scale Formation



Electrochemical Technology/Argonne National Laboratory

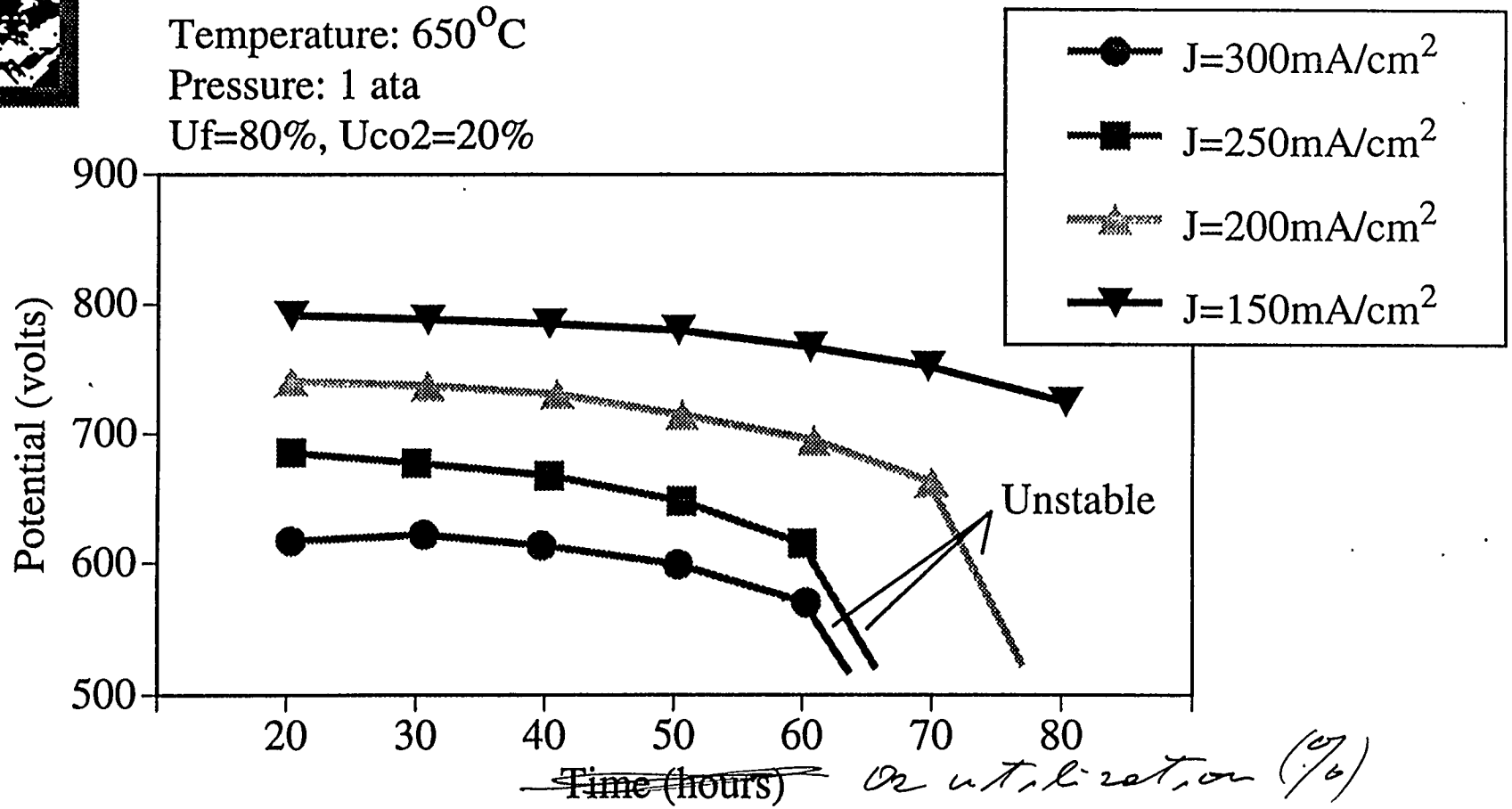
Effect of Current Density on Cost of Electricity



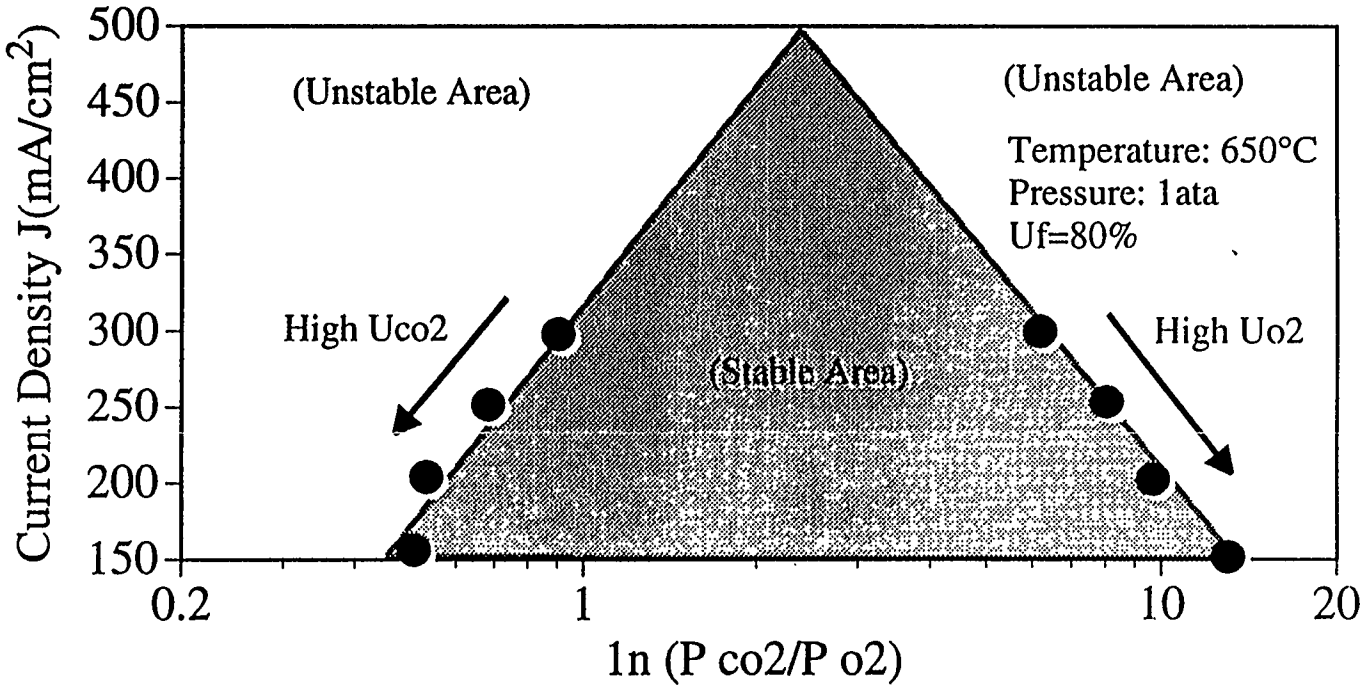
Electrochemical Technology/Argonne National Laboratory

Effect of Cathode Oxygen Utilization on Cell Performance

Temperature: 650°C
Pressure: 1 ata
Uf=80%, Uco2=20%

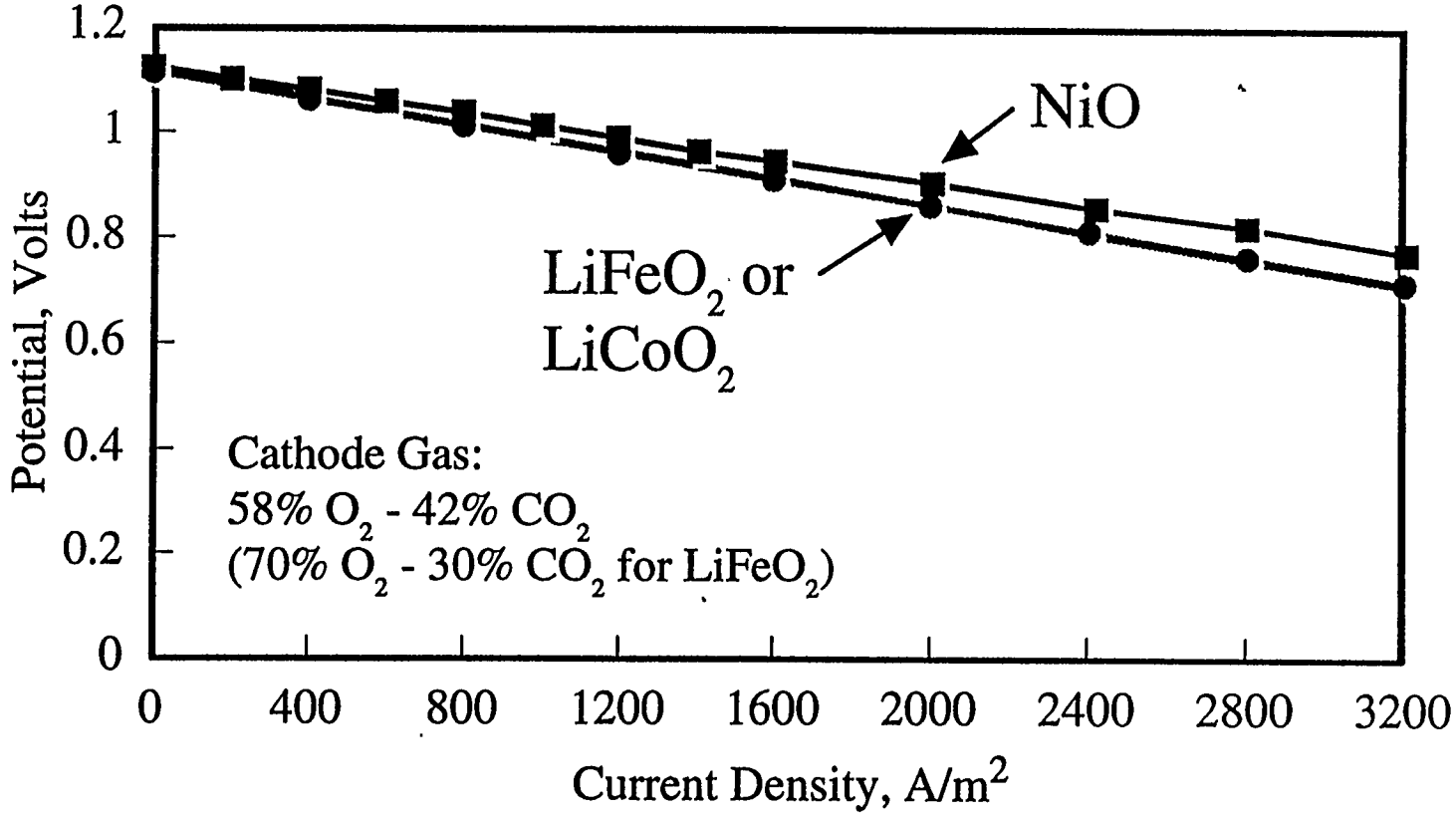


The Stable Cell Voltage Area Determined by Current Density and Cathode Gas Conditions



Electrochemical Technology/Argonne National Laboratory

Potential of D.D $LiFeO_2$ and $LiCoO_2$ is Similar to that of NiO in an O_2-CO_2 Cathode Gas that Simulates Pressurized Operation at 3-4 atm



Electrochemical Technology/Argonne National Laboratory

Summary

- Progress is being made in the development of improved materials for MCFC
- The power density of MCFCs does not seem to be inherently limited
- Opportunities to advance the technology are plentiful

Вопросы исследования и разработки расплав-карбонатных топливных элементов

Автор: Майкл Крампельт
Аргоннская национальная лаборатория

Доклад представлен
на американо-российском семинаре по технологии топливных элементов
Альбукерк, Нью-Мексико

24-26 сентября, 1995 года

Расплав-карбонатные ТЭ - на пороге коммерциализации

- Корпорация “MC-Power” сооружает 250-киловаттные батареи и разрабатывает энергетические модули мощностью 1 МВт

- Корпорация “ERC“ создала 100-киловаттные батареи и скоро введет в строй систему мощностью 2 МВт

- В Японии объединение промышленных консорциумов во главе с “Hitachi” и “IHI”, а также многие компании второго уровня, разрабатывают энергоустановки мощностью 1-5 МВт

Продолжение исследований повысит рентабельность технологии

- Замена катодов из NiO увеличит ресурс
- Повышение коррозионной стойкости биполярной пластины также увеличит ресурс и может улучшить потенциал элемента
- Более высокие плотности тока позволят снизить капитальные затраты на батарею с точки зрения $/кВт

Механизм растворения NiO/осаждения Ni/короткого замыкания

$$NiO + CO_2 \longrightarrow Ni^{2+} + CO_3^{2-}$$

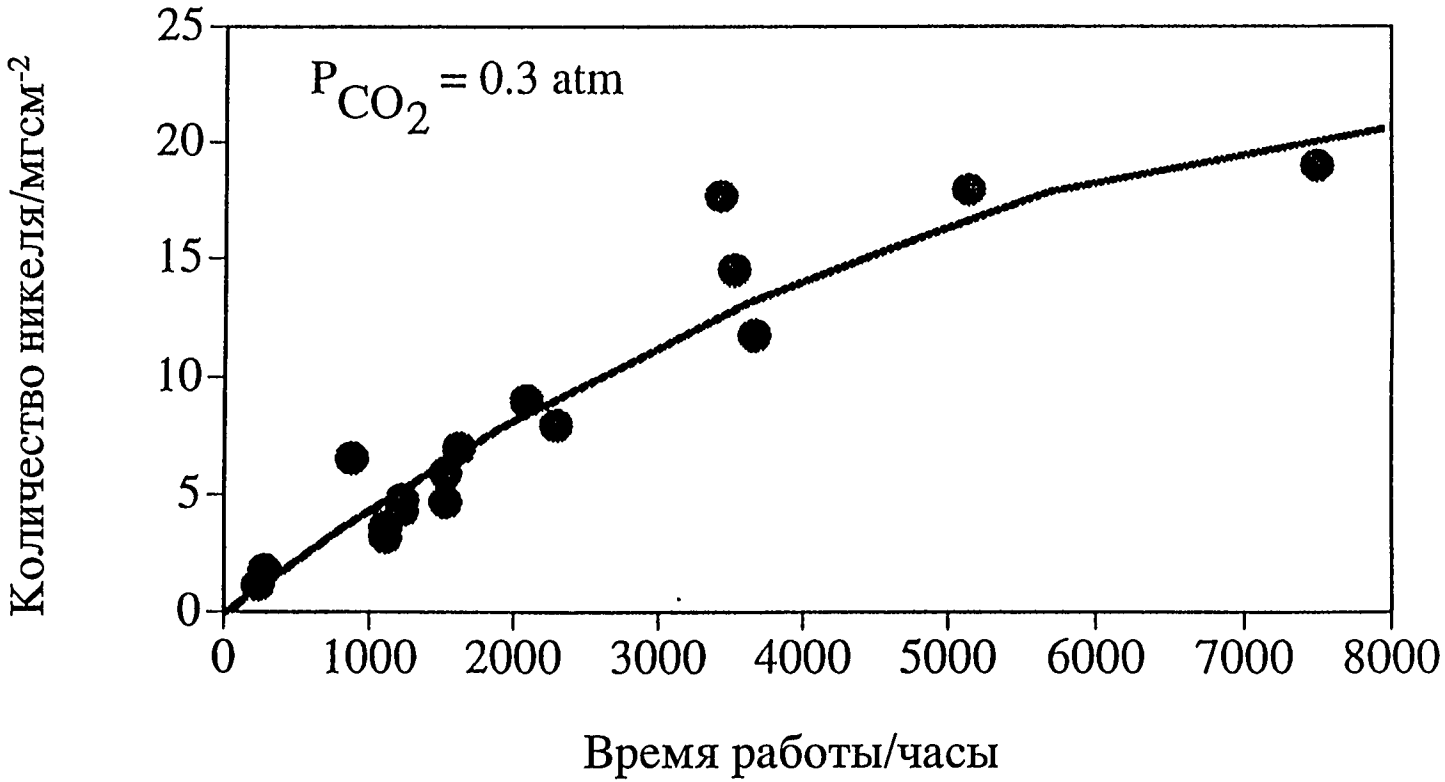
(кислотное растворение)

$$Ni^{2+} + H_2 + CO_3^{2-} \longrightarrow Ni\downarrow + H_2O + CO_2$$

(металл)

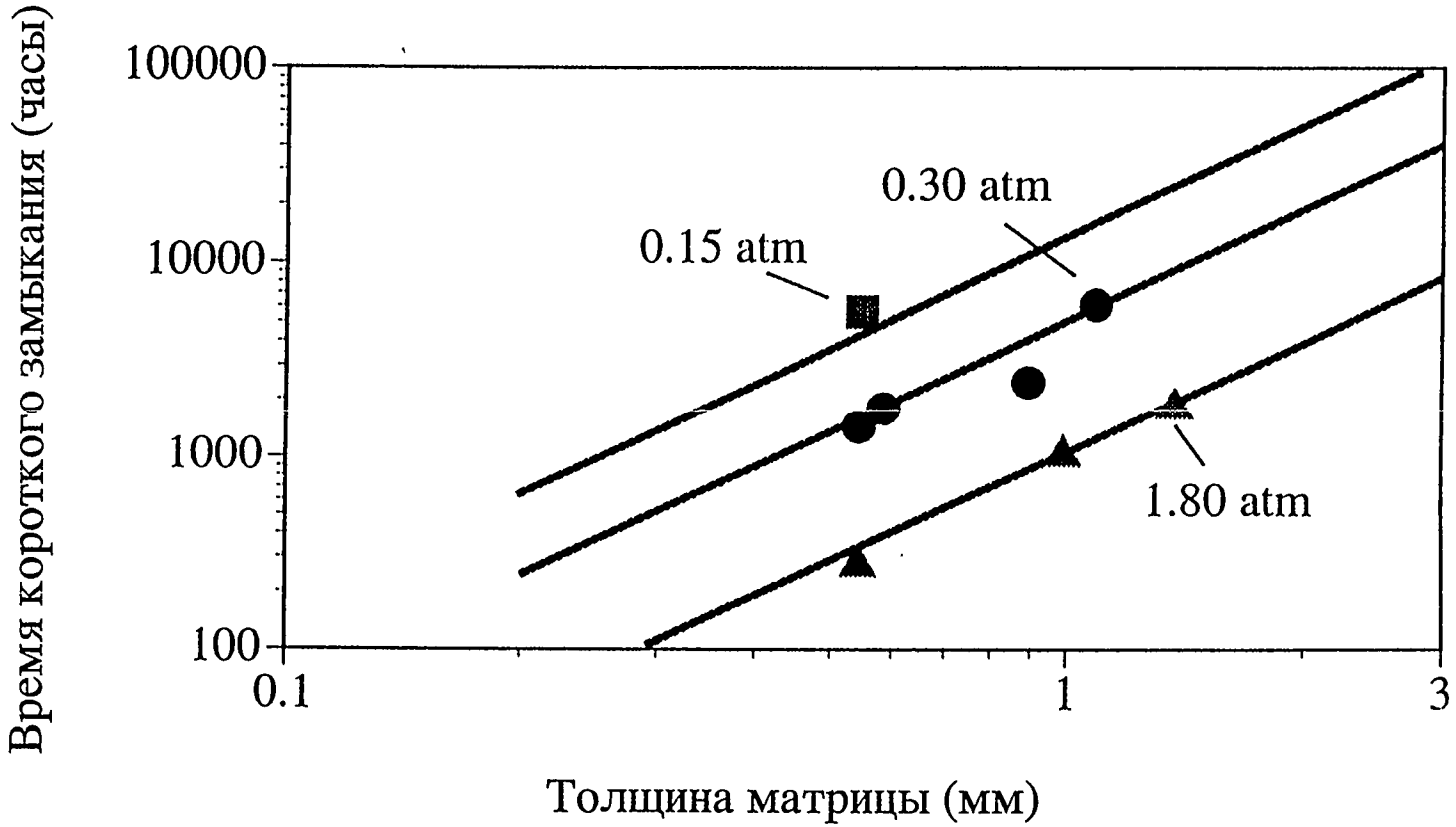
Mitsubishi Electric

Количество никеля в матрице в зависимости от времени работы при P_{CO2} = 0,3 атм и использовании электролита Li_2CO_3/K_2CO_3 = 62/38



Mitsubishi Electric

Время короткого замыкания в зависимости от толщины матрицы с иллюстрацией зависимости от P_{CO2}



Mitsubishi Electric

Катодные материалы: Растворимость, устойчивость и стоимость

Катодный материал	Растворимость, млн. доли воды	$\Delta G°$ ккал при 1000°K		Стоимость сырья, $/фунт
NiO	10.	NiO	-35.7	3.93
$LiCoO_2$	0.5	CoO	-39.7	21.70
$LiFeO_2$	7.	FeO	-49.5	0.82
		(H2O)	-45.8)*	

* Растворенные катодные Ni или Co восстанавливаются насыщенным H_2 газовым анодом до своих металлов; растворенное Fe^{++} не восстанавливается насыщенным H_2 газовым анодом

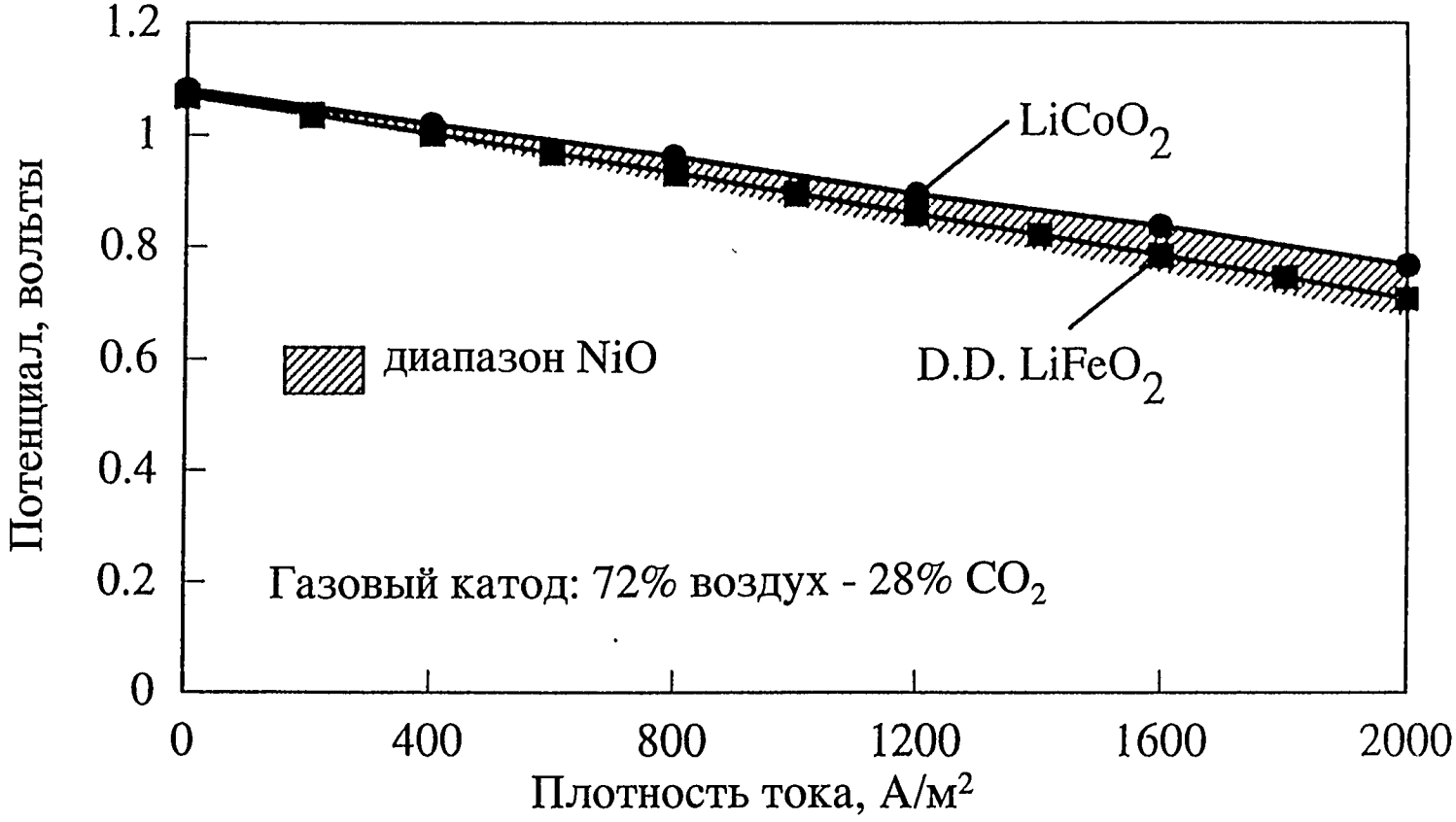
Удельное сопротивление $LiFeO_2$, улучшенное с помощью легирования

Материал	Удельное сопротивление*
NiO	0,1 Ω•см
$LiCoO_2$	1 Ω•см
$LiFeO_2$	300 Ω•см
$LiFeO_2$-легированный Ni	120 Ω•см
$LiFeO_2$-легированный Co	7 Ω•см
$LiFeO_2$ - с двойным легированием	0,3 Ω•см

* Измеренное при 650°C на воздухе

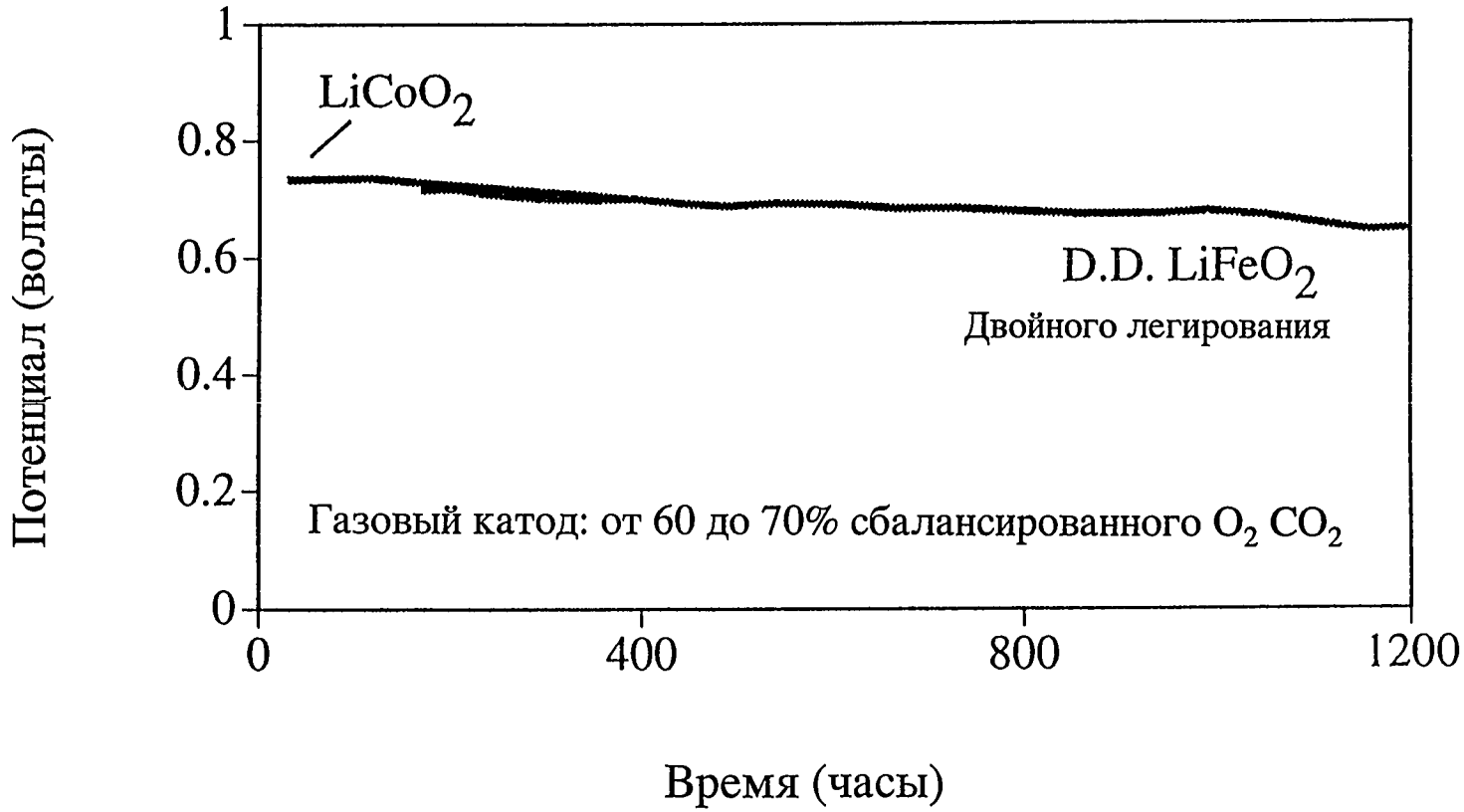
Электрохимическая технология/Аргоннская национальная лаборатория

Потенциал $LiFeO_2$ с двойным легированием и $LiCoO_2$ подобен потенциалу NiO на воздушном-CO_2 газовом катоде при 1 атм



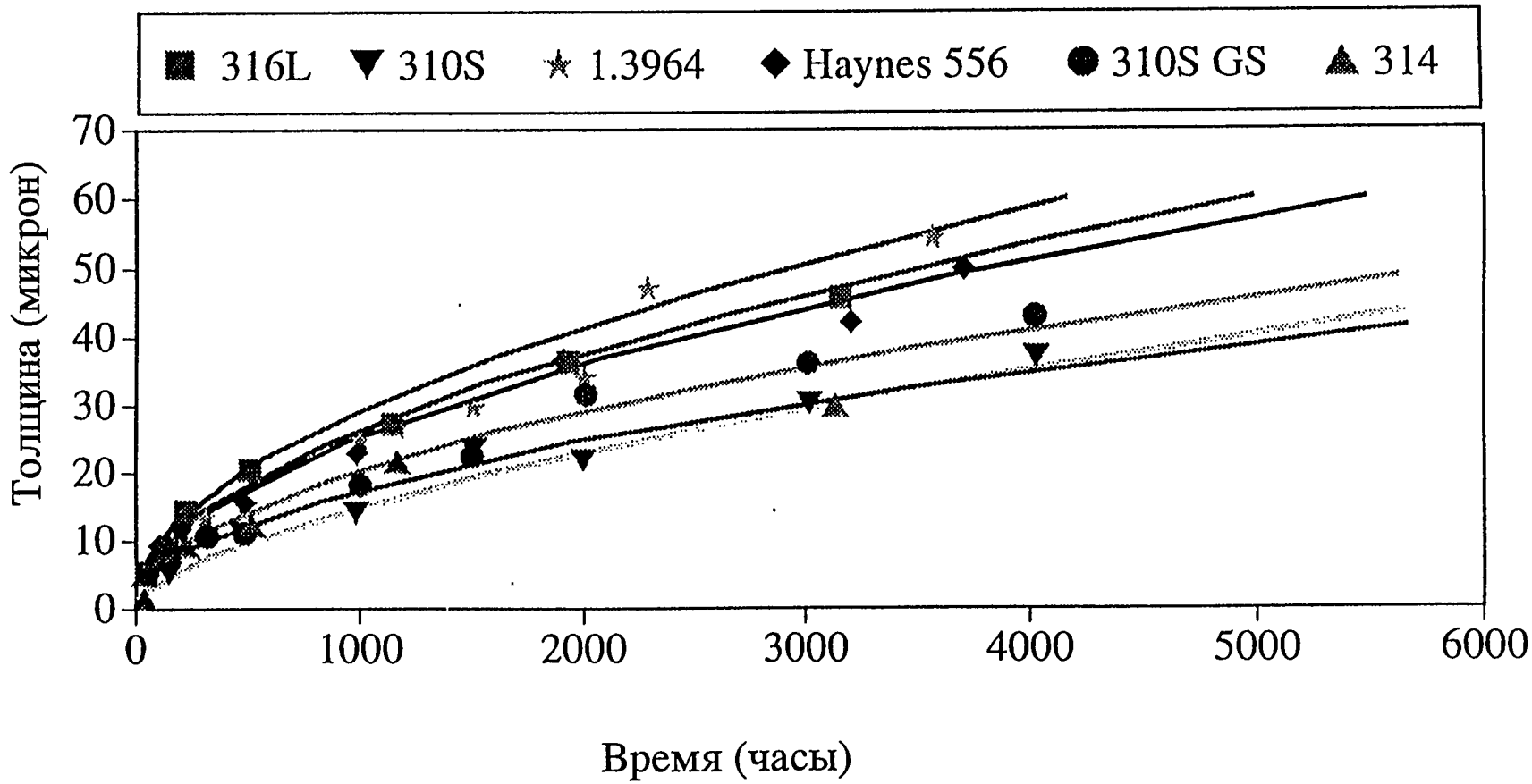
Ресурсные испытания катода РКТЭ с поверхностью 25 см^2 при 3200 А/м^2

(Заметьте, что удельная мощность превышает 2000 Вт/м^2)



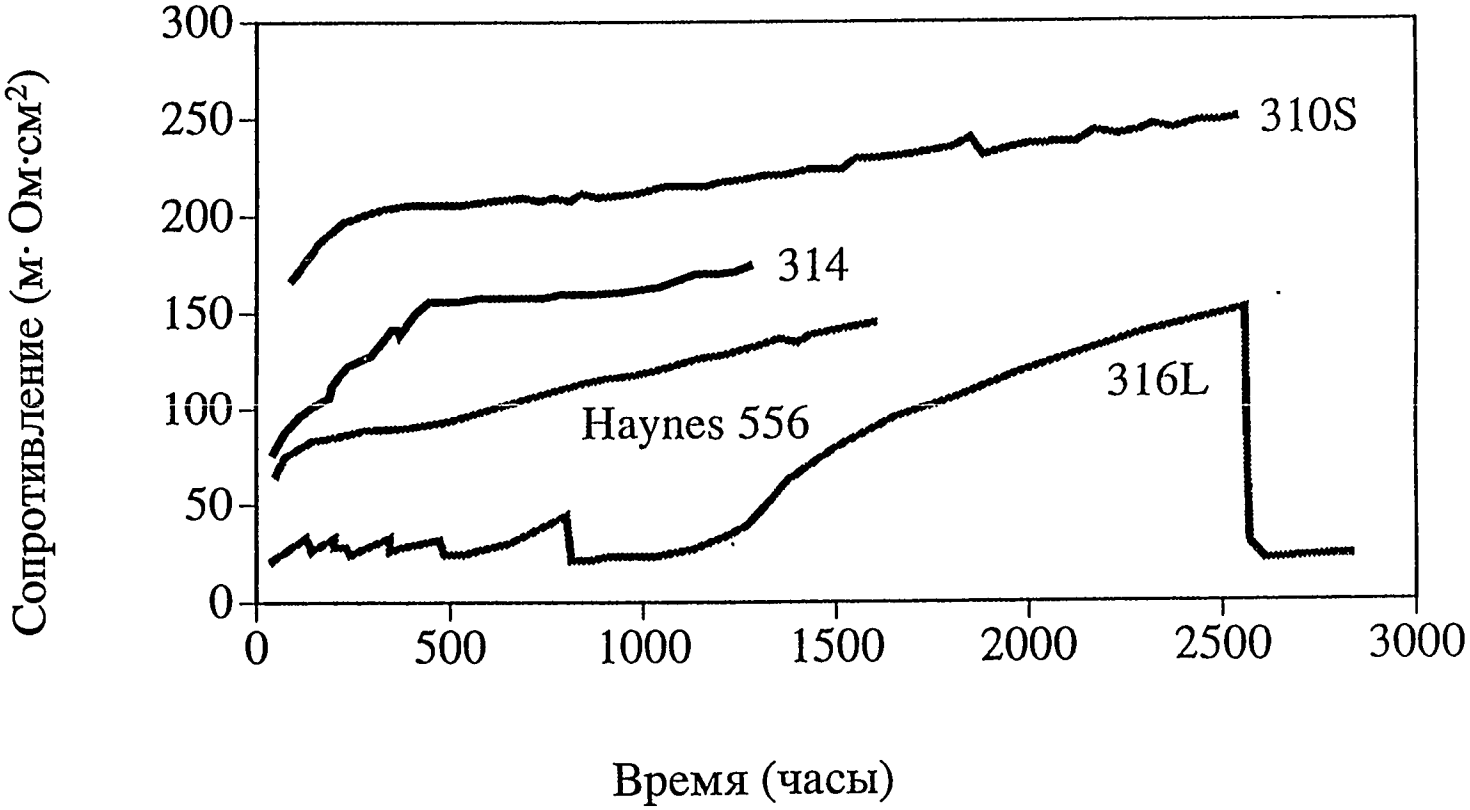
Электрохимическая технология/Аргоннская национальная лаборатория

Выращивание пленки оксида на стандартных материалах в режиме работы катода РКТЭ при 650°С



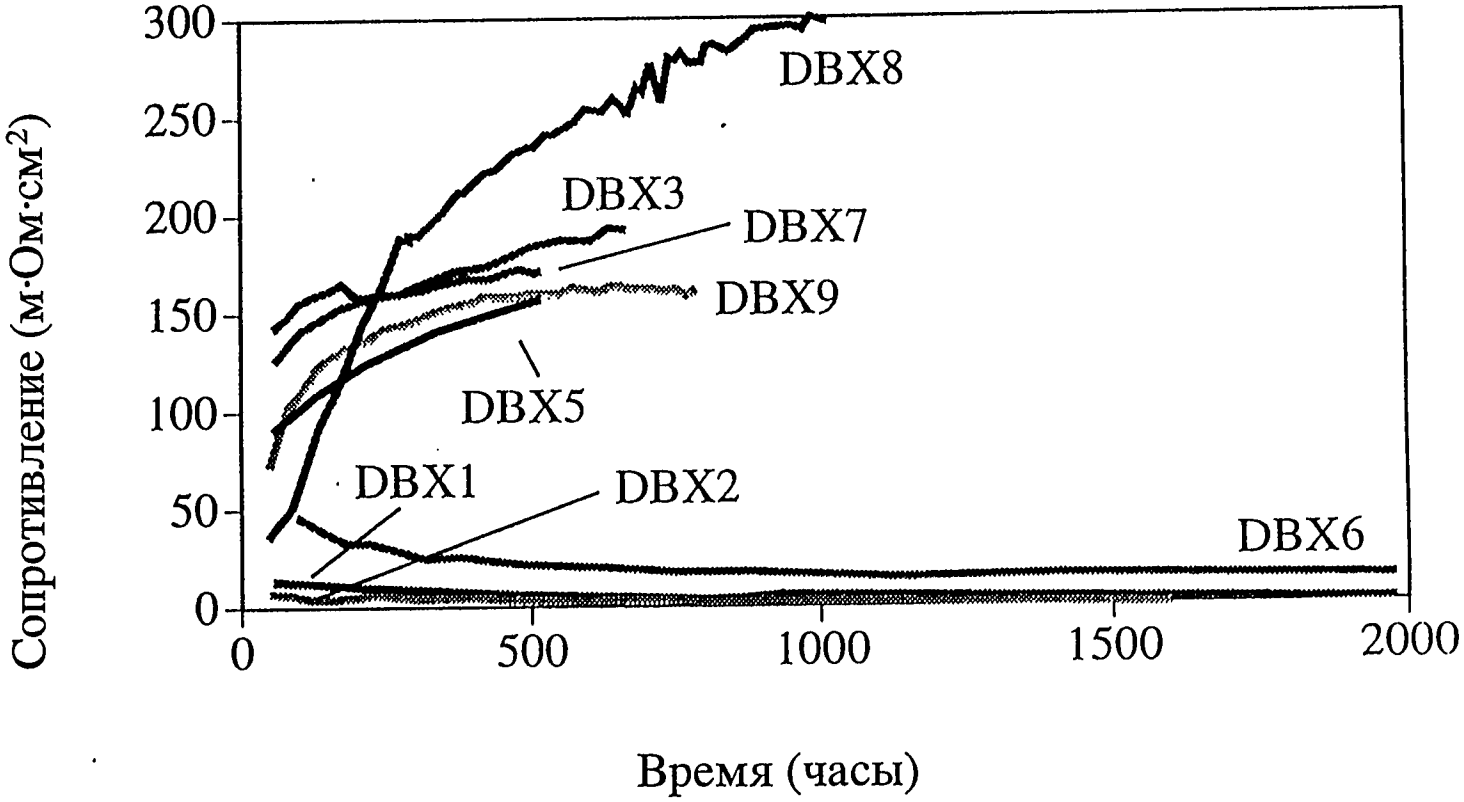
DaimlerBenz

Сопротивление оксидной пленки стандартных материалов в зависимости от времени



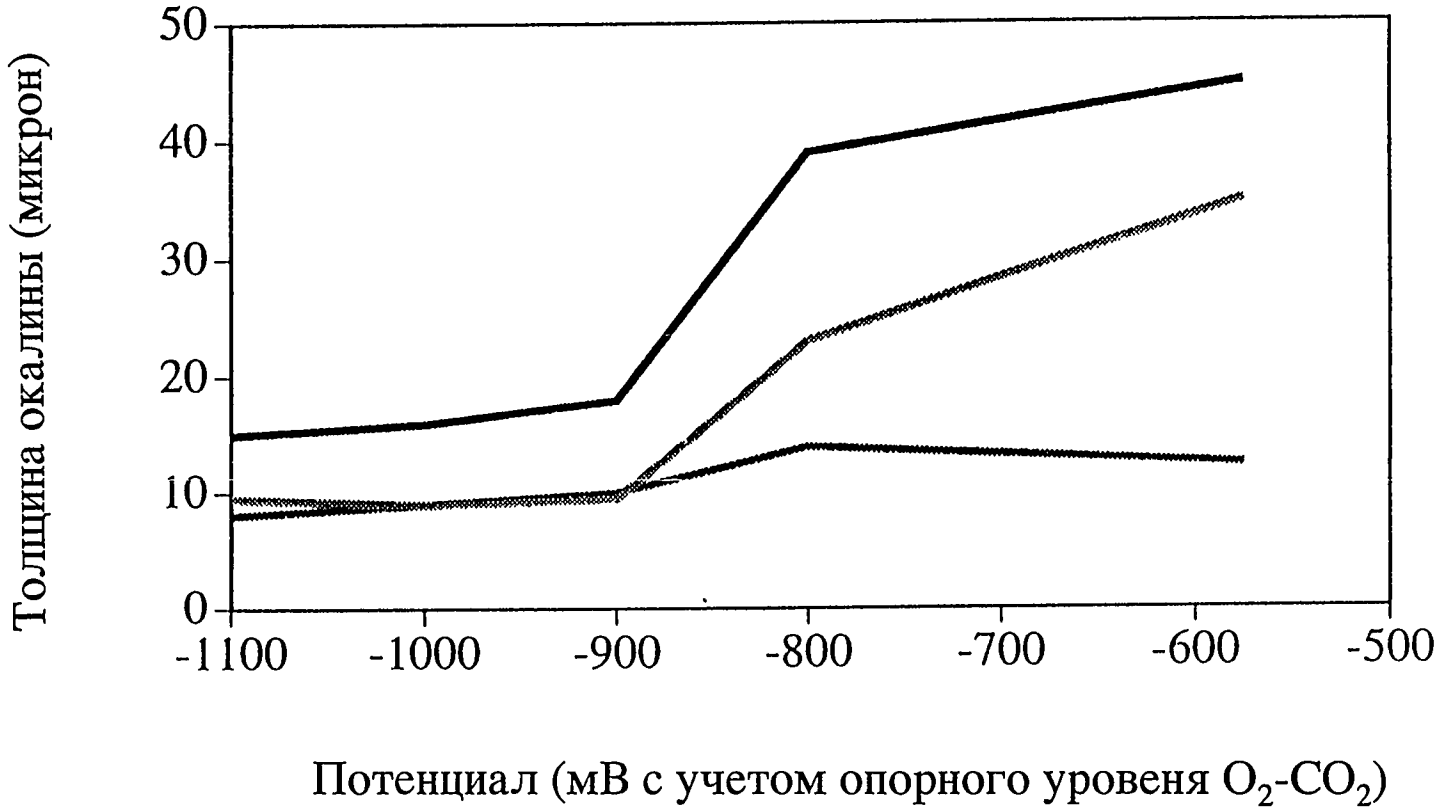
DaimlerBenz

Сопротивление оксидной пленки модифицированных материалов в зависимости от времени

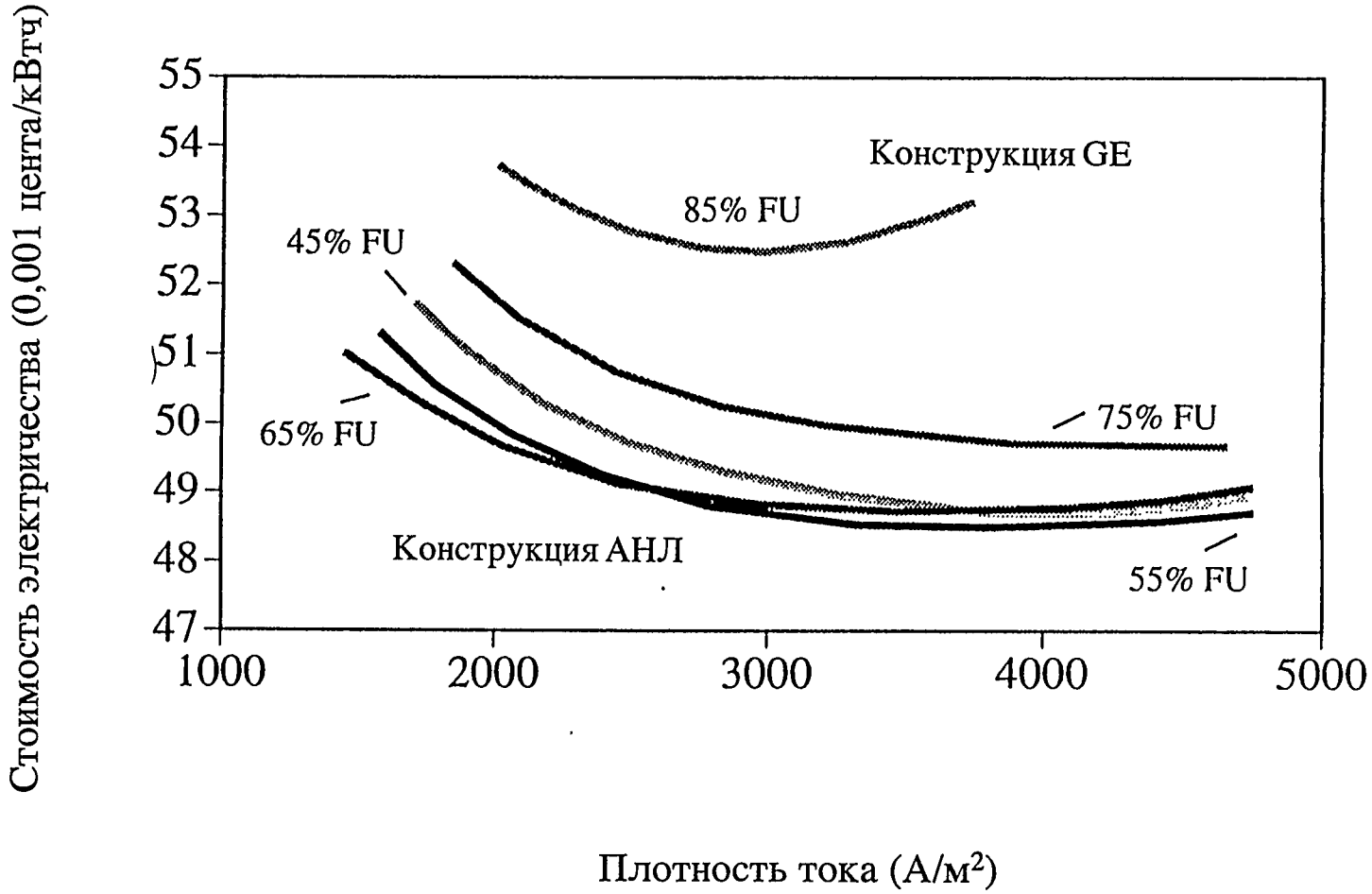


DaimlerBenz

Тенденция в формировании поверхностной окалины



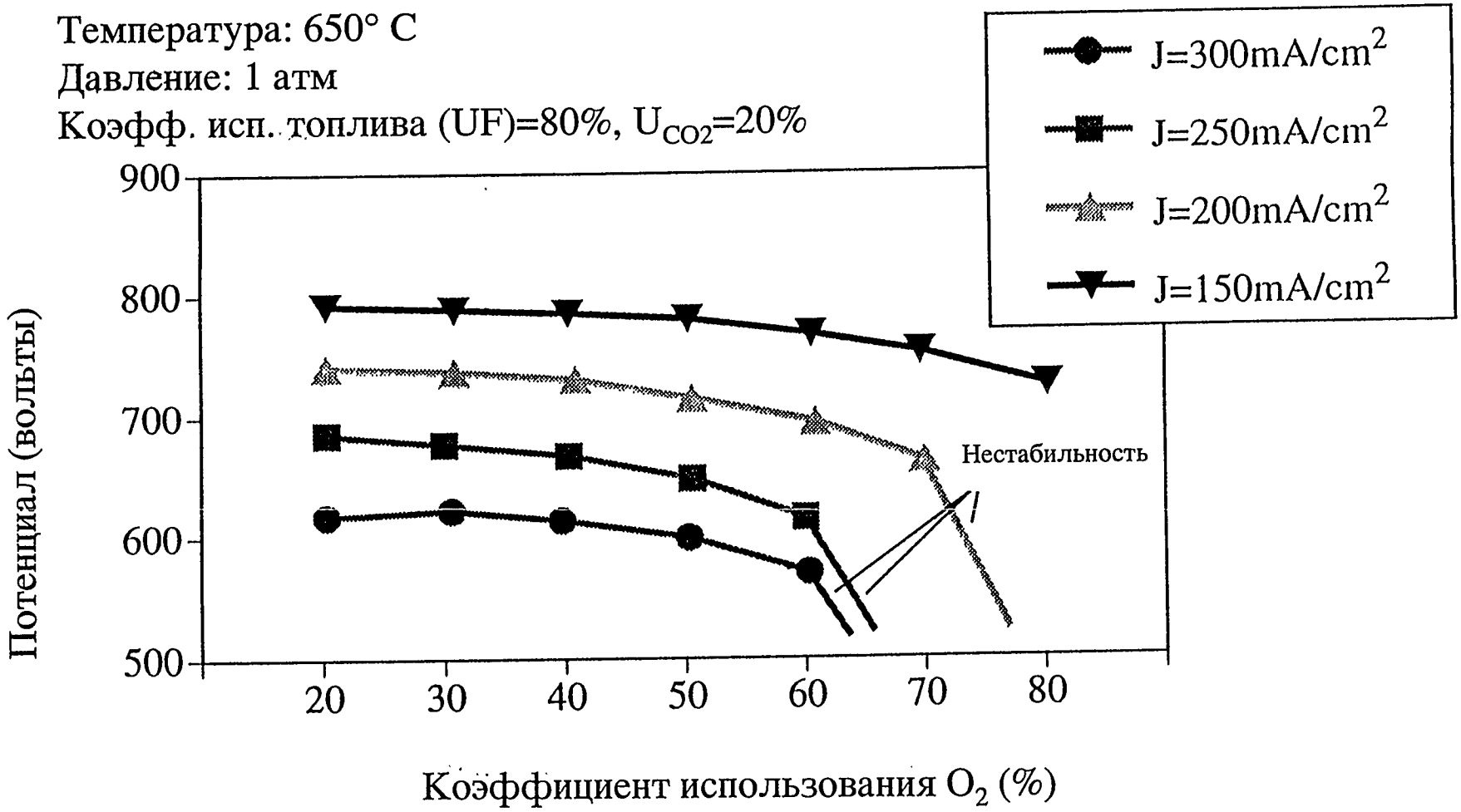
Влияние плотности тока на себестоимость электричества



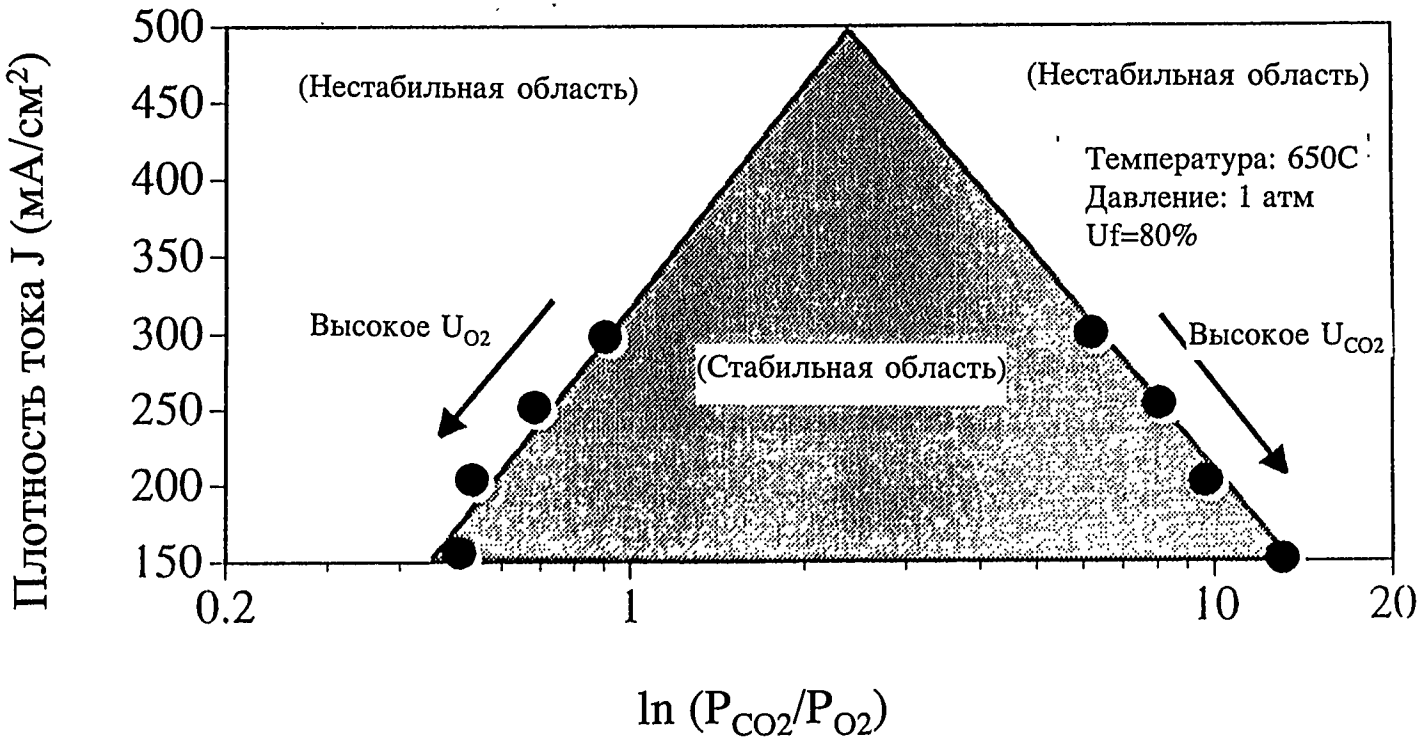
Электрохимическая технология/Аргоннская национальная лаборатория

Влияние использования кислородного катода на рабочие характеристики ячейки

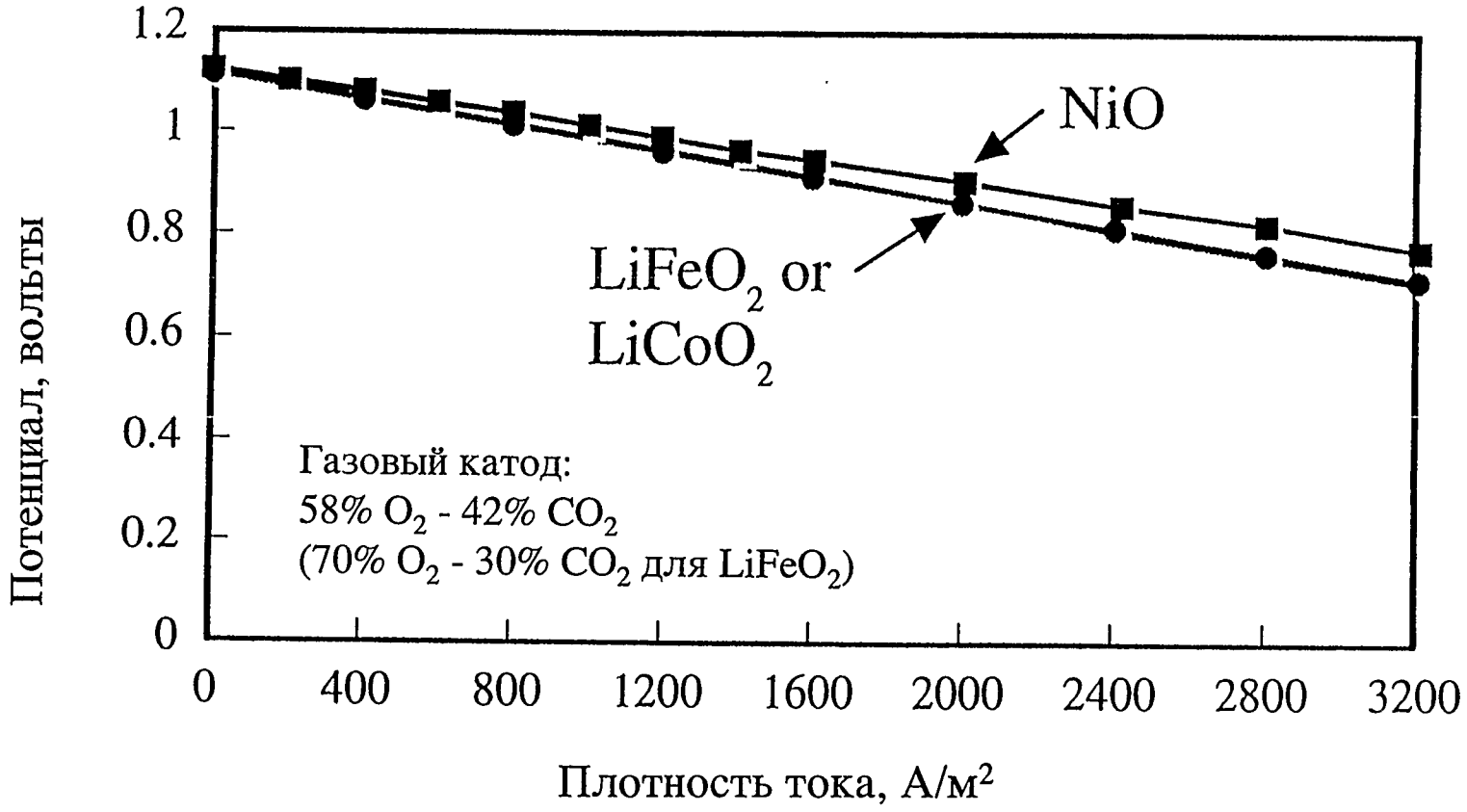
Температура: 650° C
Давление: 1 атм
Коэфф. исп. топлива (UF)=80%, U_{CO2}=20%



Стабильная область напряжения ячейки, определяемая плотностью тока и режимом работы газового катода



Потенциал $LiFeO_2$ с двойным легированием и $LiCoO_2$ подобен потенциалу NiO на газовом катоде O_2-CO_2, который имитирует работу под давлением при 3-4 атм



Заключение

- В разработке улучшенных материалов для РКТЭ наблюдается постоянный прогресс
- Плотность энерговыделения РКТЭ не ограничена факторами, заложенными в конструкцию этих элементов
- Существует множество возможностей продвигать вперед развитие этой технологии

PROGRAM FOR FUNDAMENTAL AND APPLIED RESEARCH OF FUEL CELLS IN VNIIEF

A.V.Anisin, V.A.Borisseonock, Y.Z.Novitskii, G.A.Potyomckin

RFNC-VNIIEF

According to VNIIEF the integral part of development of power plants (PP) on fuel cells (FC) is fundamental and applied research of the problem mentioned. The program was initially outlined in 1991. Currently it is being constantly developed. In the program there are stated the tasks dealing not only with the MCFC development, which is the basic direction of FC research in VNIIEF, but with some other types of FC, as well as PP based on the latter, or problems which are common for several FC types. Some of the program issues are pursued in terms of research (they are marked with *), the others have the status of ideas.

In this report there are included the most advanced tasks. as far as our opinion is concerned.

MCFC PROBLEMS

*1. Model of Porous Electrode

- **Goal:** develop a mathematical model of a porous electrode
- **Approach:** numerical simulation of porous space
- **Application:** calculation of active electrode area ; assessment of efficiency of different electrodes, modeling of the optimal electrode.

*2. Thin Film of Electrolyte

- **Goal:** generation of a thin film of electrolyte at the internal surface of the anode

- **Approach:** the use of materials wettable well with the electrolyte; study of a phase equilibrium in the area of electro-chemical reactions; study of dependency of capillary tention on different factors

- **Application:** increase of the anode active area, improvement of FC efficiency.

3.Thin-filmed Anode

- **Goal:** research the possibility of the use of a thin solid nickel film as the anode
- **Approach:** the use of the approximate equality of the hydrogen diffusion coefficients for nickel and electrolyte at the working temperature of FC
- **Application:** simplification of technology, increase of FC efficiency.

*4. Model of Activation Polarization of Anode

- **Goal:** develop the model of activation polarization of MCFC anode
- **Approach:** numerical simulation of processes occuring at gas-diffusion anode (microlevel)
- **Application:** calculation of anodes with optimal performance under preset conditions of their operation.

5. Electrolyte With High Solubility of Oxygen

- **Goal:** research of possibility of obtaining the electrolyte with high solubility of oxygen
- **Approach:** modification of carbonate electrolyte with additives
- **Application:** there is supposed to apply such electrolyte in MCFC to reduce the polarization of anode.

OTHER PROBLEMS

*6. Stationary Mode of Stack Operation

Goal: develop a mathematical model for calculation of stationary operation models of an FC stack

- **Approach:** the use of theory and practice of operation of heterogenous chemical reactors with ideal substitution

- **Application:** calculation of stationary operation modes for FC stacks of various types (including those of high power).

*7. Anticorrosion Coatings

- **Goal:** development of cheap and high-productive technology for putting of anticorrosion coatings
- **Approach:** employment of self-propagating high-temperature synthesis method
- **Application:** putting of anticorrosion coatings on components of FC(s) of different types.

*8. Impedance Method

- **Goal:** development of FC diagnostics system
- **Approach:** measurement of electrochemical system impedance
- **Application:** FC diagnostics (first and foremost that of MCFC) under production and operation conditions.

9. Ultrasound

- **Goal:** research of possible use of ultrasound in order to increase the efficiency of gas diffusion anodes
- **Approach:** sound capillary effect
- **Application:** ultrasound is used to increase the flooding of the anode pores in FC(s) with a liquid electrolyte.

*10. Radiation Treatment

- **Goal:** development of method for radiation treatment of initial materials used for FC production
- **Approach:** theoretical and experimental research of the effect of the ionizing radiation on material
- **Application:** FC(s) of all the types.

*11. Air Aluminium Cell (AAC)

- **Goal:** develop the source of electric energy employing aluminium and its combinations (including scrap) as fuel

- **Approach:** research of operation of electrochemical systems with the metal anode and gas diffusion cathode

- **Application:** self-contained environmentally benign power supply sources operating in the range of 0 - 30 kW.

12. Alternative Catalysts for Low Temperature FC(s)

- **Goal:** develop the catalysts based on ferments
- **Approach:** research of possible application of well known ferment catalysts, development of new catalysts with preset performances
- Application: low temperature FC(s) and AAC.

Intentionally Left Blank

Программа фундаментальных и прикладных исследований топливных элементов во ВНИИЭФ

Анисин А.В., Борисенок В.А., Новицкий Е.З., Потемкин Г.А.

РФЯЦ–ВНИИЭФ

Составной частью разработки энергетических установок (ЭУ) на основе топливных элементов (ТЭ) во ВНИИЭФ являются фундаментальные и прикладные исследования по решаемой задаче. Формирование программы этих исследований началось в 1991 году. В настоящее время она постоянно дополняется. В программе сформулированы задачи, относящиеся не только к разработке РКТЭ — основному направлению исследований ВНИИЭФ в области ТЭ — но и задачи, относящиеся к другим типам ТЭ и ЭУ на их основе или общие для нескольких типов ТЭ. По части пунктов программы сегодня ведутся исследования (они отмечены *); остальные имеют статус идей.

В настоящее сообщение включены наиболее перспективные на наш взгляд задачи.

Проблемы РКТЭ

*1. Модель пористого электрода

- **Цель:** разработать математическую модель пористого электрода
- **Подход:** компьютерное моделирование пористого пространства
- **Применение:** расчет площади активной поверхности электрода, оценка эффективности различных электродов, моделирование оптимального электрода.

*2. Тонкая пленка электролита

- **Цель:** генерация тонкой пленки электролита на внутренней поверхности анода.

- **Подход:** использование хорошо смачиваемых электролитом материалов, изучение фазового равновесия в зоне электрохимических реакций, изучение зависимости поверхностного натяжения от разных факторов.

- **Применение:** увеличение площади активной поверхности анода, повышение эффективности топливного элемента.

3. Тонкопленочный анод

- **Цель:** исследовать возможность использования тонкой сплошной никелевой пленки в качестве анода.

- **Подход:** использование примерного равенства коэффициентов диффузии водорода в никеле и электролите при рабочей температуре ТЭ.

- **Применение:** упрощение технологии, повышение эффективности ТЭ.

*4. Модель активационной поляризации анода

- **Цель:** разработка модели активационной поляризации анода РКТЭ.

- **Подход:** компьютерное моделирование процессов на газодиффузионном аноде (микроуровень).

- **Применение:** расчет анодов с оптимальными характеристиками при заданных условиях его работы.

5. Электролит с высокой растворимостью кислорода

- **Цель:** исследование возможности создания электролита с высокой растворимостью кислорода.
- **Подход:** модифицирование карбонатного электролита добавками.
- **Применение:** предполагается применять в РКТЭ для снижения поляризуемости катода.

Другие проблемы

*6. Стационарный режим работы батареи

- **Цель:** разработка математической модели для расчета стационарных режимов работы батареи топливных элементов.

- **Подход:** использование теории и практики работы гетерогенных химических реакторов идеального вытеснения.

- **Применение:** расчет стационарных режимов работы батарей топливных элементов разных типов (в том числе батарей большой мощности).

*7. Антикоррозионные покрытия

- **Цель:** разработка дешевой и высокопроизводительной технологии нанесения антикоррозионных покрытий.

- **Подход:** использование метода самораспространяющегося высокотемпературного синтеза.

- **Применение:** нанесение антикоррозионных покрытий на составляющие ТЭ разных типов.

*8. Импедансный метод

- **Цель:** создание системы диагностики топливных элементов.
- **Подход:** измерение импеданса электрохимических систем.
- **Применение:** диагностика ТЭ (в первую очередь РКТЭ) в условиях производства и эксплуатации.

9. Ультразвук

- **Цель:** исследование возможности использования ультра—звука для увеличения эффективности газодиффузионных анодов.
- **Подход:** звукокапилярный эффект.
- **Применение:** используется для увеличения затопления пор анода в топливных элементах с жидким электролитом.

*10. Радиационная обработка

- **Цель:** разработка метода радиационной обработки исходных материалов для изготовления топливных элементов.

- **Подход:** теоретическое и экспериментальное исследования действия ионизирующего излучения на материал.

- **Применение:** топливные элементы всех типов.

*11. Воздушно–алюминиевый элемент

- **Цель:** разработать источник электрической энергии, использующий в качестве топлива алюминий и его сплавы (в том числе их лом).

- **Подход:** исследование работы электрохимических систем с металлическим анодом и газодиффузионным катодом.

- **Применение:** автономные, экологически чистые источники питания в диапазоне 0 – 30 кВт.

12. Альтернативные катализаторы для низкотемпературных ТЭ

- **Цель:** разработать катализаторы на основе ферментов.
- **Подход:** исследование возможности применения известных ферментных катализаторов; разработка новых катализаторов с заданными характеристиками.
- **Применение:** низкотемпературные ТЭ и воздушно-алюминиевый элемент.

Major Design Issues of Molten Carbonate Fuel Cell Power Generation Unit

T-P Chen, Bechtel Corp.

Abstract

In addition to the stack, a fuel cell power generation unit requires fuel desulfurization and reforming, fuel and oxidant preheating, process heat removal, waste heat recovery, steam generation, oxidant supply, power conditioning, water supply and treatment, purge gas supply, instrument air supply, and system control. These support facilities add considerable cost and system complexity. Bechtel, as a system integrator of M-C Power's molten carbonate fuel cell development team, has spent substantial effort to simplify and minimize these supporting facilities to meet cost and reliability goals for commercialization.

Similar to other fuel cells, MCFC faces design challenge of how to comply with codes and standards, achieve high efficiency and part load performance, and meanwhile minimize utility requirements, weight, plot area, and cost. However, MCFC has several unique design issues due to its high operating temperature, use of a molten electrolyte, and the requirement of CO2 recycle.

Bechtel has conducted a preliminary design and cost estimate for an 1 MW commercial unit based on M-C Power's MCFC technology. This unit is operated at 3 atm. It has 60% electric efficiency (LHV) and costs $1,500/kW. Bechtel is currently evaluting an alternative design based on ambient pressure operation. This alternative design is expected to have lower efficiency in return for reduced cost of the unit.

Intentionally Left Blank

Основные проблемы разработки энергоустановки (ЭУ) на основе расплавкарбонатных топливных элементов (РКТЭ)

Т-П Чен, корпорация Бектел

Кроме непосредственно топлива, для обеспечения работы ЭУ на основе ТЭ необходимы процессы обессеривания и химического преобразования топлива, предварительный нагрев топлива и окислителя, отвод отработанного тепла и его утилизация, генерация пара, подача окислителя, регулировка мощности, водоснабжение и очистка воды, подача продувочного газа, подача воздуха для аппаратуры и управление всей системой. Перечисленное вспомогательное оборудование значительно повышает стоимость и сложность конструкции. Будучи головной организацией по интеграции систем в группе разработчиков РКТЭ компании M-C Power, корпорация Бектел приложила большие усилия по упрощению и сведению к минимуму этого вспомогательного оборудования с целью приведения показателей стоимости и надежности в соответствие с требованиями рынка.

Подобно другим топливным элементам, разработка РКТЭ нацелена на поиск путей по приведению конструкции в соответствие с нормами и стандартами, достижению высокой производительности и эффективной работы с неполной загрузкой, одновременно со снижением требований по энергоснабжению, весу, производственным площадям и стоимости. Вместе с тем, РКТЭ обладают некоторыми уникальными особенностями, связанными с возможностью их работы при высоких температурах, использованием расплавленного электролита и обязательной переработкой CO_2.

Корпорация Бектел провела предварительные проработки и составление сметы на разработку коммерческой ЭУ мощностью 1 МВт на основе технологии РКТЭ компании M-C Power. Установка работает при 3 атм. Полный электрический кпд (LHV) составлет 60%, стоимость - 1500 долл./кВт. В настоящее время корпорация Бектел рассматривает альтернативную конструкцию, основанную на принципе работе при внешнем давлении. Ожидается, что у альтернативной разработки будет более низкий кпд как следствие сниженной стоимости установки.

MAJOR DESIGN ISSUES OF MCFC

US/Russia Fuel Cell Worksahop
September 27, 1995

Bechtel Corporation

Major Design Issues of Molten Carbonate Fuel Cell Power Generation Unit

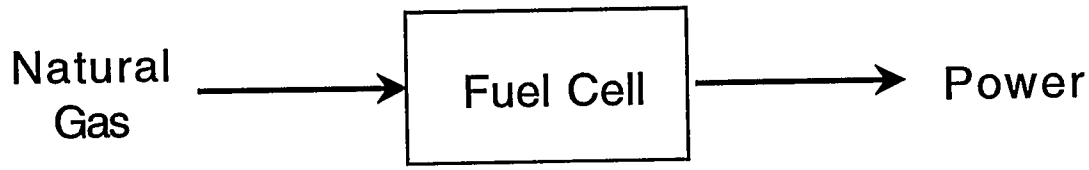
Abstract

In addition to the stack, a fuel cell power generation unit requires fuel desulfurization and reforming, fuel and oxidant preheating, process heat removal, waste heat recovery, steam generation, oxidant supply, power conditioning, water supply and treatment, purge gas supply, instrument air supply, and system control. These support facilities add considerable cost and system complexity. Bechtel, as a system integrator of M-C Power's molten carbonate fuel cell development team, has spent substantial effort to simplify and minimize these supporting facilities to meet cost and reliability goals for commercialization.

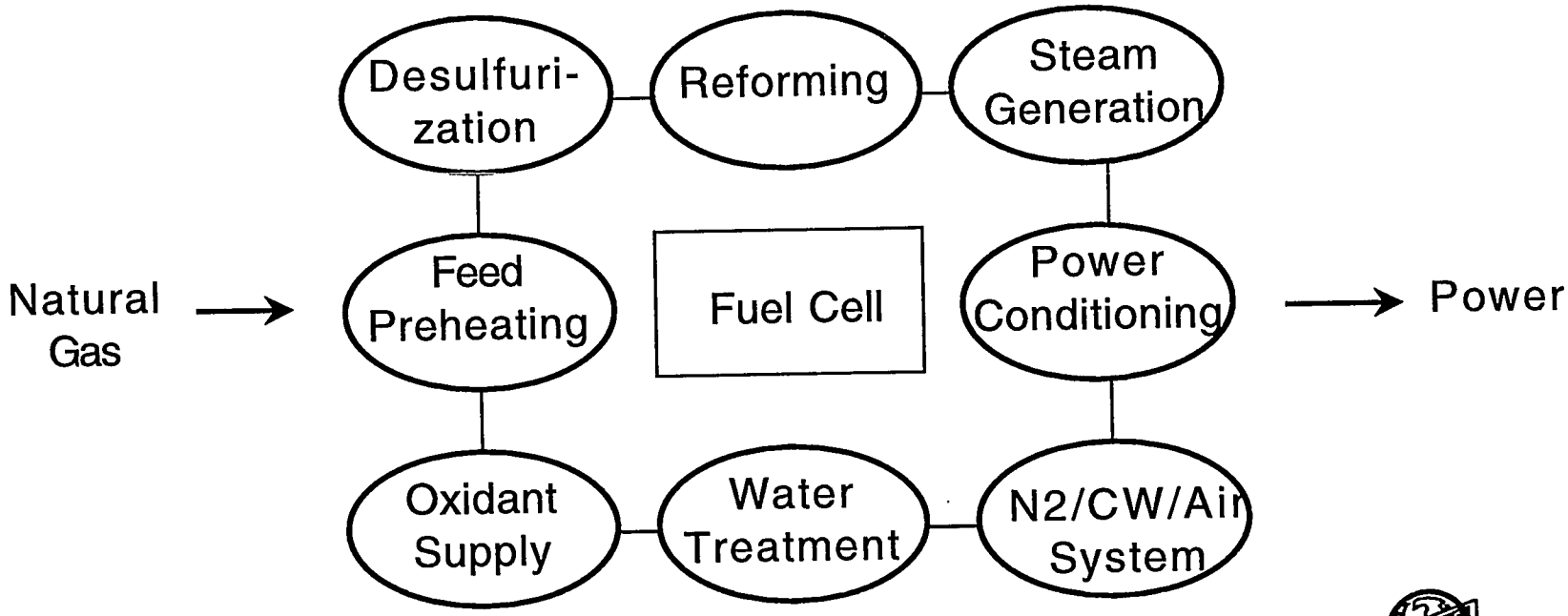
Similar to other fuel cells, MCFC faces design challenge of how to comply with codes and standards, achieve high efficiency and part load performance, and meanwhile minimize utility requirements, weight, plot area, and cost. However, MCFC has several unique design issues due to its high operating temperature, use of a molten electrolyte, and the requirement of CO2 recycle.

Bechtel has conducted a preliminary design and cost estimate for an 1 MW commercial unit based on M-C Power's MCFC technology. This unit is operated at 3 atm. It has 60% electric efficiency (LHV) and costs $1,500/kW. Bechtel is currently evaluting an alternative design based on ambient pressure operation. This alternative design is expected to have lower efficiency in return for reduced cost of the unit.

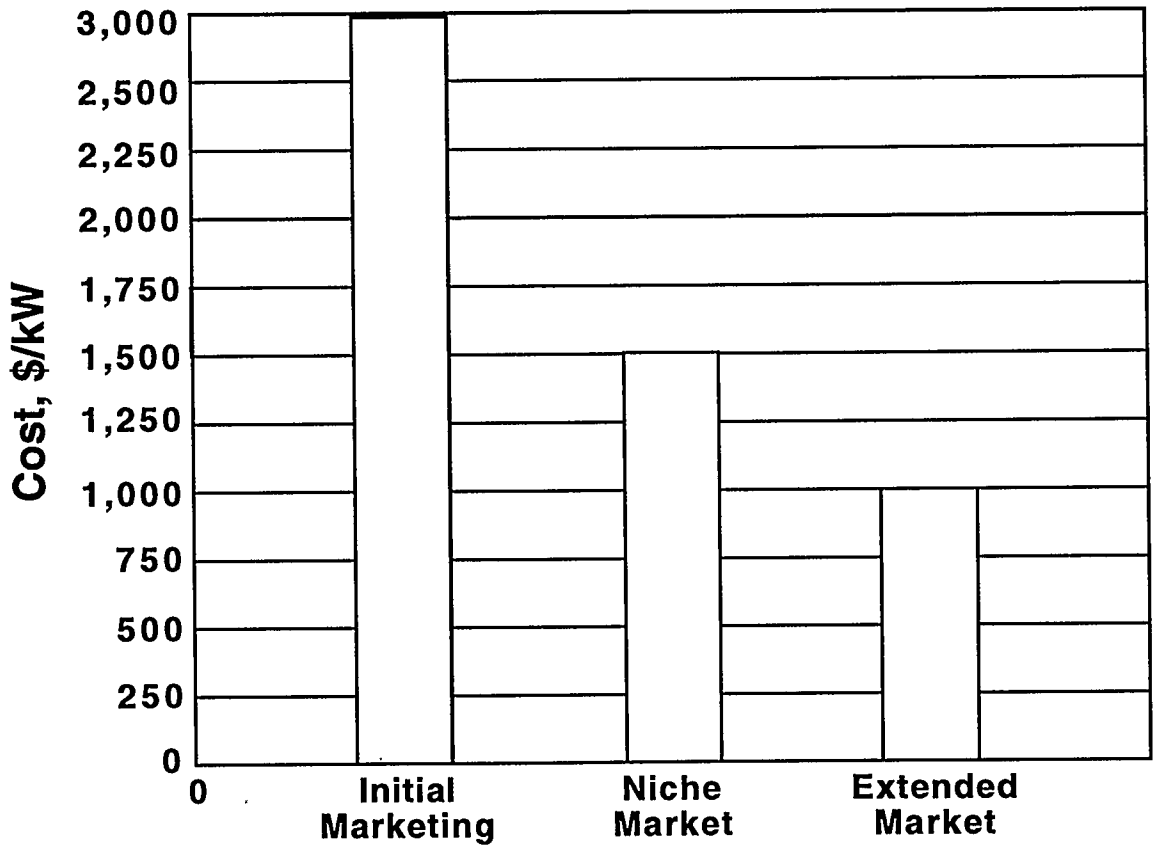
Perceptior



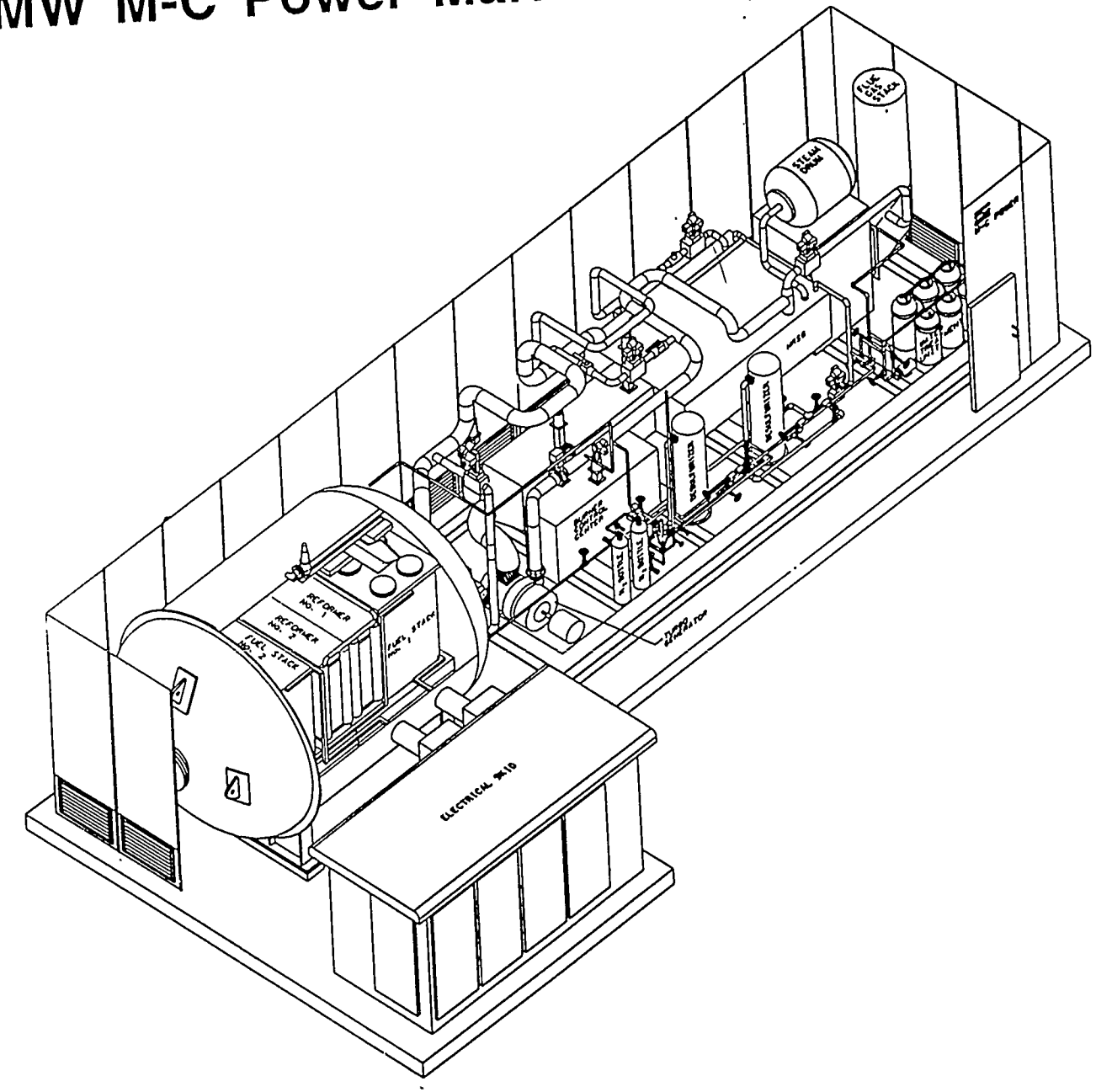
Reality



Target Fuel Cell Plant Cost

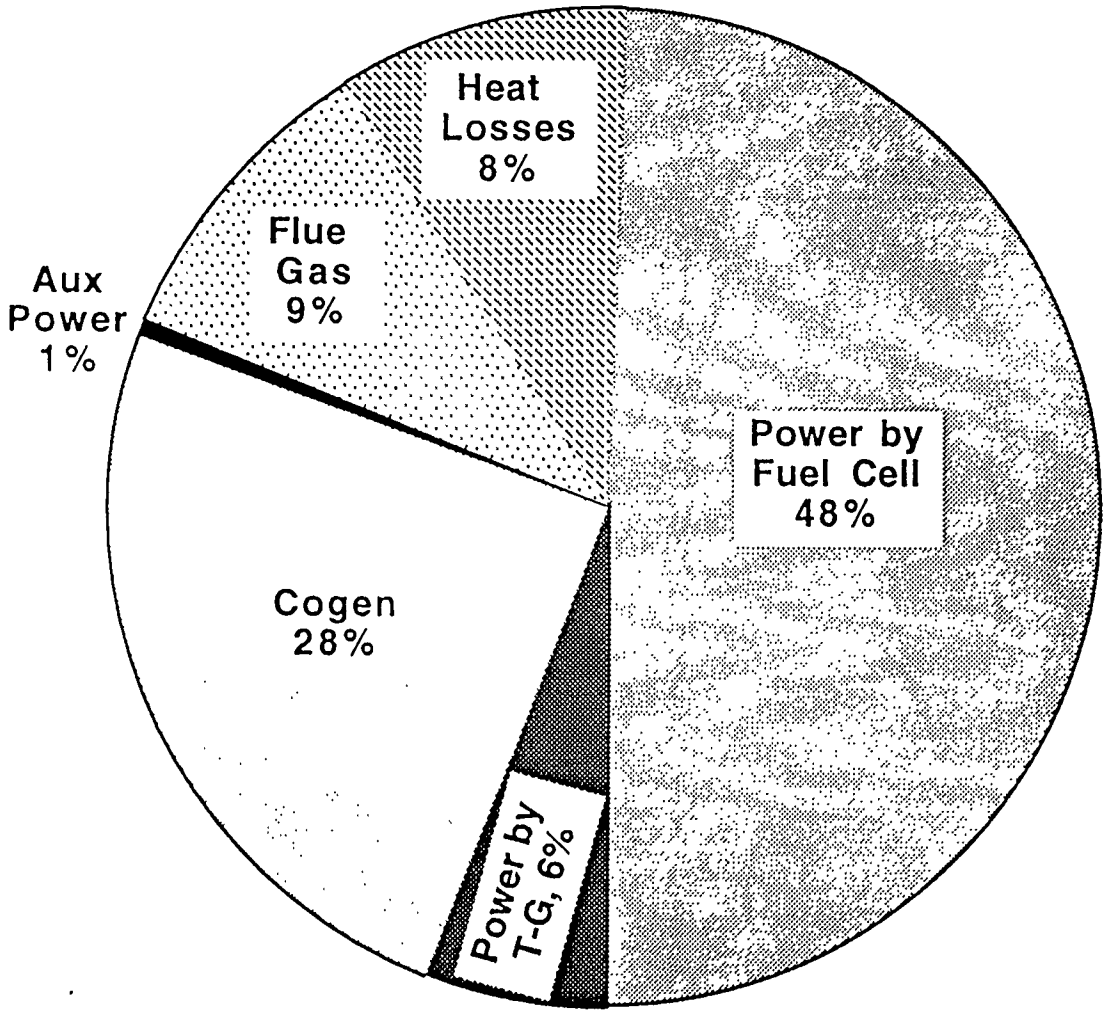


1 MW M-C Power Market Entry Fuel Cell Unit



Energy Conversion

(% Natural Gas Feed HHV)



Net Efficiency

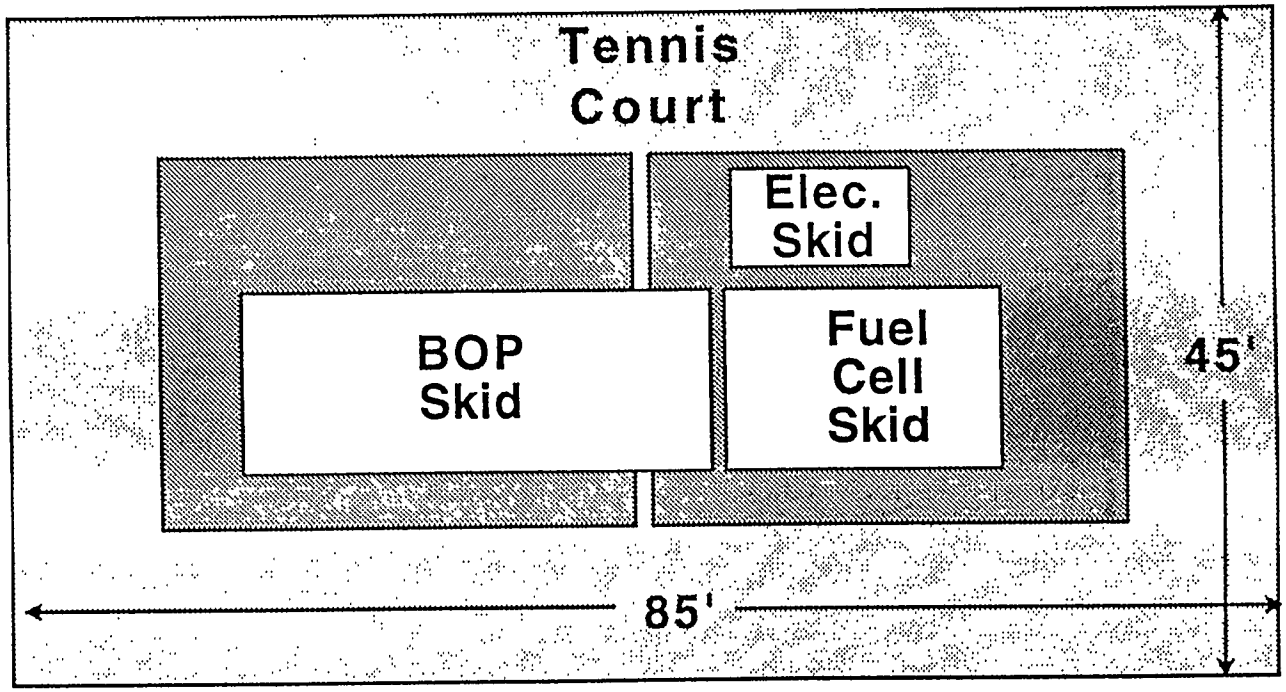
Electric: 54%
Cogen: 82%

Low Utility Requirements

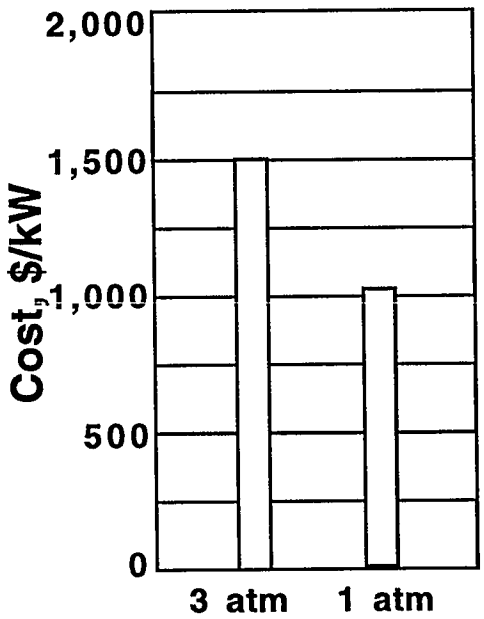
- Raw Water: 2 gpm
- Cooling Water: None
- N2 (normal operation): None
- Boiler Feed Water: None
- Compressed Air: None

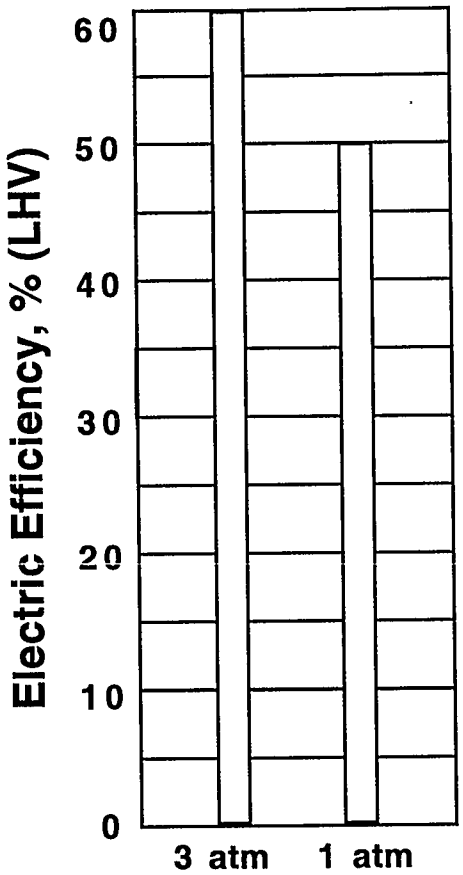
Small Plot Area

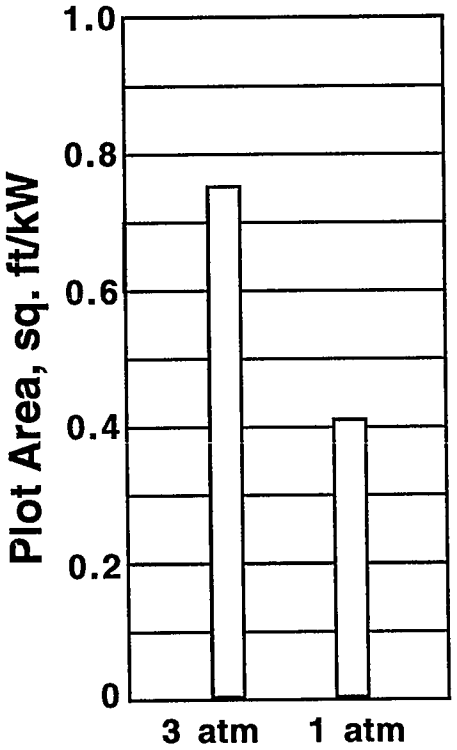
(0.75 sq ft/kW)



Comparison of Two MCFC Designs







Fundamental Research in the Area of High Temperature Fuel Cells in Russia

A.K. Dyomin. IHTFC. Ural Branch of the Russian Academy of Science. Ekaterinburg

Abstract

Research in the area of molten carbonate and solid oxide fuel cells has been conducted in Russia since the late 60's. Institute of High Temperature Electrochemistry is the lead organisation in this area.

Research in the area of materials used in fuel cells has allowed us to identify compositions of electrolytes. electrodes. current paths and transmitting. sealing and structural materials appropriate for long-term fuel cell applications.

Studies of electrode processes resulted in better understanding of basic patterns of electrode reactions and in the development of a foundation for electrode structure optimization. We have developed methods to increase electrode activity levels that allowed us to reach current density levels of up to 1 amper/cm^2.

Development of mathematical models of processes in high temperature fuel cells has allowed us to optimize their structure.

The results of fundamental studies have been tested on laboratory mockups. MCFC mockups with up to 100 W capacity and SOFC mockups with up to 1 kW capacity have been manufactured and tested at IHTE. There are three SOFC structural options: tube. plate and modular.

Service life for single cells -- up to 10.000 hours. batteries -- up to 1000 hours.

Intentionally Left Blank

Фундаментальные исследования по высокотемпературным топливным элементам в России

д- р Демин А.К..ИВТЭ УроРАН. г.Екатеринбург

Краткая аннотация.

Исследования в области расплавкарбонатных и твердооксидных топливных элементов проводятся в России с конца 60-х годов. Ведущая организация в этом направлении - Институт Высокотемпературной электрохимии.

Исследования в области материалов для топливных элементов позволили определить составы электролитов, электродов, токопроходов, коммутирующих, герметизирующих и конструкционных материалов, пригодных для длительной работы в топливных элементах.

Исследования электродных процессов привели к пониманию основных закономерностей электродных реакций и создали предпосылки для оптимизации структуры электрода. Разработаны методы повышения активности электродов, позволяющие достигать плотностей тока до 1 А/см^2.

Разработка математических моделей процессов в высокотемпературных топливных элементах позволила оптимизировать их конструкции.

Практическая проверка результатов фундаментальных исследований проведена на лабораторных макетах. В ИВТЭ изготовлены и испытаны макеты РКТЭ мощностью до 100 Вт, ТОТЭ - мощностью до 1кВт. Варианты конструкции ТОТЭ : из трубчатых, пластинчатых и блочных элементов.

Ресурс работы единичных элементов - до 10 000 часов, батарей - до 1 000 часов.

PROTON EXCHANGE MEMBRANE FUEL CELL TECHNOLOGY FOR TRANSPORTATION APPLICATIONS

Swathy Swathirajan
Physical Chemistry Department, RCEL
General Motors R&D Center, Warren, MI 48090-9055

To be Presented at
Joint US/Russian Workshop on Fuel Cell Technology
Albuquerque, NM, September 27, 1995

ABSTRACT

Proton Exchange Membrane (PEM) fuel cells are extremely promising as future power plants in the transportation sector to achieve an increase in energy efficiency and eliminate environmental pollution due to vehicles. GM is currently involved in a multiphase program with the US Department of Energy for developing a proof-of-concept hybrid vehicle based on a PEM fuel cell power plant and a methanol fuel processor. Other participants in the program are Los Alamos National Labs, Dow Chemical Co., Ballard Power Systems and DuPont Co. In the just completed phase I of the program, a 10 kW PEM fuel cell power plant was built and tested to demonstrate the feasibility of integrating a methanol fuel processor with a PEM fuel cell stack. However, the fuel cell power plant must overcome stiff technical and economic challenges before it can be commercialized for light duty vehicle applications. Progress achieved in phase I on the use of monolithic catalyst reactors in the fuel processor, managing CO impurity in the fuel cell stack, low-cost electrode-membrane assemblies, and on the integration of the fuel processor with a Ballard PEM fuel cell stack will be presented.

In the phase II follow-on effort, the primary objective is to develop and test a 30 kW fuel cell power plant. In addition to fuel processor and fuel cell stack components and systems development activities, control systems, sensors and ancillary equipment needed for integrating the system will also be developed and tested. Major challenges include the development of a compact and a quick starting methanol fuel reformer with good transient characteristics and low CO emissions, and a low cost fuel cell stack with a high power density on reformate/air operation at relatively low pressures.

ТЕХНОЛОГИЯ МЕМБРАННЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ПРОТОННЫМ ОБМЕНОМ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ТРАНСПОРТЕ

Суафи Суафираджан
Отдел физической химии
Научно-исследовательский центр фирмы "Дженерал Моторс",
Уоррен, штат Мичиган 48090-9055

С точки зрения применения в транспортном секторе мембранные топливные элементы с протонным обменом (МТЭПО) представляют собой исключительно многообещающие энергоустановки будущего, которые позволят значительно увеличить энергопродуктивность и ликвидировать загрязнение воздуха от автотранспорта. В настоящее время фирма "Дженерал Моторс" участвует в многофазной программе Министерства энергетики США по разработке подтверждающего концепцию гибридного транспортного средства на основе энергетической установки с МТЭПО и процессора метанолового топлива. Другие участники программы - Лос-Аламосская национальная лаборатория, фирмы "Доу Кемикал", "Баллард Пауэр Системс" и "ДюПонт". Во время только что завершенной фазы I была построена и испытана энергоустановка на МТЭПО мощностью 10 киловатт с целью демонстрации возможности интеграции процессора метанолового топлива с батареей МТЭПО. Тем не менее, энергоустановка на топливных элементах должна еще преодолеть серьезные технические и экономические проблемы до того, как можно будет начать ее коммерческое использование в легких транспортных средствах. В докладе будет изложена информация о прогрессе, достигнутом во время выполнения работы по фазе I, по использованию монолитных каталитических реакторов в топливном процессоре, контролю загрязнения CO в батарее топливных элементов, недорогим электрод-мембранным сборкам и по интеграции топливного процессора с батареей топливных элементов МТЭПО производства фирмы "Баллард".

Основной целью фазы II является разработка и испытание энергоустановки на топливных элементах мощностью 30 киловатт. Кроме деятельности по разработке компонентов и систем топливного процессора и батарей топливных элементов, будут разработаны и испытаны контрольные системы, датчики и вспомогательное оборудование, необходимые для интеграции системы. Основные задачи для решения во время фазы II состоят в разработке компактной и быстро запускаемой установки для реформинга метанолового топлива с хорошими переходными характеристиками и низким выделением CO, а также в разработке недорогой батареи топливных элементов с высокой плотностью энерговыделения при работе на смеси продукта реформинга с воздухом под относительно низким давлением.

On Direct and Indirect Methanol Fuel Cells For Transportation Applications

Shimshon Gottesfeld
Los Alamos National Laboratory
Los Alamos, NM 87545, USA

Polymer electrolyte fuel cell (PEFC) technology has advanced quite dramatically in the last few years, to the point of being considered a viable option for primary power sources in electric vehicles. A significant effort to advance this technology, to a point where lower cost can be achieved together with high performance and reliability, has been invested at the Fuel Cell Core Research Group of Los Alamos National Laboratory. Highlights of this work will be described.

The systems considered for transportation applications have been based on either hydrogen carried on board the vehicle or on the steam reforming of methanol to generate a mixture of hydrogen and CO_2 as the feed stream for the fuel cell stack. The latter system has been considered an attractive option thanks to the high energy density of the fuel (methanol), its availability and the relatively simple fuel distribution system required. On the other hand, the complexity and additional weight and volume associated with the reformer on board the vehicle have presented significant challenges. This has brought up again questions on the possible viability of direct oxidation methanol fuel cells (DMFCs).

Recent advancements in DMFC R&D have been impressive. The use of PtRu anode electrocatalysts and Pt cathode electrocatalysts (albeit at relatively high loadings) in polymer electrolyte DMFCs has resulted in significant enhancements in performance, particularly for cells operated at temperatures as high as 120-140 C. Operation at such elevated temperatures is possible in such polymer electrolyte cells by keeping the anode in contact with liquid films of methanol-water.

In work at Los Alamos on polymer electrolyte DMFCs, the same membrane/electrode assembly techniques developed previously for hydrogen/air PEFCs were employed. Optimization resulted in high performance from composite catalyst/ionomer layers on the order of 5 microns thick. Under such conditions, the power density achievable in polymer electrolyte DMFCs can reach 0.35 W/cm^2 (0.7A/cm^2 @ 0.5V) in methanol/oxygen cells, with a typical lowering in cell voltage of 50-100 mV at a given current density when the cell is operated with an air cathode.

This significant recent increase in demonstrated performance, has brought the power density of polymer electrolyte DMFCs to a level which is only 3 times lower than that of methanol reformate/air fuel cell.

Acknowledgment: This work was supported by the US DOE, Office of Transportation Technology.

О применении метанольных топливных элементов прямого и непрямого окисления для нужд транспорта

Шимшон Готтесфельд
Лос-Аламосская национальная лаборатория
Los Alamos, NM 87545, USA

Технология электролитно-полимерных топливных элементов (ЭПТЭ) сделала настолько резкий скачок в своем развитии за последние годы, что в настоящее время ее считают реальным вариантом основного источника питания электромобиля. Большой объем работ по дальнейшему развитию этой технологии с целью снижения ее себестоимости наряду с улучшением рабочих характеристик и надежности проведен Группой по исследованию рабочих участков топливных элементов из Лос-Аламосской национальной лаборатории. В докладе описываются основные этапы и результаты этой работы.

Системы, рассматриваемые с точки зрения применения в транспортных средствах, обычно базируются либо на принципе водородного аккумулятора, находящегося внутри автомобиля, либо на принципе реформинга метанола под давлением пара для получения смеси водорода и CO_2 в качестве потока, питающего топливную структуру. Последняя система всегда считалась привлекательным вариантом, благодаря высокой энергонапряженности топлива (метанола), доступности и относительно простой системе распределения топлива. С другой стороны, сложность, а также дополнительный вес и объем, привносимые размещаемой в автомобиле установкой для реформинга, поставили перед разработчиками новые важнейшие проблемы. Еще раз были подняты вопросы жизнеспособности метанольных ТЭ прямого окисления (МТЭПО).

Прогресс, достигнутый в последнее время в области НИОКР по МТЭПО заслуживает большого уважения. Использование электрокатализаторов с содержанием PtRu для анода и с содержанием Pt для катода (хотя и в относительно высоких концентрациях) в электролитно-полимерных МТЭПО привело к значительному улучшению рабочих характеристик, в особенности тех ТЭ, которые испытывались при 120-140°C. Работа МТЭПО при таких высоких температурах возможна при контакте анода с жидкой пленкой метанольно-водяного раствора.

При работе над электролитно-полимерными МТЭПО в Лос Аламосе использовались те же методы мембранной/электродной сборки, что и разработанные ранее для водородных/воздушных ЭПТЭ. В результате оптимизации получены более высокие выходные параметры, обусловленные применением композиционных слоев катализатора/иономера порядка 5 микрон толщиной. При таких условиях энергонапряженность электролитно-полимерных МТЭПО может достигать 0,35 Вт/см^2 (0,7 А/см^2 при 0,5 В) в метанольных/кислородных ТЭ, с типичным понижением напряжения ТЭ 50-100 мВ при соответствующей плотности тока в случае, когда топливный элемент работает с воздушным катодом.

Продемонстрированное значительное улучшение выходных параметров позволило вывести электролитно-полимерные МТЭПО по энергонапряженности на уровень, который лишь в 3 раза ниже, чем уровень метанольно-реформированного/ воздушного топливного элемента.

Благодарность спонсорам: Данная работа проводилась при поддержке Отдела технологий транспорта Министерства энергетики США

"FUEL CELLS WITH SOLID POLYMER ELECTROLYTE AND THEIR APPLICATION ON VEHICLES"

V.Fateev

Ecological problems in large cities result in significant changes in demands for vehicles emission and the price for the purification systems is increasing contiguously.

One the best solution of the problem is the application of hydrogen fuel cells on city vehicles.

Comparison of different types of fuel cells shows that high temperature fuel cells (solid oxides and molten carbonates) can not be used because of high inertia and useless heat losses when vehicles are used in cities.

Alkaline fuel cells are too expensive, very sensitive to impurities and have rather small life time.

Phosphoric acid fuel cells may be useful for several kind of vehicles (for example, locomotives, ships) but as for city vehicles they are not quiet sufficient because or rather low efficiency, relatively high operation temperature and application of rather aggressive electrolyte.

Fuel cells with solid polymer electrolyte are more convenient for this purpose as they are working at temperatures < 100 C, have tow inertia, high productivity and are not so sensitive to impurities, especially to CO2. But still there are some problems due to high price of solid polymer electrolyte, application of noble metals and rather high demands for gas purity.

In Russia solid polymer electrolyte MF-4-SK is developed for fuel cells. This electrolyte is based on perfluorinated polymer with functional sulfogroups and it's parameters are rather close to Nation.

Intensive investigations on optimization el solid polymer electrolyte properties and on reduction of noble metal amount used for electrocatalyst are carried out.

It is obvious that though the fuel cell is the most important component of hydrogen vehicle but systems of hydrogen production, storage and hydrogen safety are also very important.

Special super light balloons with pressure up to 300 atm and catalytic burners are developed.

Methanol and natural gas conversion systems for production of hydrogen with reduced concentration of CO are under development. At the same time investigations on catalysts for fuel cell which are not sensitive to CO are carried out to reduce the price of converters.

At the same time problems of optimal transmission system development and the arrangement of the whole systems on the vehicle have to be solved.

The first step in development of city hydrogen vehicle is the city bus. Large cooperation consisting of several research and technological institutes and plants is organized.

ABSTRACT

The Commercialization of Proton Exchange Membrane Fuel Cells for Transportation Applications

Larry Wismer
AlliedSignal

Environmental concerns with air quality and global warming have triggered strict federal ambient ozone air quality standards. Areas of non-attainment of these standards exist across the United States. Because it contains several of the most difficult attainment areas, the State of California has adopted low emission standards including a zero emission vehicle mandate that has given rise to development of hybrid electric vehicles, both battery-powered and fuel-cell powered. Fuel cell powered vehicles, using on-board hydrogen as a fuel, share the non-polluting advantage of the battery electric vehicle while offering at least three times the range of today's battery technology.

The basic technology of the fuel cell dates back over a hundred years. Fuel cells were used in early space exploration, but had not been practical for terrestrial transportation due to size, weight and cost. Recently, however, research has led to the advancements in Proton Exchange Membrane (PEM) fuel cells that can provide sufficient power in a package small enough for light-duty passenger cars and trucks. The remaining challenges are to reduce the manufacturing costs of these power plants to levels competitive with conventional internal combustion engines, gain user acceptance, and develop the supporting infrastructure to accelerate the transition to fuel cell powered vehicles.

Recognizing the national priority to conquer this challenge, the Federal government is funding development of direct-hydrogen fueled PEM fuel cells in conjunction with the multi-agency/industry Partnership for a New Generation of Vehicles. As a recipient of a $ 15MM award, the team of Chrysler and AlliedSignal, led by Chrysler's Pentastar Electronics has embarked on an aggressive 30-month program to develop a fully integrated fuel cell system that employs design-to-cost methodologies resulting in a system that is transportable to mass production in an automotive cost structure. The mission of the program entitled Direct-Hydrogen-Fueled Proton Exchange Membrane Fuel Cell Powered Hybrid Vehicle (DPHV) is to:

> Design, fabricate, and test a complete direct-hydrogen-fueled PEM fuel cell system that can be economically produced and comply with all safety, environmental and consumer requirements for vehicle applications for the 21st century.

Ladies and Gentlemen, Dear Colleagues,

I would first like to thank the Organizing Committee for the invitation to take part in such important event like this Workshop.

I would also like to say a few words about the A.N. Frumkin Institute of Electrochemistry of the Russian Academy of Sciences. The Institute was founded by Professor Alexander Naumovich Frumkin in 1958 on the base of the Department of Electrochemistry of the Institute of Physical Chemistry of the Academy of Sciences of the USSR. As B. Lyubovin noted in his speech yesterday, since its foundation our institute has been a participant of all-union programs on fuel cells. I would like to add that Professor A.N. Frumkin was also the first Chairman of the Council on Fuel Cells of the Academy of Sciences of the USSR (1961).

Professor A.N. Frumkin was a great authority. In 1966 he was elected the President of the International Society of Electrochemistry. He founded the journal *Elektrokhimiya* (English title Soviet *Electrochemistry*). The journal is now call the *Russian Journal of Electrochemistry.*

Professor A.N. Frumkin was a member of more than 20 foreign academies of sciences and scientific societies (two of which were in the USA: National Academy of Sciences, and the American Academy of Sciences and Arts) and was also awarded with the highest award of the American Chemical Society, the Palladdium Medal.

The 6th International Frumkin Symposium, "Fundamental Aspects of Electrochemistry" and dedicated to Frumkin Centenary (1895-1995), was held in Moscow on August 21-25, 1995. Thirty foreign researches took part in this Symposium.

I myself was involved in the decision of scientific problems of fuel cell in the sixties when

THE METHOD OF STANDARD POROSIMETRY

V.E.Kazarinov

1. Introduction

An important part of the activities of the A.N.Frumkin Institute of Electro-

2. Principles of the method

The method is based on the *laws of capillary equilibrium.* If two (or more) porous bodies partially filled with a wetting liquid are in the state of capillary equilibrium then the values of the capillary pressure of the liquid in these bodies are equal. When the wetting angle of the liquid with the bodies is the same (for example if a liquid with a complete wetting - with a zero wetting angle - is used), than, according to the well known Laplace equation, *the largest pores filled with the liquid are of the same size in both bodies.*

[Laplace equation $p_k = -2\sigma \cos \Theta / r_{max}$,
where σ - the surface tension (interfacial tension) of the liquid,
Θ - the wetting angle, r_{max} - the maximum radius of pores filled with the liquid]

If for one of the porous bodies (called standard sample) the pore size distribution is known, then by determining for different overall volumes of the liquid the distribution of the liquid between the two bodies, the pore size distribution for the second body (test sample) can be calculated.

The amount of liquid in the samples is determined by weighing. As working liquid usually hydrocarbons (octane, decane, and others) are used which completely wet most of the materials. Thus the assumption of equal wetting angle is fulfilled. In some special cases other liquids are used, e.g. water.

The porous standard and test samples are prepared in the shape of discs with thickness 0.1-3 mm. They are washed, dried, weighed; after this they are (under vacuum) filled with the liquid. The stack of porous samples is assembled in a special clamping device (Fig. 1) in which the samples are tightly pressed to each other. In the case of readily compressible (soft) materials the pressure must be controlled (e.g. by sylphon bellows). In the assembly the test samples (1) are usually placed between two standard samples (2).

From this assembly a small portion of the liquid is evaporated through the open surface (3) by heating and/or vacuum treatment or by a flow of dry inert gas. When a certain amount of liquid is removed the open surface of the samples is closed up with a plug and the assembly is stored for a certain time (1-30 minutes) to allow the establishment of a new capillary equilibrium. Afterwards the stock is disassembled, the samples wheighed. After this the stock is reassembled and all listed operations are continued periodically until all the liquid has practically completely evaporated from the samples.

The attainment of capillary equilibrium can be controlled by the use of two standard samples, one of which is placed at the open surface of the stack (where the liquid evaporates) and the other one at the closed surface. If during the experiment the amounts of liquid in both standard samples correspond to their (known) distribution curves then an equilibrium is established throughout the whole stack.

With this method porograms can be measured also for *powdered materials*. These materials are placed between two sheets of filter paper. Other samples of filter paper without powder are also assembled in the stack. By substracting the porograms of the "empty" filter paper samples from the porograms of the test sample the pore volume distribution curve of the powder can be determined.

The pore size distribution for the standard samples must be deterined by other methods, e.g. by mercury porosimetry. For these samples materials are used that are sufficiently strong and are not deformed or amalgamated by mercury, e.g. nickel or ceramic materials.

Standard porosimetry with suitable standard samples and working liquids can be used for measurements of *pore sizes in the range from 1 nm up to 100 μ*. The time needed for the measurement depends on the pore characteristics of the sample and varies between 2 and 10 hours. The accuracy of this method depends mainly on the accuracy of measuring the pore size distribution curve of the standard samples. This can be done by mercury porosimetry with an accuracy of about 1% of the total pore volume. As was shown by special statistical measurements under suitable conditions the error of the results due to the method of standard porosimetry itself is about 1%.

3. Applications of this method

In the following I will give some examples of the application of this method for the investigation of different problems with fuell cells and batteries.

3.1. Structural changes during charge/discharge of battery electrodes

The investigation of *structural changes of battery electrodes during discharge and during cycling* is of great importance for a better understanding of their properties. As most of the metals used in such electrodes (lead, cadmium, silver, etc.) are easily amalgamated, mercury porosimetry can not be applied for this purpose. An other disadvantage of mercury porosimetry is the impossibility to perform repeated measurements on one and the same electrode. *The method of standard porosimetry is non destructive and allows such measurements at different phases of the charge/discharge process.* Indeed, even for soft or frail materials there is no deteriorating influence of measurement on samples (in contrast to mercury porosimetry) and after drying up it fully retains its previous structure.

From the porograms for the negative electrode of the lead acid cell (Fig. 2) it can be seen that freshly pasted electrodes (curve 1) have a double porosity with a great amount of pores of radii between 7 and 300 nm and a smaller amount of pores between 6 and 10 μ. The main effect of formation of this electrode is the development of pores in a narrow pore size range between 800 and 3200 nm. A significant part of these pores is maintained for all states of charge of the electrode during cycling. It seems that these pores are important for the transport of sulfate ions, particularly at high current densities.

3.2. Porosimetry of deforming samples (electrodes, separators, etc)

Sometimes mercury porosimetry is used for investigation of samples with a *low mechanical strength.* To reveal the influence of high mercury pressures on such samples the results of measurements by mercury and by standard porosimetry were compared. The effect of deformation depends on the nature of the material. In Fig. 3 differential porograms are shown for a fibrous filter material FPIAN-5 which is used in our country as separator in batteries. It can be seen that the deformation changes the shape of the curves: the number and the position of the maxima on the curves is different. They coincide only in the pore size range from 100 to 1000 nm; this points to a rigid microporous structure within the fibers.

3.3. Swelling of porous materials (separators, membranes).

When a porous material with an insufficiently rigid structure is soaked with a wetting liquid a volume increase (swelling) under the influence of the liquid's capillary pressure p_k is possible. If such a material is used in a liquid medium it is important to know *its porous structure just in this medium.*

The structure of chrysothyl asbestos widely used as separator in different electrochemical devices (electrolysers, fuel cells etc.) was studied. As working liquids octane, water and an alkaline solution were used. In Fig. 4 differential porograms measured by this method are shown. In octane (curve 1) there is practically no swelling of the asbestos and the porogram is characteristic for its native porous structure. In water (curve 2) swelling is due to an increase of the volume of pores with radii in the range 1 - 45 mm. In the alkaline solution (curve 3) there is a further volume increase in the range of the largest pores. In the case of ion exchange membranes (solid polymer electrolytes) a different kind of swelling can be observed. From Fig. 5 it can be seen that for the anion exchange membrane MA-100 in water the pore volume increases almost an order of magnitude mainly as the result of formation of smaller pores (below 10 nm)

3.4. The influence of pressure on the structure (catalysts, etc.)

Porous materials are often manufactured by pressing of powders. Standard porosimetry (in contrast to mercury porosimetry) gives the possibility to investigate the structure of porous and dispersed materials *at fixed values of pressure.*

In Fig. 6 porograms for Raney silver (used as catalyst for oxygen electrodes) measured during a stepwise pressure increase are shown. While increasing the pressure from 0.05 to 5 MPa, first the volume of the largest pores diminishes and then the volume of smaller pores in the range from 2.6 to 3.6 μ. These pores are located between individual particles of the catalyst. The structure inside the particles with pores of lower radii (the primary structure) is not altered. However when increasing the pressure to 10 MPa and higher, a second stage of compressing is reached connected with a destruction of the individual particles. The boarder between the primary and the secondary structures corresponds to pore radii of about 3.6 μ. Thus, standard porosimetry gives the possibility to *investigate separately the porous structure of individual primary particles and the secondary structure of agglomerates of particles.*

3.5. Measurement of wetting angles

The measurement of wetting angles for porous materials is connected with difficulties, especially if these materials can not be prepared with a smooth surface (e.g. carbons, soil samples, building materials etc.). Standard porosimetry gives such a possibility for liquids whose wetting angle is lower than 90°. For this purpose porograms with the test liquid and with a standard liquid whose wetting angle is known (e.g. hydrocarbons with a zero wetting angle) are measured. The curves for the two liquids will be shifted along the log r axis (Fig. 7). From this shift the ratio of the wetting angles of the two liquids can be determined. If the value of the wetting angle for the test sample is not constant but depends on the pore size, then there will not only be a shift but also some deformation of the porogram. From this deformation the dependence of the wetting angle on the pore size can be found.

As an example in Fig. 8 the results of such measurements for samples of activated carbon are shown. Decane and water were used as working liquids. It can be seen that the micropores are practically hydrophilic. With increasing pore radius up to 10 nm the wettability with water decreases (wetting angle increases). Almost all the pores with a radius higher than 10 nm are hydrophobic.

3.6. Investigation of partially hydrophobic electrodes

Multicomponent porous materials with a mixed water wettability (hydrophobic-hydrophilic materials) are widely used as electrodes in fuel cells and other electrochemical devices, as well as in other fields. Standard porosimetry gives the possibility to obtain *information on the structure and surface properties of such kind of materials.* For this purpose, measurements are performed with several liquids with a different wettability of each component of the material.

In Fig. 9 the results of such measurements for the active layer of fuel cell electrodes containing platinum black and teflon particles are shown. In this figure the dependence of the differential pore volume on pore size is plotted along the x - axis, whereas the dependence on the hydrophobicity factor ρ (fraction of the pore surface occupied by the hydrophobic material) is shown along the y - axis. Such a differentiation between geometric structure and surface properties which was achieved with the method of standard porosimetry is quite unique and previously was not described in literature.

4. Automation of measurements

The described method includes a great amount of manual operations: multiple assemblage and disassemblage of the stack, weighing of the individual test and standard samples etc. In order to reduce the amount of operations a mechanical device was designed which allows an automatic assemblage and disassemblage of the stack, partial evaporation of the working liquid and the subsequent transfer of the samples to an electronic balance. The results are accumulated and processed in a PC. In the near future the production of such automated devices is planned (together with the firm "Sartorius" from Germany).

5. Conclusions

A porosimetric method was developed which allows the investigation of all kinds of porous materials including soft or frail materials and powders. This method is very well suited for the investigation of electrodes used in fuel cells and batteries, as well of a variety of other materials. This method is nondestructive and allows repeated measurements on one and the same sample. The method can be used for a wide range of pore sizes from 1 nm up to 100 μ. The accuracy of this method corresponds to the accuracy of mercury porosimetry. The use of different working liquids allows the evaluation of wetting angles and wettability of multicomponent porous materials. No complex devices and high pressures are needed.

The method of standard porosimetry is now widely used in many scientific and industrial laboratories throughout Russia for the investigation of porous materials used in electrochemical devices (electrodes, membranes) and elsewhere.

Bibliography:

1. Yu.M.Volfkovich, V.S.Bagotzky, The method of standard porosimetry. I. Principles and possibilities, *J.Power Sources*, 48 (1994) 327-338.
2. Yu.M.Volfkovich, V.S.Bagotzky, The method of standard porosimetry II. Investigation of the formation of porous structures, *J.Power Sources*, 48 (1994) 339-348
3. V.S.Bagotzky, Yu.M.Volfkovich, L.S.Kanevskii, et al., Changes to the porous structure of carbon cathodes during the discharge of Li-$SOCl_2$ cells, in: *Power Sources 15*, A.Attewell, T.Keley eds., Chapter 27, pp. 359-375, Intern.Power Sources Committee, 1995.
4. Yu.M.Volfkovich, V.S.Bagotzky, T.K.Zolotova, E.Yu.Pisarevskaya, The influence of the porous structure, microkinetics and diffusion properties on the charge/discharge behaviour of conducting polymers, *Electrochim.Acta* (in press)

LEGENDS TO FIGURES

Fig. 1 - Clamping device: 1 - test samples, 2 - standard samples, 3 - open stack surface, 4 - vessel, 5 - an attached nut, 6 - centering ring, 7 - insert, 8 - a set of rings for ridge, 9 - a split (a disc with holes), 10 - a vacuum vessel, 11 - sylphone

Fig. 2 - Integral porograms for a lead electrode after different stages of manufacturing and cycling: pasting (1), formation (2), charging (3), discharge at low current density (4), starter discharge at +20 C (5) and -20 C (6).

Fig. 3 - Differential porograms obtained by MSP (1) and MMP (2) for FPIAN-5 filters.

Fig. 4 - Differential porograms for asbestos measured with different working liquids: octane (1), water (2), solution of 7 M KOH (3).

Fig. 5 - Differential porograms for the ion exchange membrane MA-100 measured by means of evaporation of octane (1) and water (2).

Fig. 6 - Integral porograms for pressed Raney silver powder; pressure (MPa): 1 - 0.05, 2 - 0.2, 3 - 5, 4 - 10, 5 - 15.

Fig. 7 - Integral porograms of a porous PTFE sample measured by MSP with cyclohexanone (1), isopropyl alcohol (2), decane (3) and measured by MMP (4).

Fig. 8 - Dependence of the wetting angle of water on pore size for active carbon adsorbents SKN-1K (1) and SKN-4M (2).

Fig. 9 - Differential pore distribution function in terms of radii and in terms of hydrophobicity factors ρ for a platinum electrode containing 16% PTFE.

Fig.1

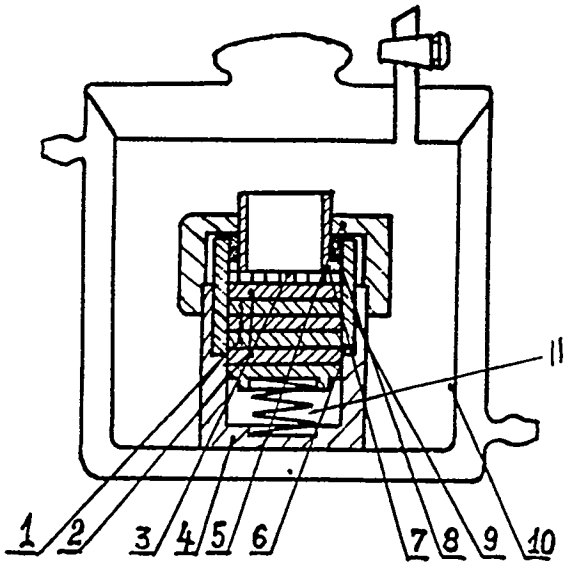


Fig.2

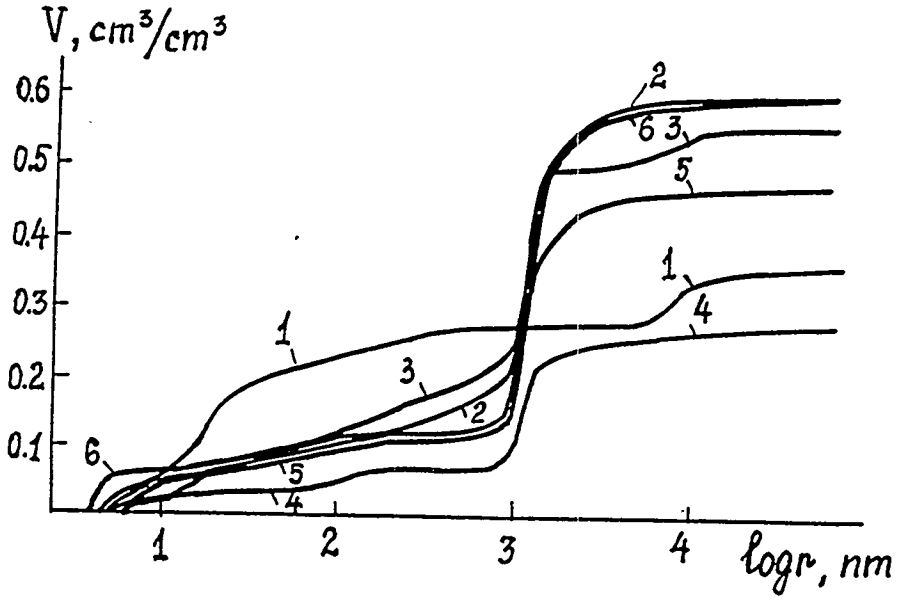


Fig.3

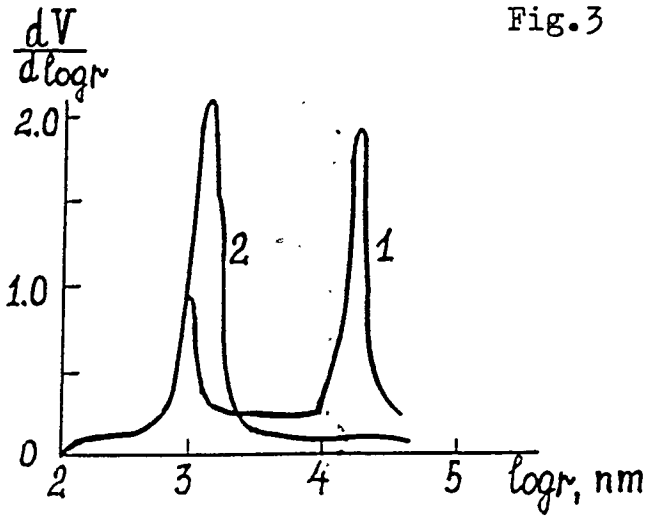


Fig.4

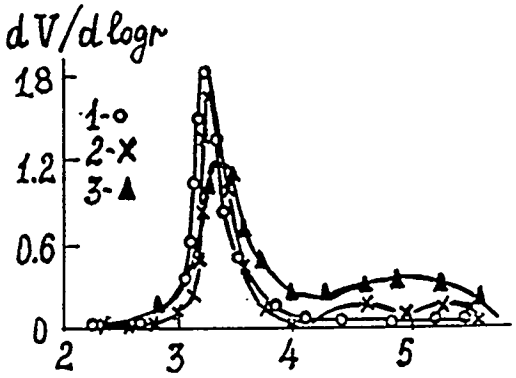


Fig.5

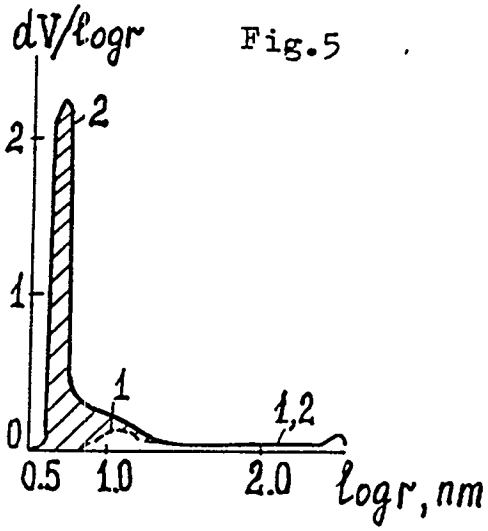
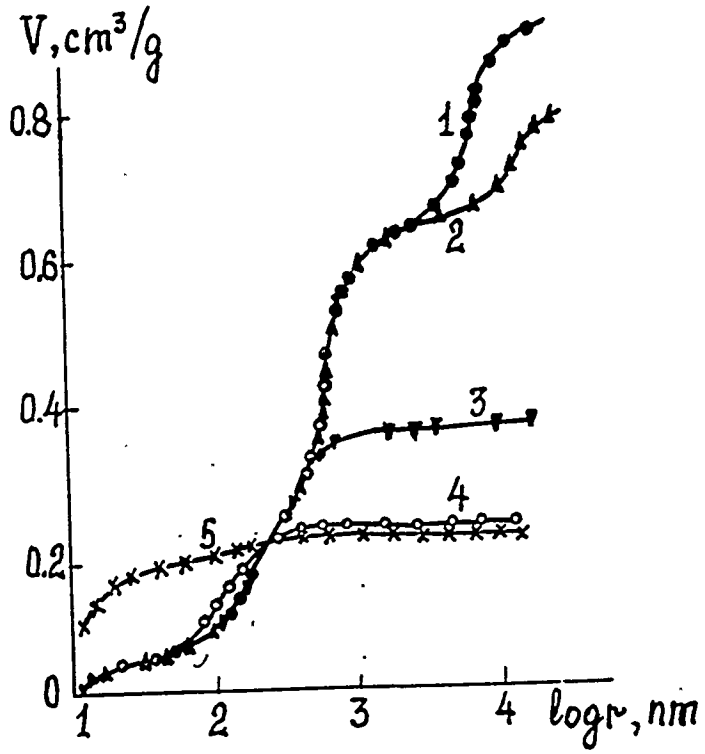


Fig.6



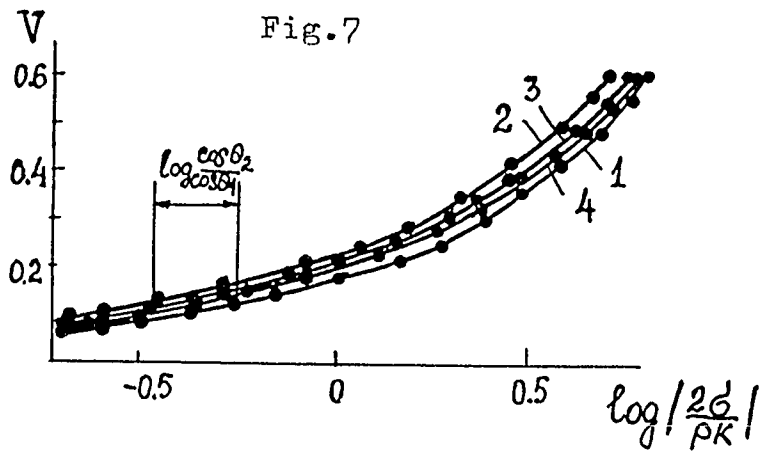


Fig.7

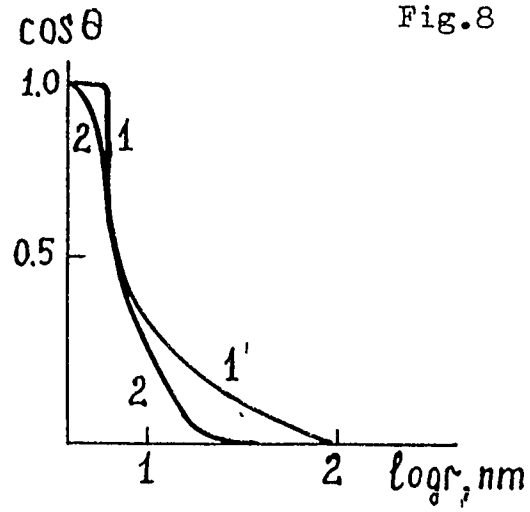


Fig.8

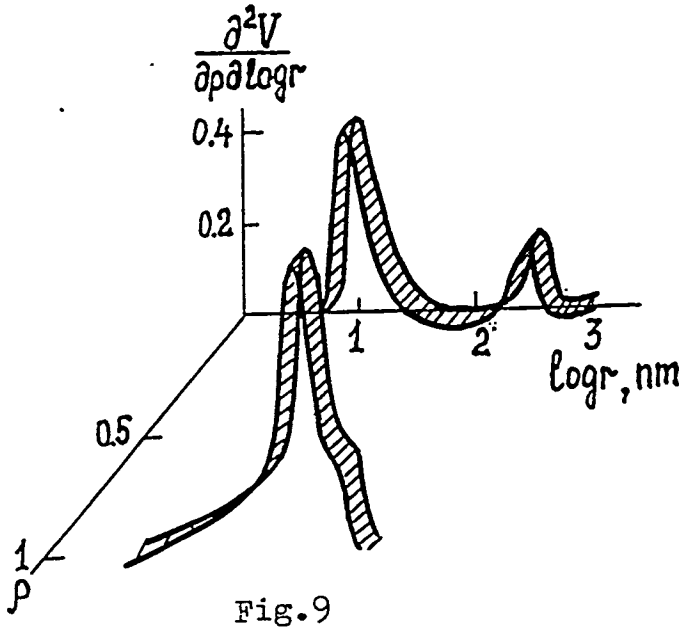

$\frac{\partial^2 V}{\partial \rho \partial \log r}$
0.4
0.2
1
2
3
logr, nm
0.5
1
ρ

Fig.9

DEVELOPMENT OF PEM FUEL CELL TECHNOLOGY AT INTERNATIONAL FUEL CELLS

by
Douglas J. Wheeler
Manager, Technology Development

IFC is Committed to Establishing a PEM Fuel Cell Business

The PEM technology has not matured to the level of phosphoric acid fuel cells. Several factors have held back PEM and these include the high cost of membrane, sensitivity of PEM fuel cells to low levels of carbon monoxide impurities, the requirement to maintain full humidification of the cell, and the need to pressurize the fuel cell in order to achieve the performance targets. Because of the potential benefits associated with a PEM power plant, IFC embarked on a systematic program to resolve the technical issues and identify commercial applications for the PEM fuel cell.

The immediate applications for a PEM fuel cell are those with a ready supply of high purity hydrogen, meaning hydrogen with low carbon monoxide content and reduced carbon dioxide content. By definition, this includes those technologies where compressed hydrogen can be readily applied, such as fuel cells used for UPS and transportable applications. For special cases, PEM fuel cells as portable devices can be considered where the weight of the hydrogen container can be tolerated. The present cost of membrane and the lack of a low cost, low weight hydrogen source continue to limit the PEM commercialization, limiting applications to space and defense.

The IFC PEM Fuel Cell Concept

International Fuel Cells (IFC) has identified a hydrogen fueled PEM fuel cell concept that leverages recent research advancements to overcome two major economic and technical obstacles that have prevented the introduction of practical, commercial PEM fuel cell systems. The commercial barriers are (1) the high cost of the PEM membrane and (2) failure to maintain proper water management within the cell. IFC partially resolved the latter problem with the invention of the passive water management system in the late 1980's and demonstrated this in an Unmanned Underwater Vehicle (UUV) PEM fuel cell. On the economic side, precise management of the water in a PEM fuel cell now permits operation at atmospheric pressure eliminating the costly and efficiency consuming pressurization of a PEM fuel cell.

Even more important for the resolution of the economic cost limitations of a PEM fuel cell, is the recent development of ultra thin, Nafion® based, membranes. The ultra thin membranes offer the opportunity to reduce the high cost of a PEM membrane that is a major limitation to the commercialization of PEM fuel cells. International Fuel Cells will fuse these technologies into a PEM fuel cell power plant. The targeted stack performance specification is 800 - 1000 W/kg, 800 W/l, with rapid start-up.

PEM Future Technology

Future PEM fuel cell technology development at International Fuel Cells will remain applications driven with recognition of the advantages and weaknesses of the PEM fuel cell. IFC continues to focus on driving the PEM fuel cell cost down through a combination of membrane development, cell stack design development, hydrogen storage, and improving the tolerance of PEM fuel cells to carbon monoxide containing fuels.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ МЕМБРАННЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ПРОТОННЫМ ОБМЕНОМ НА ФИРМЕ "ИНТЕРНАШИНАЛ ФЬЮЭЛ СЕЛЛС"

Даглас Дж. Уилер
Менеджер по технологическим разработкам

Фирма ИФС взяла на себя обязательство основать предприятие по производству мембранных топливных элементов с протонным обменом (МТЭПО)

Технология МТЭПО еще не достигла уровня, при котором возможно применение фосфорно-кислотных топливных элементов (ФКТЭ). Разработки МТЭПО задержались по нескольким причинам, в том числе, из-за высокой стоимости мембран, чувствительности МТЭПО к низким уровням загрязнения углекислым газом, требования по поддержанию полного увлажнения элемента и из-за необходимости герметизации топливного элемента для того, чтобы достичь целевых рабочих характеристик. Учитывая потенциальные выгоды, связанные с энергоустановками на МТЭПО, фирма "ИФС" начала применять системный подход к программе, направленной на разрешение технических задач и определение коммерческих сфер применения МТЭПО.

Наиболее очевидные области применения МТЭПО - это те, где имеется легко доступный запас высокоочищенного водорода, а именно, водорода с низким содержанием CO и пониженным содержанием CO_2. По определению, сюда входят такие технологии, в которых легко применим сжатый водород, например, топливные элементы, используемые в источниках бесперебойного питания и в транспортных средствах. В отдельных случаях, когда вес контейнера с водородом не является препятствием, можно рассматривать использование МТЭПО в качестве портативных устройств. Из-за высокой стоимости мембран и отсутствия недорогого и легкого источника водорода коммерциализация МТЭПО в настоящее время ограничивается их применением в космической и оборонной областях.

Концепция МТЭПО, разработаная фирмой "ИФС"

Фирма "ИФС" разработала концепцию МТЭПО, работающих на водороде, которая использует недавние научные достижения для решения двух основных экономических и технических проблем, которые до сих пор препятствовали практическому, коммерческому использованию систем с МТЭПО. В коммерческом плане такими препятствиями являются 1) высокая стоимость мембран и 2) неспособность поддерживать необходимый уровень влажности внутри элемента. С изобретением пассивной системы контроля воды в конце 1980-х годов и успешной демонстрацией системы с МТЭПО, установленной на автоматическом подводном транспорте (UUV), фирма "ИФС" частично разрешила вторую проблему. Экономическая выгода изобретения состоит в том, что возможность точно контролировать воду в МТЭПО теперь позволяет их

эксплуатацию под атмосферным давленем, ликвидируя дорогостоящую и негативно отражающуюся на КПД герметизацию МТЭПО.

Еще более важными для разрешения проблемы высокой стоимости МТЭПО являются недавно достигнутые успехи в разработке ультратонких основанных на нафионе мембран. С внедрением ультратонких мембран снизится стоимость МТЭПО, открывая пути для более широкой их коммерциализации. Фирма "ИФС" объединит эти технологии в энергетическую установку на МТЭПО. Проектные спецификации для рабочих характеристик батареи - 800-1000 ватт/кг, 800 ватт/1, быстрый старт.

Будущее технологии МТЭПО

Будущие разработки технологий МТЭПО на фирме "ИФС" будут развиваться по направлениям, определяемым известными преимуществами и недостатками МТЭПО. Фирма продолжает концентрировать свои усилия на снижении стоимости МТЭПО. Работа в этом направлении представляет собой сочетание усилий по разработке мембран, конструированию батарей топливных элементов, разработке водородных контейнеров и снижению чувствительности МТЭПО к видам топлива, содержащим углекислый газ.

Plant of electrical and mechanical equipment
Protvino,Moscow region

Capabilities for Managing High-Volume production of Electric Engineering Equipment at the Electromechanical Production Plant.

The plant came into being in 1968 with the purpose to realize the definite tasks in the field of atomic power. It is located in Protvino town in Moscow Region. It is provided with reliable transport lines (motor and railroads). The continuity of service is maintained.

The Electromechanical Production Plant is essentially a research center with experimental facilities and power full testing base with a usual for that type of organizations structure (research divisions, design and processing divisions, manufacturing departments and special departments on processing development and testing). Our production formerly was one-of-a type rocket borne power units. Among the major production of the plant nowadays are heat pipes and the devices of their basis of different function and power with the temperature range from cryogenic to high. Today we are caring out the joint work with "Space system loral" (SS/L) on research and development of the Al/NH3 based heat pipes for usage in the spacecraft panels, the cooperative work with Peking Institute of Space Mechanic and Electrochemistry Academy. The development, production and testing of devices, units and apparatus for different purposes such as medicine, atomic engineering, for usage into spacecraft's, power plants, accelerator complex of High Energy Institute , ext. is provided at our plant. The quantities of personnel consist of 1000 persons.

Volume of output in 1994 consisted of 250$ mln.

The product quality meets the requirements of Russian State Standards and is controlled by State Atomic Inspection and War Ministry Inspection.

Scientific developments of Hydrogen Energy and plasma processing Institute of Russian Scientific Center "Kurchatovsky Institute" and of Electrochemical Institute of Russian Academy of Sciences became the basis of ZEMO conversion program in the field of industrial production of electrochemical devices (ECD) based on Solid polymer electrolyte (SPE) with Nafion ion-exchange membrane.

At the preliminary stage of production the reconstruction of the production building with it's square of ~2000 m^2 was fulfilled to provide works on chemical processing, mounting and testing of ECD of capacity up to 5000 kV based on SPE to meet all of the requirements of no ecological harm and hydrogen security. The one-of-a-type base and test equipment were developed, fabricated and mounted by our own forces. New operating processes have been developed.

So the production of titanium profiled volume net to provide the optimum gas-liquid flow distribution into membrane electrode assemblies has been developed.

The 800 mm^2 bipolar plates of complex configuration with separated leak-proof channels were treated by the method of co-sintering with the fluorine-containing rubber with special properties.

Considering the market analyses and taking into account considerations of adaptability, 3 dimension types electrolyzer modules have been developed to cover the whole range of electrolyzer units.

the 1-st row: with hydrogen capacity up to 0,5 m^3/hour

the 2-nd row: with hydrogen capacity up to 20 m^3/hour

the 3-rd row: with hydrogen capacity up to 100 m^3/hour The most of projects and technological developments are copyright in Russian Federation.

To provide the industrial output of MEAs the industrial testing facilities were separated into some divisions, each of them represents complex of separate industries to carry out special chemical operations (see schematic 1).

Ion-exchange membrane treatment division provides multiple Ion-exchange membrane treatment: soaking into organic (aqueous) solvent; treatment into hydrogen acid and bidistillated water to improve it's structural properties and to reduce it's specific and resistance. Quality control was performed by the methods of impedance spectroscopy, microscopy and spectrophotometry (via the dyied complex combination of metal ions). The division provides production of membranes with different configuration and surfaces square up to 2100 cm^2.

The division of treatment of porous titanium and carbon-graphite current collectors.

Provide multiple treatment using ultrasonic alkaline, acid and distillated water bathes to provide complete evaluation of impurities, such as Fe, and oxidation film from the surface. Application of antitrust loading onto porous titanium collector is performed by the method of thermolysis of platinum chloride hydrogen acid. This technique allows to obtain secure coating to prevent current collector from oxygen and acid distraction under anode conditions and to increase the unit's service life, to decrease it's manufacturing cost and substantively (in some times) decrease the amount of platinum comparatively with the alternative techniques.

Electrocatalyst synthesis division.

There the problems of high active platinum and iridium catalysts obtaining were successfully solved. The volume output of obtained catalysts is sufficient for industrial production of MEAs.

Quality control is performed by the methods of microscopy, sedimentation and potentiodynamics.

Within the period of transfer to large-scale electrolyzer production we had to solve the problem of reduction of platinum loading to decrease the cost of MEA. The novel methods of electrocatalyst synthesis on such substrates as black carbon, titanium dioxide was developed in cooperation with "Kurchatovsky Institute" provide 12 times reduction of platinum loading and 2-3 times reduction of iridium amount comparatively with the initial. The usage of the reliable methods of control and high effective equipment provided the high stability of catalyst quality, what, in it's turn, provide the increase of production volumes.

Electrocatalyst application division.

Within the small-sized (working surface up to 100 cm^2) fuel cells production the used method of chemical electrocatalyst synthesis into the interfacial zone of membrane provided the timely variation of synthesized electrocatalyst layers parameters and the volume of output.

Within the large-sized electrolyzers production so called "varnich" method was used. The method includes application of high dispersed suspension of electrode composition, that is dissolved into the ion-exchange membrane material (in "varnich") onto the current collector surface with the given proportion of electric and ion transport component of charge-carriers.

The usage of "varnich" technology provided the obtaining of uniform catalyst layers with highly developed surface, with high performance and life time. The quality controls performed by the method of impedance spectroscopy, potentiodynamics and potentiostatics. The high level of processing development, the continuous control at the every stage of production provide the stability of MEA performance.

Division of MEA modules mounting and preliminary testing provides units with hydrogen capacity from 0,05 m^3/hour to 100 m^3/hour mounting, adjustment and preliminary testing. Testing division provides testing of electrolyzers with middle (up to 25 m^3/hour) and high (up to 1000m^3/hour) hydrogen capacities and includes 2 self-sufficient testing benches. Each of the benches represents installations for water preparation, water pumping through the electrolyzer, forming gases separation and monitoring of it's performance and based parameters. Each of the benches includes control measuring system, electronic loading device to provide every MEA control. Today we carry out SPE based electrolyzers serial production and production of the devices on their basis, such as gas-flame treatment installations, oxygen generators for medicine, installations for photoresistors burning out, gas generators for chromatography, hydrogen generators for usage into heavy water concentration systems, into water-chemical correlation systems of water-cooled reactors and other types of devices for special needs under the concrete customers demands.

The experimental Fuel Electrolyzer with power capacity of 10-100Wt and efficiency of 60-70% was developed in cooperation with "Kurchatovsky Institute" and with participation of Electrochemical Institute of Russian Academy of Sciences. Experimental modules with power capacity of 1-10 kWt are fabricated. That is because of our high research potential and our experience in space power devices development, that became a basis of newly developed processing of SPE base electrolyzers production, and substantial reserve of industrial facilities, ZEMO has been appointed to be the leading enterprise of the target-oriented program of Atomic Ministry of RF on the development and working out power units based on methanol and SPE based fuel cells.

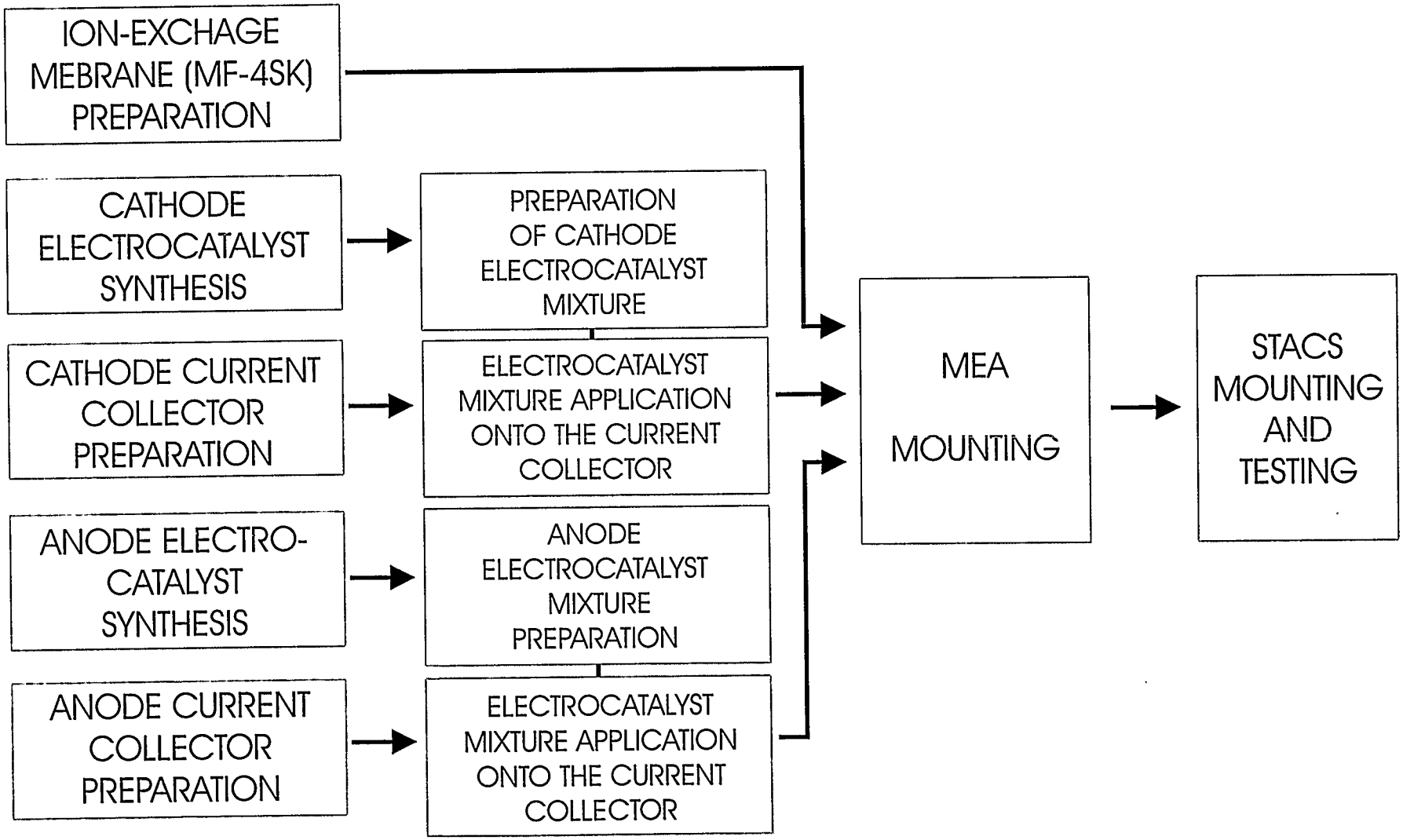
5, Jeleznodorojnaya str.,
Protvino, Moscow region,
142284, Russia

tel.:(095)217-59-41
tel./fax:(0967)74-64-44
tel./fax:(8)27 74-64-44
teletype:Serpukhov,KEDR 205110

Chief manager

Podlednev V.M.

SHEMATIC OF MEA FABRICATION



Арзамас-16
Новицкому Евгению Захаровичу
(для Борисенка Валерия Аркадьевича)

Завод электро-механического оборудования (ЗЭМО)
Россия, Московская область, г.Протвино

Завод основан в 1968 году для решения конкретных задач в области атомной энергетики. Ядро завода, его интеллектуальный потенциал составляют специалисты, окончившие ведущие ВУЗы страны. Сегодня завод на договорной основе выполняет широкий спектр работ для государственных и коммерческих структур. Разрабатывает, изготавливает и испытывает приборы, механизмы, узлы и аппараты, предназначенные для использования в космосе, атомной энергетике, медицине, радиоэлектронике, химии.

Научные разработки Института водородной энергетики и плазменных технологий Российского научного центра "Курчатовский институт" и Института электрохимии Российской академии наук стали базой конверсионной программы ЗЭМО в области промышленного производства электрохимических устройств (ЭХУ) с твердополимерными электролитами (ТПЭ) (типа ионнообменных мембран Nafion).

Складывающаяся в России экономическая ситуация диктовала необходимость освоения промышленного производства в кратчайшие сроки. С этой целью из ведущих инженерно-технических работников в 1990 году было создано специальное подразделение, включающее группы конструкторов по направлениям, технологов и производственно-испытательный комплекс. Производственно-испытательный комплекс размещен в отдельном здании полезной площадью 1.6 тыс.кв.м. Была проведена значительная реконструкция здания как в архитектурном плане, так и в части инженерно-технического обеспечения, позволяющая проведение работ по оригинальным химическим технологиям, сборке и испытаниям ЭХУ с ТПЭ (в частности, электролизеров производительностью до 100 куб.м/час водорода) с учетом требований по водородной безопасности.

Разработка и изготовление опытных изделий велись параллельно с разработкой технологической оснастки и уникального специального оборудования. Одновременно проектировались и изготавливались испытательные стенды, разрабатывался проект реконструкции и проводилась реконструкция производственно-испытательного комплекса, его оснащение технологическим оборудованием и средствами контроля и измерений, отрабатывались новые технологии. Так было освоено производство профилированных объемных сеток из титановой ленты (толщина до 0.2 мм, высота до 3 мм, ширина до 400 мм) обеспечивающих оптимальное распределение газожидкостного потока в мембранно-электродных блоках.

Отработана технология обрезинивания биполяров сложной конфигурации с размерами 800*800 мм и герметичными раздельными каналами с использованием фторкаучуковой резины со специальными свойствами. Отработаны технологические процессы механической обработки, сварки, штамповки новых изделий из титана.

На основе анализа потребительского рынка, а также исходя из условий технологической целесообразности были разработаны и освоены в производстве три типоразмерных ряда электролизных модулей, практически охватывающих весь востребоваемый диапазон.

1 ряд – производительностью по водороду до 0.5 куб.м/час
2 ряд – производительностью по водороду до 20 куб.м/час
3 ряд – производительностью по водороду до 100 куб.м/час

Большинство разработок и технологий защищены патентами РФ.

Для освоения промышленного изготовления электрокатализаторов, коллекторов тока и мембрано-электродных блоков в составе промышленно-испытательного комплекса создана химическая лаборатория, представляющая собой совокупность отдельных производств, обеспечивающих выполнение специальных химических операций.

В состав химлаборатории входят:

- Участок водоподготовки (производительность около 200 л/смену), обеспечивающий химическое производство деионизованной водой с удельным сопротивлением свыше 1 МОм*см. Разработана оригинальная схема очистки воды с применением полипропиленовых фильтров для предварительной очистки воды и последующей 4-х ступенчатой дистилляцией, что позволило получить воду высокого качества с наименьшими экономическими затратами. Каждый испытательный стенд снабжен автономным блоком водоподготовки.

- Участок обработки ионообменных мембран.

Производится многократная обработка ионообменных мембран в водно-органических композициях, азотной кислоте и бидистиллированной воде с целью улучшения ее структурных характеристик и уменьшения удельного сопротивления. Контроль качества мембран осуществляется методом импедансометрии, микроскопии и спектрофотометрии (по адсорбции окрашенных комплексных соединений ионов металлов). Участок обеспечивает производство мембран различной конфигурации и площадью до 2100 кв.см.

- Участок обработки коллекторов тока из пористого титана.

Производится многократная обработка с применением ультразвуковых ванн в щелочах, кислотах и дистиллированной воде с целью обеспечения полного удаления как загрязнений и примесей, так и оксидной пленки с поверхности, и подготовки поверхности титановых коллекторов для нанесения антикоррозийного покрытия. Нанесение антикоррозионных покрытий на коллекторы из пористого титана производится методом магнетронно-ионного распыления и термолиза платинохлористоводородной кислоты с использованием на конечной стадии метода ионной имплантации для изделий, требующих повышенный ресурс. Эти технологии позволяют получить надежное покрытие, предохраняющее коллектор от воздействия кислорода и кислых сред при анодной поляризации. Разработка и промышленное освоение технологии защитных покрытий позволили решить проблему долговечности коллекторов тока и значительно увеличить ресурс работы изделий, существенно снизить трудоемкость и в несколько раз снизить расход платины по сравнению с альтернативными методами.

- Участок синтеза электрокатализаторов.

На участке синтеза электрокатализаторов были решены проблемы получения высокоактивных платиновых и иридиевых катализаторов с развитой поверхностью, в объемах необходимых для промышленного производства мембрано-электродных блоков. Контроль за качеством осуществляется с использованием методов микроскопии, седиментации и потенциодинамики.

При переходе на изготовление крупномасштабных электролизеров и наращивании объемов выпуска продукции встал вопрос о снижении расхода дефицитных и дорогостоящих благородных металлов. Разработанные совместно с ИВЭПТ новые методы синтеза электрокатализаторов на носителях (сажа, диоксид титана) позволили в 12 раз снизить расход платины и в 2-3 раза расход иридия по сравнению с первоначальным. Применение надежных способов контроля и высокоэффективного оборудования обеспечило стабильность высокого качества катализаторов, что дает возможность наращивать объемы производства.

– Участок нанесения электрокатализаторов .

Для различных типов электролизеров целесообразно применение различных методов нанесения электрокатализаторов как на коллекторы тока, так и на поверхность мембранны. Для электролизных ячеек с малой (до 100 кв.см) рабочей поверхностью (генераторы водорода для газовой хроматографии) используется метод химического синтеза электрокатализатора в поверхностном слое мембраны , позволяющий оперативно варьировать параметры синтезируемых электрокаталитических слоев и объемы производства. Для крупномасштабных электролизеров освоена "лаковая" технология, как наиболее полно отвечающая требованиям промышленного производства, заключающаяся в нанесении на поверхность коллекторов тока тонкодисперсной суспензии электродной композиции в "лаке" (растворе) ионообменного материала мембраны, с заданным соотношением электронной и ионной составляющей транспорта носителей зарядов. Применение "лаковой" технологии позволяет обеспечить получение равномерных, с развитой поверхностью трехфазной границы раздела каталитических слоев, обладающих высокими эксплуатационными качествами и большим ресурсом. Контроль за качеством осуществляется методами импедансометрии, потенциодинамики и потенциостатики. Рецептура химических компонентов ,технологические режимы, технологические приемы с использованием как современного стандартного оборудования, так и оборудования оригинальной разработки – ноу-хау, созданные ИВЭПТ и ЗЭМО, уровень отработки технологических процессов, контроль на всех стадиях обеспечили стабильность характеристик мембрано-электродных блоков в целом.

– Участок сборки и предварительных испытаний электролизеров позволяет производить сборку, отладку и предварительные испытания электролизеров с диапазоном производительности от 0.05 куб.м/час до 100 куб.м/час по водороду.

Отделение испытаний электролизеров средней и большой производительности включают в себя два автономных испытательных стенда, позволяющих производить полномасштабные испытания электролизеров средней производительности (до 25 куб.м/час водорода) и большой производительности (до 100 куб.м/час водорода). Каждый из стендов представляет собой инженерные сооружения, позволяющие осуществлять подготовку воды, ее прокачку через электролизер, сепарирование генерируемых газов и контроль их состава и технологических параметров. Каждый стенд снабжен сложными системами КИПиА, сбора и обработки информации с использованием ЭВМ, позволяющими осуществлять диагностику и контроль каждой ячейки электролизного модуля.

В настоящее время на базе электролизеров с ТПЭ заводом серийно выпускаются установки газопламенной обработки, установки выжигания фоторезистов, газовые блоки для хроматографии, установки получения кислорода и кислородо-озоновых смесей для медицины, генераторы водорода для систем обогащения тяжелой воды, коррекции воднохимического режима водоохлаждаемых реакторов и другие, разрабатываемые под конкретные требования заказчиков.

Большой опыт накопленный на ЗЭМО в области создания ЭХУ с ТПЭ, созданная инфраструктура и имеющееся оборудование позволили активно включиться в проблему разработки топливных элементов с ТПЭ с последующей организацией серийного промышленного производства.

Главный инженер ЗЭМО

Подледнев В.Н.

World Wide IFC Phosphoric Acid Fuel Cell Implementation

Joseph M. King, Jr., Vice President, Technology and Business Development,
International Fuel Cells

International Fuel Cells, a subsidiary of United Technologies Corporation, is engaged in research and development of all types of fuel cell technologies and currently manufactures alkaline fuel cell power plants for the U. S. manned space flight program and natural gas fueled stationary power plants using phosphoric acid fuel cells.

IFC's phosphoric acid fuel cell power plant application experience involves over 200 power plants in ratings from 1.5 kW to 11 MW. Applications have included on-site power plants providing power and waste heat or premium quality power to individual buildings or critical loads, distributed power generators operating as part of the electric utility system and power plants for portable military application. While most of the experience is with natural gas fuel, IFC power plants have also operated on naphtha (a light petroleum distillate) and methanol.

ONSI Corporation, a subsidiary of International Fuel Cells produces the 200 kW PC25™ phosphoric acid fuel cell power plant. The first commercial unit of this rating began operation in April 1992. Since that date, more than 60 units have been installed in 12 countries in North America, Asia and Europe. The entire fleet of power plants has experienced over 750,000 hours of operation and 10 individual units have operated for 20,000 hours or more.

These power plants demonstrate the ability to operate on natural gas supplied by production and distribution systems throughout the world. They have been connected to 60 Hz and 50 Hz electrical grids of many different electric utility systems. One installation in the United States operates independently from the grid providing high quality power to sensitive electrical loads in a laboratory facility. Another unit operates connected to the grid under normal circumstances and powers a critical emergency load when grid outages occur. Thermal output of over 700,000 BTU per hour has been interfaced with domestic hot water, space heating, district heating, low temperature industrial process and swimming pool loads. In several units for which thermal data are available, average utilization of the heat produced was 60 percent contributing to an overall efficiency (which includes electrical and thermal use) of 65 percent. Overall availability is in the high nineties.

The PC25 exhaust is virtually free of emissions with nitrogen oxide and hydrocarbon emissions less than one part per million. The clean operation earned them a blanket exemption from emissions permitting in the South Coast Air Quality Management District in California and this permitting exemption is now in place in another air permitting district. Sound level is quite low and permits siting next to quality residential facilities such as hospitals and luxury hotels.

Installation and servicing are performed by customer personnel trained by ONSI using ONSI supplied manuals. ONSI provides 24 hour technical assistance and same-day spare parts dispatch. The power plant operates unattended with capability for remote monitoring and diagnostics. The first scheduled maintenance outage is after one year of operation. Water treatment system resin replacement while the power plant is operating is conducted every 4 months. Unscheduled outages are rare compared to other equipment in this rating class; the fleet meant time between forced outages is over 2100 hours. Individual power plants have operated for over a year between forced outages with many continuous runs exceeding 6 months. The longest continuous run now exceeds 8500 hours. Availability is in the high nineties.

In October 1994, ONSI began operating an improved model of its PC25 power plant. This unit is one third smaller and lighter than the units currently in the field and reliability has been improved by elimination of one quarter of the mechanical components and simplification of the electrical system. The power plant includes complete remote control capability and many features suggested by owners of the current operating units which reduce installation and servicing effort. Operating experience with the first improved unit has been excellent. While developing the improved power plant, ONSI also simplified the manufacturing process and upgraded the automated manufacturing equipment and facility. The capability of most of the manufacturing operations is now 200 cell stacks per day and the remainder can be uprated to this capability on short notice. Production of the improved unit in the enhanced facility is now underway. Development is underway on further improvements which will be introduced to production during the next few years.

Intentionally Left Blank

ВНЕДРЕНИЕ ФОСФОРНОКИСЛЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ФИРМЫ "Ай-Эф-Си" В США И ЗА РУБЕЖОМ

Джозеф М. Кинг, Мл., Вице-президент фирмы "Интернашенл фьюэл селлс" по развитию новых технологий и бизнеса

Фирма "Ай-Эф-Си", подразделение корпорации "Юнайтед Технолоджиз", занимается исследованиями и разработкой технологии производства всех видов топливных элементов (ТЭ). В настоящее время фирма выпускает щелочные энергоустановки для американской программы пилотируемых космических полетов, а также стационарные энергоустановки, работающие на природном газе, с применением фосфорнокислых ТЭ.

В перечень выполненных фирмой "Ай-Эф-Си" заказов входит более 200 энергоустановок на фосфорнокислых ТЭ с диапазоном мощности от 1,5 кВт до 11 мВт. Энергоустановки фирмы применяются в качестве локальных источников энергии и сбросного тепла, источников высококачественной энергии для индивидуальных зданий, пиковых нагрузок, распределенных систем производства электроэнергии, входящих в коммунальные системы, а также в качестве переносных энергоустановок военного образца. Большинство энергоустановок фирмы работает на природном газе, однако у фирмы есть опыт работы с нафтой (легким дистиллятом нефти) и метанолом.

Корпорация "ОНСИ", дочерняя компания "Ай-Эф-Си", производит энергоустановки типа PC25 мощностью 200 кВт на фосфорнокислых ТЭ. Первая промышленная установка этого диапазона работает с апреля 1992 года. С тех пор более 60 установок было введено в эксплуатацию в 12 странах Северной Америки, Европы и Азии. В целом весь комплекс установок проработал более 750 000 часов, причем 10 индивидуальных установок проработали по 20000 или более часов.

Эти энергоустановки продемонстрировали возможность работы на природном газе распределительных систем разных стан мира. Они подключались к линиям электропередач с частотой 60 Гц и 50 Гц различных коммунальных систем. Одна установка в США работает независимо от систем распределения, обеспечивая источником высококачественной энергии чувствительное к перепадам нагрузок лабораторное оборудование. Другая установка присоединена к распределительной системе, обеспечивая аварийное питание во время перебоев, вызванных критической нагрузкой. Энергоустановки с подачей 700 000 BTU (189000 ккал) тепла в час были связаны с системами подогрева воды и воздуха для отдельных помещений и районов, а также с низкотемпературными системами промышленных процессов и системами подогрева бассейнов. На основании данных, имеющихся для нескольких энергоустановок, среднее использование тепла составляло 60 процентов и, соответственно, общий коэффициент полезного действия составил 65 процентов (включая использование электричества и тепла). Суммарный коэффициент готовности находился в пределах от 95 до 99.

Выброс энергоустановки модели PC25 практически свободен от эмиссии; так, например, эмиссия окиси азота или углеводорода составляет менее одной доли на миллион. Чистота процесса позволила полностью исключить его из процедуры получения лицензии в соответствии с "Законодательством об очистке воздуха южного побережья штата Калифорния"; такие же исключения действуют в настоящее время и по отношению к другим региональным законодательным актам по очистке воздуха. Низкий уровень шума позволяет монтировать энергоустановки в непосредственной близости к жилым сооружениям повышенного качества, таким, как больницы или дорогие гостиницы.

Монтаж и обслуживание проводятся по инструкции фирмы "ОНСИ" сотрудниками заказчика, прошедшими курс обучения фирмы. Фирма "ОНСИ" обеспечивает круглосуточную техническую помощь и доставку запасных частей в течение одного дня. Присутствие оператора при работе установки не требуется: мониторинг и диагностика могут выполняться дистанционно. Первый плановый останов на текущий ремонт предполагается после года работы. Во время работы энергоустановки каждые четыре месяца производится замена смол системы водоподготовки. Незапланированные отказы относительно редки по сравнению с другими видами оборудования того же класса. Среднее время наработки на отказ всех работающих энергоустановок составило более 2100 часов. Отдельные энергоустановки работали более года без вынужденного останова, причем очень многие из них проработали непрерывно более шести месяцев. Максимальный срок непрерывной работы на сегодняшний день превышает 8500 часов. Коэффициент готовности находится в пределах от 95 до 99.

В октябре 1994 года фирма "ОНСИ" начала работу по модернизации энергоустановки модели PC25. Новая установка на треть меньше и легче, чем работающие в настоящее время. Повышенная надежность обеспечивается сокращением на четверть числа механических компонентов и значительным упрощением электрической системы. Энергоустановка оснащена полностью автоматической системой дистанционного управления. Кроме того, в конструкцию внесены изменения, предложенные потребителями существующих систем, которые позволяют упростить монтаж и ремонтное обслуживание. Опыт работы первой модифицированной энергоустановки показал блестящие результаты. Одновременно с работой по модернизации энергоустановки фирма "ОНСИ" упростила процесс изготовления и повысила уровень автоматизации оборудования и производства. Производительность большинства технологических операций составляет 200 батарей в день, остальные операции могут быть доведены до этого уровня в короткие сроки. Мы находимся на пути к производству модернизированных энергоустановок в улучшенных условиях производства. Мы приступили к разработке дальнейших усовершенствований, которые будут внедрены в производство в ближайшие несколько лет.

Fuel cell generator development at the Ural Electrochemical Integrated Plant

A.N.Arshinov, B.S.Pospelov, S.B.Puzhaev,
A.S.Stikhin, S.A.Khudyakov, V.M. Gutnik.

Ural Electrochemical Integrated plant (UEIP) is the world largest uranium enrichment enterprise. For over 20 years it has been a reliable supplier of enriched uranium for the nuclear power stations in USA, Europe and Russia.

In 1966 based on production of cermet filters for gas diffusion separation of uranium isotopes, development of alkaline fuel cells was started. In 1968 "Energia" Russian Space Corporation (RSC) placed the order with UEIP for development of the electrochemical generator for the Moon space program. Under this order in 1971 the "Volna" 1.5 kW mobile electrolyte alkaline fuel cell generator was developed with 30 V output voltage, 60 kg weight and 1 000 hours service life.

In 1978 we started and in 1988 finished development of the "Photon" electrochemical generator for the "Buran" space shuttle type spaceship. It had 29 - 31V output voltage, 10 kW nominal power, 160 kg weight (the automatic control unit included) and 2 000 hours service life. The generator high performance must be attributed to application of the matrix type alkaline fuel cells. The "Photon" FCG has passed the full range of design and process development and is ready to use in space programs similar to "Space Shuttle" and "Buran" ones. In 1992 the "Photon" FCG was subjected to the demonstration testing at the European Space Agency fuel cell test facility (ESTEC) in the Netherlands. The tests lasted for two weeks and revealed Russian fuel cell technology compatibility with the

"Hermes" fuel cell requirements. Figure 2 shows the "Photon" FCG stack; its power unit is shown in figure 3.

Reliability is one of the most important FCG features. It was confirmed by a theoretical calculation method with the account of the test results of the FCG as a whole and of its constituent systems as well. For the "Photon" FCG, 1 000 hours was taken as a target operating time; this corresponds to five seven-day missions of the "Buran" spaceship. The "Photon" FCG reliability constitutes 0.984 at a confidence coefficient of 0.9. The level of the "Photon"FCG development is clearly seen in figure 4 which shows all FCG failures revealed in the course of its testing at different time starting with 1983.

In recent years the alkaline fuel cell development work has been aimed at its output voltage and service life increase. The results of this work are given in table 1.

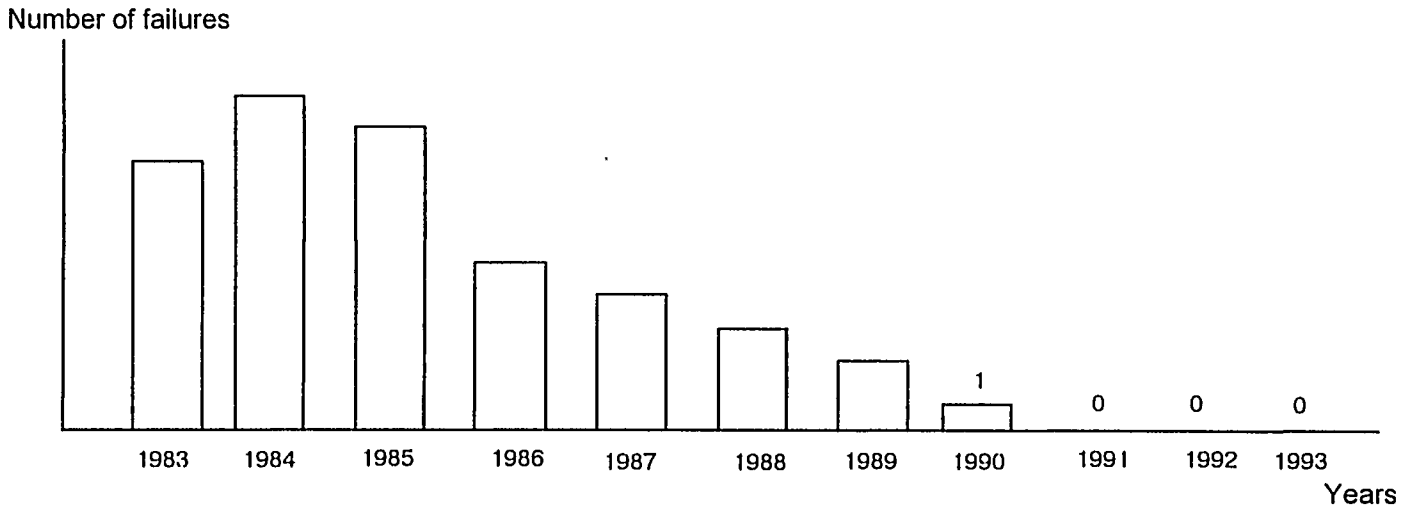


Fig.4 The Photon FCG failures revealed during its design and process development

Table 1. FCG performance characteristics

№	Number of series connected cells	Service life, hr	Fuel cell characteristics						One cell voltage drop rate, mv/day, μv/hr
1	32	6150	Load current, A	0	60	310	390		0.18(7.5) at j=220 mA/cm²
			Current density, mA/cm²	0	42.6	220	227		
			Voltage, V	34.8	32.1	29.7	29.2		
			Power, W	0	1926	920	11388		
2	115	5050	Load current, A	0	20	40	60		0.26(10.9) at j=170 mA/cm²
			Current density, mA/cm²	0	56.8	113.8	170		
			Voltage,V	125	112	108.7	105.6		
			Power, W	0	2240	4348	6336		
3	230	7300	Load current, A	0	4	25	38	56	0.13(5.5) at j=216 mA/cm²
			Current density, mA/cm²	0	22.7	142	216	318.2	
			Voltage, V	246.6	230.9	217.2	208.9	201.6	
			Power, W	0	920	5430	7938	11301	

Thus, the increase of the alkaline FCG service life to 10 000 hours and of its voltage to 300 V and more looks quite practicable. Such performance has been already reached by some fuel cell generators.

The "Photon" FCG pilot plant cost is about 400 000 dollars.

Since 1992, in close contact with "Energia" RSC and [illegible] UEIP has been working at development of mobile, stationary and transport phosphoric acid fuel cell powerplants.

Materials technology research has been performed at UEIP and the basic fuel cell construction materials have been selected. The principal requirements to these materials as well as Russian enterprises capable of performing these materials finishing have been established.

The approaches to materials, electrodes, catalysts and matrix development are verified on fuel cell test assemblies with 25 cm^2 electrode area. Figures 5 and 6 show the current-voltage curves of the fuel cells with platinum catalyst, which is applied in the "Photon" FCG. These curves were obtained at different gas pressure with oxygen and hydrogen as reactants.

In an effort to lower platinum consumption a new procedure of the catalyst application on the carbon carrier has been developed. Test results of fuel cells with the catalyst coating applied according to the new procedure are shown in figure7. From this figure it is quite apparent that platinum loading can be lowered to 0.3 mg/cm^2 on the anode and to 5 mg/cm^2 on the cathode without affecting the electrodes activity.

The way to development of the catalyst with ~1 mg/cm^2 platinum loading has been indicated. We are close to solving the problem of creation of corrosion resistant gas-tight insulating material for insulation of the phosphoric acid fuel cells from one another. A new polymer composite material with a fibrous filler is used in it. A special sealing material has been developed. It has practically unlimited (with time) corrosion resistance at direct contact with the phosphoric acid and air at 200° C.

At the moment a certain volume of development work on support systems is finished at "Energia" RSC.

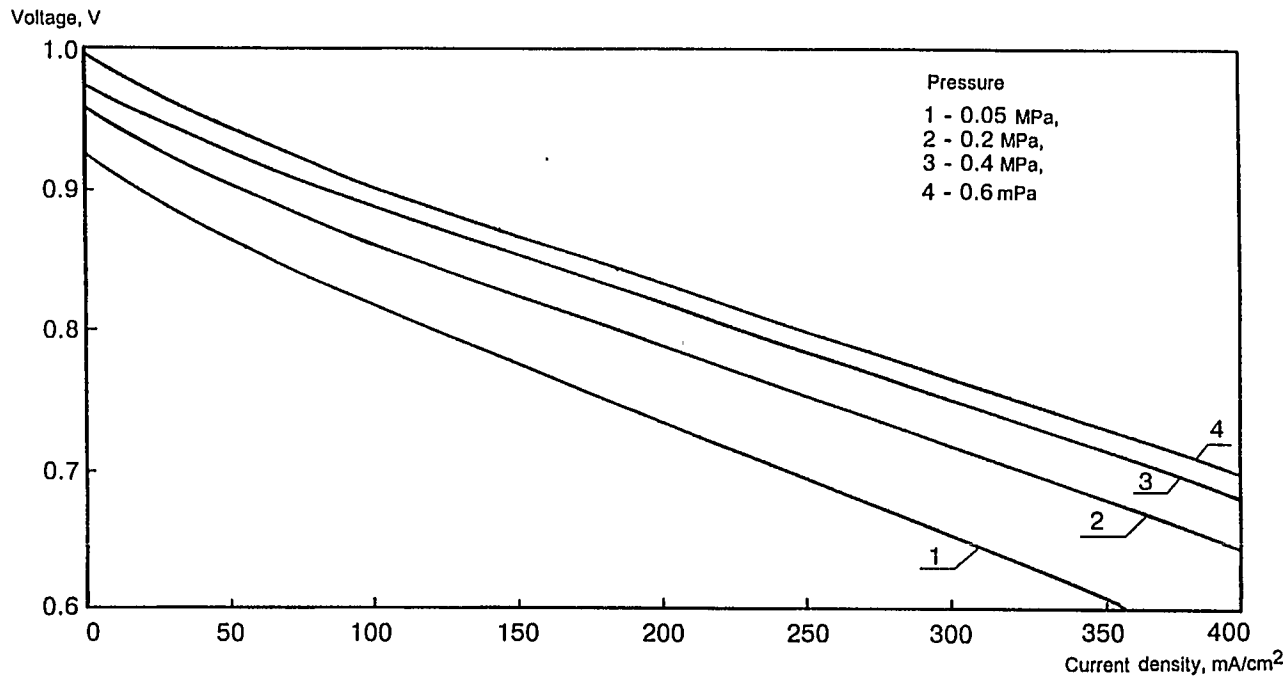


Fig.5 Phosphoric acid fuel cell voltage - current curve at 200°C and different gas (H_2 and O_2) pressure

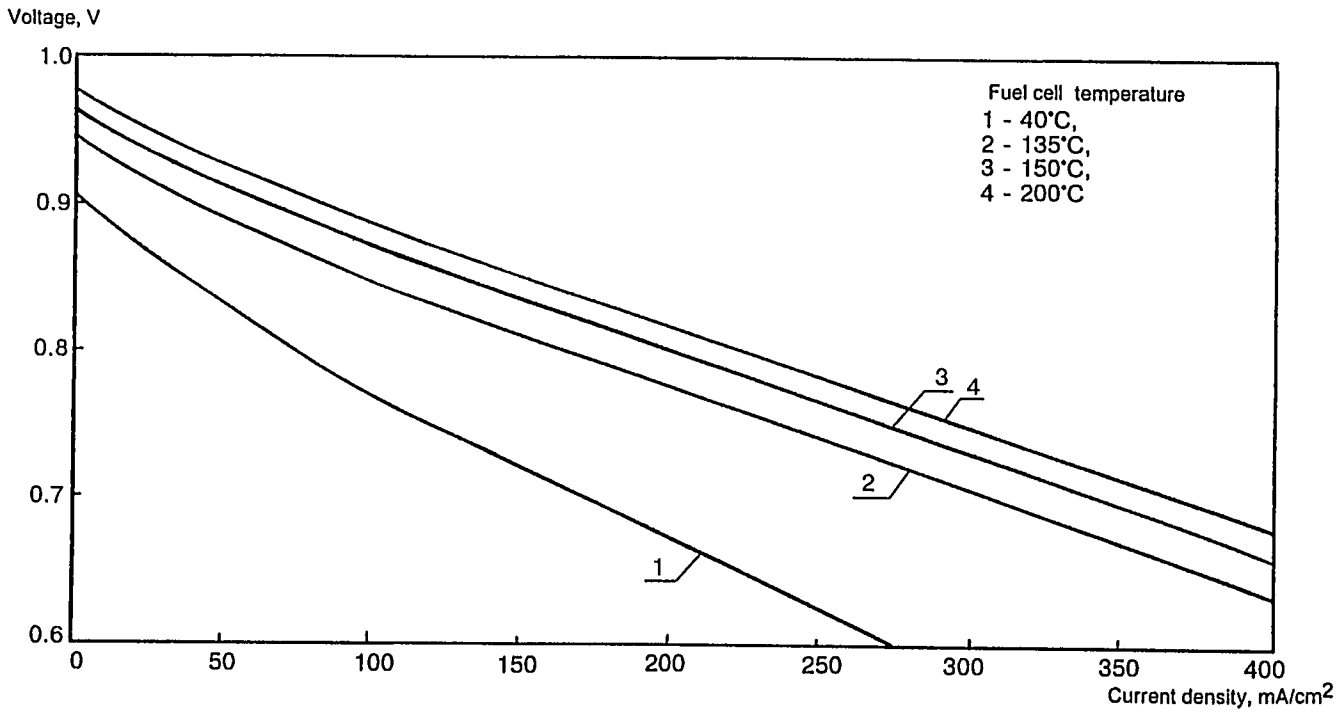


Fig.6 Phosphoric acid fuel cell current - voltage curves at 0.4 MPa hydrogen and oxygen pressure and different temperature

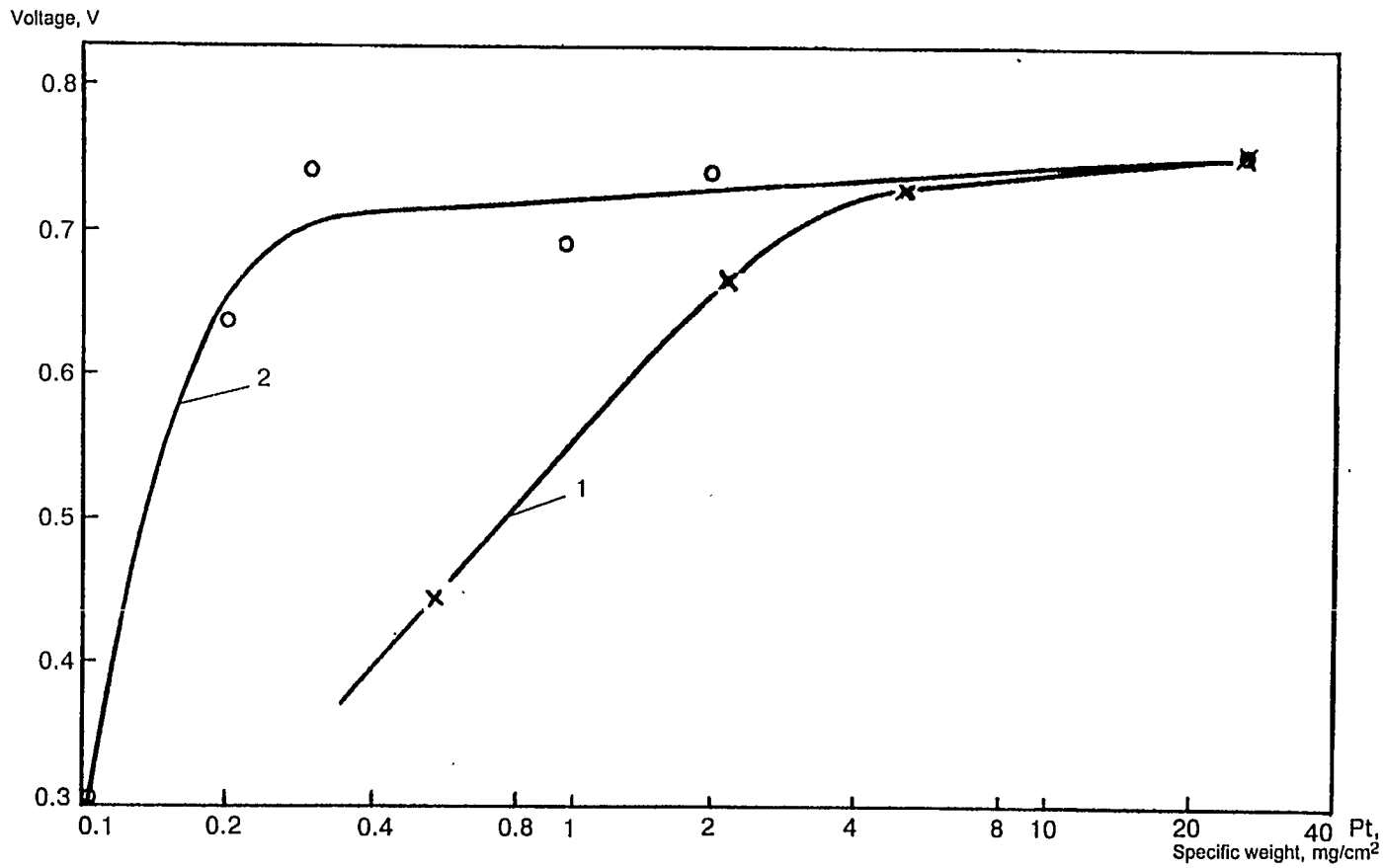


Fig.7 Fuel cell voltage as a function of Pt loading on the cathode (1) and anode (2) at 200 mA/cm² current density and 145°C

1. Design and technical documentation for the basic components of the 5 kW powerplant prototype is elaborated

2. High temperature steam reformer (the most sophisticated unit of the fuel pretreatment system) pilot plant is manufactured and is being tested

3. Functional circuit diagrams of the powerplant control unit instruments, electric energy conversion system, etc. are developed.

The burner design is being tried out and optimized; its lighting up and flame control process are being improved.

Figure 8 shows phosphoric acid fuel cell powerplant block diagram; the basic predictable characteristics of the powerplants under development are given in table2.

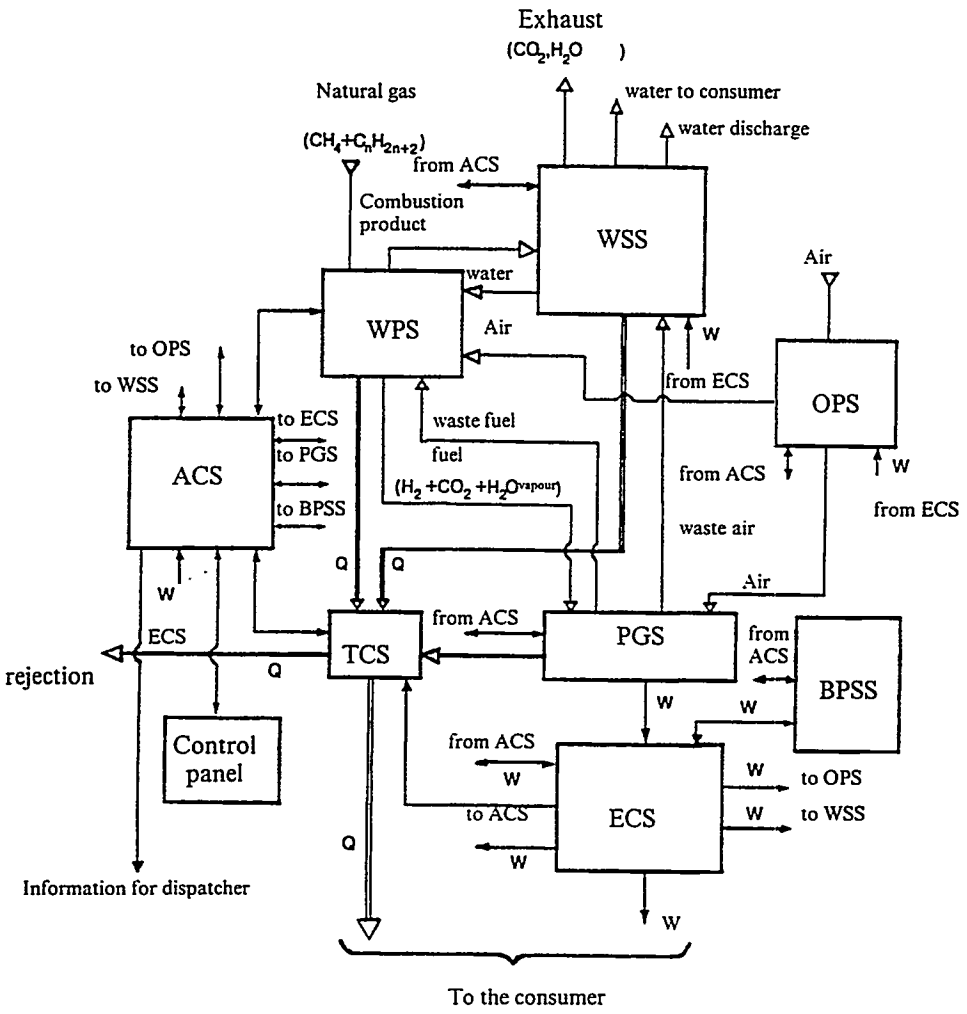
Table 2. Phosphoric acid fuel cell powerplant basic characteristics.

Characteristics	Values for the different powerplants			
	5kW	20kW	100kW	1000kW
1. Nominal voltage, V d.c.	28.5	115	230	460
2. Number of series connected fuel cells	40	40	160	320
3. Nominal current, A	275	275	275	650
Nominal current density, mA/cm^2	70	70	70	150-200
Maximum heat output to the consumer, kW	-	25	100	1000
Efficiency:				
overall	38-40	75-85	75-85	75-85
current	38-40	40-43	40-43	35-40
Weight, kg	900	4500	12000	60000
Life, years	10			

UEIP and "Energia" RSC possess high-level research, engineerig and test base.

Fuel cell pilot-scale production at UEIP incorporates:

- catalysts and cermet parts section:
- electrolyte holders, polymer parts and chemical treatment section;
- mechanical section equipped with high-precision machines;



Q - heat

W - electric current

WSS - Water separation system

WPS - Fuel pretreatment system

OPS - Oxidizer pretreatment system

ACS - Automatic control system

TCS - Temperature control system

PGS - Power generation system

BPSS - Back-up power supply system

ECS - Energy conversion system

Fig. 8 Phosphoric acid fuel cell powerplant block diagram

- high-level process hygiene assembly shop;
- test facility capable of performing electrochemical, vibration shock, centrifugal and thermovacuum tests.

At the moment 200 employees are engaged in work in the field of fuel cell development.

The terms of development and starting-up series production of the aforementioned units to a large extent depend on fuel cell research and development work financing. This period can be shortened if the Russian and American parties efforts were united; in this case joint entering the Russian-American market could be considered.

An estimated 50-70% of the territory of Russia with 25 mln. population (the Extreme North, the Far East, Kamchatka, the Kuril Islands) belong to those with the decentralized power supply. Along with power supply the problem of heat supply is of vital importance there. The demand for small powerplants (between 0.1 and 30 MW power) is also great. At present this kind powerplants net power is 17 mln. kW and their annual fuel consumption constitutes 17 mln. ton of equivalent fuel.

Current Status of Westinghouse Tubular Solid Oxide Fuel Cell Program

W. G. Parker
Manager, Applications Engineering
Advanced Energy Conversion Division
Westinghouse Science and Technology Center
1310 Beulah Road
Pittsburgh, Pennsylvania 15235

Solid Oxide Fuel Cell (SOFC) Power Systems offer the promise of highly efficient (> 60%), environmentally benign, economic generation of electric power from a variety of fossil fuels. In the last ten years, the SOFC development program at Westinghouse has evolved from a focus on basic material science to the engineering development of fully integrated electric power systems. Our endurance goal for this cell is 5 to 10 years To date we have successfully operated cells at power for over six years. For power plants it is our goal to have operated before the end of this decade a MW class power plant. Progress toward these goals will be discussed and test results will be presented.

Westinghouse has practiced the deployment with customers of fully integrated, automatically controlled, packaged solid oxide fuel cell power generation systems since 1986 when a 400 Watt system was supplied to the Tennessee Valley Authority. Subsequently, Westinghouse deployed two 3 kW SOFC systems with The Tokyo Gas Company, Ltd. and The Osaka Gas Company Ltd., and most recently several 20 kW class systems. The UTILITIES, a consortium of the Kansai Electric Power Company (KEPCO), Tokyo Gas, and Osaka Gas operated a 20 kW class SOFC system for 7064 hours before planned shutdown in March 1994; the last 5200 hours of operation were without forced outage. The Southern California Edison Company operated a similar 20 kW class SOFC system for 6000 hours before planned shutdown on May 2, 1995. In late May, a Westinghouse field service team exchanged an air electrode supported (AES) cell stack for the porous support tube type then in place, and restarted the system on May 23 after completing revisions to the SOFC system to permit fueling by either natural gas or reformate from a logistic fuels processor. Since restart, this system has operated for over 2000 hours on natural gas and is currently being operated on logistic fuel. Maximum power achieved to date is 23 kW. A second MKG class AES SOFC generator module was retrofitted into a 25 kW SOFC cogeneration system built for the Joint Gas Utilities (JGU), a consortium of the Tokyo Gas Company and the Osaka Gas Company. This system is currently operating at Westinghouse facilities in Pittsburgh. In addition to providing benchmark endurance data for high temperature fuel cell stacks, the 20 kW systems have served to demonstrate at the system level the adequacy of automatic start-up, normal run, and shut-down controls and safety interlocks. In

addition, operator feedback concerning installation, licensing, interfacing, and operator interaction will guide design and development of the next SOFC field unit of 100 kW class.

The first 100 kW SOFC field unit is scheduled to be delivered to a consortium of Dutch and Danish utilities in late 1996, and will be operated at a test site provided by NUON, one of the sponsoring Dutch utilities. This unit will use the latest in Westinghouse's tubular SOFC technology, AES cells of nominally 22 mm diameter by 1500 mm in active length. A MWe-Class SOFC power system using these larger cells is planned to be operational by the end of this decade.

Development of the tubular solid oxide fuel cell technology is being supported by the Westinghouse Electric Corporation, the United States Department of Energy (DOE) and various utility and industry sources. The Cooperative Agreement between Westinghouse and DOE is administered by the Morgantown Energy Technology Center (METC).

Intentionally Left Blank

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОГРАММЫ ПО РАЗРАБОТКЕ ТРУБЧАТЫХ ТВЕРДООКСИДНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ФИРМЕ "ВЕСТИНГАУЗ"

В.Г. Паркер
Менеджер отдела прикладных инженерных разработок и современных методов энергетической конверсии
Научно-технический центр фирмы "Вестингауз"
Питтсбург, штат Пенсильвания

Энергетические системы на базе твердооксидных топливных элементов (ТОТЭ) позволяют надеяться на получение экологически чистого метода производства электроэнергии с высоким коэффициентом полезного действия (к.п.д.), используя различные виды природного топлива. За последние 10 лет программа фирмы "Вестингауз" по разработке ТОТЭ прошла путь от простого материаловедения до инженерного проектирования комплексных энергетических систем. Наша задача - довести ресурс работы данного типа элементов до пятидесяти лет. На сегодняшний день наши элементы успешно работают под нагрузкой более шести лет. В области энергетических установок мы хотели бы ввести в строй энергоустановки мегаваттного класса до конца текущего десятилетия. В докладе представлены наши достижения в решении поставленных задач, а также результаты проведенных испытаний.

Фирма "Вестингауз" поставляет заказчикам полностью автоматизированные энергоустановки на базе ТОТЭ с 1966 года, когда первая 400-ваттная система была передана администрации долины Теннесси. Впоследствии фирма "Вестингауз" установила две системы по 3кВт на ТОТЭ - в компаниях "Токио газ, лититед" и в "Осака газ, лититед". Кроме того, совсем недавно было установлено несколько систем мощностью 20 кВт. Консорциум "Ютилитис", в который входят энергетическая компания "Канзаи", "Токио газ" и "Осака газ", эксплуатировала энергоустановку на ТОТЭ в течение 7064 часов до ее планового останова в марте 1994 года, причем последние 5200 часов установка работала без вынужденного останова. Южнокалифорнийская компания "Эдисон" эксплуатировала аналогичную энергоустановку мощностью 20 кВт на ТОТЭ в течении 6000 часов до ее планового останова 2 мая 1995 года. В конце мая выездная бригада обслуживания фирмы заменила применявшиеся до сих пор батареи на пористых трубчатых элементах (ПТ) на воздушные электродные (ВЭ) батареи и затем, после внесения изменений в систему ТОТЭ, позволяющих использовать природный газ или реформат со ступенчатого топливного процессора, произвела повторный пуск энергоустановки 23 мая того же года. С момента повторного пуска установка работала более 2000 часов на природном газе; в настоящее время она работает на реформате. Максимальная достигнутая мощность на сегодняшний день составляет 23 кВт. Вторая энергоустановка класса МКГ на базе ТОТЭ типа ВЭ была переконструирована в комбинированную энергоустановку мощностью 25 кВт, построенную для консорциума, состоящего из компаний "Токио газ" и "Осака газ". Система в настоящее время работает в помещении фирмы "Вестингауз" в Питтсбурге. Установка мощностью 20 кВт

позволяет не только получать экспериментальные данные на системном уровне по ресурсу работы высокотемпературных топливных батарей, но и демонстрировать адекватность работы автоматических устройств контроля и защитной блокировки в режимах пуска, останова и нормальной работы. Кроме того, замечания операторов по монтажу, лицензированию, интерфейсу и удобству обслуживания помогут скорректировать процесс проектирования и разработки энергетической установки на базе ТОТЭ следующего, 100 кВт-ного класса.

Первую энергоустановку мощностью 100 кВт на базе ТОТЭ планируется передать консорциуму, состоящему из голландских и датских коммунальных систем, в конце 1996 года. Установка будет работать на испытательном объекте, предоставленном одним из членов консорциума, датской системой коммунального обслуживания "НУОН". Установка выполнена на базе последней модели трубчатых ТОТЭ фирмы "Вестингауз" с элементами типа ВЭ, номинальный диаметр которых равен 22 мм, а активная длина - 1500 мм. До конца текущего десятилетия предполагается ввести в строй энергоустановку мегаваттного класса на базе ТОТЭ.

Фирма "Вестингауз", Министерство энергетики США, а также различные коммунальные и промышленные энергетические фирмы финансируют программу разработки трубчатых ТОТЭ. Центр энергетической технологии "Моргантаун" осуществляет административный контроль выполнения "Соглашения о сотрудничестве между фирмой "Вестингауз" и Министерством энергетики США".

PROGRESS IN THE PLANAR CPn SOFC SYSTEM DESIGN VERIFICATION

S. Elangovan, J. Hartvigsen, and A. Khandkar
SOFCo
2425 South 900 West
Salt Lake City, UT 84119

Abstract:

SOFCo is developing a high efficiency, modular and scaleable planar SOFC module, termed the CPn design. This design has been verified in a 1.4 kW module test operated directly on pipeline natural gas. The design features multistage oxidation of fuel wherein the fuel is consumed incrementally over several stages. High efficiency is achieved by uniform current density distribution per stage, which lowers the stack resistance. Additional benefits include thermal regulation and compactness. Test results from stack/modules operating on pipeline natural gas are presented.

Background and Summary:

The Ceramatec SOFC development program began in 1986, under funding from the Gas Research Institute (GRI). During the initial 5 years, efforts were primarily directed at establishing basic fabrication technologies, development and optimization of key constituent materials, and exploration of various cell and stack designs. With the addition of Norcell (a consortium of Norwegian industrial companies) sponsorship, efforts shifted toward scaling of cells and stacks and development of kilowatt class SOFC generators fueled by pipeline natural gas. Significant progress has been made toward developing a low-cost SOFC technology.

To accelerate the development and commercialization of planar SOFC power systems for both military and civilian markets, the Babcock & Wilcox Company and Ceramatec, Inc. have formed SOFCo, a research and development limited partnership. Ceramatec is recognized throughout the world as a leader in ionic conducting ceramic materials and in planar SOFC technology development. B&W, with its vast experience in power systems engineering, component manufacturing and customer service, has been a leader in power generation equipment for over 125 years. SOFCo combines each company's technical strengths and market presence to form a product development team focused on rapid commercialization of planar SOFC generators. SOFCo has a patented planar SOFC design, the CPn design, which features a novel manifolding scheme maximizes reliability, efficiency and modularity while minimizing scale-up costs. This multistack CPn design concept has been verified in a 1.4 kW module test operated directly on pipeline natural gas. This modular design is being scaled up to a 50 kW packaged cogeneration demonstration power plant, operating at high efficiencies on natural gas and coal gas. This will be extended to 200 kW, 500 kW and 2 MW power plants in subsequent phases.

SOFCo has tested a number of cells, stacks and modules for extended periods. State-of-the-art planar cells have been in operation under realistic conditions for ~30,000 hours with minimal performance degradation. Several demonstrations of the technology have also been made and cells supplied for independent user evaluation for utilities and power generation companies such as ABB and Sulzer. The 200 cell stack built for and operated at ABB was the largest demonstration of planar SOFC technology in 1989 and the 100W direct methane stack test for NorCell in 1992 was the first reported demonstration of a direct methane fueled planar SOFC stack. In addition, cells have been supplied to a number of participants such as universities and national labs.

The CPn concept evolved from recognizing the impact of the balance of plant (BOP) on the economy and efficiency of the total system. The design optimizes the total system and maximizes the efficiency of the system while simultaneously reducing the number of high temperature components peripheral to the stack. The CPn module consists of a multistack arrangement that allows multistage oxidation of the fuel. Efficiency enhancement is accomplished through effective thermal coupling of the stacks and the fuel and air processors. The CPn power system is comprised of planar SOFC stacks, fuel processor components and the BOP equipment. The most significant feature of the CPn is the Thermally Integrated SOFC Module, which houses the fuel cell stacks, an air heat exchanger, reformer catalyst tubes, and a spent fuel burner. Thermal integration of the processes within the module housing provides for optimal performance and a compact, cost-effective SOFC power system. The fuel processing system is coupled to the stacks within the thermal enclosure accomplishing internal reformation of hydrocarbon fuels. Thermal integration of key processes within the module provides for optimum system performance and a compact, rugged power system. The system concept was verified in a 1.4kW multi-stack test.

ДОСТИЖЕНИЯ В ОБЛАСТИ ПРОВЕРКИ КОНСТРУКЦИИ СИСТЕМЫ НА ПЛАНАРНЫХ ТОТЭ ТИПА CPn

С.Элангован, Дж. Хартвигсен и А. Хандкар
Фирма "СОФКо"
Солт Лэйк Сити, штат Юта

Резюме

Фирма "СОФКо" выпускает секционно-масштабные модули планарных ТОТЭ с высоким коэффициентом полезного действия (к.п.д.), получивших название конструкции CPn. Конструкция была проверена во время испытаний модуля мощностью 1,4 кВт, установленного непосредственно на трубопроводе природного газа. В конструкции применяется многоступенчатое окисление топлива, при котором топливо используется постепенно, в несколько этапов. Высокий к.п.д. достигается за счет равномерно распределенной плотности тока на каждой ступени, что позволяет уменьшить сопротивление батареи. Дополнительными преимуществами конструкции являются терморегулировка и компактность. Представлены результаты испытаний батарей/модулей на трубопроводах природного газа.

Историческая справка и краткое обобщение проблемы.

Программа разработки ТОТЭ "Сераматек" началась в 1986 году. Она субсидировалась фондами Научно-исследовательского газового института (ГРИ). В первые пять лет усилия были преимущественно направлены на разработку базовой технологии изготовления, оптимизацию основных конструкционных материалов и исследование различных конструкций элементов и батарей. После получения поддержки со стороны консорциума норвежских промышленных компаний "Норселл" основные усилия были сконцентрированы на создании секционно-масштабных элементов и батарей, а также на разработке киловаттного класса энергоисточника на ТОТЭ с использованием природного газа из трубопровода. Значительные успехи были достигнуты в области создания недорогой технологии изготовления ТОТЭ.

Для того, чтобы ускорить разработку и коммерческое внедрение энергоисточников на планарных ТОТЭ для гражданского и военного рынков, компании "Бабкок и Вилкокс" (B&W) и "Сераматек, Инк." организовали исследовательскую и проектную фирму-товарищество с ограниченной ответственностью под названием "СОФКо". Фирма "Сераматек" хорошо известна во всем мире как ведущая фирма в области ионопроводящих керамических материалов и разработки технологии изготовления планарных ТОТЭ. B&W, с ее огромным опытом разработки, производства компонентов и обслуживания заказчиков из энергетического сектора, является признанным лидером в области оборудования по производству энергии уже на протяжении 125 лет. Фирма "СОФКо" объединила сильные технические и маркетинговые стороны обеих компаний при создании группы разработки, задачей которой

является ускорение коммерческого внедрения энергоисточников на планарных ТОТЭ. Модель CPn, запатентованная конструкция планарного ТОТЭ фирмы "СОФКо", отличается принципиально новой разветвленной схемой, которая позволяет довести до максимума надежность, эффективность и модульность конструкции, одновременно минимизируя стоимость ее масштабных изменений. Мультибатарейная конструкция CPn была опробована на испытаниях модуля мощностью 1,4 кВт, установленного непосредственно на трубопроводе природного газа. Эта секционная конструкция была масштабно увеличена до демонстрационного комбинированного источника энергии мощностью 50 кВт, который работал с высокой эффективностью на природном газе и каменноугольном газе. На последующих ступенях мощность этой энергоустановки будет увеличена до 200 кВт, 500 кВт и 2мВт.

Фирма "СОФКо" проводила испытания целого ряда элементов, батарей и модулей в течение длительного периода времени. Современные планарные ТОТЭ работали в реальных условиях приблизительно 30000 часов при минимальном ухудшении характеристик. Было проведено несколько демонстрационных испытаний технологии и, кроме того, ТЭ были направлены на отзыв независимым потребителям из коммунальных систем и компаний по производству энергии, таким, как "АВВ" и "Зульцер". Состоящая из 200 ТЭ батарея, изготовленная для эксплуатации фирмой "АВВ", послужила самой крупной демонстрацией системы на планарных ТОТЭ в 1989 году. Испытания батареи мощностью 100Вт, работающей непосредственно на метане, проведенные для фирмы "Норселл", явились первыми официальными испытаниями батарей на планарных ТОТЭ с прямым использованием метанного топлива. Кроме того, ТЭ были переданы большому числу участников программы, таких, как университеты и национальные лаборатории МЭ США.

Концепция конструкции CPn основана на понимании влияния баланса вспомогательного оборудования на экономику и к.п.д. всей системы. Конструкция позволяет оптимизировать всю систему, доводя до максимума ее к.п.д. с одновременным уменьшением числа высокотемпературных компонентов на периферии батареи. Модуль состоит из мультибатарейных узлов, обеспечивающих ступенчатое окисление топлива. Увеличение к.п.д. достигается путем эффективного термосоединения батарей с топливным и воздушным процессорами. Энергоустановка CPn состоит из батарей планарных ТОТЭ, топливного процессора и вспомогательного оборудования. Основной особенностью конструкции является единый термический модуль ТОТЭ, в котором расположены батареи ТЭ, воздушный теплообменник, патрубки катализатора реформата и горелки отработанного топлива. Термическое объединение всех процессов в едином корпусе модуля позволяет добиться максимального к.п.д. и создать экономически рентабельную энергоустановку на ТОТЭ. Соединение системы топливного процессора с батареями в едином термическом корпусе позволяет осуществить переработку углеводородного топлива внутри модуля. Термическая интеграция основных процессов внутри модуля обеспечивает оптимальный к.п.д. системы, а также компактность и прочность ее конструкции. Концептуальный принцип системы был испытан на мультибатарейной модели мощностью 1,4 кВт.

FUNDAMENTAL RESEARCHES ON SOFC IN RUSSIA

A.K.Demin, A.D.Neuimin and M.V Perfiliev
Institute of High Temperature Electrochemistry,
Russia Academy of Sciences, 620219, Ekaterinburg, Russia.

Abstract

The main results of research on ZrO_2-based solid electrolytes, electrodes and interconnects are reviewed. The mathematical models of the processes in SOFC are considered. Two types of SOFC stacks composed of tubular and block cells, as well the results of their tests are described.

1. Introduction

Direct transformation of the chemical energy of gaseous fuel in the fuel cells is very attractive from technical, economical and ecological points of view. Among different kinds of the fuel cells the solid oxide fuel cell (SOFC) is distinguished in respect to its high efficiency, absence of liquid phase and possibility to use all kinds of hydrogen- and CO-contained fuels.

Practically the single organization in the former USSR for the investigations in the SOFC field was the Institute of Electrochemistry of USSR Academy of Sciences in Sverdlovsk (now Institute of High Temperature Electrochemistry of Russian Academy of Sciences in Ekaterinburg). It carried out the investigations from the beginning of 1960's. Episodically some special investigations was carrying out in this field in Kurchatov Institute of Atomic Energy (Moscow), Byelorussian State University and Byelorussian Technological Institute (Minsk), Institute of Physics and Power Engineering (Obninsk, Kaluga Region), Moscow Power Institute.

The first stage of investigations was the study of materials: solid electrolytes, electrodes, interconnects, hermetics and other construction materials, in respect to their mechanical, thermal, electrical properties and stability of the properties with time. The next stage was the study of kinetics of electrode reactions for different kinds of electrodes and different atmospheres. The important part of the work was the modelling of the processes in the SOFC and the optimization of the SOFC design and operation. The natural stage of the investigations was elaboration, manufacturing and testing of SOFC prototypes.

2. Electrolyte

The investigations of the zirconia-based electrolyte included the study of its strength, thermal expansion, transport properties including thermal-electrical properties, total conductivity, transfer number, contact resistance of grains of ceramic samples, aging processes i.e. stability of the electrolyte properties with time. All these characteristics have been studying in dependence on the mode of fabrication, temperature, electrolyte composition, gas phase and other factors [1-3].

As a result of the investigations the solid electrolytes with suitable mechanical and electrical properties and long life at SOFC working conditions were found. The electrolytes of composition $0.9ZrO_2 + 0.1Y_2O_3$ and $0.90ZrO_2 + 0.04Y_2O_3 + 0.06Sc_2O_3$ have practically indefinite life. The second being more expensive than the first one, has by 1.5 time higher conductivity.

3. Electrodes

As the electrode materials were studied nobel metals (Pt, Au, Ag, Pd, alloy Ag-Pd), non-nobel metals (Ni, Co, Cu, Fe), oxides (PrO_2, CeO_2, In_2O_3), oxide compositions (manganite- and cobaltite-based compositions) [3,4]. The study of electrodes kinetics had the aim to obtain the electrodes with the high electrochemical activity. This study included the clearing up the electrode reaction route and mechanism and the reason of the electrode overpotential in dependence on the electrode composition and structure, method and conditions of electrode forming, gas phase, temperature, etc.

The investigations showed that the highest electrochemical activity may be achieved if to introduce the oxide with the mixed electron-ion conductivity into the electrode porous structure. Such oxides are PrO_2 in oxidized atmosphere and CeO_2 in reduced atmosphere. These two-phase electrodes were named "activated electrodes". The dependence overpotential-current density (η-j curve) of the activated electrode is linear in the wide interval of the overpotentials. In this case it is very convenient to characterize the electrode by the value of "specific polarization resistance":

$$\rho_\eta = \eta/j. \qquad (1)$$

The metal activated electrodes have ρ_η = 0.02 - 0.04 Ohm*cm^2 in air at 900°C. The dependence of the specific polarization resistance on the composition of the reduced atmosphere has a minimum near an equimole composition $H_2O + H_2$ or $CO_2 + CO$. The average value of ρ_η = 0.05 - 0.01 Ohm*cm^2 in the first atmosphere and ρ_η = 0.2 - 0.04 Ohm*cm^2 in the second one at 900°C. In the four component atmosphere $H_2O + H_2 + CO_2 + CO$ the overpotential is very close to that in $H_2O + H_2$ atmosphere.

4. Interconnect

A complicated part of the SOFC batteries is an interconnection of the elements in series with respect to the current and the gas flow. The main component of this part is interconnection composition, which should be stable and have high conductivity both in oxidizing and reducing atmospheres.

As interconnection materials platinum and chromites of lanthanum, neodim and samarium with different dopants were widely investigated. Neodim and samarium chromites with two dopants from the first and the second groups of the periodic system have by 2 - 4 times higher conductivity in comparison with lantanum-strontium chromite both in oxidized and reduced atmospheres [6].

5. Electrical characteristics of the cells

The inner resistance of the cell depends on the electrical properties of the electrolyte and electrodes, as well as on the size and shape of the cell. The dependence of the cell inner resistance on the geometrical factors were discovered for the cells, which have form of plane plates, tubes, discs, plane rings with different current collectors for each types of the cells [5]. These results were generalized for the case of non- homogeneous gas atmosphere in the cell [3].

6. Influence of Gas Diffusion on Cell E.M.F.

The diffusion rate in gas phase is rather high to influence on the distribution of gas components along the gas channel in the cell. On the other hand the diffusion rate is not so high to lead to the homogeneous gas composition along the normal to the electrode. The task may be solved for two extreme cases [3]:

$$\frac{\partial c}{\partial y} \gg \frac{\partial c}{\partial x}, \quad (2)$$

$$\frac{\partial c}{\partial y} \ll \frac{\partial c}{\partial x}, \quad (3)$$

where c – concentration of gas component, y – axis, which is perpendicular to the electrode, x – axis along the gas channel. The first case describes the fast diffusion along the channel, the second one describes the slow diffusion to (out of) the electrode. The first case occurs in a short, wide channel, when the current density is low, the second one – in wide channel, when the current density is high.

The dependence of the overvoltage on the main parameters of the cell and the process for the first case is as follows:

$$\eta \propto kdDT^{1.8}/jL^2x(L - kx), \quad (4)$$

where k – fuel utilization, r – channel average diameter, D – gas diffusion coefficient at 273 K, T – absolute temperature, L – channel length, x = 0 corresponds to channel inlet. The most effective way to decrease this kind of the overpotential from design point of view is to increase the channel length and to lessen the channel section area.

The analogical dependence for the second case is as follows:

$$\eta \propto jdT^{0.2}/Dkx(L - kx). \quad (5)$$

Obviously, the lowering of this kind of overpotential depends on the channel width decrease.

From practical point of view these kinds of overpotentials are not so significant. For example, in the middle of the anode channel of the hydrogen fuel cell with the parameters: d = 10 mm, L = 100 mm, j = 0.1 A/cm^2 the first kind of overpotential is equal to 0.04 V and rather quickly increases in the direction of the channel inlet. For the same conditions the second kind of overpotential is less than 1 mV. The situation completely changes for CO fuel cell with the active electrodes. If the current density exceeds 1 A/cm^2, the second kind of overpotential is more than 0.02 V and the first one becomes negligible.

7. Hydraulic resistance

The tendency of the increase of the channel length and the decrease of its width leads to the increase of the channel

hydraulic resistance. So it is important to find the connection between the pressure drop in the channel and the cell parameters.

The formula for the pressure drop in the plane channel is as follows:

$$\Delta P = (12V_o/zF)jL^2\theta\eta/(p_{in} - p_{out})d^3, \qquad (6)$$

where V_o – mole volume at standart conditions, F – Faraday number, z = 2 for fuel channel and z = 4 for air channel, j – average current density, $\theta = T/273K$, η – gas viscosity (in Pa*sec), p – mole fraction of consumed component, d – channel width. The square dependence of the pressure drop on the channel length may limit the stack size, the reverse cubic dependence of ΔP on the channel width limits the compactness of the stack.

The use of the Reynolds criteria (Re) permits to estimate what kind of gas flow (laminar or turbulent) occurs in the gas channel. The dependence of Reynolds criteria on the cell parameters is as follows:

$$Re = 4jLM\theta/zF\eta(p_{in} - p_{out}), \qquad (7)$$

where M – mole mass. It is interesting that Re does not depend on the channel width. Because of small change of the oxygen mole fraction in the air channel there is a limit of its length to avoid transfer of the laminar flow into turbulent one in the case of high current density.

8. Tubular design of SOFC

The 1 kW methane fueled electrochemical generator based on tubular cells were elaborated, manufactured and tested in 1989 [7]. Ceramic tubes had the dimensions: Ø 10 mm, length 210 mm, thickness 0.40 mm. The current leads were disposed along the tube. The cell working surface was 65 cm^2, the cell average power at 900°C was about 11 W, so the average power density was 0.17 W/cm^2. The best cells had the maximum power up to 15 W and the average power density was 0.25 W/cm^2.

The electrochemical generator included 6 stacks consisted of 16 cells each. The fuel supply of each stack was separate. It was possible to connect the stacks in serious or in parallel. The total working surface was 6000 cm^2, the electrochemical part volume was 3 litres.

The electrochemical generator operated at the autothermal regime. The partial methane oxidation was used as a method of methane transformation into hydrogen and carbon monoxide. In this condition the electrical efficiency was about 0.4.

9. Block cells based SOFC

The cell which is made of the monolithic electrolyte block with the channels for fuel and oxidizer are called the block cell. Such cells have the working surface 25 - 30 cm^2, average wall thickness 0.65 - 0.70 mm. Several such cells connected in series comprise the module.

The anodes were metals (Pt, Ag, Ni, Co), the cathodes were both metals (Pt, Ag) and lanthanum manganite. As the interconnect the Pt foil or chromite plates were used. The maximum specific power of a block cell at 1000^oC was 0.14 W/cm^2.

A number of batteries of the block cells were manufactured and tested. The laboratory design of energetic device without noble metals was elaborated, manufactured and tested. Its power was up to 500 W. This energetic device contained all the main parts of the electrochemical generator: the gas burner, the heat-exchanger, the reformer for the methane steam reforming, the system for the steam-methane mixture preparing , the electrochemical battery, the heat-proof jacket, the control system. All the parts of the device worked satisfactorily during the testing.

The resource investigations of the single cells lasted for 10000 h, of the stacks - 400 h. The characteristics of the cells and of the stacks were stable during the period of resource studies.

The study of the process of direct methane reforming on the SOFC-anodes led to the conclusion that it is possible to realize the steam reforming on the Ni-anode. The only difficulty is the cooling of the cells near the steam-methane inlet.

REFERENCES

1. M.V.Perfiliev, M.V.Inozemtsev. Pros. of the Institute of Electrochemistry, USC AS USSR <Труды Института Электрохимии УНЦ АН СССР>, V.24 (1977). P. 95-110 (Russian).

2. A.N.Vlasov, M.V.Perfiliev. Solid State Ionics, 25 (1987). P. 245-253.

3. M.V.Perfiliev, A.K.Demin, B.L.Kuzin, and A.S.Lipilin. High Temperature Gas Electrolysis <Высокотемпературный электролиз газов>. Nauka, Moscow, 1988 232 p. (Russian).

4. M.V. Perfiliev. Solid State Ionics. 9/10 (1983). P. 765-776.

5. M.V.Perfiliev, S.I.Somov. Electrochemistry of High Temperature Electrolytes <Электрохимия высокотемпературных электролитов. РИСО УНЦ АН СССР, Свердловск>, (1977). P. 107-118.

6. E.L.Anikina, V.I.Zemtsov and E.I.Burmakin. Electrical and Physical Properties of Solid Solutions $Nd_{1-x}Ca_xCr_{1-y}Ag$. Neorganicheskiye materialy <Неорганические материалы>. Vol.30, N8 (1994). P. 1-3 (Russian).

7. A.K. Demin, B.L. Kuzin, A.S. Lipilin, et.al. Solid Electrolytes and their Analytical Application <Твердые электролиты и их аналитическое применение>. Abstracts of All-Union Symposium. Vol. III, Minsk, (1990). P. 59 (Russian).

STABILITY OF SOLID OXIDE FUEL CELL MATERIALS

T. R. Armstrong, J. L. Bates, L. A. Chick, G. D. Maupin, L. R. Pederson, P. J. Raney, J. W. Stevenson, and W. J. Weber
Pacific Northwest Laboratory
P. O. Box 999
Richland, WA 99352

Interconnection materials in a solid oxide fuel cell are exposed to both highly oxidizing conditions at the cathode and to highly reducing conditions at the anode. The thermal expansion characteristics of substituted lanthanum and yttrium chromite interconnect materials were evaluated by dilatometry as a function of oxygen partial pressures from 1 atm to 10^{-18} atm., controlled using a carbon dioxide/hydrogen buffer. The maximum isothermal linear expansion for the chromite composition La0.70Ca0.30CrP3 in an oxygen partial pressure of 10^{-18} atm. at 1000 C was 0.35%, referenced against that obtained at an oxygen partial pressure of 1 atm. This change in lattice parameters could well lead to cracks and debonding in an SOFC. Data for other compositions indicated that the extent of isothermal lattice expansion in reducing environments increased as the size of the A-site dopant increased. Yttrium chromites were found to expand significantly less than the lanthanum chromites for the same calcium content. New chromite compositions were developed that showed little tendency for lattice expansion under strongly reducing conditions.

The sintering behavior of doped lanthanum and yttrium manganite cathode materials was found to be highly sensitive to changes in the A/B cation ratio. Compositions with an A-site deficiency were more easily sintered to full density. This effect was attributed to an increased concentration of A-site vacancies, which led to increased A-site cation mobility. Modification of doped manganites by alteration of composition and calcination conditions allowed their sintering shrinkage to be tailored to closely match the sintering behavior of zirconia.

Interactions between the zirconia electrolyte and manganite cathode have been investigated. Such interactions are of interest because they may lead to changes in the cathode/electrolyte interfacial resistance. Interdiffusion profiles and diffusion coefficients were determined by electrolyte/electrode couples that had been sintered at temperatures from 1300 to 1500 C, processing conditions necessary in the fabrication of some fuel cell designs. Manganese ions were found to be the most mobile species in zirconia, while lanthanum was the least mobile. Manganese penetration into the electrolyte was greatest for manganese-rich (A-site deficient) compositions and was favored by high levels of substitution of calcium or strontium ions for lanthanum. The formation of interfacial lanthanum zirconate, an insulating phase, was not observed at the interface of zirconia and stoichiometry or A-site deficient manganites.

Устойчивость материалов твердооксидных топливных элементов

Т.Р. Армстронг, Д.Л. Бейтс, Л.А. Чик, Д.Д. Мопин, Л.Р. Педерсон, П.Д. Рэнси, Д.У. Стивенсон и У.Д. Вебер
Лаборатория Пасифик Нордвест
P.O.Box 999
Richland, WA 99352

Коммутационные материалы в твердооксидных топливных элементах (ТОТЭ) подвергаются воздействию условий сильного окисления в районе катода и сильного восстановления в районе анода. Характеристики теплового расширения хромитов лантана и иттрия как заменителей коммутационных материалов определялись с помощью метода дилатометрии в зависимости от парциального давления кислорода в диапазоне от 1 атм до 10^{-18} атм с использованием углекислотного/водородного буфера. Максимальное изотермическое линейное расширение хромитовых соединений La0.70Ca0.30CrP3 при парциальном давлении кислорода 10^{-18} атм при 1000°C составляло 0,35% по сравнению со значением, полученным при парциальном давлении кислорода 1 атм. Такое изменение параметров решетки может привести к возникновению в ТОТЭ трещин и нарушению внутренних связей. Данные, полученные по другим соединениям, показывают, что величина изотермического расширения решетки увеличивалась по мере увеличения размера узла А в решетке легирующей добавки. Обнаружено, что расширение у хромитов иттрия значительно меньше, чем у хромитов лантана при одном и том же содержании кальция. Были разработаны новые хромитовые соединения, обнаружившие слабую тенденцию к расширению решетки в условиях сильных восстановительных процессов.

Характеристики спекаемости легированных материалов манганита лантана и иттрия, используемых на катоде, оказались весьма чувствительными к изменениям соотношения катионов А/В. Соединения с дефицитом узла А в решетке более легко спекались до полной плотности. Этот эффект объяснялся повышением концентрации вакансий А, что приводило к повышению подвижности катионов узла А. Модификация легированных манганитовых соединений путем изменения их состава и условий обжига позволила привести параметры сжатия при спекании в близкое соответствие с характеристиками спекаемости двуокиси циркония.

Исследовались взаимодействия между манганитовым катодом и электролитом на основе двуокиси циркония. Эти взаимодействия представляют собой большой интерес, поскольку могут привести к изменению сопротивления контакта катода/электролита. Междиффузионные профили и коэффициенты диффузии определялись с помощью электролитно-электродных пар, которые спекались при температурах от 1300 до 1500°C, что представляет собой режим обработки, характерный для изготовления некоторых конструкций топливных элементов. Обнаружено, что ионы марганца являются наиболее подвижными элементами в двуокиси циркония, а у лантана - наименее подвижными. Проникновение марганца в электролит оказалось наибольшим в обогащенных марганцем соединениях (с дефицитом узла А в решетке), при этом происходило интенсивное замещение ионов кальция или стронция ионами лантана. Формирования межфазного соединения цирконата лантана, изолирующей фазы, при контакте двуокиси циркония со стехиометрическим составом или манганитовыми соединениями с дефицитом узла А в решетке не наблюдалось.

RUSSIAN FEDERAL NUCLEAR CENTER –
ALL - RUSSIAN RESEARCH INSTITUTE OF TECHNICAL PHYSICS
(RFNC – VNIITF)

RESULTS OF INVESTIGATIONS INTO THE DEVELOPMENT OF SOFC IN VNIITF

V.F.CHUKHAREV - SOFC LABORATORY HEAD, DR. OF SCIENCES
YU.N.KLESCHEV – CHIEF TECHNOLOGIST, DR. OF SCIENCES

456670 SNEZHINSK, CHELYABINSK REGION
P.O.245 RUSSIA
FAX: 7 - (351) 723–2077
E–MAIL: AVN@ONTI.CH70.CHEL.SU
PHONE: 7 - (351) 722–3982

ВНИИТФ

ALBUQUERQUE – SEPTEMBER 1995

1.INTRODUCTION

Investigations being performed in VNIITF covers the whole cycle of SOFC manufacturing: from obtaining the initial components entering into oxide compositions of solid electrolyte, cathode and anode materials, materials of commutation elements to manufacturing of power plants on the basis of SOFC base constructions.

In the given report the main directions of investigations being performed, whose successful advancing makes it possible to solve the final task - commercialization of power plants based on SOFC, and some results characterizing the level of development in VNIITF are shown.

Basic problems being solved through the performed investigations are concentrated in three fields: materials, technologies, designing and modelling.

Materials:

- Optimization of compositions and structure of solid electrolyte, electrode and commutation materials with a view to enhance ion - and electron conduction.

- Development of the ways for electrode coatings activation with a view to decrease polarization losses.

Technologies:

- Development, putting into production and improvement of ceramic methods for manufacturing SOFC being characterized by ease execution.

- Development and putting into production of ion - plasma, plasma and plasma & chemical methods for manufacturing thin - film SOFC and their components being the technologies of the highest level and making it possible to reach the quantitatively new level of SOFC characteristics.

Constructions, modelling:

- Experimental laboratory plants of low power (up to 1kW) for modelling the processes in SOFC of base constructions.

- Experimental & industrial power plants of low power (up to 1 kW) for demonstration of possibilities in natural conditions.

- Battery of kW range which is based on planar SOFC - module of 10 kW - class power plant.

- Power plants of great power - up to 100kW and the more powerful ones.

2.RESULTS OF INVESTIGATIONS INTO THE FIELD OF MATERIALS

2.1.Solid electrolyte (YSZ) 0,9 ZrO_2 + 0,1 Y_2O_3

Experimental & industrial manufacture of the tubular construction of YSZ 230 mm in length, 10 mm in diameter with walls of up to 4 mm thickness has been realized.
The obtained characteristics of specific resistance - 9 ohm·cm - correlate well with literary data.
Technology for obtaining thin (up to 0,12 mm) plates of solid electrolyte of YSZ, whose specific resistance is decreased by 10 % due to the smaller thickness and the usage of finely divided powder of YSZ, has been mastered.

- Investigations with respect to manufacturing YSZ of extra - pure submicron powders - nanocomposites are performed.

2.2. Cathode matherial - oxide composition on the basis of $La_xSr_{1-x}MnO_3$

- Technology of synthesis and oxide compound composition have been optimized, that allows to obtain specific resistance at the level of 0,01-0.02 ohm· cm.

- Structural investigations of cathode materials are performed, the methods for cathode coating activation are studied.

2.3. Anode material - oxide composition of Ni + YSZ

- Technology of synthesis and oxide compound composition have been optimized with respect to the content of Ni, YSZ, specific resistance amounts to 0,01 - 0,02 ohm · cm.

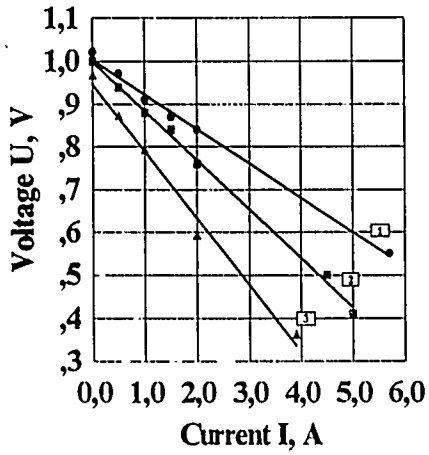
- Investigations of the anode coating structure and the methods for its activation are performed.

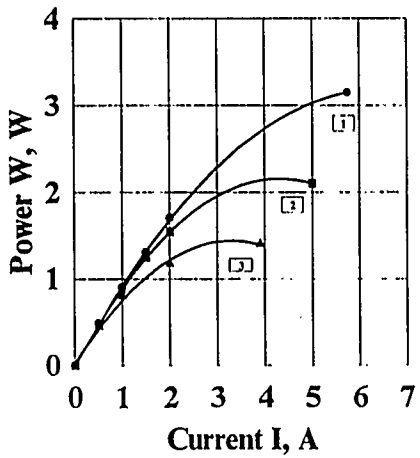
3.RESULTS OF INVESTIGATIONS INTO THE FIELD OF TECHNOLOGIES

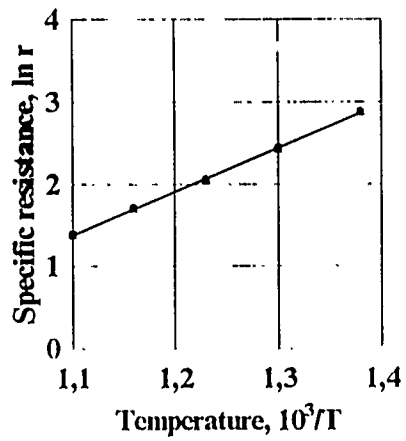
3.1. Technology for manufacturing tubular SOFC and SOFC batteries on their basis has been developed and mastered, including:

- slip casting and the subsequent synthesis of solid electrolyte
- machining of YSZ by diamond tool and laser beam
- applying of electrode coatings by the method of liquid suspension coloring (painting)
- high - temperature treatment
- assembling of single SOFC
- assembling of SOFC battery

Characteristics of single fuel cells of tubular construction







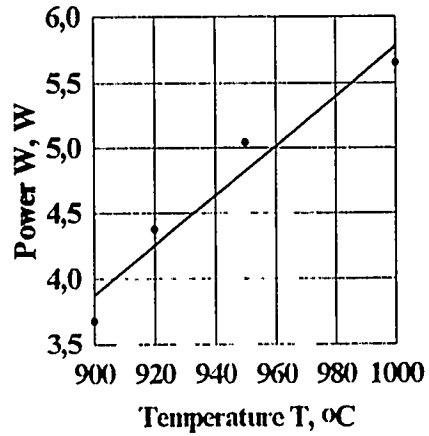


Fig.1 Fig.2 Fig.3 Fig.4

Fig.1 - Volt - ampere characteristics for temperatures equal to 1000°C - 1, 950°C - 2, 900°C - 3

Fig.2 - Dependence of power on current for temperatures equal to 1000°C - 1, 950°C - 2, 900°C - 3

Fig.3 - Dependence of specific resistance of electrolyte on temperature

Fig.4 -Dependence of power on temperature

3.2. Technology for manufacturing planar SOFC of 50×50 mm thickness of YSZ has been mastered

- preparation of powder composition of YSZ on the plastic binder
- rolling of YSZ to the necessary thickness
- high - temperature synthesis
- applying of electrode coatings by the method of painting (coloring) and the subsequent high - temperature treatment
- investigations with respect to hermetic connection of planar cells into a SOFC battery are performed

3.3. Intensive investigations concerned with obtaining thin-film SOCF by ion-plasma and plasma methods are carried out:

- electron-beam; ion-plasma spraying of oxide compositions $La_xSr_{1-x}MnO_3$, Ni + YSZ and YSZ
- magnetron-ion spraying of YSZ on porous bases of electrode materials

Results obtained show the prospects of these directions.

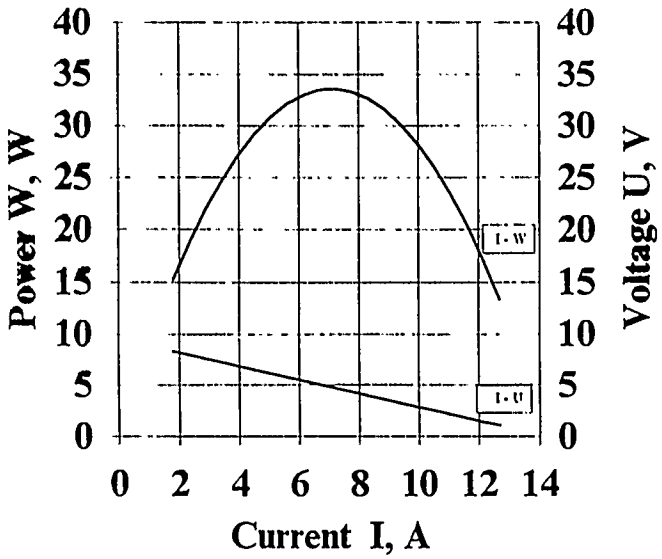
4. RESULTS OF INVESTIGATIONS IN THE FIELD OF CONSTRUCTIONS AND MODELLING

4.1. Test samples of power up to 100 W for laboratory investigations:

- some samples of ECG-0.1 based on tubular SOFC, SOFC guantity - up to 15 pieces, power taken off up to 100 W
  Fuel - methane
  Converter built in case
  Starting warm-up is electrical

- ECG - 0.1 based on planar SOFC has been developed and is manufactured;
  SOFC guantity - 20 pieces, rated power - 70 W
  Fuel - hydrogen
  Starting warm-up is electrical

CHARACTERISTICS OF ECG - 0.1 TEST SAMPLE



Dependence of voltage and power on load current under temperature 980°C

4.2. 1-kW Module of ECG-1 has been developed and its assemblies are optimized.

SOFC - of tubular type

Rated power - 1 kW

Output voltage - 75 V

Fuel - methane

Starting warm-up - gas burner

4.3. Autonomous current source (ACS) for power supply of telemetering systems, mounted on gas pipelines and cathode protection stations, is developed, ACS-400

SOFC of tubular type

Rated power - 400 Вт

Output voltage -24 V

Fuel - methane

starting warm-up - gas burner

5.THE SHOWN WORK IS PERFORMED IN CLOSE COOPERATION WITH COLLEAGUES FROM:

- IVTE Ekaterinburg
- FEI Obninsk
- Production Association CHMZ, Glasov
- PLAZMED Khar'kov

РОССИЙСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ЯДЕРНЫЙ ЦЕНТР –
ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ТЕХНИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ
(РФЯЦ – ВНИИТФ)

ПРОГРАММА НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И РАЗРАБОТКИ ТВЕРДООКСИДНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ (ТОТЭ) ВО ВНИИТФ. ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО НАУЧНО – ТЕХНИЧЕСКОМУ СОТРУДНИЧЕСТВУ И КОММЕРЦИАЛИЗАЦИИ ТОТЭ.

Ю.Н.КЛЕЩЕВ – ГЛАВНЫЙ ТЕХНОЛОГ, К.Т.Н.
В.Ф.ЧУХАРЕВ – НАЧАЛЬНИК ЛАБОРАТОРИИ ТОТЭ, К.Т.Н.

П/Я 245, СНЕЖИНСК, ЧЕЛЯБИНСКОЙ ОБЛ.
456670 РОССИЯ
ФАКС: 7 – (351) 723–2077
E–MAIL: AVN@ONTI.CH70.CHEL.SU
ТЕЛ: 7–(351) 722–3982

ВНИИТФ

АЛЬБУКЕРКЕ – СЕНТЯБРЬ 1995

СОДЕРЖАНИЕ

ВНИИТФ

I. ВВЕДЕНИЕ

1. ТОПЛИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ (ТЭ) ЗАНИМАЮТ ВСЁ БОЛЬШЕЕ МЕСТО В ЭНЕРГЕТИКЕ СЕГОДНЯ И СТАНУТ ВАЖНЕЙШИМ ЭЛЕМЕНТОМ В ЭНЕРГЕТИКЕ БЛИЖАЙШЕГО БУДУЩЕГО (ЭФФЕКТИВНОСТЬ, ЭКОЛОГИЧНОСТЬ).

2. ТОТЭ ЯВЛЯЮТСЯ НАИБОЛЕЕ ПЕРСПЕКТИВНЫМИ В КОММЕРЧЕСКОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ БЛАГОДАРЯ ИХ НЕОСПОРИМЫМ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМ ПРЕИМУЩЕСТВАМ:

- - ТВЕРДЫЙ ЭЛЕКТРОЛИТ (КЕРАМИКА) →ДОЛГОВЕЧНОСТЬ (СРОК СЛУЖБЫ);
- - ПЕРЕДОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ (НАПЫЛЕНИЕ) → ГАБАРИТЫ, УДЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ;
- – ВЫСОКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ;
- – ЭКОЛОГИЧНОСТЬ;
- – ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ТОПЛИВА.

ВНИИТФ

3. КОММЕРЦИАЛИЗАЦИЯ ТОТЭ СЕГОДНЯ

СДЕРЖИВАЕТСЯ ИЗ – ЗА:

- **РЯДА МАТЕРИАЛОВЕДЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ;**
- **СЛОЖНОСТИ И СПЕЦИФИЧНОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ;**
- **СТОИМОСТИ .**

ЗАВИСИТ ОТ:

- **КОНЦЕНТРАЦИИ И УСИЛЕНИЯ ФИНАНСИРОВАНИЯ;**
- **ПРИВЛЕЧЕНИЯ К РАЗРАБОТКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ ЯДЕРНЫХ ЦЕНТРОВ;**
- **ОБЪЕДИНЕНИЯ УСИЛИЙ АМЕРИКАНСКИХ И РОССИЙСКИХ ЯДЕРНЫХ ЦЕНТРОВ В СОВМЕСТНЫХ ПРОЕКТАХ С КОММЕРЧЕСКИМИ СТРУК-ТУРАМИ;**
- **РЕАЛЬНОЙ ДЕМОНСТРАЦИИ ДОСТИЖЕНИЙ ПОТРЕБИТЕЛЮ.**

4. РАЗВИТИЕ НАУКИ, ТЕХНИКИ И ЭКСПЕРИМЕНТЫ СВИДЕТЕЛЬСТВУЮТ О ТОМ, ЧТО ЭТИ ПРОБЛЕМЫ В БЛИЖАЙШЕЕ ВРЕМЯ БУДУТ РЕШЕНЫ.

ВНИИТФ

МИНИСТЕРСТВО АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ РОССИИ ПРИНЯЛО В 1995 ГОДУ СПЕЦИАЛЬНУЮ КОМПЛЕКСНУЮ ПРОГРАММУ

РАЗРАБОТКА И ОСВОЕНИЕ СЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК НА ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ

1. ЭУ НА ОСНОВЕ МЕТАНОЛЬНЫХ ТЭ
2. ЭУ НА ОСНОВЕ ЩЕЛОЧНЫХ ТЭ
3. ЭУ НА ОСНОВЕ ТВЕРДОПОЛИМЕРНЫХ ТЭ
4. ЭУ НА ОСНОВЕ ФОСФОРНОКИСЛЫХ ТЭ
5. ЭУ НА ОСНОВЕ РАСПЛАВКАРБОНАТНЫХ ТЭ
6. ЭУ НА ОСНОВЕ ТВЕРДООКСИДНЫХ ТЭ
7. СИСТЕМЫ ПОДГОТОВКИ ТОПЛИВА
8. ИСТОЧНИКИ ВТОРИЧНОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ
9. СИСТЕМЫ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛА
10. СИСТЕМЫ ХРАНЕНИЯ И РЕГЕНЕРАЦИИ ВОДОРОДА
11. СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ

СТРУКТУРА ПРОГРАММЫ

ВНИИТФ

II. ОБЛАСТЬ ИССЛЕДОВАНИЙ И РАЗРАБОТКИ ВНИИТФ

– ОСНОВНАЯ ЦЕЛЬ И ОБЛАСТЬ ИССЛЕДОВАНИЙ ВНИИТФ – “РАЗРАБОТКА И СЕРИЙНОЕ ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЭНЕРГОУСТАНОВОК (ЭУ) НА ОСНОВЕ ТОТЭ”.

– ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ:

2.1. МАТЕРИАЛОВЕДЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.2. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЙ

2.3. РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИЙ

2.4. ИЗГОТОВЛЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ

2.5. ОСВОЕНИЕ СЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

ВНИИТФ

2.1. МАТЕРИАЛОВЕДЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ:

а) БАЗОВЫЙ ТВЕРДЫЙ ЭЛЕКТРОЛИТ – ДВУОКИСЬ ЦИРКОНИЯ, СТАБИЛИЗИРОВАННАЯ ОКСИДОМ ИТТРИЯ ⇒ YSZ

б) ТОПЛИВНЫЙ ЭЛЕКТРОД (АНОД) – КОМПОЗИЦИЯ НА ОСНОВЕ Ni И ЭЛЕКТРОЛИТНОЙ КЕРАМИКИ YSZ ⇒ Ni + YSZ

в) ВОЗДУШНЫЙ ЭЛЕКТРОД (КАТОД) – КОМПОЗИЦИЯ НА ОСНОВЕ МАНГАНИТА – ЛАНТАНА – СТРОНЦИЯ ⇒ MLS

г) ТОКОВЫВОДЫ (ТОКОСОЕДИНИТЕЛИ):

– НА ТОПЛИВНОЙ СТОРОНЕ – Ni, Cr(Co)LS

– НА КИСЛОРОДНОЙ СТОРОНЕ – Pt, Cr(Co)LS, СПЛАВЫ Cr, Fe, Y_2O_3

ВНИИТФ

д) КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ – КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ $ZrO_2 + Y_2O_3$ (CaO), SiO_2 , Al_2O_3 , ЖАРОСТОЙКИЕ СТАЛИ И СПЛАВЫ.

е) КОНСТРУКЦИОННЫЕ СОЕДИНЕНИЯ (ГЕРМЕТИКИ) – КОМПОЗИЦИИ НА ОСНОВЕ BaO С ДОБАВКАМИ, $CaO \bullet SiO_2 \bullet Al_2O_3$, ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ ПРИПОИ, ГЛАЗУРИ, ОРГАНОСИЛИКАТЫ

ВО ВНИИТФ ПОСТОЯННО ПРОВОДЯТСЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ПОИСКУ БОЛЕЕ ЭФФЕКТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ТВЕРДЫХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ, ЭЛЕКТРОДНЫХ ПОКРЫТИЙ, ТОКОВЫВОДОВ, КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИХ СОЕДИНЕНИЙ.

ВНИИТФ

2.2. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЙ

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЙ ОХВАТЫВАЕТ ВЕСЬ ЦИКЛ ПОДГОТОВКИ ИСХОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТЭ, СБОРКИ МОДУЛЕЙ ТОТЭ, ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ГЕНЕРАТОРОВ И ЭНЕРГОУСТАНОВОК НА ИХ ОСНОВЕ И ПОСЛЕДУЮЩЕГО КОНТРОЛЯ И ИСПЫТАНИЙ.

ОСНОВНЫМИ ОПРЕДЕЛЯЮЩИМИ ТЕХНОЛОГИЯМИ ЯВЛЯЮТСЯ:

-ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЕДИНИЧНОГО ТЭ:

- **ТВЕРДЫЙ ЭЛЕКТРОЛИТ;**
- **ЭЛЕКТРОДЫ (АНОД, КАТОД);**
- **ТОКОСЪЕМЫ.**

- СБОРКА ТЭ В МОДУЛЬ:

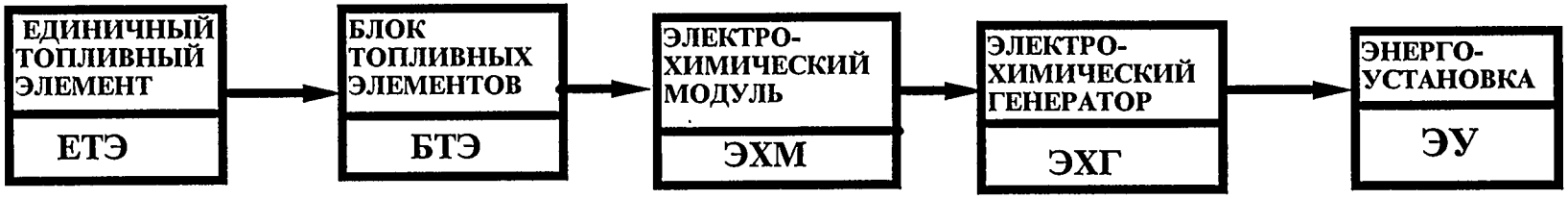
- **СОЕДИНЕНИЕ;**
- **ГЕРМЕТИЗАЦИЯ.**

ВО ВНИИТФ ВЕДЕТСЯ ПОСТОЯННАЯ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ РАБОТА ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ СУЩЕСТВУЮЩИХ И РАЗРАБОТКЕ НОВЫХ ЭКОНОМИЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ.

ВНИИТФ

2.3. РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИЙ

– ЭТА ОБЛАСТЬ РАЗРАБОТКИ РАСПРОСТРАНЯЕТСЯ НА ВЕСЬ ЦИКЛ КОНСТРУИРОВАНИЯ



С НЕОБХОДИМЫМ КОМПЛЕКТОМ ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ:

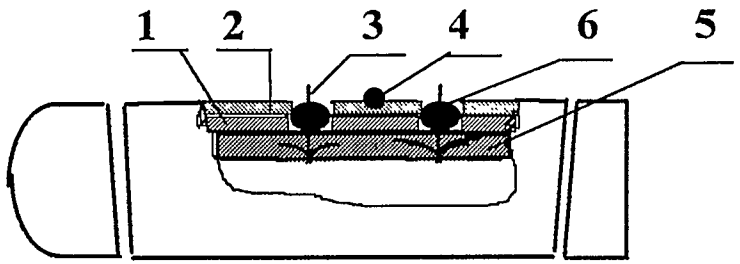
- СИСТЕМЫ ПОДГОТОВКИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГАЗА;
- СТАРТОВОГО РАЗОГРЕВА;
- АВТОМАТИКИ УПРАВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ;
- СИСТЕМЫ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛА;
- ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЭНЕРГИИ

– ВО ВНИИТФ ПРОВОДИТСЯ ПОЛНЫЙ ЦИКЛ РАСЧЕТНЫХ РАБОТ – ПРОЧНОСТНЫЕ, ТЕПЛОВЫЕ, ГАЗОВЫЕ.

ВНИИТФ

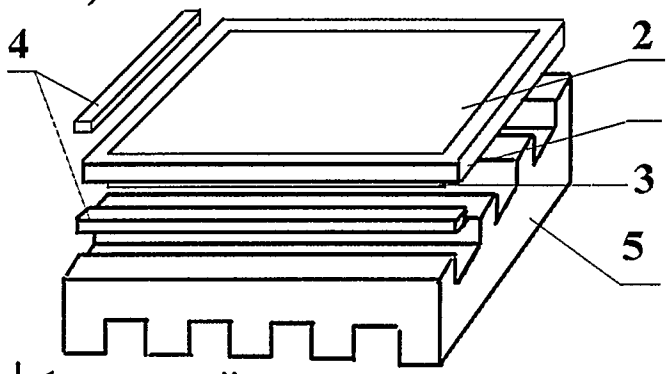
–ВО ВНИИТФ ИСПОЛЬЗУЮТСЯ ДВЕ ОСНОВНЫЕ БАЗОВЫЕ КОНСТРУКЦИИ ЕДИНИЧНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ:

а) ТРУБЧАТЫЕ –∅ 10 мм, L= 210 мм;



1- ТВЕРДЫЙ ЭЛЕКТРОЛИТ ($ZrO_2 + Y_2O_3$)
2- АНОДНОЕ ПОКРЫТИЕ (Ni + YSZ)
3- ТОКОПРОВОД (Pt, ∅ 0,3мм)
4- ТОКООТВОД (Ni , ∅ 0,3мм)
5- КАТОДНОЕ ПОКРЫТИЕ ($La_{0.6}Sr_{0.4}MnO_3$)
6- ЭМАЛЬ

б) ПЛАНАРНЫЕ – 50 X 50 мм



1- твердый электролит
2- анодное покрытие
3- катодное покрытие
4- герметик
5- сепаратор


ВНИИТФ

ЦЕЛЕВАЯ КОМПЛЕКСНАЯ ПРОГРАММА МАЭ РФ
“ РАЗРАБОТКА И ОСВОЕНИЕ СЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК НА ОСНОВЕ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ”

РАЗДЕЛ 6: ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ НА ТВЕРДООКСИДНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ

ГЕНЕРАЛЬНЫЙ РАЗРАБОТЧИК – РФЯЦ-ВНИИТФ

Т Р У Б Ч А Т Ы Й ТЭ

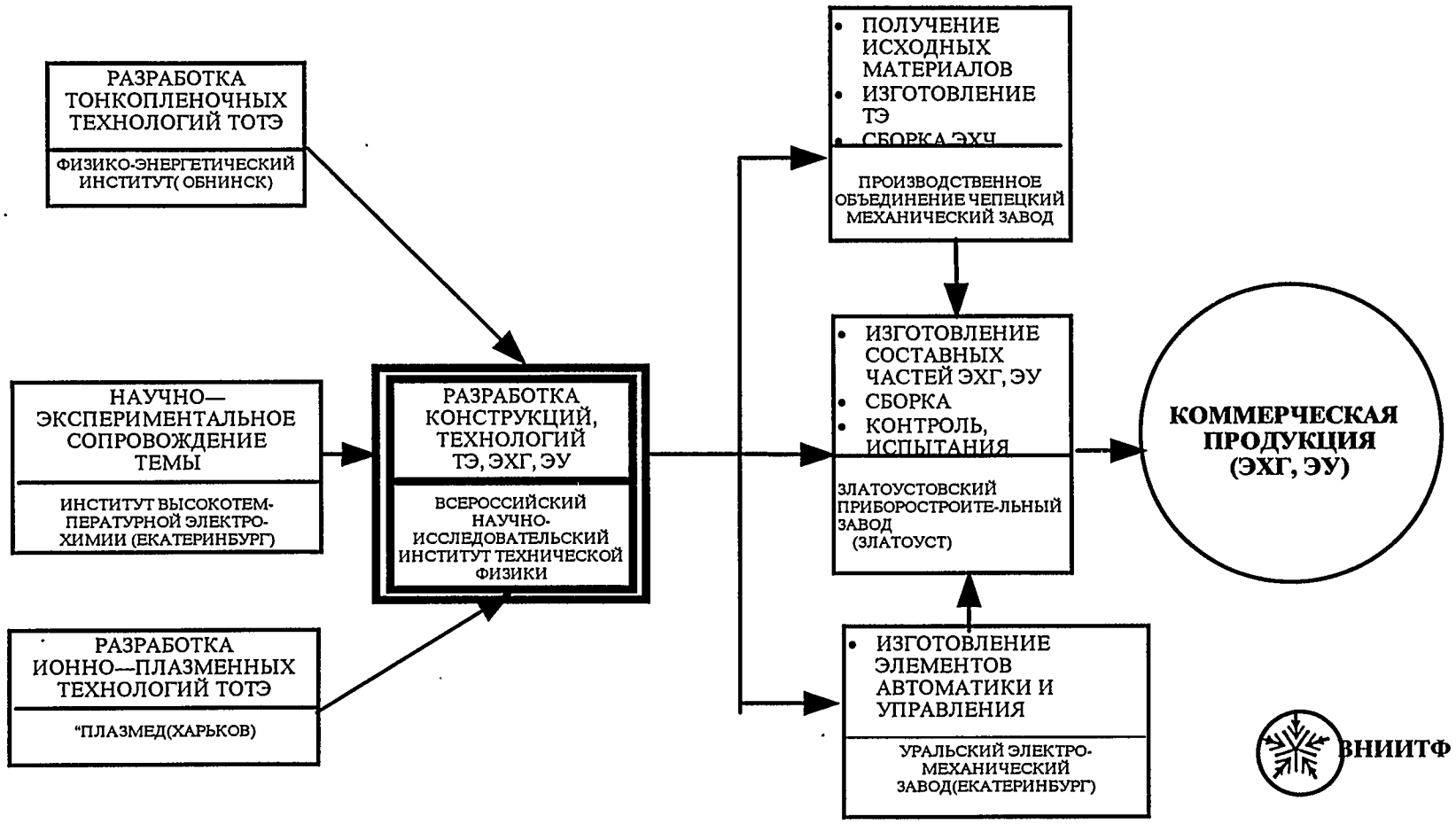
		1995	1996	1997	1998	1999	2000
1	ИССЛЕДОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ.МАРКЕТИНГ						
2	Разработка и исследования экспериментальных образцов ЭХГ мощностью						
	100 Вт						
	300 Вт		испытания				
	1 кВт		изготовление	испытания			
	10кВт		проект	изготовление	испы-тания		
	более 10кВт		проект		изготовление	испытания	
3	Разработка коммерческого автономного источника тока для систем телеметрического контроля параметров газа АИТ- 400 Вт		изготовление	испытания	освоение серийного производства	коммерческая продукция	
4	Разработка коммерческого проекта станции катодной защиты газопроводов СКЗ- 500 Вт		изготовление	испытания	освоение серийного производства	коммерческая продукция	
5	Разработка коммерческого проекта энергоустановки мощностью 5 кВт		проект	изготовление	испытания	освоение серийного производства	коммер-ческая продукция

П Л А Н А Р Н Ы Й Т Э

		1995	1996	1997	1998	1999	2000
ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ТЭ. МАРКЕТИНГ							
Разработка и исследования экспериментальных ЭХГ мощностью							
шликерная технология	100 Вт		изготовление	испытания			
	500Вт		проект	изготовление		испытания	
	1кВт		проект	изготовление		испытания	
Разработка базовых напылительных технологий планарного ТЭ							
Разработка и исследование экспериментальных образцов мощностью							
пленочные технологии	100 Вт		изготовление		испытания		
	500 Вт		проект	изготовление		испытания	
	1 кВт		проект		изготовление		испытания
Разработка коммерческих проектов с планарными ТЭ						освоение серийного производства	коммерческая продукция

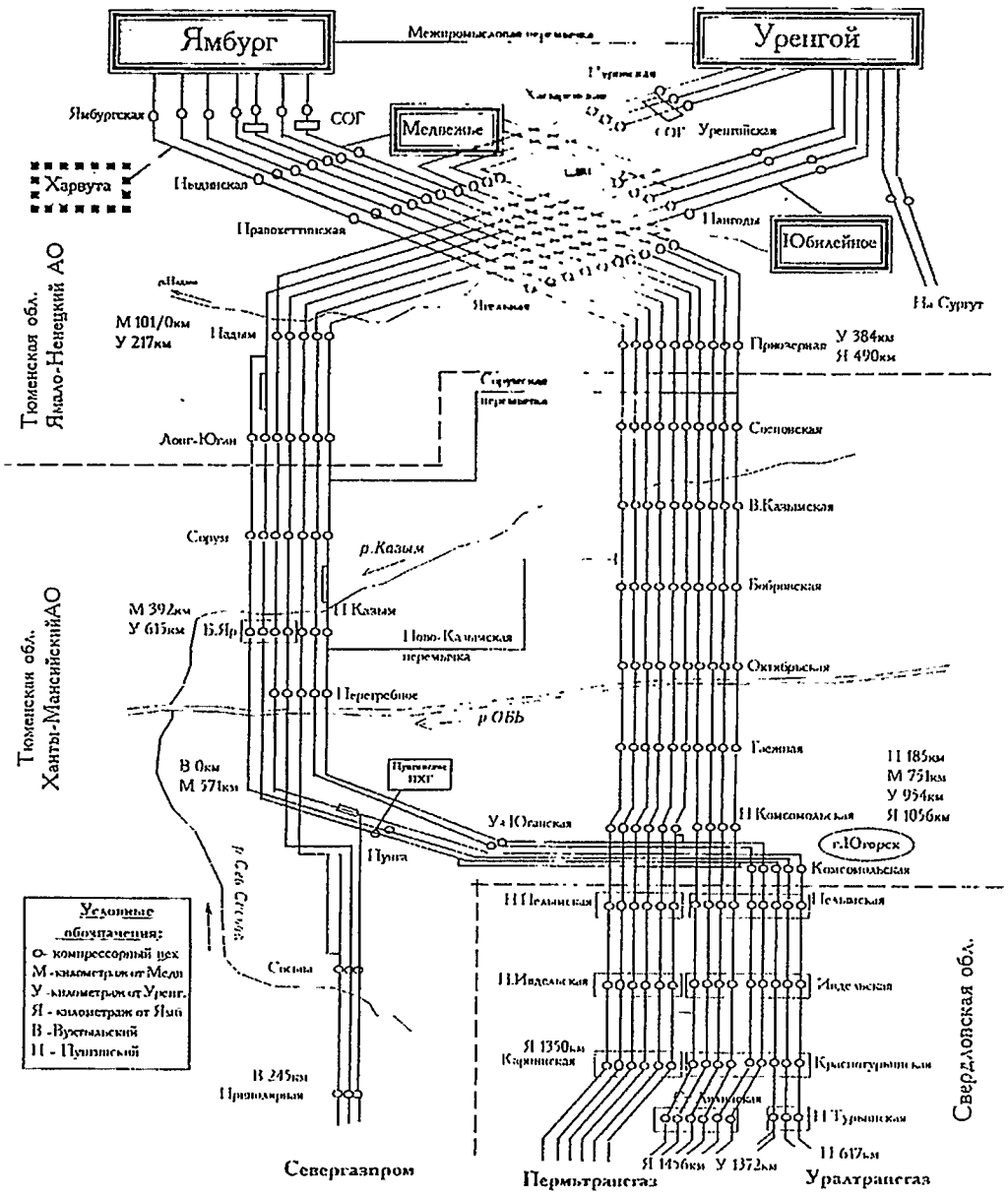
ВНИИТФ

2.5. ОСВОЕНИЕ СЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА ТОТЭ



Схема

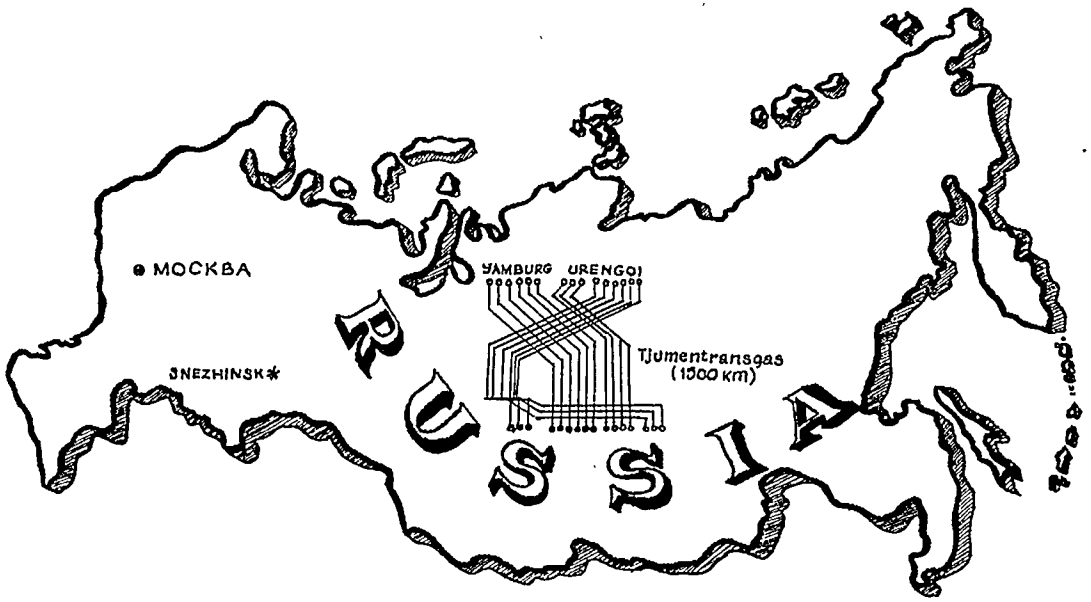
магистральных газопроводов предприятия "Тюментрансгаз" (на 1994 г.)



суточный	200	1.050	50
годовой	73.000	350.000	12.500

Транспорт газа, млн.м3

III. ОЦЕНКА РЫНКА СБЫТА



III. ОЦЕНКА РЫНКА СБЫТА.

МАРКЕТИНГОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОКАЗЫВАЮТ, ЧТО В РОССИИ В НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ ПОТЕНЦИАЛЬНЫМИ ПОТРЕБИТЕЛЯМИ ЭХГ И ЭУ НА ТОТЭ МОГУТ СТАТЬ НЕФТЕ—ГАЗОДОБЫВАЮЩИЕ ОТРАСЛИ ПРОМЫШЛЕННОСТИ:

а) АВТОНОМНЫЕ ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ МОЩНОСТЬЮ ДО 0,5 КВТ ДЛЯ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ГАЗА ПРИ ДОБЫЧЕ И ТРАНСПОРТИРОВКЕ ЕГО .

б) СТАНЦИИ КАТОДНОЙ ЗАЩИТЫ ГАЗОПРОВОДОВ МОЩНОСТЬЮ ОТ 0,5 ДО 1 КВТ.

в) ИСТОЧНИКИ МАЛОЙ МОЩНОСТИ (5—10) КВТ ДЛЯ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ ЖИЛЫХ ДОМОВ И ПОСЕЛКОВ, УДАЛЕННЫХ ОТ ЛИНИЙ ЭНЕРГОПЕРЕДАЧ (ЛЭП).

РАСЧЕТ ОБЪЕМА РЫНКА СБЫТА
(НА ПРИМЕРЕ ТЮМЕНТРАНСГАЗА)

1. СТАНЦИИ КАТОДНОЙ ЗАЩИТЫ (СКЗ) МОЩНОСТЬЮ ОТ 0,5 ДО 1,0кВт.
   НА ТРАССЕ, СОСТОЯЩЕЙ ИЗ 17 ГАЗОПРОВОДОВ ДЛИНОЙ 1500 КМ,
   ТРЕБУЕТСЯ УСТАНОВИТЬ СКЗ ЧЕРЕЗ КАЖДЫЕ 10 КМ.
   НЕОБХОДИМОЕ КОЛИЧЕСТВО СКЗ: N_1= 1500:10× 17= 2550

2. АВТОНОМНЫЕ ИСТОЧНИКИ ТОКА (АИТ) МОЩНОСТЬЮ ДО 0,5 кВт ДЛЯ
   ПИТАНИЯ СТАНЦИЙ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ (СТК).
   НА ТРАССЕ ПРЕДПОЛАГАЕТСЯ УСТАНОВИТЬ СТК ЧЕРЕЗ КАЖДЫЕ 50 КМ.
   НЕОБХОДИМОЕ КОЛИЧЕСТВО АИТ: N_1= 1500:50× 17= 510
   ПРИ СОВМЕЩЕНИИ ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ ОДНОВРЕМЕННО ДЛЯ СТК
   И СКЗ ПОТРЕБУЕТСЯ 2550 ШТУК МОЩНОСТЬЮ 1 кВт.

3. ДЛЯ ПЕРВООЧЕРЕДНОГО УДОВЛЕТВОРЕНИЯ ПОТРЕБНОСТИ В
   ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИИ ВАХТОВЫХ ДОМИКОВ, ЖИЛЫХ ДОМОВ
   ТРЕБУЕТСЯ ДО 300 ШТУК УСТАНОВОК МОЩНОСТЬЮ 5-10 кВт
   (ЭКСПЕРТНО).

ВНИИТФ

- ТАКИМ ОБРАЗОМ, ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ПОТРЕБНОСТЬ В ЭНЕРГОУСТАНОВКАХ МАЛОЙ МОЩНОСТИ ДЛЯ ТЮМЕНТРАНСГАЗА:

МОЩНОСТЬ	ИЛИ - ИЛИ 0,5кВт - 1,0кВт		5 - 10 кВт
КОЛИЧЕСТВО,шт	3060	2550	300

- АНАЛОГИЧНЫЕ РАСЧЕТЫ МОГУТ БЫТЬ ПРОВЕДЕНЫ ДЛЯ СЕВЕРГАЗПРОМА, ПЕРМЬТРАНСГАЗА, УРАЛТРАНСГАЗА И ДР. РЕГИОНОВ.
- ЕСЛИ ОРГАНИЗОВАТЬ ПРОИЗВОДСТВО ЭНЕРГОУСТАНОВОК МОЩНОСТЬЮ 1,0 кВт С ЕЖЕМЕСЯЧНЫМ ВЫПУСКОМ ДО 100 ШТУК, ТО ТЮМЕНТРАНСГАЗ МОЖЕТ БЫТЬ ОБЕСПЕЧЕН В ТЕЧЕНИЕ 2 - 2,5 ЛЕТ.
- УЧИТЫВАЯ, ЧТО ГАРАНТИЙНЫЙ СРОК СЛУЖБЫ ЭНЕРГОУСТАНОВОК МОЖЕТ БЫТЬ УСТАНОВЛЕН В ТЕЧЕНИЕ 2 ЛЕТ (~ 15000 ЧАСОВ), ОБНОВЛЕНИЕ (РЕНОВАЦИЯ) ЭНЕРГОУСТАНОВОК ОБЕСПЕЧИВАЕТ ПОСТОЯННОЕ ИХ ПРОИЗВОДСТВО НА ДЛИТЕЛЬНЫЙ СРОК.

ВЫВОД: ДАННЫЕ ДОКАЗЫВАЮТ О НАЛИЧИИ В РОССИИ УСТОЙЧИВОГО РЫНКА СБЫТА ЭНЕРГОУСТАНОВОК МАЛОЙ МОЩНОСТИ

ВНИИТФ

ПРОГНОЗИРУЕМАЯ КОММЕРЧЕСКАЯ ЦЕНА ЭНЕРГОУСТАНОВКИ МОЩНОСТЬЮ 1 кВт

№ п/п	Наименование затрат	Стоимость (тыс. $)
1	Материалы	1,5
2	Зарплата	2,1
3	Налоги (39 % п.2)	0,82
4	Плата за ресурсы (энергия, газ, тепло,вода, оборудование) 75%п.2	1,58
5	Себестоимость	6,0
6	Прибыль (40% п.5)	2,4
7	Налог на прибыль(30% п.6)	0,72
8	Чистая прибыль (6 - 7)	1,68
9	Цена изготовления (5+6)	8,4
10	Налог НДС (21,5 % п.8)	1,8
11	Коммерческая цена (9+10)	10,2

ВНИИТФ

IV. НАПРАВЛЕНИЯ СОТРУДНИЧЕСТВА

1. НАУЧНО - ТЕХНИЧЕСКОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО ПО РАЗРАБОТКЕ И ИССЛЕДОВАНИЮ МАТЕРИАЛОВ, ТЕХНОЛОГИЙ И КОНСТРУКЦИЙ ТОТЭ:

- ТВЕРДЫЕ ЭЛЕКТРОЛИТЫ
- АНОДНЫЕ ПОКРЫТИЯ
- КАТОДНЫЕ ПОКРЫТИЯ
- ГЕРМЕТИКИ
- МАТЕРИАЛЫ ТОКОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ
- ГАЗОВЫЕ РЕФОРМЕРЫ (КАТАЛИЗАТОРЫ)
- РАЗРАБОТКА И МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ УСТАНОВОК НА ТОТЭ
- СОВМЕСТНАЯ РАЗРАБОТКА РЕАЛЬНЫХ ПРОЕКТОВ ЭХГ И ЭУ (ДЛЯ СИСТЕМЫ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ, ЛИНИЙ КАТОДНОЙ ЗАЩИТЫ, ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ ДОМОВ И ДР.)

2. СОЗДАНИЕ СОВМЕСТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ ПО ПРОВЕДЕНИЮ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ , РАЗРАБОТКЕ И ИЗГОТОВЛЕНИЮ КОММЕРЧЕСКИХ ЭНЕРГОУСТАНОВОК НА ТОТЭ.

ВНИИТФ

ФОРМЫ СОТРУДНИЧЕСТВА

1. СПОНСОРЫ. (ГДЕ ВЫ, АНГЕЛЫ?)

(ИДЕЯ ПРИНАДЛЕЖИТ М-РУ)

2. КОНТРАКТЫ МЕЖДУ ВНИИТФ И ЗАКАЗЧИКОМ (США) ПО ПРОВЕДЕНИЮ ОТДЕЛЬНЫХ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ (П. IV. 1) ФИНАНСИРУЮТСЯ ЗАКАЗЧИКОМ.

3. КОНТРАКТЫ МЕЖДУ ВНИИТФ И ПАРТНЕРОМ (США) ПО СОВМЕСТНОМУ ПРОВЕДЕНИЮ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ (П. IV. 1) ФИНАНСИРОВАНИЕ НА ДОЛЕВОЙ ОСНОВЕ (ВНИИТФ + ПАРТНЕР).

4. ОРГАНИЗАЦИЯ РОССИЙСКО-АМЕРИКАНСКОГО КОНСОРЦИУМА (RAFCo). ФИНАНСИРОВАНИЕ ИЗ БЮДЖЕТА КОНСОРЦИУМА.

ВНИИТФ

5. ОРГАНИЗАЦИЯ СОВМЕСТНОГО РОССИЙСКО-АМЕРИКАНСКОГО АКЦИОНЕРНОГО ОБЩЕСТВА (СОВМЕСТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ) ПО РЕШЕНИЮ ЛОКАЛЬНОЙ ЗАДАЧИ - РАЗРАБОТКА И ПРОИЗВОДСТВО СОГЛАСОВАННОГО ПРОЕКТА ЭНЕРГОУСТАНОВКИ МОЩНОСТЬЮ 1 кВт И ПРОДВИЖЕНИЕ ПРОДУКТА НА РОССИЙСКОМ РЫНКЕ. ФИНАНСИРОВАНИЕ НА ДОЛЕВОЙ ОСНОВЕ.

6. ОРГАНИЗАЦИЯ ДОЛГОВРЕМЕННОГО СОВМЕСТНОГО РОССИЙСКО-АМЕРИКАНСКОГО АКЦИОНЕРНОГО ОБЩЕСТВА (СОВМЕСТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ) ПО РЕШЕНИЮ СТРАТЕГИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ - ПРОВЕДЕНИЕ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ, РАЗРАБОТКА И ИЗГОТОВЛЕНИЕ КОММЕРЧЕСКИХ ЭНЕРГОУСТАНОВОК НА ТОТЭ И ЗАВОЕВАНИЕ РОССИЙСКОГО РЫНКА. ФИНАНСИРОВАНИЕ НА ДОЛЕВОЙ ОСНОВЕ.

ВНИИТФ ПРЕДЛАГАЕТ И ГОТОВ ПОДДЕРЖАТЬ ЛЮБЫЕ ФОРМЫ ВЗАИМОВЫГОДНОГО СОТРУДНИЧЕСТВА.

ВНИИТФ

ВНИМАНИЕ, РИСКОВЫЙ ПРОЕКТ!

**V.ПРОЕКТ ПРЕДЛОЖЕНИЙ (КРАТКО)
ПО СОЗДАНИЮ СОВМЕСТНОГО РОССИЙСКО-АМКРИКАНСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ ПО ПРОВЕДЕНИЮ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ, РАЗРАБОТКЕ И ИЗГОТОВЛЕНИЮ ЭНЕРГОУСТАНОВОК НА ОСНОВЕ ТВЕРДООКСИДНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ -
- RASOFCo -**

1. ГЕНЕРАЛЬНАЯ ЦЕЛЬ - ПОВЕДЕНИЕ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ, РАЗРАБОТКА И ПРОИЗВОДСТВО ЭНЕРГОУСТАНОВОК НА ТОТЭ, ЗАВОЕВАНИЕ РОССИЙСКОГО РЫНКА, ПОЛУЧЕНИЕ ПРИБЫЛИ.

2. ЗАДАЧА I УРОВНЯ - ЗАВЕРШЕНИЕ БАЗОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ТЕХНОЛОГИЙ, РАЗРАБОТКА КОММЕРЧЕСКОЙ ЭНЕРГОУСТАНОВКИ МОЩНОСТЬЮ 1кВт, ИСПЫТАНИЯ, ОСВОЕНИЕ СЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА, СЕРИЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО, ПРОДАЖА ЭНЕРГОУСТАНОВОК ПРЕДПРИЯТИЯМ РАО “ГАЗПРОМ” РОССИИ, ОРГАНИЗАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ, ПОЛУЧЕНИЕ ПРИБЫЛИ

ВНИИТФ

3. УЧАСТНИКИ СОВМЕСТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ.

С РОССИЙСКОЙ СТОРОНЫ:

- ВНИИТФ - ГЕНЕРАЛЬНЫЙ РАЗРАБОТЧИК
- ИВТЭ - НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, ТЕХНОЛОГИИ
- ФЭИ - ТОНКОПЛЕНОЧНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ТОТЭ
- ПО ЧМЗ - СЕРИЙНОЕ ИЗГОТОВЛЕНИЕ ТЭ И БТЭ
- УЭМЗ - СЕРИЙНОЕ ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ УПРАВЛЕНИЯ И АВТОМАТИКИ
- ЗПЗ - СЕРИЙНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ ПО ОКОНЧАТЕЛЬНОЙ СБОРКЕ ЭУ, ПРОДАЖА, ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ

С АМЕРИКАНСКОЙ СТОРОНЫ:

_____

_____

4. ВКЛАД РОССИЙСКОЙ СТОРОНЫ - СПЕЦИАЛИСТЫ, ПОМЕЩЕНИЯ, ОБОРУДОВАНИЕ, РЕСУРСЫ, МАТЕРИАЛЫ, ТЕХНОЛОГИИ ВКЛАД АМЕРИКАНСКОЙ СТОРОНЫ - ДОЛЕВОЕ ФИНАНСИРОВАНИЕ УЧРЕДИТЕЛЬСТВА, КРЕДИТ НА ОРГАНИЗАЦИЮ СЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

ВНИИТФ

5.ПРЕДМЕТ ПРОИЗВОДСТВА- ЭНЕРГОУСТАНОВКИ НА ТОТЭ МОЩНОСТЬЮ 1кВт ДЛЯ ПИТАНИЯ СТАНЦИЙ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ (СТК) ПАРАМЕТРОВ ГАЗОПРОВОДОВ И ДЛЯ СТАНЦИЙ КАТОДНОЙ ЗАЩИТЫ (СКЗ) НЕФТЕ - ГАЗОПРОВОДОВ.

6.ПОТРЕБИТЕЛЬ - ОРГАНИЗАЦИИ, ТРАНСПОРТИРУЮЩИЕ ГАЗ, РАО "ГАЗПРОМ" РОССИИ - ТЮМЕНТРАНСГАЗ, СЕВЕРГАЗПРОМ, ПЕРМЬТРАНСГАЗ, УРАЛТРАНСГАЗ И ДР.

7.ПОТРЕБНОСТЬ РЫНКА - ТОЛЬКО ТЮМЕНТРАНСГАЗУ ТРЕБУЕТСЯ НЕ МЕНЕЕ 2500 УСТАНОВОК. С УЧЕТОМ РЕНОВАЦИИ ОЖИДАЕТСЯ УСТОЙЧИВЫЙ РЫНОК НА БЛИЖАЙШИЕ 10 - 15 ЛЕТ.

ВНИИТФ

8.МАКСИМАЛЬНЫЙ ОБЪЕМ ВЫПУСКА, КОТОРЫЙ ПРЕДПОЛАГАЕТСЯ ДОСТИЧЬ СОВМЕСТНОМУ ПРЕДПРИЯТИЮ - ДО 1000 УСТАНОВОК В ГОД.

9.РАСЧЕТНО - ПРОГНОЗИРУЕМАЯ КОММЕРЧЕСКАЯ ЦЕНА УСТАНОВКИ - 10,2 ТЫС. USD
ПЛАНИРУЕМАЯ ЧИСТАЯ ПРИБЫЛЬ - 1,68 ТЫС. USD.

10.ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ:

• НИОКР (ЗАВЕРШЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ, РАЗРАБОТКА ЭУ, ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОБРАЗЦА, ИСПЫТАНИЯ	Iкв.96 - IV кв.96
• ОСВОЕНИЕ СЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА	IIкв.96 - II кв.97
• СЕРИЙНЫЙ ВЫПУСК	с IIIкв.97

ВНИИТФ

11. ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ СОВМЕСТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ ОТ АМЕРИКАНСКОГО ПАРТНЕРА НЕОБХОДИМО:

- УЧРЕДИТЕЛЬНЫЙ ВЗНОС - 2,9 МЛН. USD В ТЕЧЕНИЕ 2-х ЛЕТ
- КРЕДИТ - 1,8 МЛН. USD В 1997 ГОДУ

  КРЕДИТ ВОЗВРАЩАЕТСЯ В ТЕЧЕНИЕ 2,5 ЛЕТ

12. УСТОЙЧИВАЯ ЧИСТАЯ ПРИБЫЛЬ НАЧИНАЕТСЯ С 2000 ГОДА В СУММЕ 1,68 МЛН. USD В ПРОПОРЦИИ RUS : US = 0,6 : 0,4

ВНИИТФ

ПЛАН ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА И ФИНАНСИРОВАНИЯ

NN пп	Годы / Показатели	1 1996	2 1997	3 1998	4 1999	5 2000	6 2001
1	Необходимое финансирование (млн. $), в том числе:	3,0	2,3	2,2	2,3	2,3	2,48
	1.1. НИОКР	US–1,0* RUS–0,3*	RUS–0,3*	Co–0,2	Co–0,3	Co–0,28	Co–0,3
	1.2. Освоение производства	US–1,5*					Co–0,18
	1.3. На производство		US–1,8**	Co–1,8(×2)	Co–1,8(×3,3)	Co–1,8(×3,3)	Co–1,8
	1.4. На управление	US–0,2*	US–0,2*	Co–0,2	Co–0,2	Co–0,2	Co–0,2
2	План выпуска ЭУ (штук)		300	600	1000	1000	
3	Доход от реализации (млн.$)		3,06	6,12	10,2	10,2	
	Из него: 3.1. Затраты на производство		1.8	3,6	6,0	6,0	
	3.2. НДС		0,54	1,08	1,8	1,8	
	3.3. Прибыль		0.72	1,44	2,4	2,4	
	3.4. Налог с прибыли		0,22	0,44	0,72	0,72	
	3.5. Чистая прибыль		0.5	1,0	1,68	1,68	
4	Распределение чистой прибыли						
	4.1. Погашение кредита		0,1	0,5	1,2	–	
	4.2. НИОКР		0,2	0,3	0,28	0,3	
	4.3. Совершенствование производства					0,18	
	4.4. На управление		0,2	0,2	0,2	0,2	
	4.5. Остаток чистой прибыли					1,0	

* – в качестве учредительного взноса

** – кредит

Co – компания RASOFCo

VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- ЭНЕРГОУСТАНОВКИ НА ТОТЭ ЯВЛЯЮТСЯ НАДЕЖНОЙ, ПЕРСПЕКТИВНОЙ И ВЫГОДНОЙ СОВРЕМЕННОЙ НАУЧНО - ТЕХНИЧЕСКОЙ РАЗРАБОТКОЙ

- ВНИИТФ И ПРЕДПРИЯТИЯ МИНАТОМА РОССИИ ОБЛАДАЮТ ДОСТАТОЧНЫМ ПОТЕНЦИАЛОМ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ЭУ НА ТОТЭ

- РОССИЯ ОБЛАДАЕТ УСТОЙЧИВЫМ РЫНКОМ СБЫТА ЭУ

- КОММЕРЦИАЛИЗАЦИЯ ТОТЭ СДЕРЖИВАЕТСЯ ИЗ - ЗА НЕДОСТАТОЧНОЙ РЕШЕННОСТИ РЯДА МАТЕРИАЛОВЕДЧЕСКИХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ, КОТОРЫЕ В БЛИЖАЙШЕЕ ВРЕМЯ БУДУТ РЕШЕНЫ

- УСКОРЕНИЮ КОММЕРЦИАЛИЗАЦИИ МОГУТ СПОСОБСТВОВАТЬ
  - КОНЦЕНТРАЦИЯ УСИЛИЙ СПЕЦИАЛИСТОВ АМЕРИКАНСКИХ И РОССИЙСКИХ ЯДЕРНЫХ ЦЕНТРОВ
  - УСИЛЕНИЕ ФИНАНСИРОВАНИЯ.

ВНИИТФ

RUSSIAN FEDERAL NUCLEAR CENTER –
ALL-RUSSIAN RESEARCH INSTITUTE OF TECHNICAL PHYSICS
(RFNC — VNIITF)

PROGRAM OF SCIENTIFIC INVESTIGATIONS AND DEVELOPMENT OF SOLID -OXIDE FUEL CELLS (SOFC) IN VNIITF. PROPOSALS ON SCIENTIFIC & TECHNICAL COLLABORATION AND SOFC COMMERCIALIZATION.

Yu. N. Kleschev — Chief Technologist, Dr. of Sciences
V. F. Chukharev — SOFC Laboratory Head, Dr. of Sciences

456670 Snezhinsk, Chelyabinsk Region
P.O. 245, Russia
FAX: 7 - (351) 723 2077
E MAIL: AVN@ONTI.CH70.CHEL.SU
Phone: 7 (351) 722 3982

VNIITF

Albuquerque— September 1995

CONTENTS

VNIITF

I. INTRODUCTION

1. FUEL CELLS (FC) HAVE A SIGNIFICANT PLACE IN THE PRESENT-DAY POWER ENGINEERING AND WILL BE THE MOST IMPORTANT ELEMENT IN THE POWER ENGINEERING OF THE NEAREST FUTURE (EFFICIENCY. ECOLOGICAL SAFETY)

2. SOFC ARE THE MOST PERSPECTIVE IN THEIR COMMERCIAL USAGE DU TO THEIR UNQUESTIONABLE OPERATIONAL ADVANTAGES:

- - SOLID ELECTROLYTE (CERAMICS) ⇒ DURABILITY (SERVICE LIFE);
- - ADVANCED TECHNOLOGIES (SPRAY COATING) ⇒ DIMENSIONS, SPECIFIC CHARACTERISTICS;
- - HIGH EFFICIENCY;
- - ECOLOGICAL SAFETY;
- - USAGE OF DIFFERENT TYPE FUELS .

VNIITF

3. AT PRESENT SOFC COMMERCIALIZATION

IS RESTRAINED BECAUSE OF:

- A NUMBER OF MATERIALS TECHNOLOGY PROBLEMS;
- COMPLEXITY AND SPECIFICITY OF TECHNOLOGIES;
- COSTS.

DEPENDS ON:

- CONCENTRATION AND ENHANCING OI FINANCING;
- INVOLVING OF NUCLEAR CENTERS SPECIALISTS IN DEVELOPMENT;
- INTEGRATING OF RUSSIAN AND AMERICAN NUCLEAR CENTERS EFFORTS IN THE JOINT PROJECTS WIT COMMERCIAL STRUCTURES;
- REAL DEMONSTRATION OF ACHIEVEMENTS TO CONSUMERS.

4. DEVELOPMENT OF SCIENCE, ENGINEERING AND ALSO EXPERIMENTS CORROBORATE THAT THESE PROBLEMS WILL BE SOLVED IN THE NEAREST TIME

VNIITF

RF MINISTRY FOR ATOMIC ENERGY HAS APPROVED A SPECIAL COMPLEX PROGRAM IN 1995

DEVELOPMENT AND PUTTING INTO SERIES PRODUCTION OF POWER PLANTS (PP) BASED ON FUEL CELLS (FC)

1. PP BASED ON METHANOL FC
2. PP BASED ON ALKALINE FC
3. PP BASED ON SOLID-POLYMER FC
4. PP BASED ON PHOSPHOROUS ACID FC
5. PP BASED ON MELT-CARBONATE FC
6. PP BASED ON SOLID-OXIDE FC
7. SYSTEMS FOR FUEL PREPARATION
8. SOURCES OF SECONDARY POWER SUPPLY
9. SYSTEMS FOR HEAT UTILIZATION
10. SYSTEMS FOR HYDROGEN STORAGE AND REGENERATION
11. MEANS OF CONTROL AND AUTOMATIZATION

PROGRAM STRUCTURE

VNIITF

II. FIELD OF VNIITF INVESTIGATIONS AND DEVELOPMENT

- MAIN GOAL AND FIELD OF VNIITF INVESTIGATIONS – " DEVELOPMENT AND SERIES PRODUCTION OF POWER PLANTS (PP) ON THE BASIS OF SOFC ".

- BASIC DIRECTIONS:

  2.1. MATERIALS TECHNOLOGY INVESTIGATIONS

  2.2. DEVELOPMENT OF TECHNOLOGIES

  2.3. DEVELOPMENT OF CONSTRUCTIONS

  2.4. MANUFACTURE AND INVESTIGATIONS OF EXPERIMENTAL SAMPLES

  2.5. PUTTING INTO SERIES PRODUCTION

VNIITF

2.1. MATERIALS TECHNOLOGY INVESTIGATIONS:

a) BASE SOLID ELECTROLYTE — ZIRCONIUM DIOXIDE STABILIZED BY YTTRIUM OXIDE ⇒ YSZ

b) FUEL ELECTRODE (ANODE) — COMPOSITION ON THE BASIS OF Ni AND ELECTROLYTIC CERAMICS YSZ ⇒ Ni + YSZ

c) AIR ELECTRODE (CATHODE) — COMPOSITION ON THE BASIS OF MANGANITE - LANTHANUM - STRONTIUM ⇒ MLS

d) CURRENT LEADS:

– ON THE FUEL SIDE – Ni, Cr(Co)LS

– ON THE OXYGEN SIDE – Pt, Cr(Co)LS, ALLOYS Cr, Fe, Y_2O_3

VNIITF

e) STRUCTURAL COMPOUNDS – CERAMICS ON THE BASIS OF

$ZrO_2 + Y_2O_3$ (CaO), SiO_2 , Al_2O_3 , HEAT-RESISTANT STEELS AND ALLOYS.

f) SEALING COMPOUNDS – COMPOSITIONS

ON BASIS OF BaO WITH ADDITIONS, CaO • SiO_2 • Al_2O_3 ,

HIGH-TEMPERATURE SOLDERS , GLAZES,

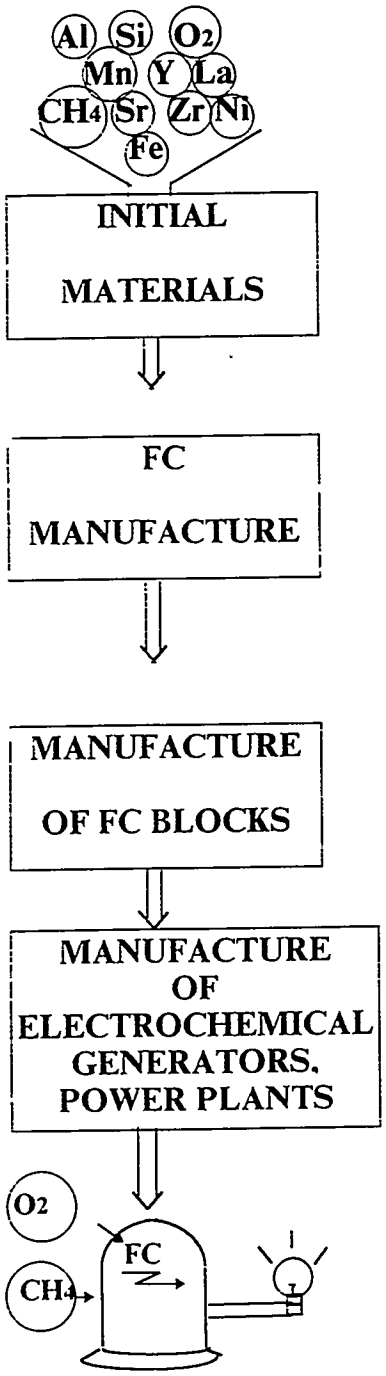
ORGANIC SILICATES

IN VNIITF THE INVESTIGATIONS ARE CONSTANTLY PERFORMED WITH RESPECT TO SEARCH OF MORE EFFECTIVE MATERIALS FOR SOLID ELECTROLYTES, ELECTRODE COATINGS, CURRENT LEADS, STRUCTURAL MATERIALS AND THEIR CONNECTIONS.

VNIITF

2.2. DEVELOPMENT OF TECHNOLOGIES

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGIES COVERS THE WHOLE CYCLE OF INITIAL MATERIALS PREPARATION, FC MANUFACTURE, ASSEMBLING OF SOFC MODULES, ELECTROCHEMICAL GENERATORS AND POWER PLANTS ON THEIR BASIS AND SUBSEQUENT CONTROL AND TESTS.



- obtaining of powders
- making up compositions of powders
- synthesis of powder compositions
- grind, separation of powders
- methods to control quality
- preparation of compositions with thermoplastic binders
- molding of structural details (casting, pressing, rolling)
- annealing, caking
- machining of ceramics
- making of electrode coatings, caking
- ion-plasma technologies for coating electrode layers
- methods to control the quality and the characteristics of FC
- connection of the construction elements by the method of high-temperature hermetic sealing, soldering, welding
- methods to control quality, hermetic sealing and FC block characteristics
- technology for manufacturing and assembling the elements of the construction, gas pipelines, thermal insulation, body (case)
- methods to control quality
- technologies to investigate power plants characteristics
- technologies for enriching natural fuel
- technologies for heat utilization
- technologies for energy conversion

VNIITF

BASIC TECHNOLOGIES ARE:

- MANUFACTURE OF SINGLE FC:
  - SOLID ELECTROLYTE;
  - ELECTRODES (ANODE, CATHODE);
  - CURRENT COLLECTORS

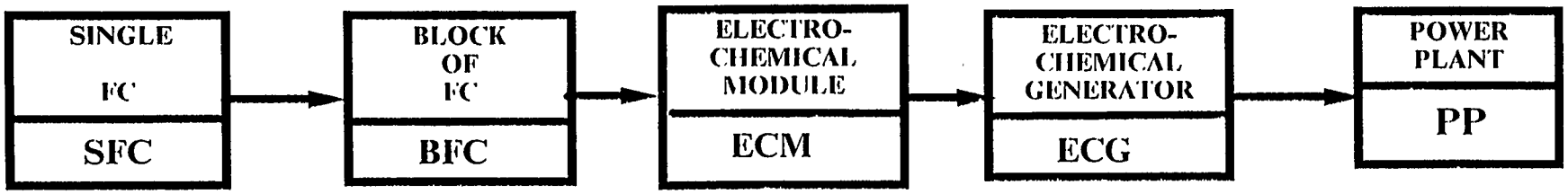
- ASSEMBLING OF FC INTO A MODULE:
  - CONNECTION;
  - HERMETIC SEALING.

IN VNIITF RESEARCH WORK IS CONSTANTLY PERFORMED WITH RESPECT TO IMPROVING THE AVAILABLE TECHNOLOGIES AND DEVELOPMENT OF THE NEW EFFICIENT ONES.

VNIITF

2.3 DEVELOPMENT OF CONSTRUCTIONS

– THIS FIELD OF DEVELOPMENT COVERS THE WHOLE DESIGN CYCLE



WITH THE NECESSARY SET OF ACCESSORY EQUIPMENT:

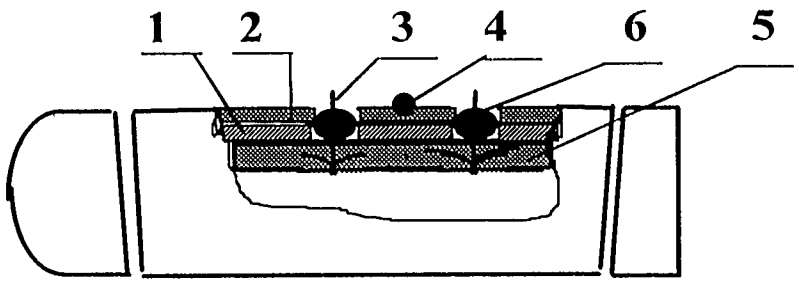
- SYSTEMS FOR GAS PREPARATION AND DISTRIBUTION;
- INITIAL WARM-UP;
- AUTOMATICS OF HANDLING AND CONTROL;
- SYSTEMS OF HEAT UTILIZATION;
- ENERGY CONVERTERS

– *IN VNIITF THE WHOLE CYCLE OF CALCULATIONS, INCLUDING STRENGTH, THERMAL AND GAS ONES, IS PERFORMED.*

VNIITF

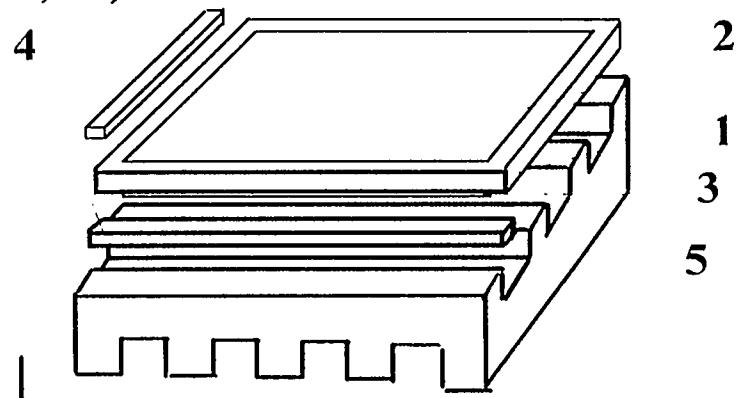
- IN VNIITF TWO MAIN BASE CONSTRUCTIONS OF SINGLE FUEL CELLS ARE USED:

a) THE TUBULAR ONES — ∅ 10 mm, L=210 mm;



1 — SOLID ELECTROLYTE ($ZrO_2+Y_2O_3$)
2 — ANODE COATING (Ni+YSZ)
3 — CURRENT CONDUCTOR (Pt, ∅ 0,3 mm)
4 — CURRENT CONDUCTOR (Ni, ∅ 0,3 mm)
5 — CATHODE COATING (La 0,6 Sr 0,4 MnO_3)
6 — ENAMEL

б) THE PLANAR ONES — 50x50 mm



1 — SOLID ELECTROLYTE
2 — ANODE COATING
3 — CATHODE COATING
4 — SEALING COMPOUND
5 — SEPARATOR

VNIITF

SPECIAL COMPLEX PROGRAM OF RF MINISTRY FOR ATOMIC ENERGY FOR DEVELOPMENT AND PUTTING INTO SERIES PRODUCTION OF POWER PLANTS ON THE BASIS OF FUEL CELLS

SECTION 6: POWER PLANTS BASED ON SOLID—OXIDE FUEL CELLS

MAIN DEVELOPER — RFNC-VNIITF

T U B U L A R F C

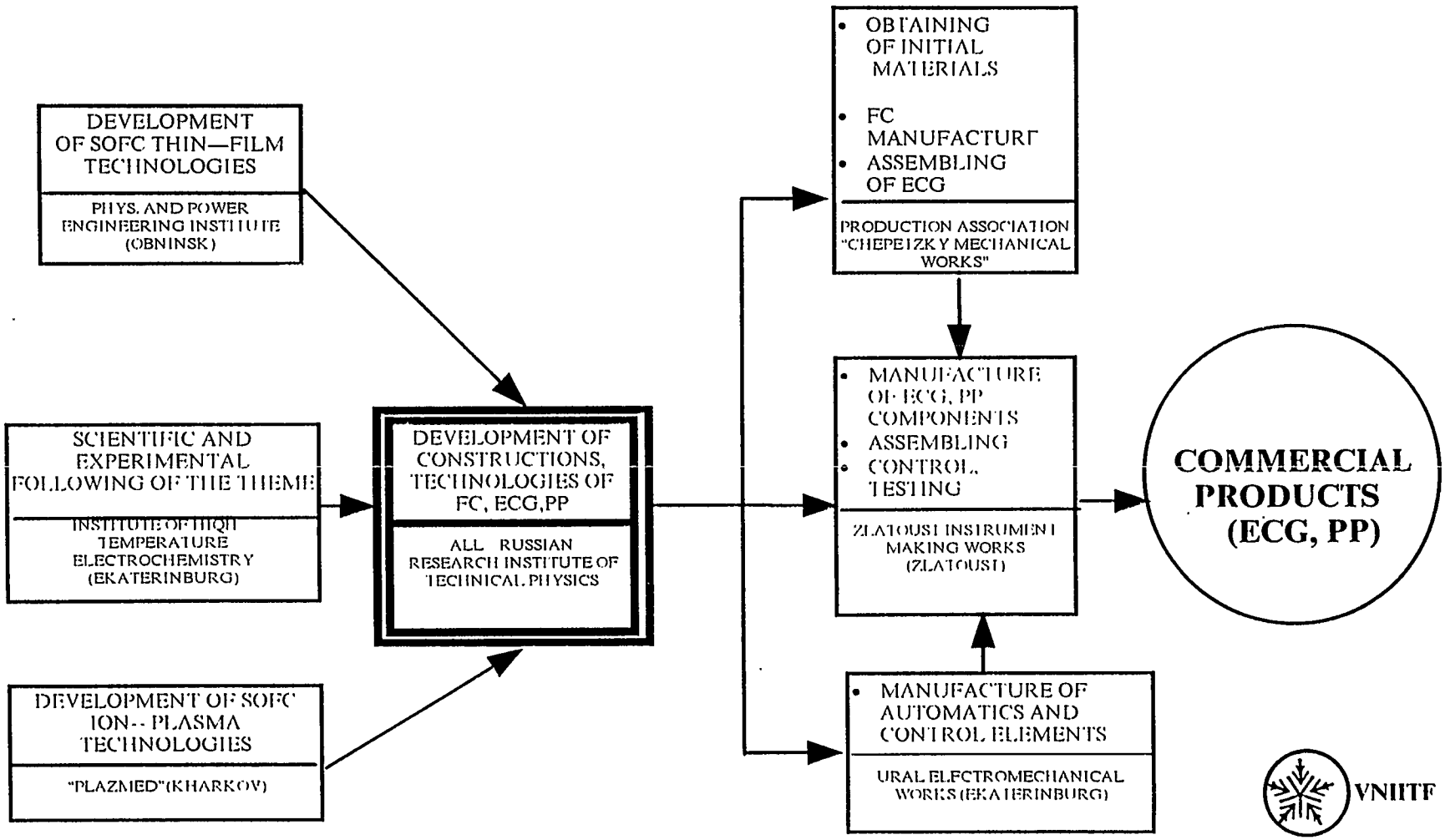
		1995	1996	1997	1998	1999	2000
1	INVESTIGATIONS OF MATERIALS AND TECHNOLOGIES IMPROVEMENT.MARKETING						
2	Development and investigation into experimental samples of ECG having power						
	100 W						
	300 W		testing				
	1 кW		manufacture	testing			
	10 кW		project	manufacture	test ing		
	more than 10кW		project	manufacture		testing	
3	Development of commercial autonomous current source for the system of telemetering control of gas parameters ACS - 400 W		manufa-cture	testing	putting into series production	commertial products	
4	Development of commercial project with respect to cathode protection station (CPS) of gas pipeline - 500 W		manufacture	testing	putting into series production	commercial products	
5	Development of commercial project of 5 кW power plant		project	manufacture	testing	putting into series production	com-mercial products

P L A N A R FC

			1995	1996	1997	1998	1999	2000
1	INVESTIGATIONS OF MATERIALS AND TECHNOLOGIES IMPROVEMENT.MARKETING							
2	Development and investigation into experimental ECG of power							
	slip casting technology	100 W		manufac-ture	testing			
		500 W		project	manufacture	testing		
		1 кW		project	manufacture	testing		
3	Development of base spraying technologies for planar FC							
4	Development and investigation into experimental samples of power							
	film technologies	100 W		manufature	testing			
		500 W		project	manufacture	testing		
		1 кW		project	manufacture	testing		
5	Development of commercial projects with planar FC					putting into series production	commercial products	

VNIITF

2.5. PUTTING INTO SERIES PRODUCTION OF SOFC



III. ASSESSMENT OF COMMODITY MARKET.

MARKETING INVESTIGATIONS SHOW THAT IN RUSSIA THE POTENTIAL CONSUMERS OF ECG AND PP BASED ON FC MAY BE, AT PRESENT, OIL-GAS EXTRACTIVE BRANCHES OF INDUSTRY:

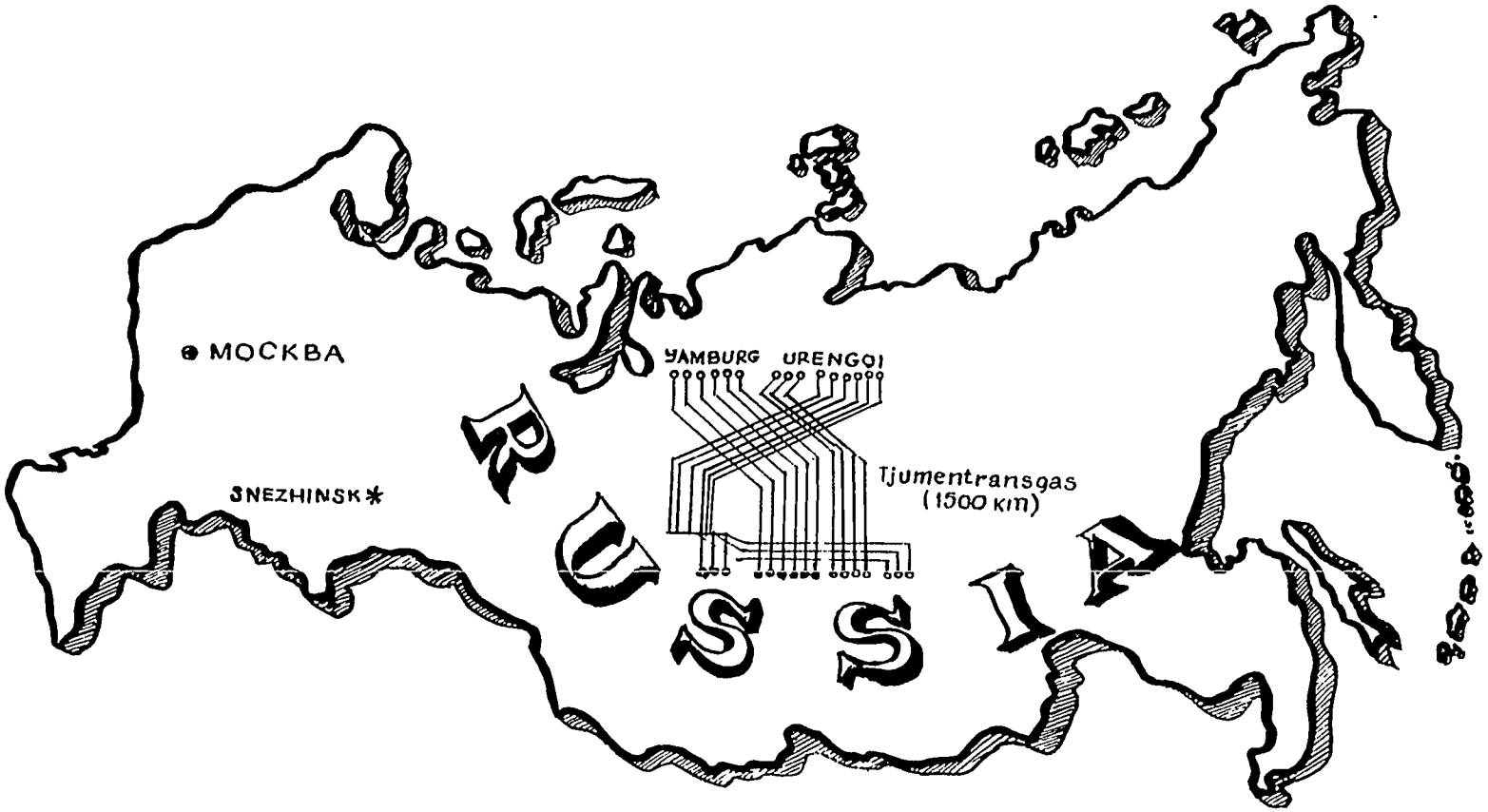
a) AUTONOMOUS POWER SUPPLIES OF UP TO 0,5 kW POWER FOR TELEMETERING CONTROL OF GAS PARAMETERS DURING GAS EXTRACTION (PRODUCTION) AND ITS TRANSPORTATION;

b) CATHODE PROTECTION STATIONS OF GAS PIPELINE WITH POWER RANGE FROM 0,5 TO 1 kW;

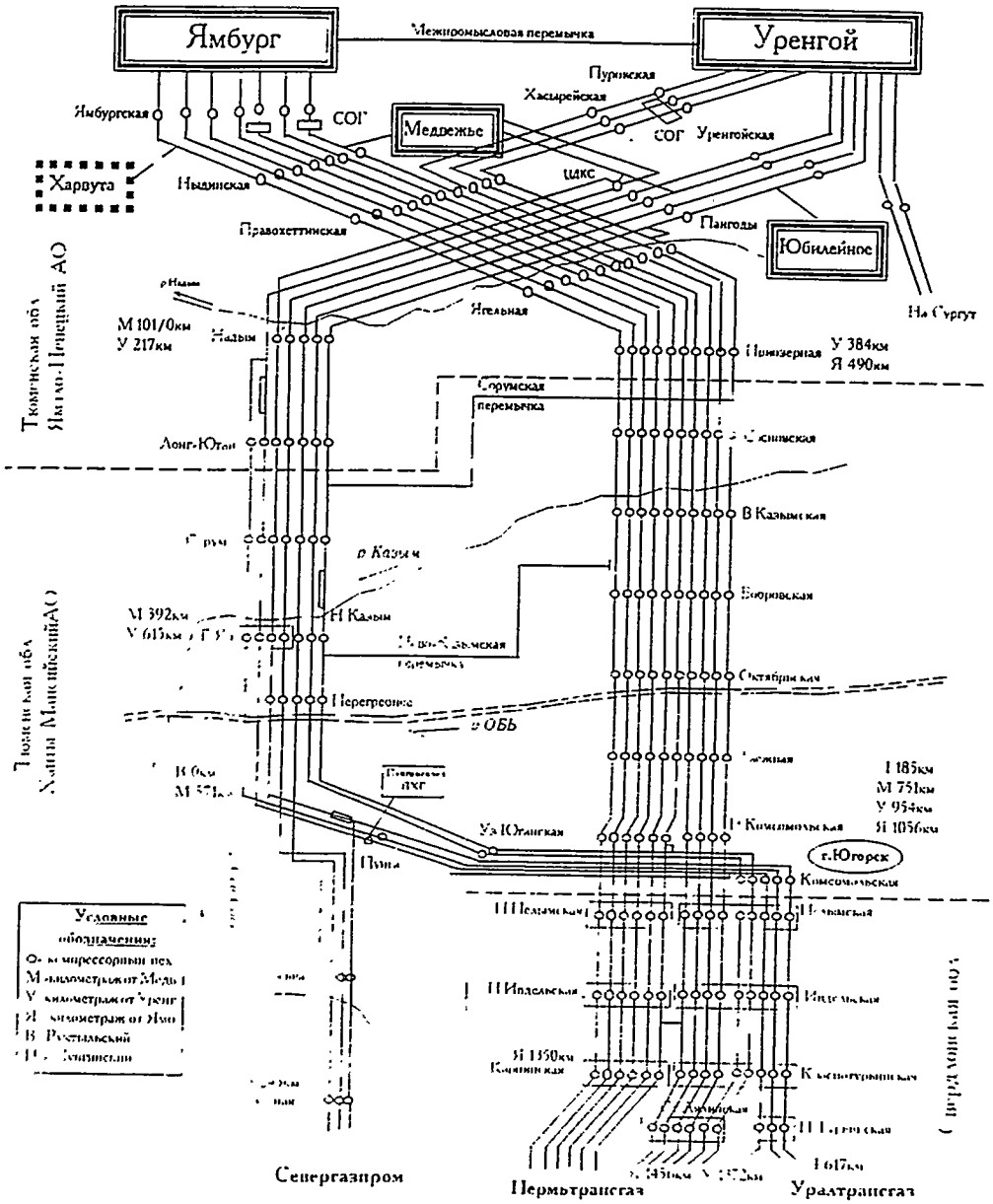
c) SOURCES OF LOW POWER (5—10 kW) FOR POWER SUPPLY OF DWELLING HOUSES AND SETTLEMENTS BEING REMOTE FROM ELECTRIC POWER LINES (EPL).

VNIITF

III. ASSESSMENT OF COMMODITY MARKET



SCHEME
OF MAIN GAS PIPELINES OF THE ENTERPRISE "TYUMENTRANSGAS" (1994)



суточный	200	1.050	50
годовой	73 000	350.000	12.500

ASSESSMENT OF COMMODITY MARKET VOLUME
(USING TYUMENTRANSGAS BY WAY OF EXAMPLE)

1. CATHODE PROTECTION STATIONS (CPS) WITH THEIR POWER WITHIN THE RANGE FROM 0,5 TO 1,0 kW.
   AT THE ROUTE CONSISTING OF 17 GAS PIPELINES 1500 KM IN LENGTH IT IS REQUIRED TO PLACE CPS THROUGH THE INTERVAL EQUAL TO 10 KM ALONG ALL THE ROUTE.
   NECESSARY NUMBER OF CPS: N_1= 1500:10× 17= 2550

2. AUTONOMOUS CURRENT SOURCES (ACS) OF POWER UP TO 0,5 kW FOR POWER SUPPLY OF TELEMETERING CONTROL STATIONS (TCS).
   IT IS PROPOSED TO PLACE TCS THROUGH THE INTERVAL EQUAL TO 50 KM.
   NECESSARY NUMBER OF ACS: N_1= 1500:50× 17= 510
   WHEN INTEGRATING THE POWER SUPPLY SIMULTANEOUSLY FOR TCS AND CPS IT IS REQUIRED TO MOUNT 2550 PP OF 1 KW POWER.

3. IN ORDER TO MEET THE IMMEDIATE REQUIREMENTS FOR POWER SUPPLY OF LOOKOUT HOUSES, DWELLING HOUSES IT IS REQUIRED TO PLACE 300 PP OF 5-10 kW POWER (IN EXPERT'S OPINION).

VNIITF

- THUS, THE POTENTIAL NECESSITY FOR POWER PLANTS OF LOW POWER FOR TYUMENTRANSGAS:

POWER	0,5kW	OR -	1,0kW	5 - 10 kW
NUMBER,pieces	3060		2550	300

- ANALOGOUS ASSESSMENTS CAN BE PERFORMED FOR SEVERGASPROM, PERM'TRANSGAS, URALTRANSGAS AND OTHER REGIONS.
- IF THE PRODUCTION OF PP OF 10 kW POWER IS ORGANIZED WITH OUTPUT UP TO 100 PIECES, THEN TYUMENTRANSGAS REQUIREMENTS FOR THEM WILL BE SATISFIED DURING 2 - 2,5 YEARS.
- CONSIDERING THAT THE QUARANTEE SERVICE LIFE OF PP CAN BE EQUAL TO 2 YEARS (~ 15000 HOURS), THEIR RESTORATION (RENOVATION) PROVIDES THEIR CONSTANT PRODUCTION FOR A LONG TERM.

CONCLUSION: DATA SUBSTANTIATE THE AVAILABILITY OF STABLE COMMODITY MARKET FOR PP OF LOW POWER IN RUSSIA

VNIITF

PREDICTED COMMERCIAL PRICE FOR POWER PLANT OF 1 kW POWER

№	Designation of expenses	Cost (in thous.USD)
1	Materials	1,5
2	Wages	2,1
3	Taxes(39 % .item2)	0.82
4	Payment for resources (energy, gas, heat, water, equipment) 75% .item2	1,58
5	Net cost	6,0
6	Profit (40%.item5)	2,4
7	Profit tax(30%.item6)	0,72
8	Net profit (6 - 7)	1,68
9	Price of manufacture (5+6)	8,4
10	Value-added tax (21,5 %.item8)	1,8
11	Commercial price (9+10)	10,2

ВНИИТФ

IV. COLLABORATION DIRECTIONS

1. SCIENTIFIC AND TECHNICAL COLLABORATION CONCERNED WITH DEVELOPMENT AND INVESTIGATION INTO SOFC MATERIALS, TECHNOLOGIES AND CONSTRUCTIONS:

- SOLID ELECTROLYTES
- ANODE COATINGS
- CATHODE COATINGS
- SEALING COMPOUNDS
- MATERIALS OF CURRENT CONNECTION
- GAS REFORMERS (CATALYSTS)
- DEVELOPMENT AND MODELLING OF EXPERIMENTAL PLANTS BASED ON SOFC
- JOINT DEVELOPMENT OF REAL PROJECTS ON ECG AND PP (FOR THE SYSTEM OF TELEMETERING CONTROL, CATHODE PROTECTION LINES, POWER SUPPLY OF HOUSES AND SO ON)

2. FORMATION OF THE JOINT ENTERPRISE FOR PERFORMING SCIENTIFIC INVESTIGATIONS, DEVELOPMENT AND MANUFACTURE OF COMMERCIAL PP BASED ON SOFC.

VNIITF

FORM OF COLLABORATION

1. SPONSORS. (WHERE ARE YOU, ANGELS?)

   (IDEA BELONGS TO Mr MILTON SHERMAN McCORKLE)

2. CONTRACTS BETWEEN VNIITF AND CUSTOMER (USA) WITH RESPECT TO PERFORMING INDIVIDUAL RESEACH WORK (item IV. 1) ARE FINANCED BY THE CUSTOMER.

3. CONTRACTS BETWEEN VNIITF AND PARTNER (USA) WITH RESPECT TO THE JOINT PERFORMING OF RESEARCH WORK (item IV. 1)
   FINANCING — ON THE SHARE BASIS (VNIITF + PARTNER).

4. ORGANIZATION OF RUSSIAN—AMERICAN CONSORTIUM (RAFCo).
   FINANCING FROM THE CONSORTIUM BUDGET.

VNIITF

5. ORGANIZATION OF THE RUSSIAN—AMERICAN JOINT—STOCK COMPANY (JOINT ENTERPRISE) FOR SOLVING THE LOCAL TASK — DEVELOPMENT AND PRODUCTION OF THE COORDINATED PROJECT OF POWER PLANT OF 1 kW POWER AND ADVANCING OF THE PRODUCT IN THE RUSSIAN MARKET. FINANCING — ON THE SHARE BASIS.

6. ORGANIZATION OF THE RUSSIAN—AMERICAN LONG—TERM JOINT—STOCK COMPANY (JOINT ENTERPRISE) FOR SOLVING THE STRATEGIC TASK— PERFORMING OF SCIENTIFIC RESEACHES, DEVELOPMENT AND MANUFACTURE OF COMMERCIAL POWER PLANT BASED ON SOFC AND WINNING OF THE RUSSIAN MARKET.
FINANCING — ON THE SHARE BASIS.

VNIITF PROPOSES AND IS READY TO SUPPORT ANY FORMS OF MUTUALLY BENEFICIAL COLLABORATION.

VNIITF

ATTENTION, RYSKY PROJECT!

V. PROJECT OF PROPOSALS (BRIEFLY) WITH RESPECT TO CREATION OI THE RUSSIAN—AMERICAN JOINT ENTERPRISE FOR PERFORMING SCIENTIFIC INVESTIGATIONS, DEVELOPMENT AND MANUFACTURE OF POWER PLANTS ON THE BASIS OF SOLID OXCIDE FUEL CELLS — - RASOFCo -

1. MAIN PURPOSE — PERFORMING OF SCIENTIFIC INVESTIGATIONS, DEVELOPMENT AND PRODUCTION OF POWER PLANTS, BASED ON SOFC, WINNING OF RUSSIAN MARKET, GETTING OF PROFITS.

2. TASK OF THE FIRST LEVEL — COMPLETION OF BASE INVESTIGATIONS AND TECHNOLOGIES, DEVELOPMENT OF THE COMMERCIAL POWER PLANT OF 1 kW POWER, TESTS, PUTTING INTO SERIES PRODUCTION, SERIES PRODUCTON, SALE OF POWER PLANTS TO ENTERPRISES OF JOINT—STOCK COMPANY "GASPROM" IN RUSSIA, ORGANIZING OF MAINTENANCE, GETTING OF PROFITS.

VNIITF

3. PARTICIPANTS OF THE JOINT ENTERPRISE.

ON THE PART OF RUSSIA:

— VNIITF — MAIN DEVELOPER
— IVTE (INCTITUTE OF HIGH—TEMPERATURE ELECTROCHEMISTRY) — SCIENTIFIC INVESTIGATIONS, TECHNOLOGY
— FEI (PHYS. AND ENG. INCTITUTE) — THIN—FILM TECHNOLOGY OF SOFC
— PO CHMZ (PRODUCTION ASSOCIATION "CHEPETZKY MECHANICAL WORKS") — SERIES PRODUCTION OF FC AND BFC
— UEMZ — SERIES PRODUCTION OF CONTROL AND AUTOMATICS ELEMENTS
— ZRZ (ZLATOUST INSTRUM. MAKING WORKS) — SERIAL ENTERPRISE FOR FINAI ASSEMBLY OF POWER PLANTS, SALE, MAINTENANCE

ON THE PART OF USA:

_____

_____

4. CONTRIBUTION OF RUSSIAN PART — SPECIALISTS, ROOMS, EQUIPMENT, RESOURCES, MATERIALS, TECHNOLOGIES
CONTRIBUTION OF AMERICAN PART — PARTICIPATION FINANCING OF FOUNDING, CREDIT FOR ORGANIZING SERIES PRODUCTION

VNIITF

5.ITEM OF PRODUCTION — POWER PLANTS BASED ON SOFC OF 1 kW POWER FOR POWER SUPPLY OF STATIONS FOR TELEMETERING CONTROL (TCS) OF GAS PIPELINE PARAMETERS AND FOR CATHODE PROTECTION STATIONS (CPS) OF OIL—GAS PIPELINES.

6.CONSUMER — ORGANIZATIONS TRANSPORTING GAS, JOINT—STOCK COMPANY "GAZPROM" OF RUSSIA — TYUMENTRANSGAS, SEVERGASPROM, PERM'TRANSGAS, URALTRANSGAS AND OTHERS.

7.MARKET REQUIREMENTS — NO LESS THAN 2500 POWER PLANTS ARE REQUIRED ONLY FOR TYUMENTRANSGAS. CONSIDERING RENOVATION, THE STEADY MARKET IS EXPECTED TO TAKE PLACE FOI THE NEAREST 10—15 YEARS.

VNIITF

8.MAXIMUM OUTPUT WHICH IS SUGGESTED TO BE REACHED BY THE JOINT ENTERPRISE IS UP TO 1000 POWER PLANTS PER YEAR.

9.PREDICTED COMMERCIAL PRICE OF THE POWER PLANT — 10,2 THOUS. USD
PLANNED NET PROFIT — 1,68 THOUS. USD.

10.BASIC STAGES:

- R & D WORK (COMPLETION OF INVESTIGATIONS, DEVELOPMENT OF A POWER PLANT, MANUFACTURE OF THE TEST SAMPLE, TESTS — I quarter 1996 - IV quarter1996
- PUTTING INTO SERIES PRODUCTION — II quarter1996 - II quarter 1997
- SERIES OUTPUT — beginning from III quarter 1997

VNIITF

11. FOR ORGANIZING THE JOINT ENTERPRISE

THE FOLLOWING IS NECESSARY ON THE PART OF THE AMERICAN PARTNER:

- CONSTITUTIVE (FOUNDING) CONTRIBUTION — 2,9 MLN USD DURING TWO YEARS

- CREDIT — 1,8 MLN USD IN 1997

REPAYMENT OF THE CREDIT — DURING 2,5 JIET

12.STEADY NET PROFIT BEGINS SINCE 2000 YEAR IN THE SUM OF 1,68 MLN USD IN THE PROPORTION — RUSSIA : USA = 0,6 : 0,4

VNIITF

PLAN FOR ORGANIZING PRODUCTION AND FINANCING

No item	Years / Indices	1 1996	2 1997	3 1998	4 1999	5 2000	6 2001
1	Necessary financing (mln USD), including	3,0	2,3	2,2	2,3	2,3	2,48
	1.1.R&D work	US -1,0* RUS-0,3*	RUS-0,3*	Co-0,2	Co-0,3	Co-0,28	Co-0,3
	1.2. Putting into production	US-1,5*					Co-0,18
	1.3. Production		US- 1,8**	Co-1,8(×2)	Co-1,8(×3,3)	Co-1,8(×3,3)	Co-1,8
	1.4 Management	US - 0,2*	US - 0,2*	Co-0,2	Co-0,2	Co-0,2	Co-0,2
2	Plan of PP output (pieces)		300	600	1000	1000	
3	Income from realization (mln. $)		3,06	6,12	10,2	10,2	
	From it: 3.1 Expenditures connected with production		1,8	3,6	6,0	6,0	
	3.2 Value - added tax		0,54	1,08	1,8	1,8	
	3.3 Profit		0,72	1,44	2,4	2,4	
	3.4 Profit tax		0,22	0,44	0,72	0,72	
	3.5 Net profit		0,5	1,0	1,68	1,68	
4	Distribution of net profit						
	4.1 Repayment of a credit		0,1	0,5	1,2	-	
	4.2 R&D work		0,2	0,3	0,28	0,3	
	4.3 Improvement of production					0,18	
	4.4 Expenditures for management		0,2	0,2	0,2	0,2	
	4.5 Net profit rest					1,0	

* - as a founding (constitutive) contribution
**- credit
Co - company RASOFCo

THE MAIN DIRECTIONS IN TECHNOLOGY INVESTIGATIONS OF SOLID OXIDE FUEL CELLS IN RUSSIAN FEDERAL RESEARCH CENTER INSTITUTE OF PHYSICS & POWER ENGINEERING (IPPE)

J.I.Ievleva, V.P.Kolesnikov, G.S.Mezheritsky, I.M.Saratov, I.N.Prilezhaeva, A.N.Ryzhkov, N.N.Haveev, N.I.Hramushin.

Abstract.

The main directions of science investigations for creation of efficient solid oxide fuel cells (SOFC) in IPPE are considered in this work.

The development program of planar SOFC with thin-film electrolyte is shown.

General design schemes of experimental SOFC units are presented.

The flow diagrams of processes for initial materials and electrodes fabrication are shown.

The results of investigations for creation thin-film solid oxide electrolyte at porous cathode by magnetron sputtering from complex metal target in oxidative environment are presented.

Introduction.

The development of fuel cells (FC) and electrochemical generators (ECG) is the worth-while work for power production. The electrochemical power plants are expected for successfully compete with turbogenerators by 2010 [1,2].

The electrochemical power plants provide more wide power range (from 1 kW to hundreds MW) than nuclear power reactor ones being used as high power stations [2]. The governments of many countries give financial backing for FC national programs.

Solid oxide fuel cells provide following advantages: no electrolyte lose, high power density characteristics, low cost of electrode materials, hydrocarbon fuel, not so unsolvable corrosion problem.

The success in development of thin film fuel cells design and results of Westighouse's ECG testing roused interest to SOFS. They reached very high SOFC resource (time of single SOFC testing was more than 50000 hours) with output parameters degradation 0.5%.

The SOFC investigations carried out by Russian Federal Research Center Institute of Physics & Power Engineering (IPPE) in frames of special joint Ministry of Russian Federation for Atomic Energy program are discribed in this paper.

Previous experience in ceramic insulation development, coating technology for thermionic fuel elements, solid electrolytes YSZ ($ZrO_2 \cdot Y_2O_3$) technology for oxygen sensors gave a good ground for this research.

In IPPE experimental resources of suitable level were created, the experience of work in material synthesis and in ceramic products with required properties fabrication was accumulated, many tasks in field of ceramic-metal composition under high temperatures were solved, there are high experience scientists. The tasks in corrosion strength of electrodes, leads, interconnectors and other parts of SOFC are solving now.

The experimental SOFCs were designed, testing procedures were developed, reconsruction of the equipment was made in IPPE. New technologies for material synthesis, layer forming and specimens fabrication are under development. One of experimental SOFC with supporting electrolyte was fabricated and tested.

For getting SOFC following technology tasks have to be solved:

- preparation of solid electrolyte gas-tight films with optimized thickness;
- composition of cathode and anode materials with required properties;
- creation of solid electrolyte and electrodes multilayer structures where each layer material does not change its properties;
- development of additional catalyser layers for reaching better SOFC characteristics.

Fig. 1 presents main research directions for creation of high efficient SOFC by IPPE and Russian Federal Nuclear Center Institute of Technical Physics (VNIITF).

The development SOFC program in IPPE and VNIITF is shown at Fig. 2.

General design schemes of experimental SOFC.

The construction unit of experimental single planar SOFC (Fig. 3) is separator, which divides air volume from fuel one. Supporting part of separator is porous lead with required conductivity. Air electrode layer, for example $La_xSr_{1-x}MnO_3$ (LSM), solid electrolyte layer YSZ and anode layer (porous cermet Ni + YSZ) are sputtered one after another on porous lead by special method. Porous lead is connected hermetically to separator box fabricated of special heat-resistant steel or ceramic. Thermal

expansion coefficient of separator and lead are similar. Oxidant inlet and outlet are organized in separator box. Separator box serves as positive interconnector.

Multilayer structure may be formed at porous lead hermetically sealed to separator or the structure may be formed before connecting to separator. SOFC's surface is covered with gas-tight insulator to prevent direct ox/red contact.

Outer size of solid oxide elecrtolyte is up to 60 mm. Its thickness is 10-300 mm (depending on technology). The separator height is about 3.5 mm.

Fig.4 shows structural model of experimental SOFC battery. The battery consists of 20-25 cells and generates output voltage about 12 V. Series connection of cells provides elastic contact for fuel/anode interaction. Fuel flow inside battery provides removing of reaction products. Battery interconnectors provide commutation in ECG stack. Experimental ECG stack consists of seven batteries inserted into hexagonal shell. There are pipes for fuel and oxidant, interconnectors and special engineering equipment in stack. Hexagonal packing is the most compact to arrange batteries into stack if different electrical power is required.

The main directions in technology investigations.

Three main technologies for planar SOFC electrode forming are studing now:

- magnetron creation of thin-film gas-tight solid oxide electrolyte and porous anode (Ni/YSZ) at cathode (LSM) as supporting substrate;
- electrochemical vapor deposition from gas (EVD) for thin-film solid oxide electrolyte at supporting substrate - cathode (LSM) - forming with further anode layer (Ni/YSZ) sputtering by magnetron method;
- ceramic (powder) method for electrode, electrolyte and all multilayer structure forming.

Extensive studies are carried out in these areas.

Such methods are wide applicable in USA and Japan science centers [6-8]. We'll give more detail discripltion of ceramic technology and magnetron method.

Ceramic (powder) technologies are the base for obtaining of porous supporting LSM or YSZ substrate for SOFC multilayer structure forming by different methods.

Classic solid electrolyte YSZ fabrication process (Fig.6) is applicable for supporting unit. The technology developed allows

to obtain vacuum-tight homogeneous ceramic with density up to 98% of theoretical one and with thickness more than 0.25 mm. Stable homogeneous structure and purity of original materials are guaranted by thechnology. Vacuum sintering at 1900°C and firing at 1200°C using for restoration of stechiometry are the final operations in process. Heterogeneous interaction method provides conditions for solid $ZrO_2 \cdot Y_2O_3$ solution (YSZ) preparation at low temperatures and is suitable for temperature decreasing during powder fabrication. Lowhydrated zirconium oxyhydroxide obtained from zirconyl oxychloride and hydrous solution of yttrium chloride are the initial materials. Chemical reactions in heterogeneous systems cause new phases of zirconium oxyhydroxide with cation and anion substitution. Specific surface of powders prepared with this method are 20...50 m^2/g and theymay be sintered up to theoretical density at 1500°C. These powders are suitable for supporting element and solid electrolyte fabrication.

The method for YSZ thin films creation by sol-gel process based on hydrosol obtaining from zirconia and yttrium oxide by autoclave hydrolysis is developing now. Semitransparent films of $\geqslant 8\mu m$ thickness are the result of sols drying at leucosapphire sheet and sintering at 1400°C.

LSM powder fabrication ceramic technology prevents impurities at all steps of process. It was achieved by special lining of inner surfaces of equipment at mixing, crushing and grinding steps. LSM structure synthesis is realized in closed volume with addition of oxygen. This process may be combined with sintering when LSM is used as supporting electrode.

Porosity of Ni/YSZ cermet is controlled by thermal treatment conditions and by dispersion of initial powder. Required porosity may be reached by using of monofractional and spherical powders. Technological diagram of fuel electrode is presented at Fig.8.

Thin layer of YSZ solid electrolyte creation by magnetron sputtering of metals in oxidative environment and further improvment of the method.

For obtaining of YSZ solid electrolyte layer on substrate (supporting element) high-frequency discharge have to be ignited at cathode. The cathode is the target with surface $S=S_1+S_2$ where S_1 is the zirconium surface and S_2 is yttrium one. Argon/oxygen environment composition and S_1 to S_2 ratio were governed by plasma composition dependence on zirconium and yttrium sputtering efficiency. Sputtered atoms and ions condense on substrate and they

are oxidated at the surface by ionizated and exited oxygen atoms. Unbalanced magnetic field between target and substrate increases flows of electrons and negative ions to substrate which is positive relative to magnetron cathode. The layer density may be increased by applying of positive relative to magnetron anode constant electrical field.

Developed configuration of magnetic field and experimental determined S_1/S_2 ratio provide stabilized YSZ layers of cubic structure with 2 μm/hour rate of deposition and 4-15 mol% Y_2O_3 on substrate.

X-ray photoelectron spectroscopy testing results for sputtered layer are presented at Fig.9. It shows that layer contains as zirconia ZrO_2 so intermediate zirconium oxides and highest yttrium oxide. These tests are based on Zr_{3d} and Y_{3d} peaks synthesis of different oxides by Shirly's method. The magnetron method gives possibility for oxides stechiometry variation by changing conditions and environment.

The morphology of surfaces of LSM substrate and YSZ sputtered layer and their structure were tested by scanner ASID-4D of electron microscope JEM-100CX under accelerating voltage of 40kV.

The tests showed that LSM matrix is of porous structure with facet cutted grains of 3-6 μm size and includes many pores of other shape (Fig.10a). The texture of YSZ layer surface is more shaped and is formed by rounded cones (Fig.10b). The cones diameter is about 1-10 μm and height is about 0.5-3.0 μm. The pores in top surface of YSZ are not detected.

The bottom part of YSZ layer is of colomnar cristal structure coupled with substrate (Fig.11a). It was discovered by testing of cross sectional microstructure of specimens with YSZ coating. The thickness of coating is 6-8 μm. The pores in sputtered layer of YSZ are not detected. Local pores are detected in interface "substrate-coating" (Fig.11b) at the substrate frontier.

Our method provides higher rate of deposition than magnetron sputtering of solid oxide targets method where deposed layer composition is fixed by target composition.

Developing thin-film SOFC technology we were based on following conception: the efficiency and resource improvement may be achieved by using of superthin SOFC layers and by their high purity.

Magnetron method may be used for following purposes in SOFC technology:

- deposition of complex compositions by congruent sputtering of target materials;
- mixed oxides preparation by sputerring of complex metal

targets in active environments;

- ion cleaning of surfaces;
- ion etching of surfaces;
- preparation of superthin interface layers connected with main layer.

This method allows to optimize compositions and to increase the interface of SOFC parts. Continuous process of SOFC fabrication by magnetron method is shown at Fig.12. The separator serves as supporting element. This process includes following operations:

- ion cleaning or etching of separator surface using high energy ion beam;
- magnetron creation of porous LSM layer (20-50μm);
- ion sintering of LSM layer;
- magnetron synthesis of additional cathode catalyser layer;
- magnetron synthesis of thin-film YSZ electrolyte by high-frequency deposition from metal target;
- ion sintering of YSZ layer;
- interface layer of SOFC anode catalyst preparation;
- sputtering of SOFC main anode layer.

Now we study the possibility of further increasing of rate of deposition using additional discharges which provide the fumes of main materials. We study also new method of densifying of sputtered layers applying constant and alternating voltage.

Microelectronic methods are used for optimizing of SOFC structure.

Such methods as electron and infrared specrtoscopy, photo-emission and impedance specrtoscopy, time-of-flight mass-spectometry with laser induced ion probe, pulse methods and voltage/current characteristics examining are used in studing of cathode/anode processes. Now it is necessary to develop multi-purpose SOFC diagnostic methods for using during fabrication and operation.

Summary.

High technical advantages of SOFCs show that they will be wide used for energy purposes.

The good technological ground and expirience in fabrication and testing of hightemperature sources of electric power were accumulated in IPPE during thermionic converters of "TOPAZ" type creation. We also have an experince in development binar ceramic systems of "insulator-solid oxide electrolyte" type that allow to fabricate hermetic ceramic-metal units for SOFC.

The wide application of thin-film technologies (magnetron sputtering and EVD) can result in decreasing of gas-tight YSZ film thickness and correspondently operating temperature decreasing and SOFC durability increasing.

Our opinion is that now the cooperation of scientists from IPPE and designers of EVD and magnetron sputtering methods from USA is very desirable. Such cooperation can result in creation of special magnetron devices with high rate of deposition. This idea is under development in our institute. It may be also developed new SOFC technology including additional layer of cathode and anode catalysts. The cooperation can be arranged also in design of diagnostic and testing devices.

We hope that the contents of this paper engage the scientists of Russia and USA to integrate their efforts in order to solve technical problem of SOFC and possibility of commercial use.

References.

1. Зегерс П. Комиссия Европейского сообщества. Rev. Gen. Therm. 1990. N 344-345. P.387-391.

2. Хеги Г. Разработка технологии ТЭ в различных странах // Proc. Int. Society of Energy Conversion Engineering Conference. 1988. P.201 - 206.

3. Dollard W.I., Parker W.G. The Westinghouse Solid Oxide Fuel Cell. April. 1991, Program - a 1991 Progress Report.

4. Modern Power Systems. 1990, feb., P.31-34.

5. Храмушин Н.И., Маслов А.В., Москалев Ю.И., Резвых И.А., Прилежаева И.Н. Магнетронный метод синтеза тонкопленочных сенсорных слоев // В сб.: Радиоэкологические проблемы ядерной энергетики и при конверсии производства. Ч.2. Обнинск: Изд.ФЭИ, 1995, с.119-126.

6. Wang L.S., Barnett S.A. //Proc. Third Int. Symp. On Solid Oxide Fuel Cells, PV 93-4, The Electrochemical Society, Inc. Pennington, NJ, 1993, p.649.

7. Mehta K., Hong S.J., Virkar A.N. //Proc. Third Int. Symp. on Solid Oxide Fuel Cells, PV 93-4, The Electrochemical Society, Inc. Pennington, NJ, 1993, p.92.

8. Gao Q.-H., Rocheleau R.E., Liaw B.Y. //Proc. Third Int. Symp. On Solid Oxide Fuel Cells, PV 93-4, The Electrochemical Society, Inc. Pennington, NJ, 1993, p.38.

9. Applby A.J. //Proc. First Int. Symp. on new Materials for Fuel Cell Systems. Monreal, Quebec, Canada July 9 - 13, 1995. P.2-35.

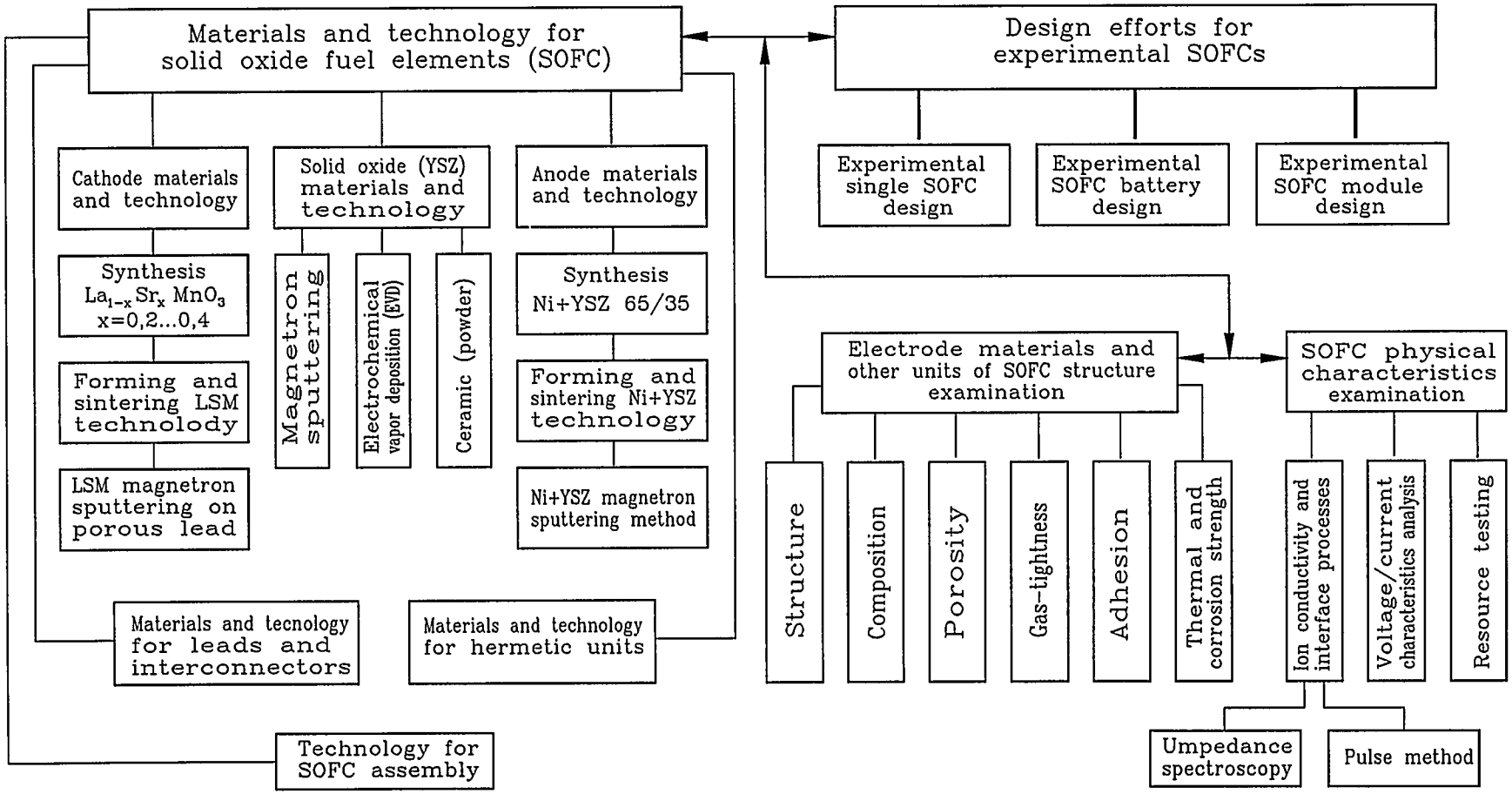


Fig.1. Main research directions in frames of special joint MAE RF program.

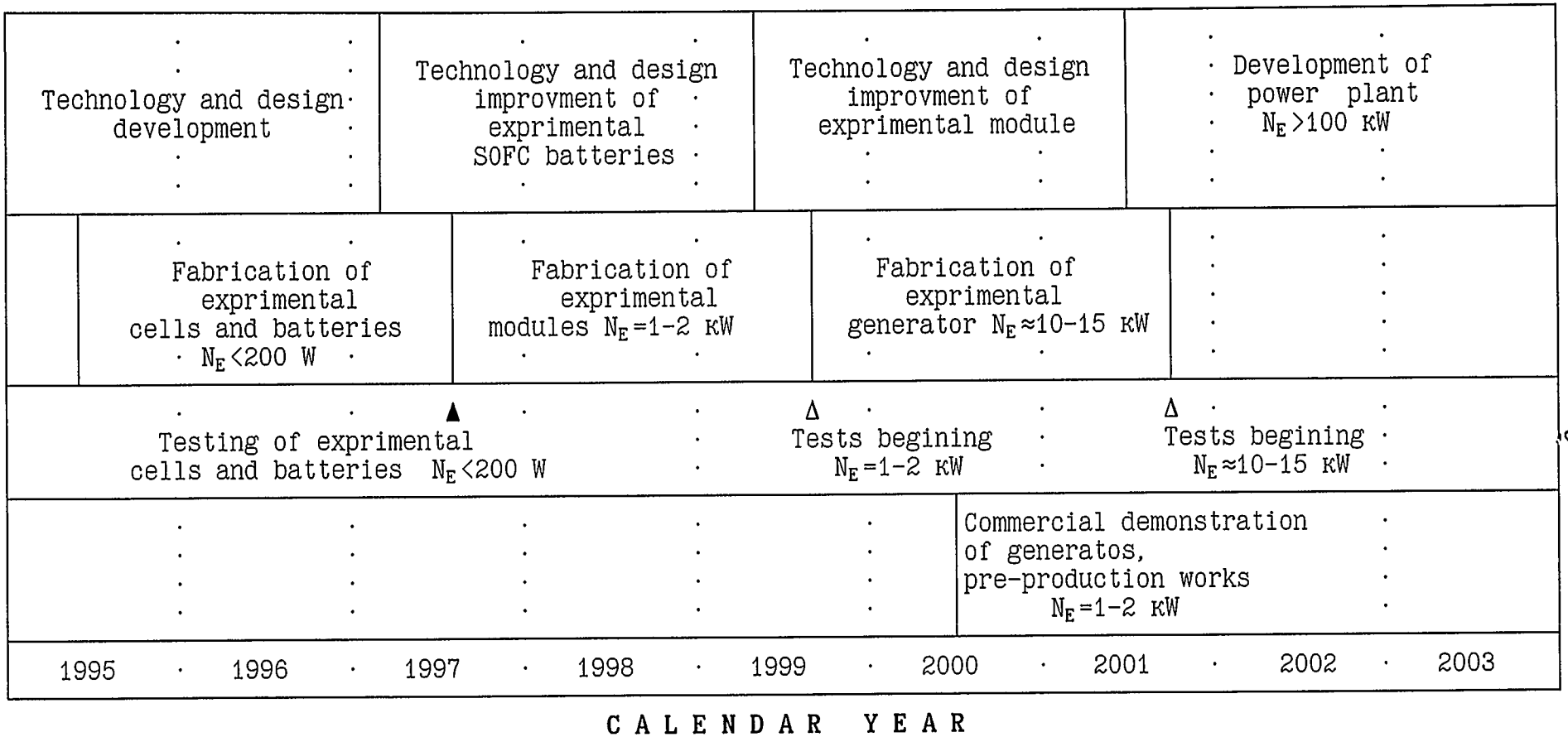


Fig.2. The program for development and fabrication of planar solid oxide SOFC by IPPE and VNIITF.

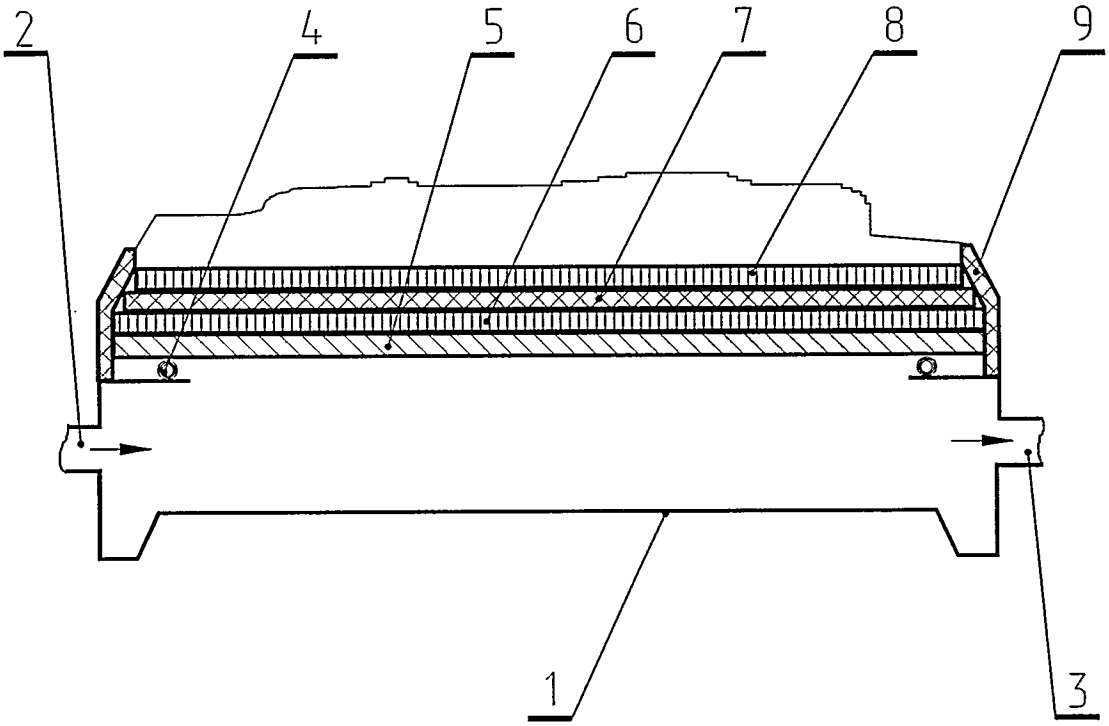


Fig.3. Schematic design of experimental SOFC.

1 - separator box; 2 - oxidant inlet; 3 - oxidant outlet;
4 - hermetic unit; 5 - poruos lead; 6 - air electrode;
7 - solid oxide electrolyte; 8 - fuel electrode; 9 - gas-tight insulator.

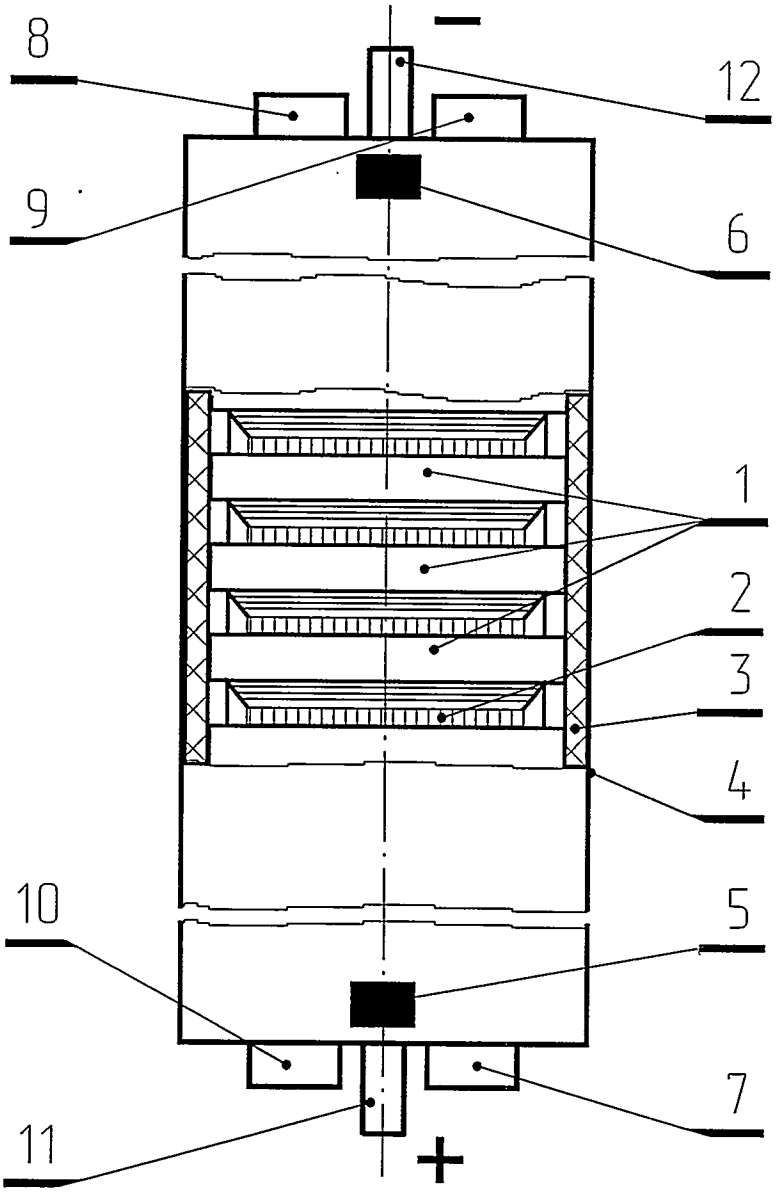


Fig.4. Structural model of experimental SOFC battery.

1 - cells; 2 - elastic connection; 3 - insulation;
4 - heater; 5,6 - heater leads; 7 - inlet fuel pipe;
8 - outlet fuel pipe; 9 - outlet oxidant pipe;
10 - inlet oxidant pipe; 11,12 - SOFC battery leads.

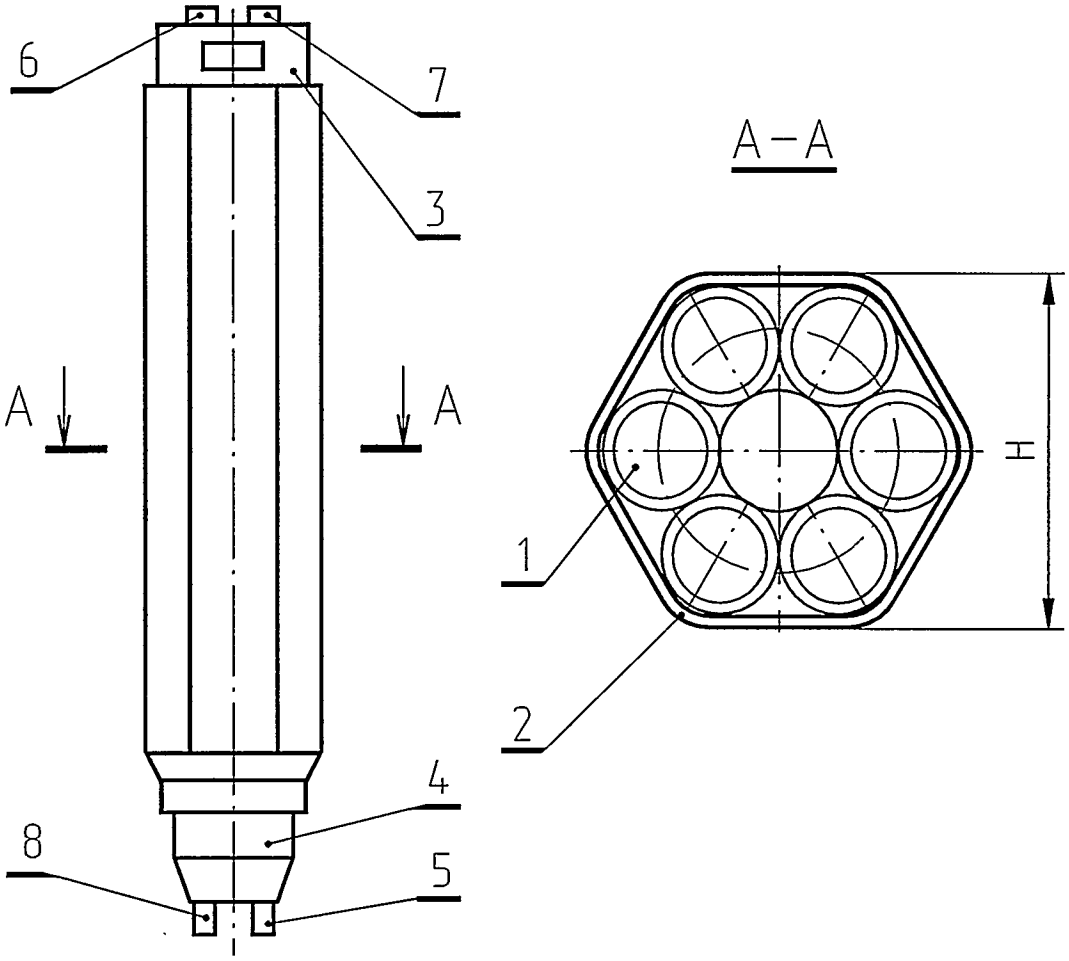


Fig.5. Structural model of ECG experimental module.

1 - SOFC battery; 2 - module shell (thermoinsulator);
3 - lead; 4 - lead; 5 - fuel inlet;
6 - oxidant outlet; 7 - fuel outlet; 8 - oxidant inlet.

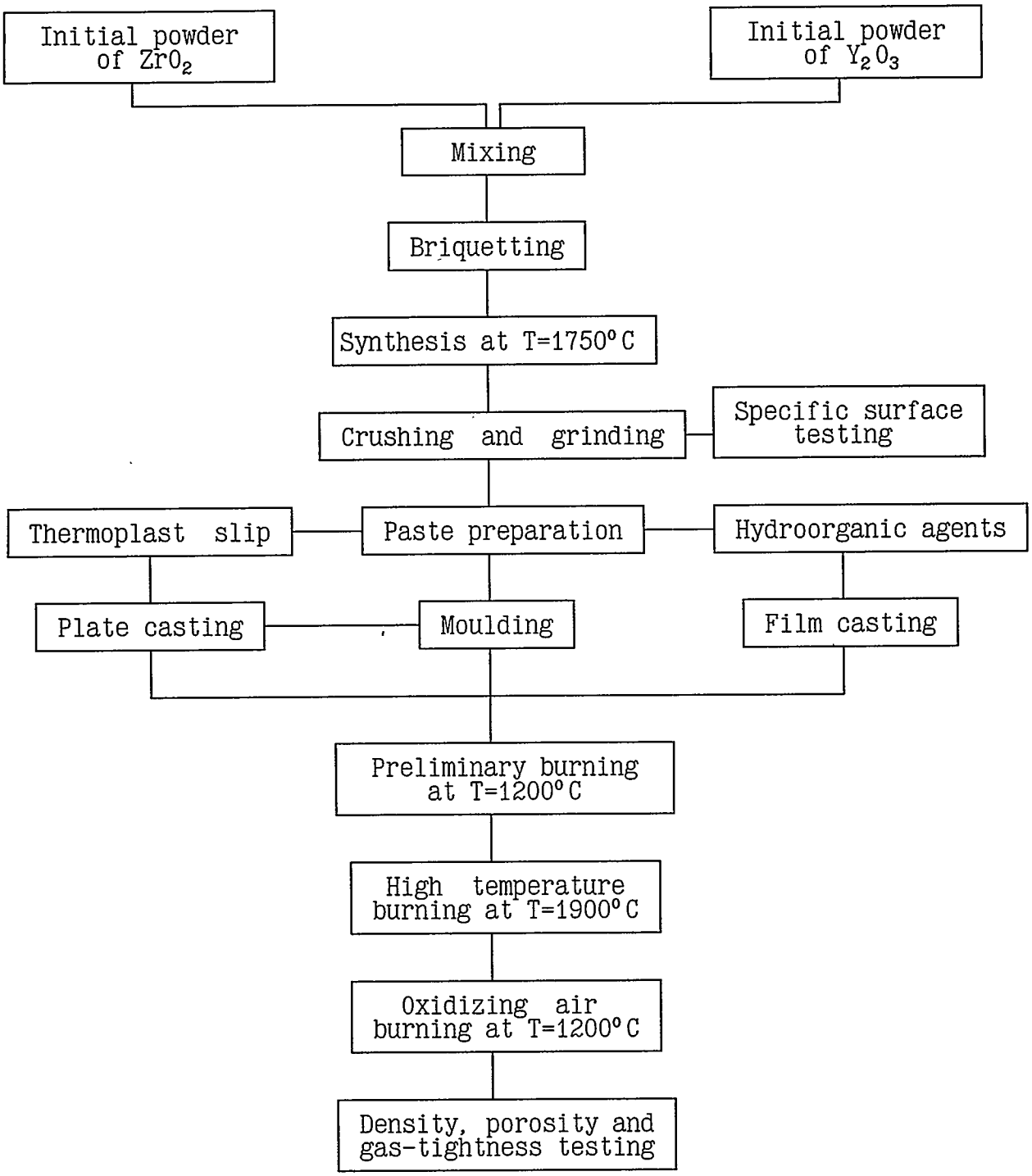


Fig. 6. Solid electrolyte fabrication flow diagram.

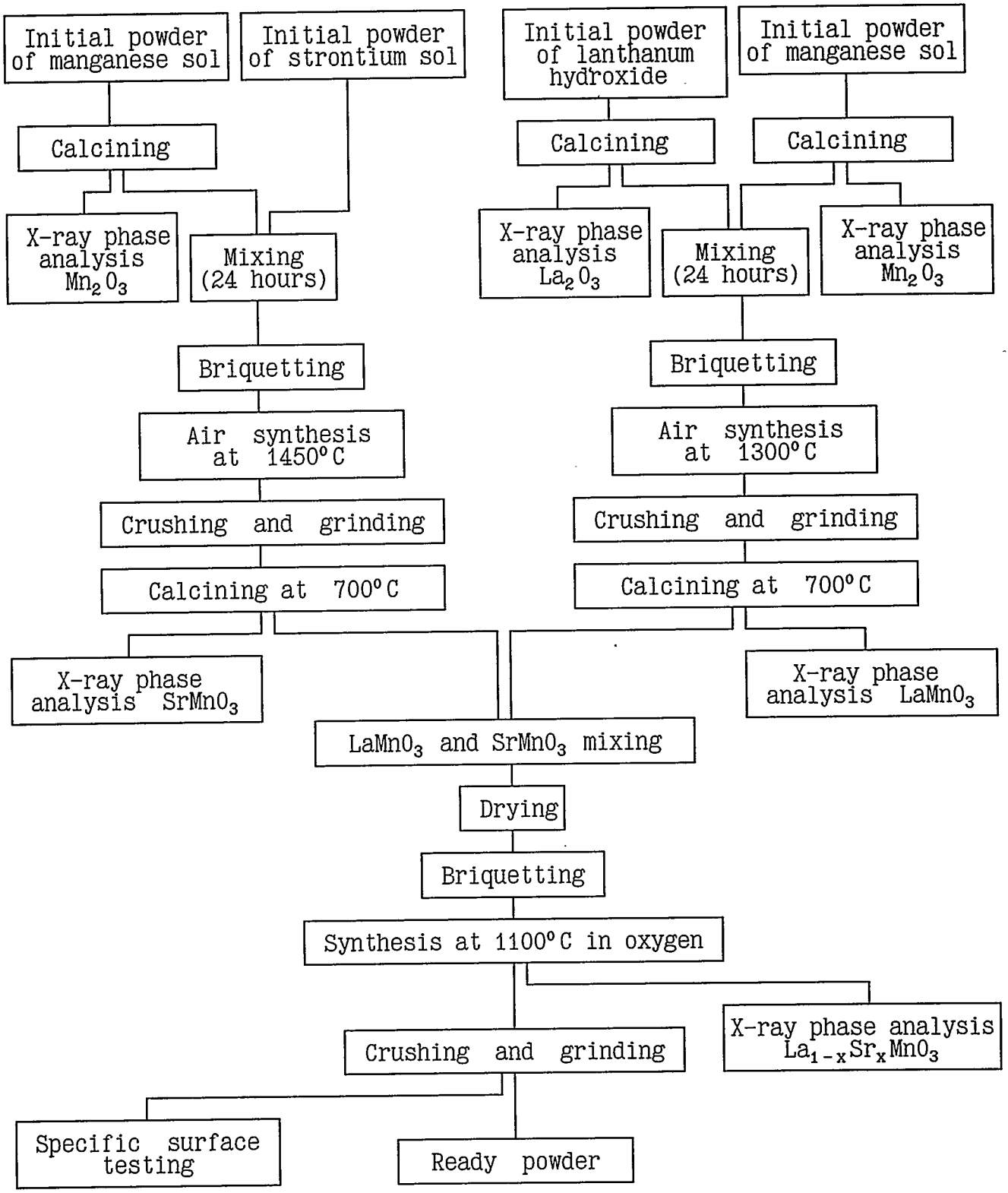


Fig.7. Flow diagram of powder for air electrode fabrication process.

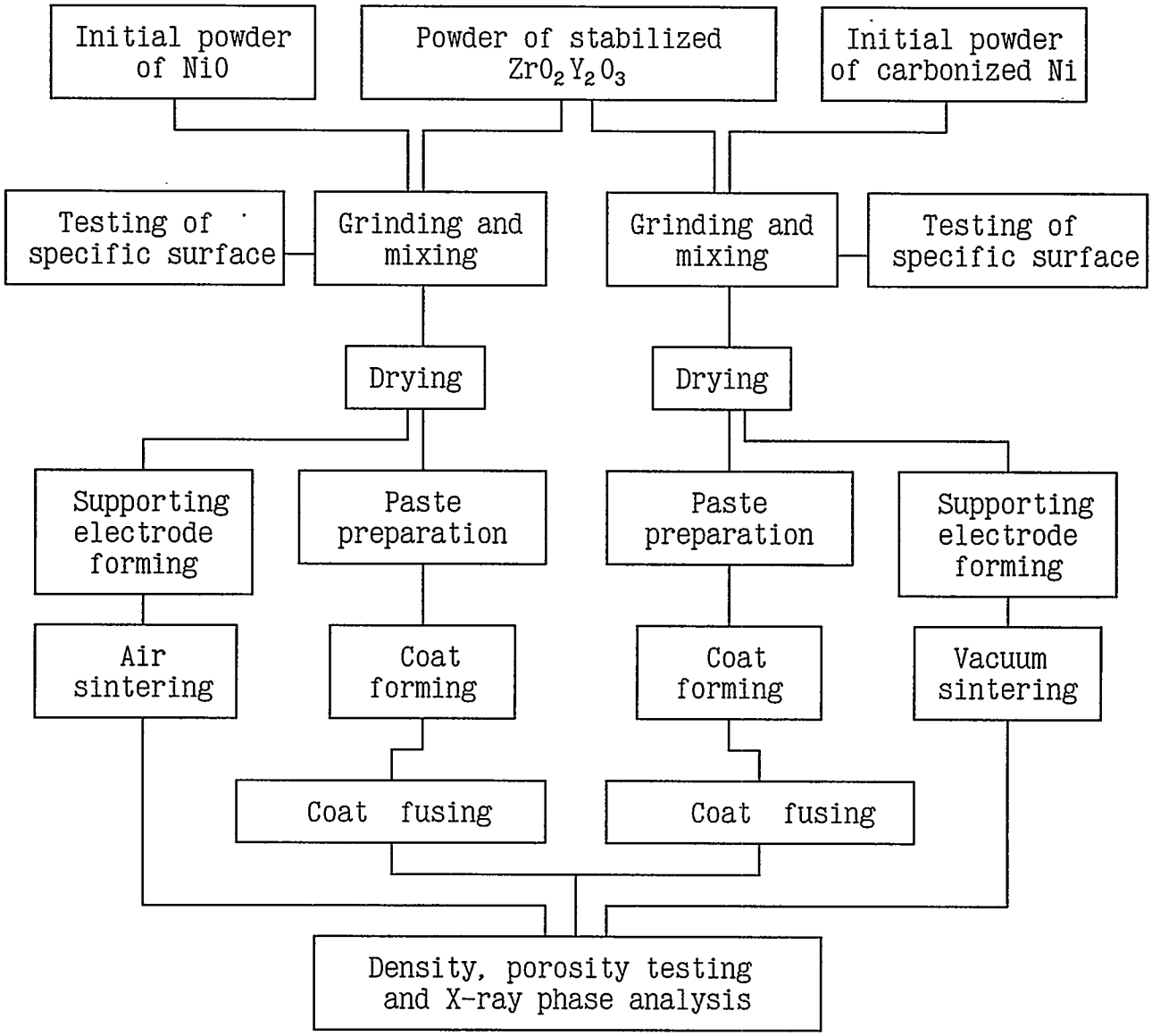


Fig.8. Fuel electrode fabrication flow diagram.

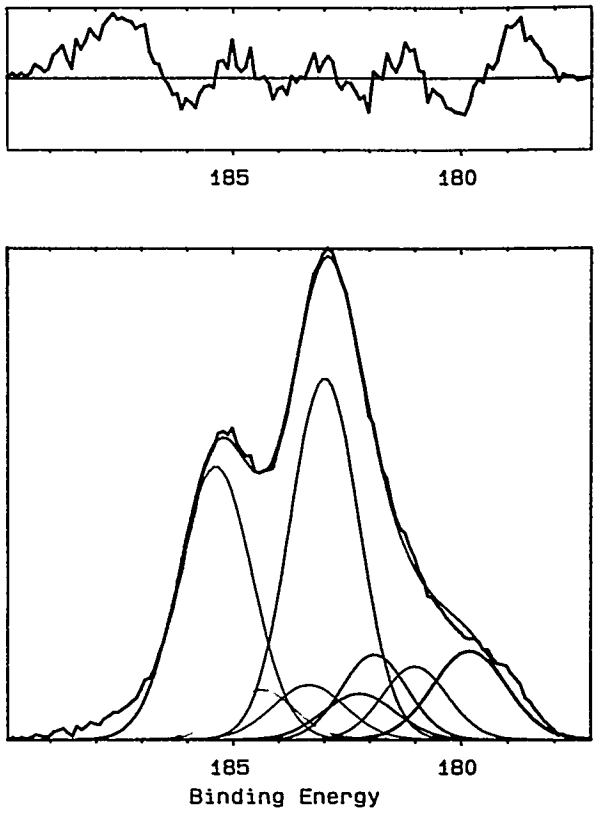
Run: XAAU07 Reg: 1
Scan: 1 Chans: 128

Start eV: 189.93
End eV: 177.23

Fit: 1.8

100% Intensity: 14792
100% Area: 614256

Line	Elmt.	Energy	Int.	FWHM	Area
GAUSS	ZrO2	185.39	55.68	1.90	26.83
GAUSS	ZrO2	182.99	73.74	1.80	33.70
GAUSS	Zr2O3	181.90	17.58	1.73	7.68
GAUSS	Zr2O	182.24	9.58	1.90	4.58
GAUSS	**Zr2O**	**179.83**	**18.17**	**1.90**	**8.73**
GAUSS	ZrO	183.34	11.32	1.90	5.43
GAUSS	ZrO	181.01	15.10	1.70	6.49



Title: Zr + Y oxides
Run: XABD12 Reg: 1 (XPS) Scan: 1 Base Cts: 1552 Max Cps: 309915

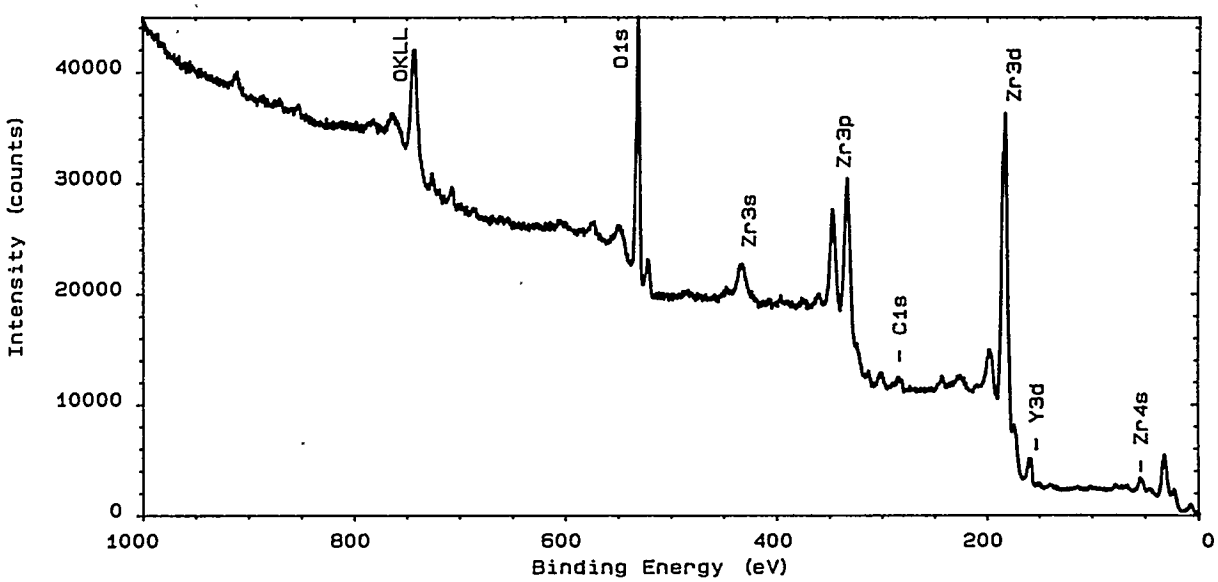
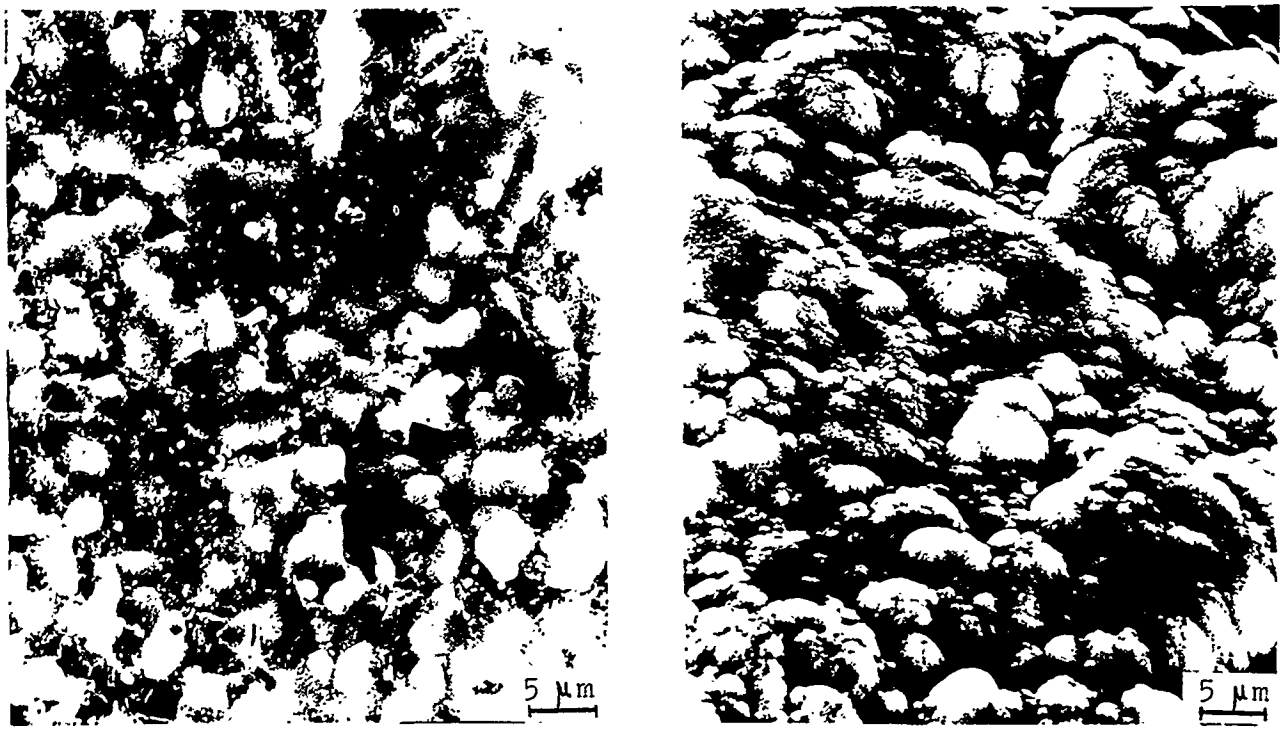
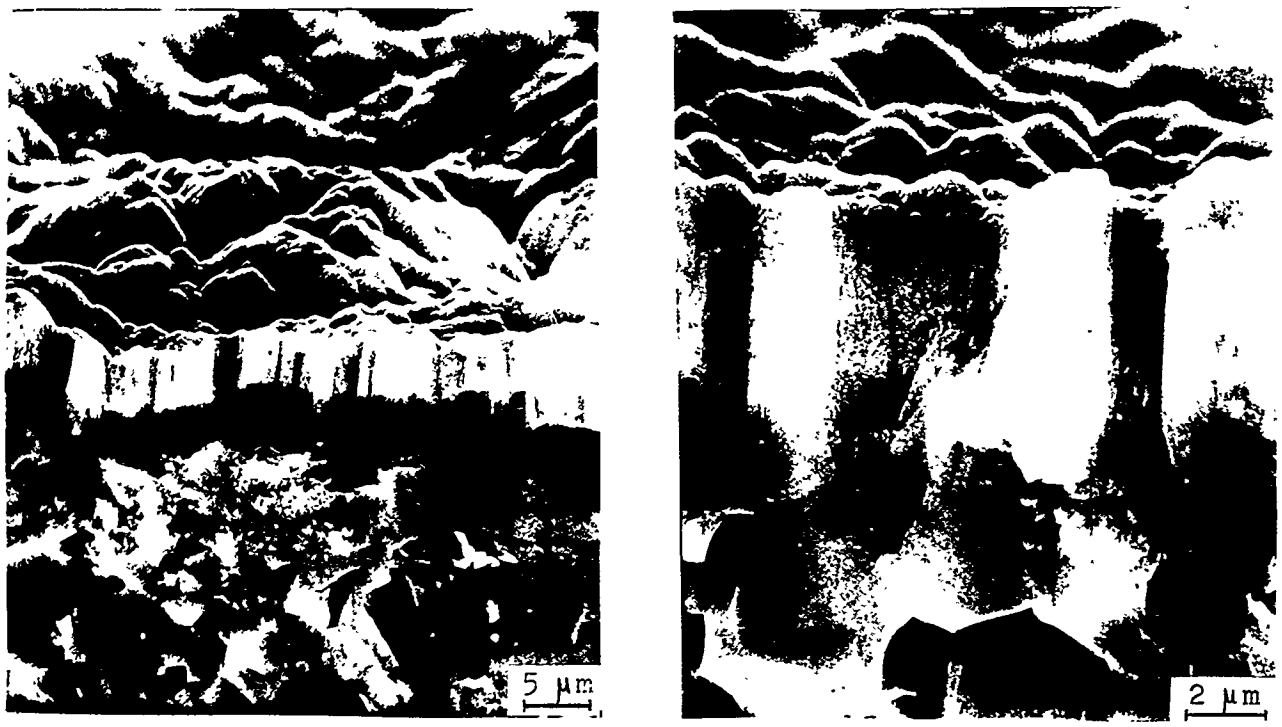


Fig.9. YSZ film spectrum.



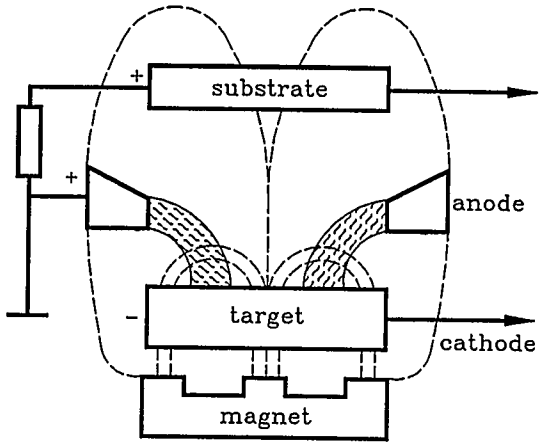
a) b)

Fig.10. The morphology of surfaces: a) LSM substrate;
b) YSZ layer.



a) x 2000 b) x 6000

Fig.11. The cross sectional microstructure
of LSM matrix and YSZ layer.



Process	Porous lead treatment	Air electrode creation	Solid oxide electrolyte synthesis and sputtering	Fuel electrode synthesis and sputtering
Instrument	Magnetron	Magnetron	Magnetron	Magnetron
Substrate	–	Porouse lead	Porous surface of air electrode LSM	Solid oxide electrolyte YSZ
Environment	Ar	$Ar+O_2$	$Ar+O_2$	$Ar+O_2$
Target	Porous lead surface	LSM	Zr+Y	Ni+Zr+Y

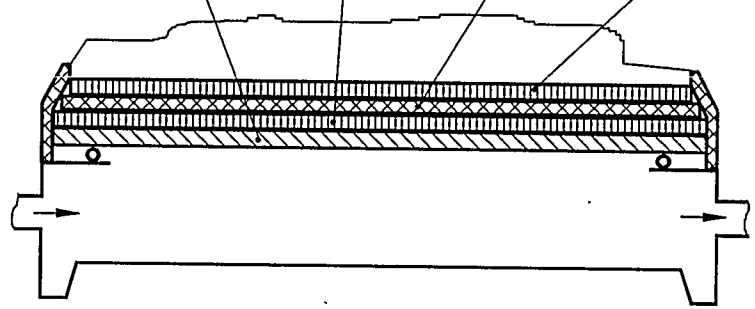


Fig.12. Continuos process of SOFC fabrication by magnetron method.

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАЗРАБОТОК И ИССЛЕДОВАНИЙ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ТВЕРДООКСИДНЫМ ЭЛЕКТРОЛИТОМ В ГНЦ РФ ФЭИ

Ж.И.Иевлева, В.П.Колесников, Г.С.Межерицкий, И.М.Саратов, И.Н.Прилежаева, А.Н.Рыжков, Н.Н.Хавеев, Н.И.Храмушин.

Аннотация.

В работе рассмотрены основные направления научных исследований ГНЦ РФ ФЭИ по созданию эффективных топливных элементов с твердооксидным электролитом.

Показана динамика развития работ по планарным ТОТЭ с тонкопленочным электролитом.

Приведены принципиальные конструктивные схемы экспериментальных топливных элементов.

Рассмотрены некоторые технологические схемы процессов изготовления исходных материалов и электродов.

Представлены результаты исследований по формированию тонкопленочного твердооксидного электролита на пористом катоде методом магнетронного распыления с составной металлической мишени в кислородсодержащей среде.

Введение.

Разработка и исследование топливных элементов (ТЭ), создание электрохимических генераторов (ЭХГ) на их основе открывает новые перспективы в производстве электрической энергии. По прогнозам к 2010 году электрохимические энергоустановки (ЭЭУ) будут успешно конкурировать с установками на основе турбогенераторов [1,2].

Как источник электроэнергии ЭЭУ имеют более широкую область применения (от единиц КВт до сотен МВт) по сравнению с установками на основе ядерных реакторов, которые могут быть реализованы лишь как крупные атомные электрические станции [2]. В настоящее время многие страны имеют национальные программы по ТЭ, финансируемые из бюджетных средств.

Достоинством топливных элементов с твердооксидным электролитом (ТОТЭ) является: отсутствие утечки и испарения электролита, высокие удельные весовые характеристики, исключение применения дорогостоящих каталитических электродов из благородных металлов, возможность использования углеводородного топлива и не столь острая проблема коррозии.

Возрастание интереса к ТОТЭ в последнее время связано с достижениями в разработке конструкций тонкопленочных ТЭ и с результатами испытаний ЭХГ фирмы Westinghouse. Фирмой получены непревзойденные результаты по ресурсу ТОТЭ [3,4] (испытания единичных ТОТЭ прошли

рубеж 50 000 часов) с деградацией выходных параметров 0.5% за 1000 часов.

Государственный научный центр Российской Федерации Физико-энергетический институт (ГНЦ РФ ФЭИ) начал заниматься проблемой топливных элементов с твердооксидным электролитом сравнительно недавно. В настоящее время эта работа ведется в рамках целевой комплексной программы Министерства атомной энергии Российской Федерации.

В исследованиях были использованы научно-технические достижения в разработке и исследовании керамической электроизоляции, технологии пленок и покрытий электрогенерирующих каналов термоэмиссионных преобразователей и технологии твердого электролита YSZ ($ZrO_2 \cdot Y_2O_3$) для датчиков кислорода.

В институте создана экспериментальная база соответствующего уровня, накоплен опыт работы по синтезу материалов и изготовлению керамических изделий с заданным комплексом свойств, решены многие вопросы соединения керамики с металлом при высоких рабочих температурах, подготовлены высококвалифицированные специалисты. Решаются вопросы коррозионной стойкости электродов, токовыводов, коммутации и деталей конструкции ТОТЭ.

Выполнены проектные работы по экспериментальным образцам ТОТЭ, разработаны программы и методики испытаний, проведена переоснастка испытательного и технологического оборудования. Начато освоение новых технологических процессов по синтезу материалов, формированию слоев и изготовлению экспериментальных образцов. Изготовлен и прошел испытания один из вариантов экспериментального образца ТОТЭ с несущим электролитом.

При создании ТОТЭ в технологическом аспекте решаются следующие задачи:

- получение плотных газонепроницаемых пленок твердого электролита, оптимизированных по толщине;
- синтез катодного и анодного материалов с заданным комплексом свойств;
- разработка технологических приемов создания многослойных структур с сохранением технических характеристик материалов твердого электролита и электродов;
- разработка дополнительных переходных слоев катализаторов, повышающих характеристики ТОТЭ.

На рис.1 представлены основные направления исследований ГНЦ РФ ФЭИ по созданию совместно с Российским федеральным ядерным центром Всероссийским научно-исследовательским институтом технической физики (ВНИИТФ) эффективных ТОТЭ.

На рис.2 показана динамика развития работ ГНЦ РФ ФЭИ по созданию совместно с ВНИИТФ топливных элементов с твердооксидным электролитом.

Принципиальные конструктивные схемы экспериментального ТОТЭ.

Основным элементом экспериментального одноэлементного планарного ТОТЭ (рис.3) является сепаратор, отделяющий воздушную полость от топливной. Основание сепаратора - пористый токосъем из материала с достаточной проводимостью, на который по определенной технологии напыляются последовательно слои воздушного электрода, например - $La_xSr_{1-x}MnO_3$ (LSM), твердого электролита YSZ и анода (пористый кермет Ni + YSZ). Пористый токосъем соединен герметично с корпусом сепаратора, выполненного из специального жаростойкого сплава или керамики, причем коэффициенты термического расширения материала сепаратора и токосъема близки между собой. Сепаратор с двух сторон имеет газоходы для подвода и отвода окислителя (кислород воздуха). Корпус сепаратора является положительным токовыводом.

В зависимости от выбранной технологии многослойная конструкция выполняется либо на токосъеме, герметично соединенном с сепаратором, либо соединение выполняется после автономного формирования многослойной конструкции ТОТЭ. Для предотвращения прямого контакта окислителя с восстановителем по боковой поверхности ТОТЭ наносится слой газоплотного изолятора.

Диаметр топливного элемента по твердооксидному электролиту - до 60 мм, толщина твердого электролита от 10 до 300 мкм (в зависимости от технологии), высота сепаратора порядка 3.5 мм.

На рис.4 приведена принципиальная конструктивная схема экспериментальной батареи ТОТЭ. Батарея содержит до 20 - 25 элементов и рассчитана на выходное напряжение порядка 12 В. Последовательное соединение элементов обеспечивает упругий контакт, обеспечивающий доступ топлива к аноду. Внутри батареи организован направленный поток топлива для удаления продуктов реакции. Батарея имеет внешние токовыводы, обеспечивающие коммутацию при сборке модуля ЭХГ, принципиальная конструктивная схема которого приведена на рис.5. Экспериментальный модуль ЭХГ состоит из семи батарей, имеет шестигранный корпус, штуцера для подвода и отвода топлива и окислителя, токосъемы и специальные устройства для выполнения технологических операций при сборке. Шестигранная упаковка на наш взгляд является рациональной с точки зрения компактности размещения батарей объединения модулей с целью создания установок различной электрической мощности.

Основные направления технологических исследований.

В настоящее время ведется проработка трех базовых технологических направлений формирования электродов планарного ТОТЭ:

- технологии последовательного формирования на несущей основе - катоде (LSM) тонкопленочного газоплотного твердооксидного электролита и пористого анода (Ni/YSZ) методом магнетронного напыления;

- технологии формирования тонкопленочного твердооксидного электролита на несущей основе - катоде (LSM) методом электрохимического осаждения из газовой фазы (EVD) и последующего формирования пористого анода (Ni/YSZ) методом магнетронного напыления;

- керамической (порошковой) технологии формирования электродов, электролита и всей слоистой системы в целом.

В каждом из рассматриваемых направлений проводится широкий спектр исследований.

Известно, что в научных центрах США и Японии эти технологии применяются достаточно широко [6-8]. Остановимся несколько подробнее на керамических технологиях и магнетронном напылении.

Керамические (порошковые) технологии являются основными для получения пористой несущей основы из LSM или YSZ для последующего формирования слоистой структуры ТОТЭ различными методами.

Процесс изготовления твердого электролита YSZ по классической технологии (рис.6) применим для создания несущего элемента. Разработанная технология обеспечивает получение вакуумноплотной однофазной керамики с плотностью до 98% от теоретической с толщиной изделий $\geqslant$0.25 мм. Используемые в технологии приемы обеспечивают сохранение чистоты исходных материалов, стабильную однородную структуру. Финишными операциями процесса являются спекание при температуре 1900^{0}C в вакууме и окислительный отжиг при температуре 1200^{0}C для восстановления стехиометричности состава. Для снижения температуры спекания при изготовлении порошков используется метод гетерогенного взаимодействия, обеспечивающего низкотемпературный режим образования твердого раствора $ZrO_2 \cdot Y_2O_3$. В качестве исходных материалов используются малогидратированная гидроокись циркония, полученная из оксихлорида циркония, и водный раствор хлористого иттрия. В гетерогенных системах протекание химических реакций сопровождается образованием фаз на основе гидроокиси циркония с катионным и анионным замещением. Порошки, приготовленные по этой технологии, имеют удельную поверхность 20...50 м^2/г и спекаются до теоретической плотности при температуре 1500^{0}C. Порошки применимы для изготовления несущего элемента и пленочного варианта твердого электролита.

Прорабатывается технологический вариант по получению тонких пленок из YSZ золь-гельным процессом, в основе которого лежит процесс получения гидрозоля из диоксида циркония и оксида иттрия методом гидролиза концентрированного раствора оксихлорида циркония и оксида иттрия при автоклавной обработке. В результате сушки полученных золей на подложках из лейкосапфира и спекания при 1400^{0}C получены полупрозрачные пленки толщиной $\geqslant$8 мкм.

В технологическом процессе изготовления порошка из LSM в варианте керамической технологии (рис.7) обеспечивается выполнение требования исключения внесения примесей на всех операциях. Это достигается применением специальных футеровок рабочих объемов оборудования на операциях смешения, дробления и измельчения. Синтез системы LSM осуществляется в закрытом объеме с поддувкой кислорода. Этот процесс может быть совмещен с процессом спекания изделия при использовании LSM в качестве несущего электрода.

При изготовлении кермета Ni/YSZ пористость регулируется режимом термической обработки и дисперсностью исходных порошков. Использование монофракционного состава порошков и сфероидальных порошков Ni и NiO помогает решить задачу по получению требуемой пористости. Технологическая схема приготовления топливного электрода приведена на рис.8.

Получение тонких слоев твердого электролита YSZ магнетронным распылением металлов в кислородсодержащих средах и пути дальнейшего усовершенствования метода.

Для получения на подложке (несущей основе) слоя твердого электролита YSZ высокочастотный разряд зажигают на катоде - составной цирконий-иттриевой мишени площадью $S = S_1 + S_2$, где S_1 и S_2 - поверхность мишени, занятая цирконием и иттрием соответственно. При выборе состава аргоно-кислородной среды и отношения площадей S_1/S_2 исходили из того, что состав плазмы определяется величинами $k\alpha S_1$ и $k\beta S_2$, где α, β - коэффициенты распыления циркония и иттрия соответственно, k - коэффициент, зависящий от отношения потоков ионов инертного газа и кислорода на мишень. На поверхности подложки происходит конденсация распыленных атомов и ионов и их окисление за счет ионизованных и возбужденных атомов кислорода. Магнитное поле рассеяния между мишенью и подложкой увеличивает поток электронов и отрицательных ионов к положительно заряженной относительно катода магнетрона подложке. Спекание (уплотнение) покрытия протекает более эффективно при подаче ускоряющего ионы постоянного электрического поля с положительной полярностью относительно анода магнетрона.

Разработанная нами конфигурация магнитных полей магнетрона и экспериментально уточненное значение S_1/S_2 обеспечили получение на подложке стабилизированных пленок YSZ с кубической структурой со скоростью осаждения порядка 2 мкм/час с содержанием Y_2O_3 4-15 мол.%.

На рис.9 представлены результаты анализа напыленной пленки методом рентгеновской фото-электронной спектроскопии. Видно, что наряду с оксидом ZrO_2 в пленке присутствуют и субоксиды циркония. Иттрий окислен до высшего окисла. Анализ произведен на основе синтеза пиков Zr_{3d} и Y_{3d} по методу Ширли из отдельных компонент различных

окислов. Магнетронный метод напыления дает возможность варьирования стехиометрией окислов изменением режима и состава среды.

Морфологию поверхностей основы из LSM и напыленного покрытия YSZ, а также структуру покрытия изучали методом SEM с помощью сканирующей приставки ASID-4D электронного микроскопа JEM-100CX при ускоряющем напряжении 40 КВ.

Проведенное исследование показало, что матрица LSM имеет пористую, состоящую из слегка ограненных фасеток зерен с характерным размером в 3 - 6 мкм в поперечнике и множественных пор, раковин и ямок различной формы (рис.10а). Поверхность пленки YSZ имеет более развитый рельеф, образованный конусами со сглаженными, куполообразными вершинами (рис.10б).. Размер конусов в поперечнике колеблется от 1 до 10 мкм, их высота составляет ~ 0.5 - 3 мкм. В отличие от пористой основы LSM несплошностей в поверхностном слое YSZ не обнаружено.

Исследование поперечных сколов образцов с покрытием YSZ позволило установить, что пленка YSZ имеет у основания структуру столбчатых кристаллов, плотно сцепленных с подложкой (рис.11а). Толщина покрытия составляет 6 - 8 мкм. Несплошностей в напыленном слое YSZ не выявлено. Локальные несплошности отмечаются на границе раздела "подложка - покрытие" в местах выхода на поверхность матрицы мелких раковин (рис.11б).

Разработанный нами метод [5] имеет значительно большую скорость напыления по сравнению с магнетронным распылением твердооксидных мишеней, где состав напыляемой пленки зафиксирован составом мишени.

При разработке технологии тонкопленочных ТОТЭ мы исходим из следующей концепции: повышение КПД и ресурса может быть достигнуто как применением особо тонких слоев компонентов ТОТЭ, так и высокой чистотой их изготовления.

Магнетронный метод представляет большие возможности, мало использованные до настоящего времени в технологии ТОТЭ:

- напыление сложных составов путем конгруентного перепыления материала мишеней;
- синтез смеси оксидов распылением составных металлических мишеней в активных средах;
- ионная очистка поверхности;
- ионное травление и разрыхление поверхностей;
- возможность создания особо тонких промежуточных слоев с дальнейшим непрерывным переходом на слои основного состава.

Этот метод позволяет оптимизировать составы и развить рабочие поверхности компонетов ТОТЭ. На рис.12 дана схема разрабатываемого нами непрерывного процесса изготовления ячейки ТОТЭ с использованием метода магнетронного напыления. Рассмотрен вариант, когда несущим элементом ячейки является пористый токосъем. В технологический процесс включены следующие операции:

- ионная очистка поверхности токосъема (при необходимости - разрыхление поверхности пучком ионов повышенной энергии);
- магнетронное напыление пористого слоя LSM (20 - 50 мкм);
- ионное спекание слоя LSM;
- магнетронный синтез слоя дополнительных катодных катализаторов;
- магнетронный синтез тонкопленочного электролита YSZ высокочастотным напылением с металлических мишеней;
- ионное спекание слоя YSZ;
- синтез переходной области анодных катализаторов ТОТЭ;
- напыление основного слоя анода ТОТЭ.

В настоящее время нами разрабатываются пути дальнейшего увеличения скорости напыления за счет внесения дополнительных разрядов, дающих источники паров основных компонетов, а также усовершенствованный метод уплотнения напыляемых слоев подачей как постоянного, так и переменного напряжения.

При оптимизации состава и структуры компонентов ТОТЭ ГНЦ РФ ФЭИ развивает и использует технологии микроэлектроники.

Для исследований катодных и анодных процессов, диагностики электрофизических свойств как отдельных элементов, так и ТОТЭ в целом используются средства электронной и инфракрасной спектроскопии, фото-эмиссионной и импедансной спектроскопии, лазерной масс-спектрометрии, а также импульсные методы и автоматизированные исследования вольт-амперных характеристик. Анализ состояния проблемы показывает необходимость создания универсальных методов диагностики ТОТЭ как на стадии изготовления, так и в рабочих условиях.

Заключение.

Высокие технические характеристики топливных элементов с твердооксидным электролитом, их экологическая чистота позволяют прогнозировать широкое их широкое использование в энергетике будущего.

ГНЦ ФЭИ, разработавший и изготовивший серию ядерных термоэмиссионных преобразователей энергии "Топаз-1", располагает технологической базой и опытом работы по созданию и испытанию высокотемпературных источников электрической энергии, имеет большой опыт экспериментальных исследований по созданию бинарных керамических систем "изолятор - твердооксидный электролит", обеспечивающих решение задачи получения герметичных металлокерамических узлов, что, несомненно, может быть использовано при разработке технологии ТОТЭ.

Широкое освоение тонкопленочных технологий (в первую очередь - магнетронного напыления и EVD) позволит существенно снизить толщину газоплотного слоя YSZ, а, следовательно, и рабочую температуру, тем самым увеличив ресурс работы ТОТЭ.

Мы считаем, что на данном этапе было бы полезно взаимодействие ГНЦ ФЭИ с разработчиками технологий EVD и магнетронного напыления из США [8,9]. Такое взаимодействие могло бы привести как к созданию специализированных магнетронных установок с повышенной скоростью напыления, идея которых у нас прорабатывается, так и к разработке новой прогрессивной технологии ТОТЭ, включающей дополнительные слои катодных и анодных катализаторов. Возможно также взаимодействие и сотрудничество в разработке диагностических и испытательных устройств.

Приведенный материал показывает необходимость интеграции усилий специалистов России и США для скорейшего решения проблемы ТЭ и выхода на рынок.

Список литературы.

1. Зегерс П. Комиссия Европейского сообщества. Rev. Gen. Therm. 1990. N 344-345. P.387-391.

2. Хеги Г. Разработка технологии ТЭ в различных странах // Proc. Int. Society of Energy Conversion Engineering Conference. 1988. P.201 - 206.

3. Dollard W.I., Parker W.G. The Westinghouse Solid Oxide Fuel Cell. April. 1991, Program - a 1991 Progress Report.

4. Modern Power Systems. 1990, feb., P.31-34.

5. Храмушин Н.И., Маслов А.В., Москалев Ю.И., Резвых И.А., Прилежаева И.Н. Магнетронный метод синтеза тонкопленочных сенсорных слоев // В сб.: Радиоэкологические проблемы ядерной энергетики и при конверсии производства. Ч.2. Обнинск: Изд.ФЭИ, 1995, с.119-126.

6. Wang L.S., Barnett S.A. //Proc. Third Int. Symp. On Solid Oxide Fuel Cells, PV 93-4, The Electrochemical Society, Inc. Pennington, NJ, 1993, p.649.

7. Mehta K., Hong S.J., Virkar A.N. //Proc. Third Int. Symp. on Solid Oxide Fuel Cells, PV 93-4, The Electrochemical Society, Inc. Pennington, NJ, 1993, p.92.

8. Gao Q.-H., Rocheleau R.E., Liaw B.Y. //Proc. Third Int. Symp. On Solid Oxide Fuel Cells, PV 93-4, The Electrochemical Society, Inc. Pennington, NJ, 1993, p.38.

9. Applby A.J. //Proc. First Int. Symp. on new Materials for Fuel Cell Systems. Monreal, Quebec, Canada July 9 - 13, 1995. P.2-35.

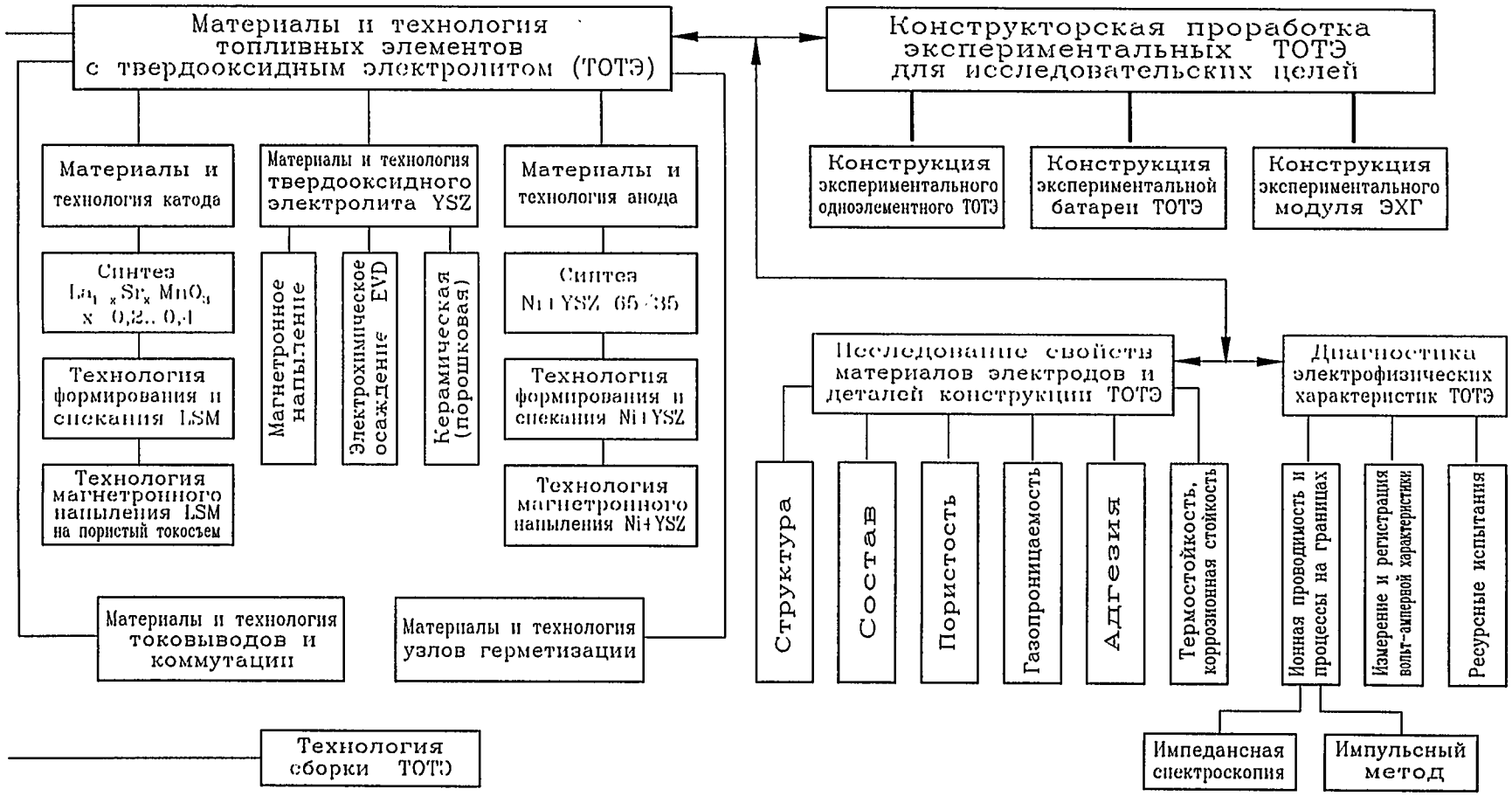


Рис.1. Основные направления научных исследований, проводимых ГНЦ РФ ФЭИ в рамках целевой комплексной программы МАЭ РФ.

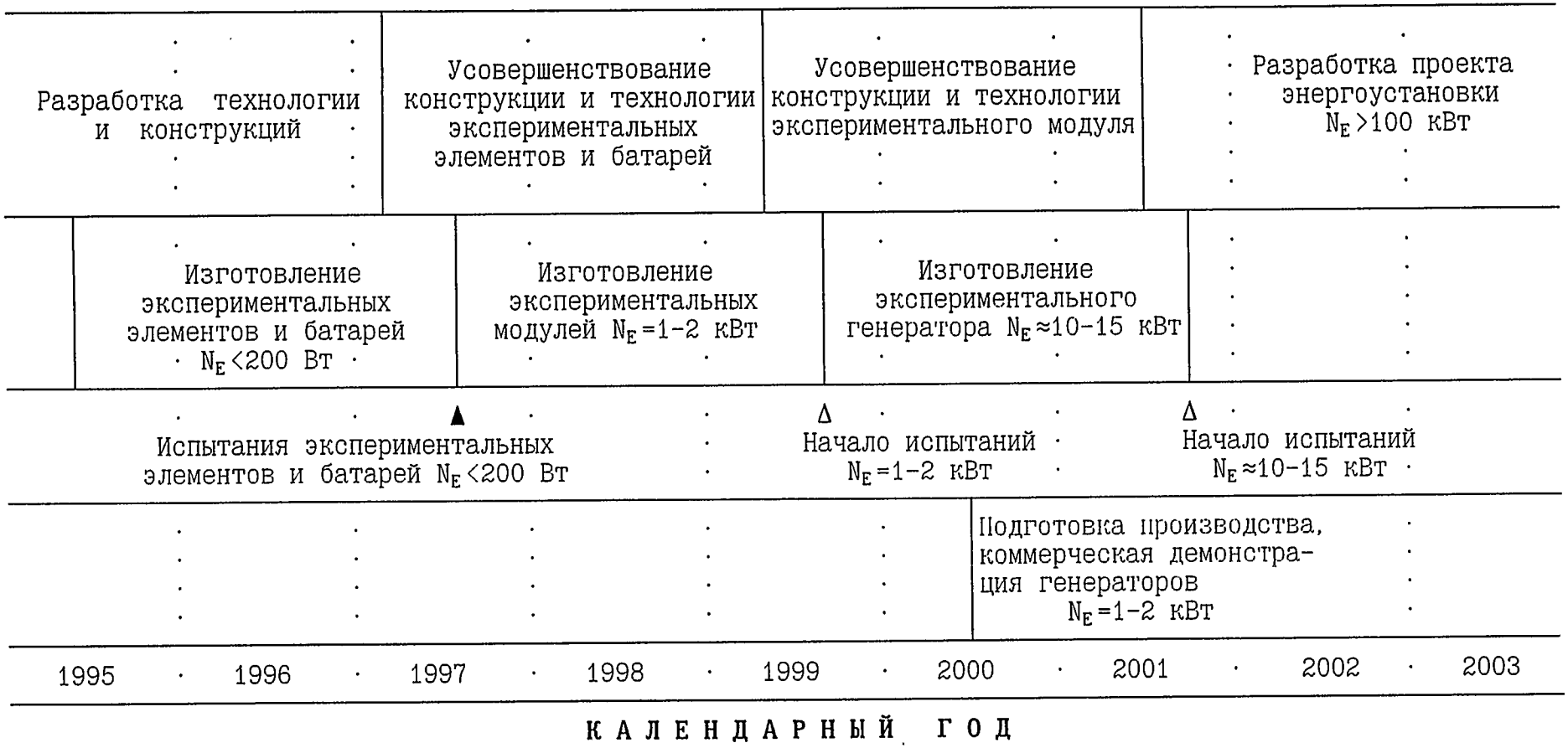


Рис. 2. Перспективное планирование работ ГНЦ РФ ФЭИ и РФЯЦ-ВНИИТФ по созданию планарного ТОТЭ с тонкопленочным электролитом.

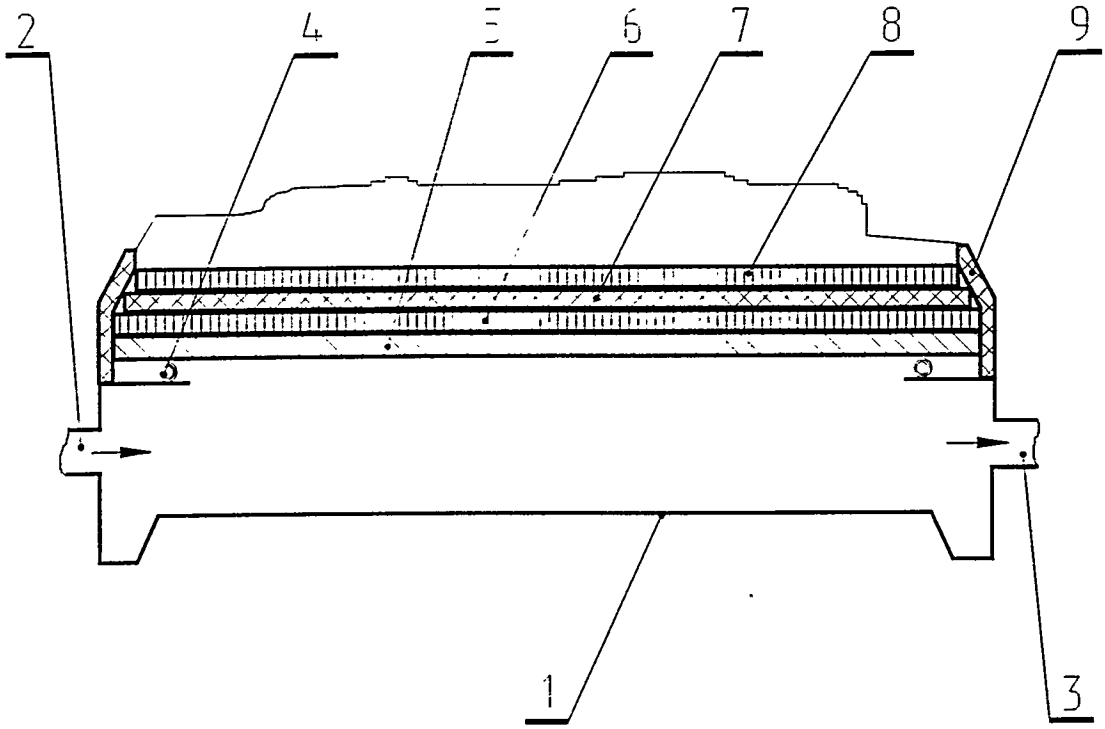


Рис.3. Принципиальная конструктивная схема экспериментального элемента ТОТЭ.

1 - корпус сепаратора; 2 - коллектор входа окислителя;
3 - коллектор выхода окислителя; 4 - герметизирующий узел;
5 - пористый токосъемник; 6 - воздушный электрод;
7 - твердоокисный электролит;
8 - топливный электрод; 9 - газоплотный изолятор.

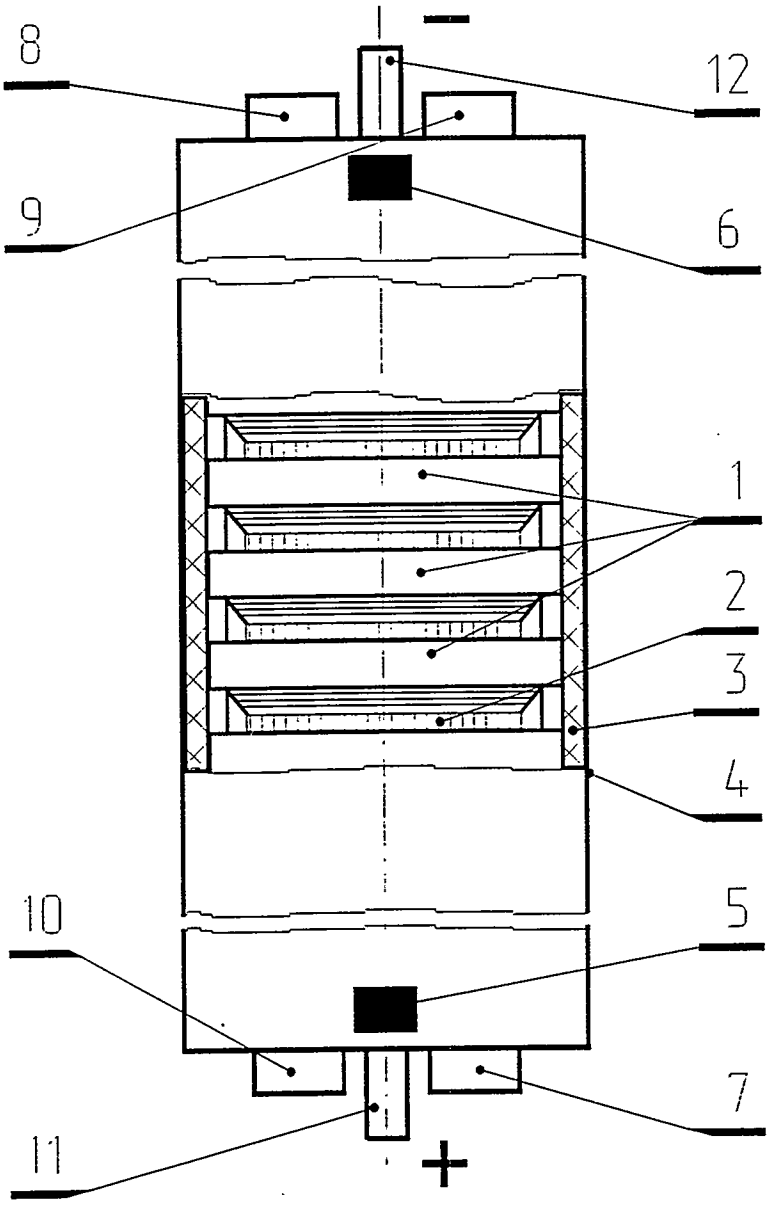


Рис.4. Принципиальная конструктивная схема экспериментальной батареи ТОТЭ.

1 - элементы ТОТЭ; 2 - электрический контакт; 3 - электроизоляция; 4 - нагреватель (пленочный) стартовый; 5,6 - клеммы стартового нагревателя; 7 - вход топлива (штуцер); 8 - выход топлива (штуцер); 9 - выход окислителя (штуцер); 10 - вход окислителя (штуцер); 11, 12 - клеммы батареи ТОТЭ.

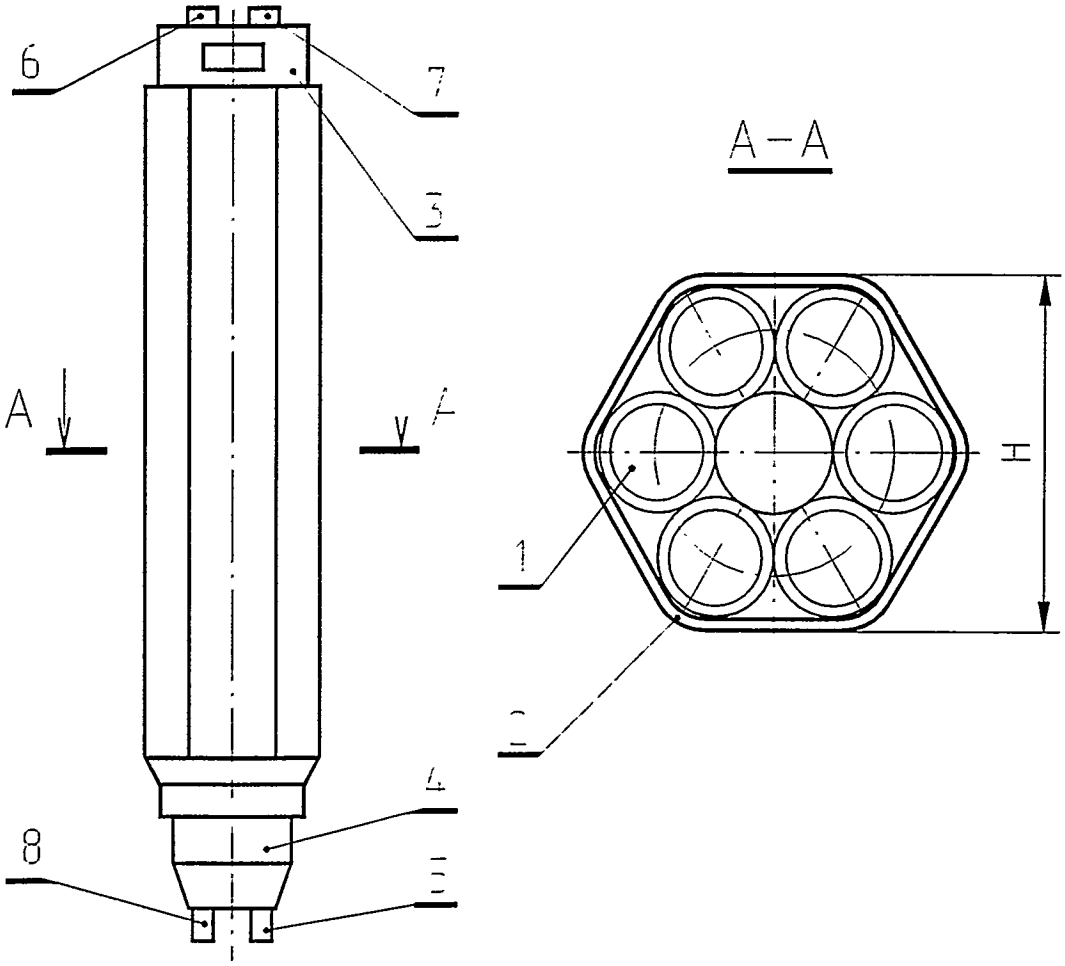


Рис.5. Принципиальная конструктивная схема экспериментального модуля ЭХГ.

1 – батарея ТЭТЭ; 2 – корпус модуля (теплоизоляция);
3 – захват (тонкосъем); 4 – тонкосъем; 5 – штуцер подачи топлива;
6 – штуцер выхода окислителя; 7 – штуцер выхода топлива;
8 – штуцер подачи окислителя.

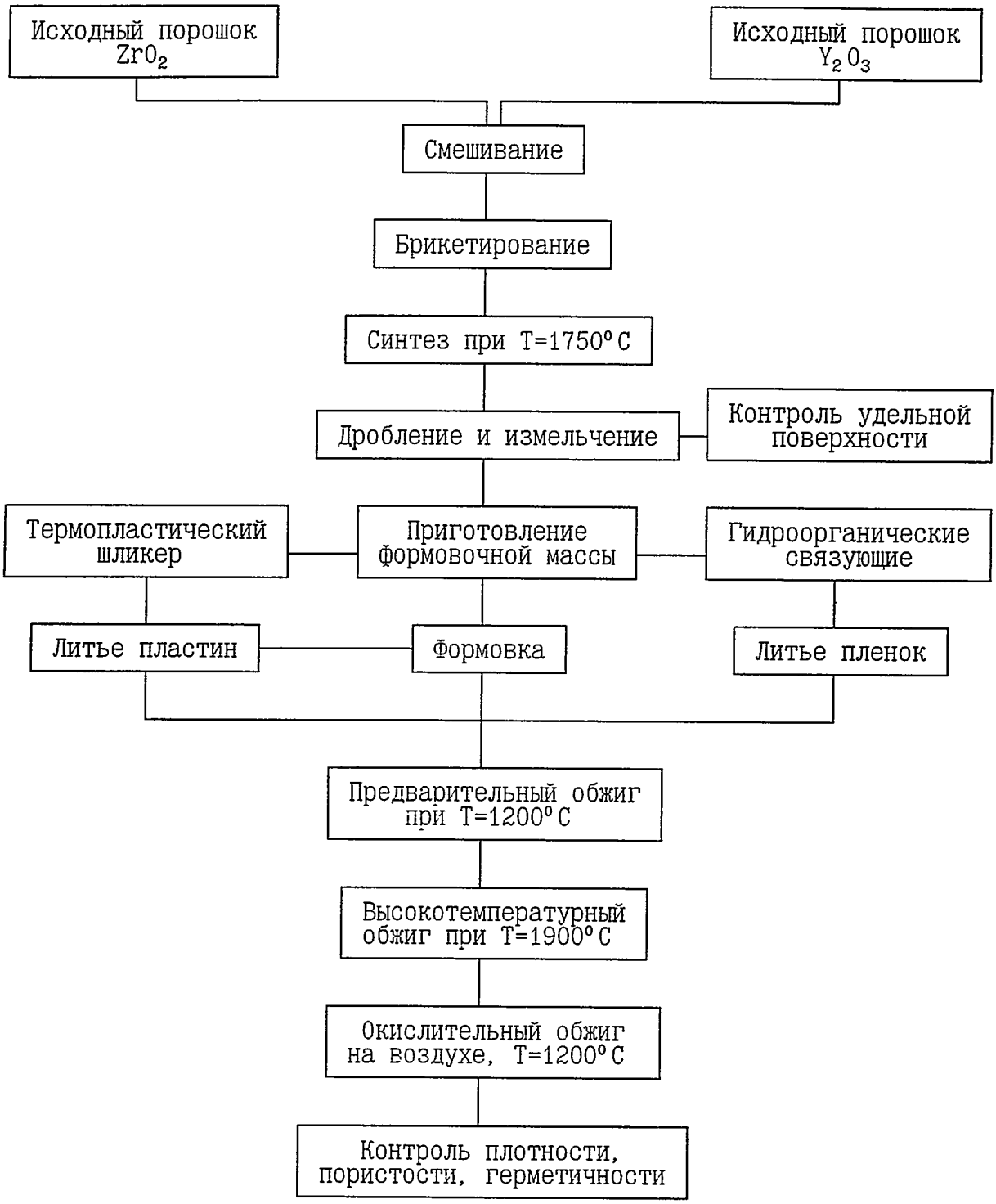


Рис. 6. Технологическая схема процесса изготовления твердого электролита.

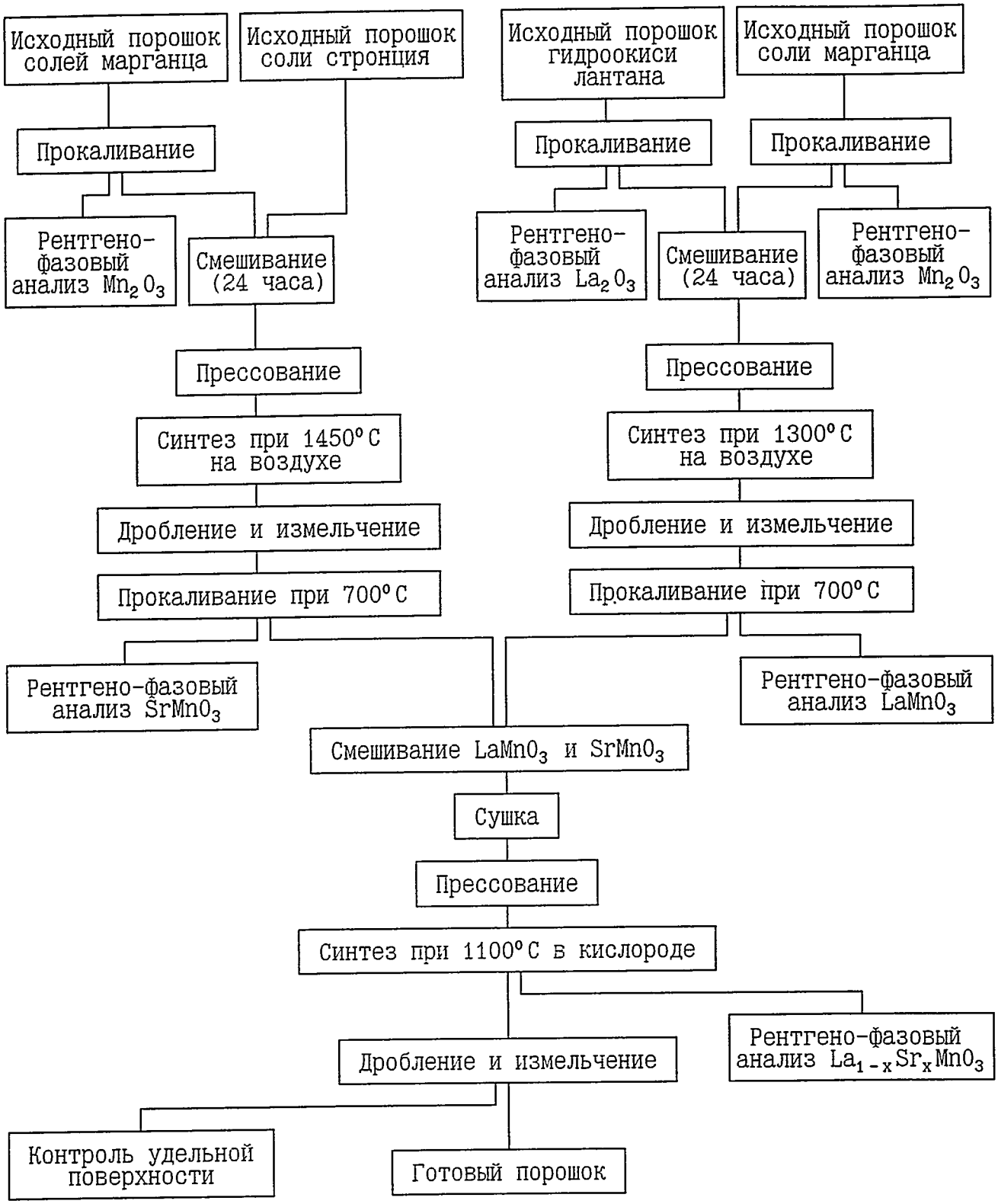


Рис. 7. Технологическая схема процесса изготовления порошка для воздушного электрода.

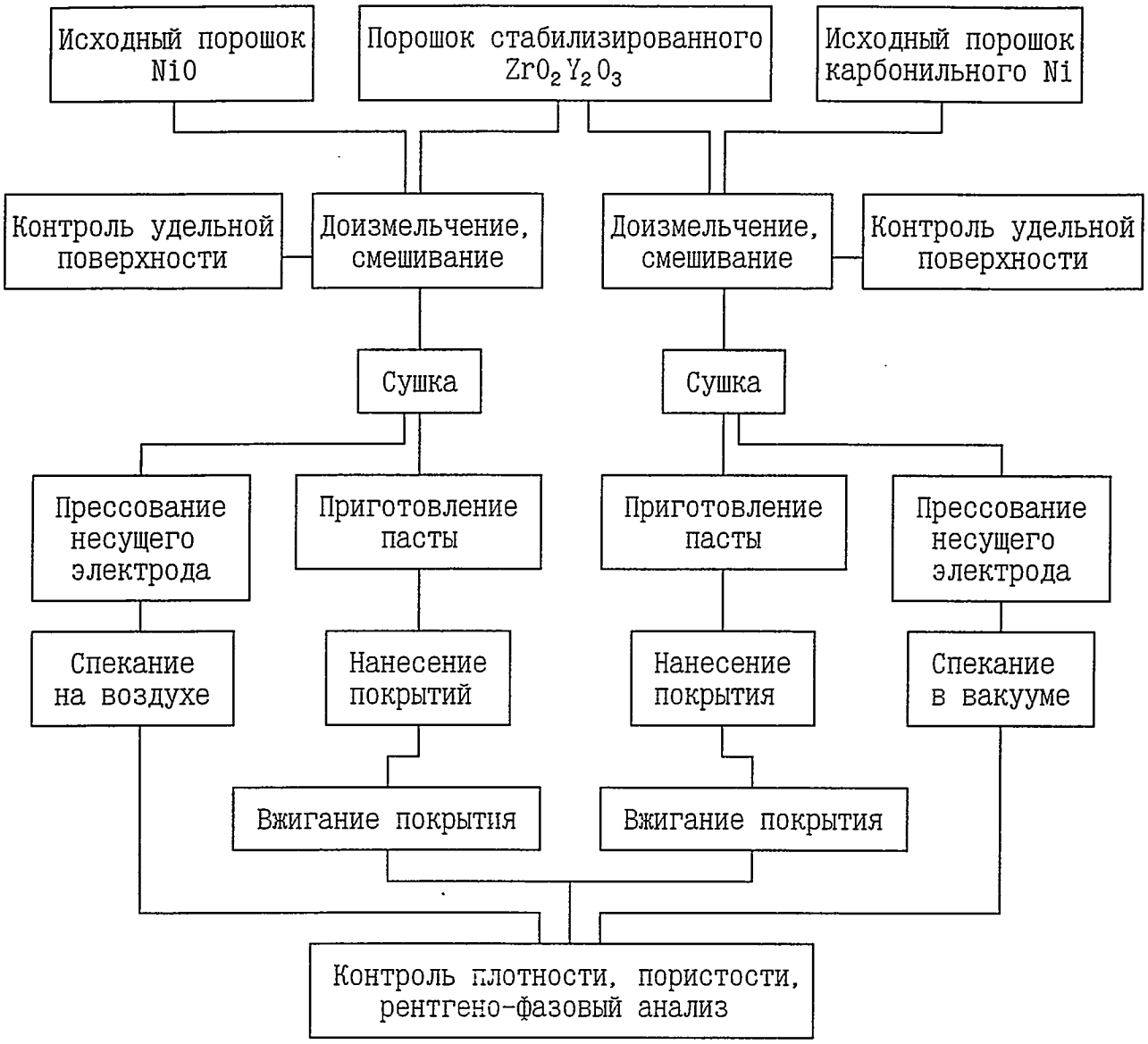


Рис. 8. Технологическая схема процесса изготовления топливного электрода.

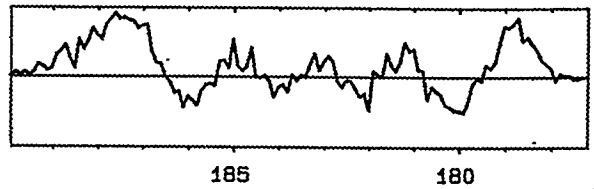
Run: XAAU07 Reg: 1
Scan: 1 Chans: 128

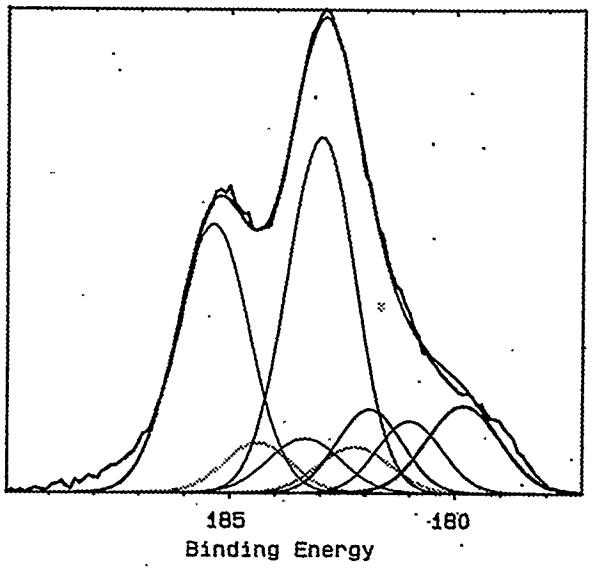
Start eV: 189.93
End eV: 177.23

Fit: 1.8

100% Intensity: 14792
100% Area: 614256

Line	Elmt.	Energy	Int.	FWHM	Area
GAUSS	ZrO2	185.39	55.68	1.90	26.83
GAUSS	ZrO2	182.99	73.74	1.80	33.70
GAUSS	Zr2O3	184.40	10.38	1.74	4.87
GAUSS	Zr2O3	181.90	17.58	1.73	7.68
GAUSS	Zr2O	182.24	9.68	1.90	4.58
GAUSS	**Zr2O**	**179.83**	**18.17**	**1.90**	**8.73**
GAUSS	ZrO	183.34	11.32	1.90	5.43
GAUSS	ZrO	181.01	15.10	1.70	6.49





Title: Zr + Y oxides
Run: XABD12 Reg: 1 (XPS) Scan: 1 Base Cts: 1552 Max Cps: 309915

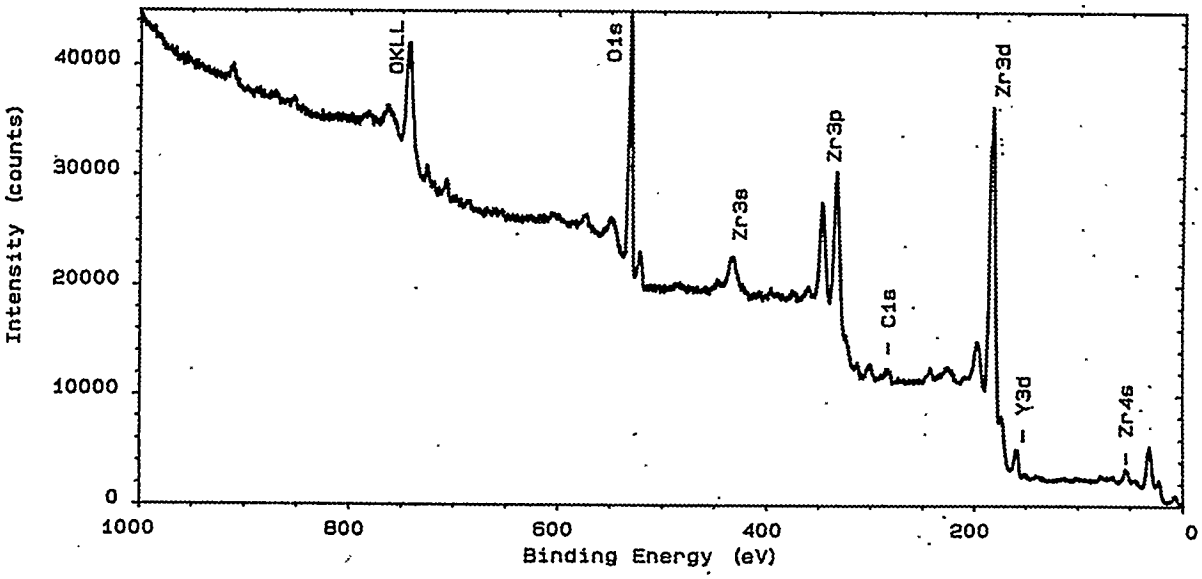
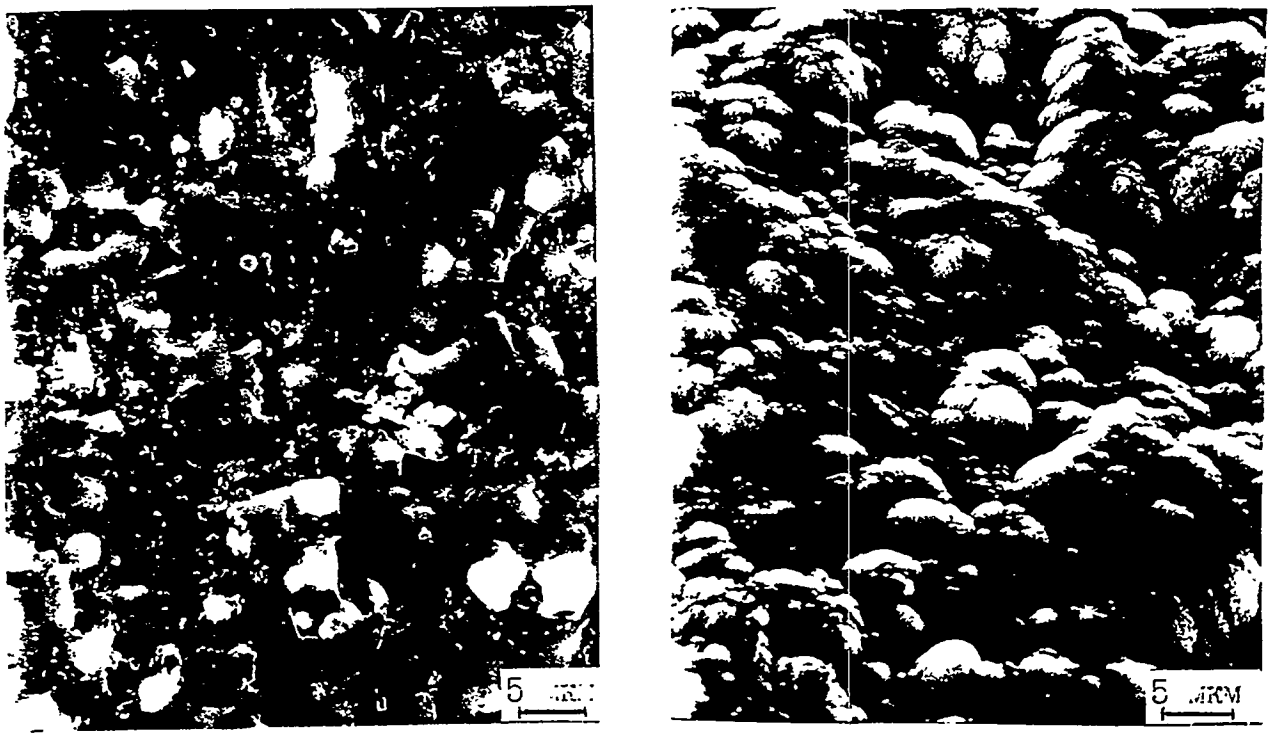
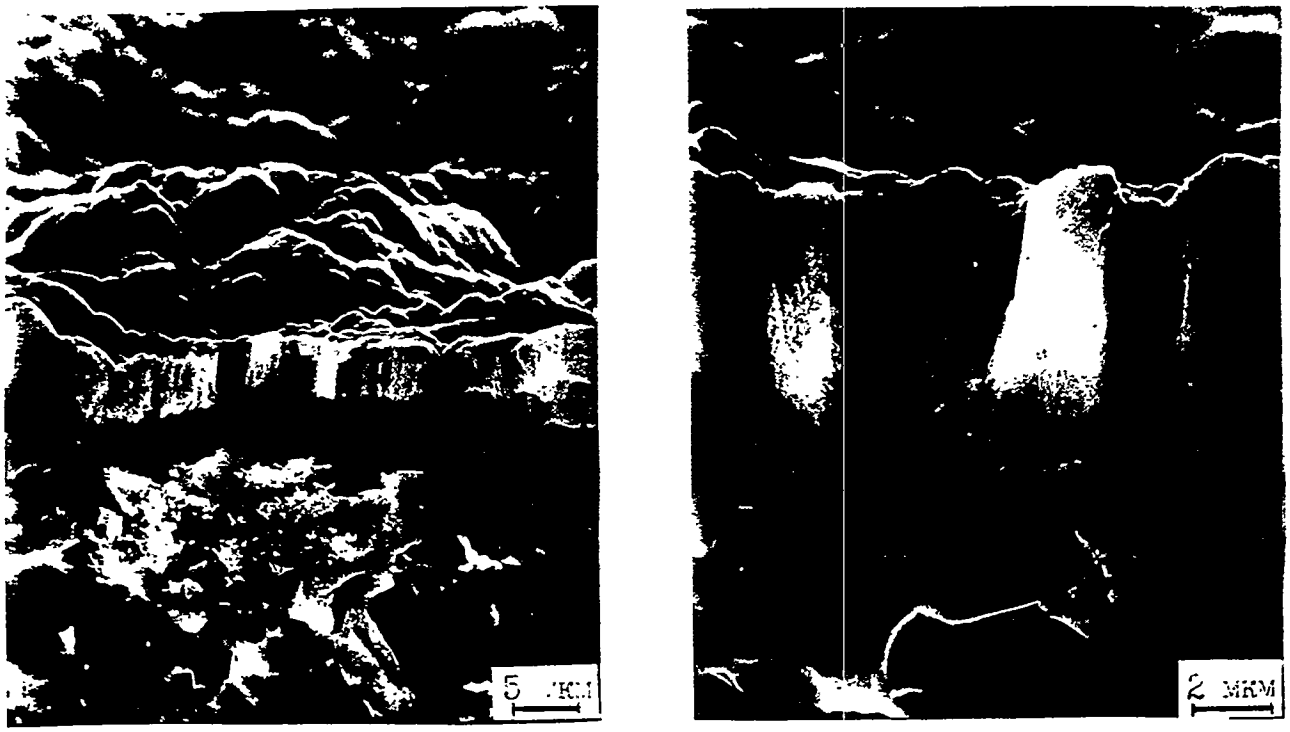


Рис.9. РФЭС-спектр пленки YSZ.



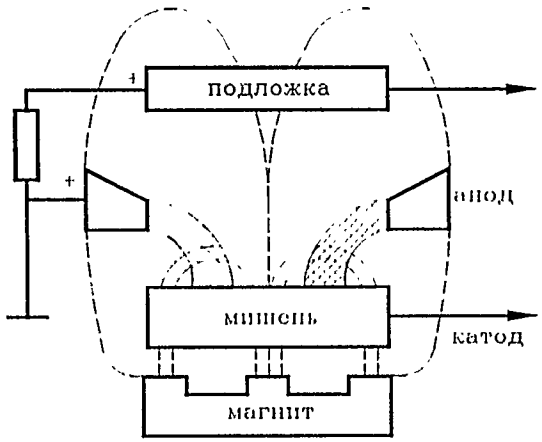
а) б)

Рис.10 Морфология поверхности LSM-основы (а) и YSZ-покрытия (б).



а) x2000 б) x6000

Рис.11 Структура поперечного сечения LSM-матрицы YSZ-покрытия.



Технологические операции	Обработка пористого токосъема	Нанесение воздушного электрода	Синтез и нанесение твердооксидного электролита	Синтез и нанесение топливного электрода
Инструмент	Магнетрон	Магнетрон	Магнетрон	Магнетрон
Подложка	-	Пористый токосъем	Пористая поверхность воздушного электрода LSM	Твердооксидный электролит YSZ
Среда	Ar	Ar + O_2	Ar + O_2	Ar + O_2
Мишень	Поверхность пористого токосъема	LSM	Zr + Y	Ni + Zr + Y

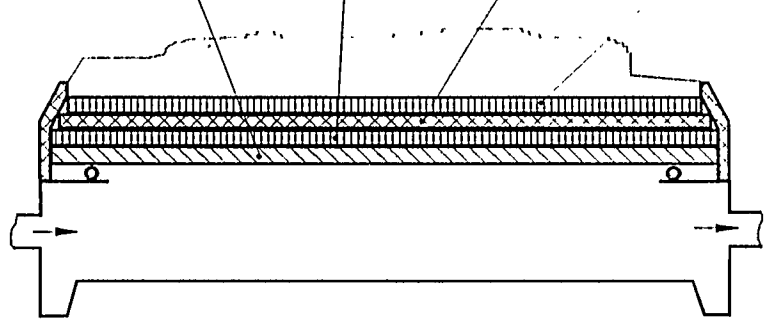


Рис.12. Схема непрерывного процесса изготовления ТОТЭ методом магнетронного напыления.

US/RUSSIAN FUEL CELL TECHNOLOGY WORKSHOP
September 26-28, 1995
Albuquerque, New Mexico

DEVELOPMENT OF PLANAR SOLID OXIDE FUEL CELLS FOR POWER GENERATION APPLICATIONS

Nguyen Q. Minh
AlliedSignal Aerospace Equipment Systems
2525 West 190th Street
Torrance, California 90504-6099

ABSTRACT

Planar solid oxide fuel cells (SOFCs) are presently being developed for a variety of electric power generation applications. The planar design offers simple cell geometry, high power density, and multiple fabrication and gas manifolding options. Planar SOFC technology has received much attention recently, and significant progress has been made in this area. Recent effort at AlliedSignal has focused on the development of high-performance, lightweight planar SOFCs, having thin-electrolyte films, that can be operated efficiently at reduced temperatures (< 1000°C). The advantages of reduced-temperature operation include wider material choice (including use of metallic interconnects), expected longer cell life, reduced thermal stress, improved reliability, and reduced fuel cell cost. The key aspect in the development of thin-film SOFCs is to incorporate the thin electrolyte layer into the desired structure of cells in a manner that yields the required characteristics. AlliedSignal has developed a simple and cost-effective method based on tape calendering for the fabrication of thin-electrolyte SOFCs. Thin-electrolyte cells made by tape calendering have shown extraordinary performance, e.g., producing more than 500 mW/cm^2 at 700°C and 800 mW/cm^2 at 800°C with hydrogen as fuel and air as oxidant. Thin-electrolyte single cells have been incorporated into a compliant metallic stack structure and operated at reduced-temperature conditions.

Разработка планарных твердооксидных топливных элементов для применения в составе энергетических установок

Нгьен К. Мин
Корпорация "ЭллайдСигналі
Системы оборудования авиационно-космических комплексов
2525 West 190th Street
Torrance, California 90504-6099

Аннотация

В настоящее время планарные твердооксидные топливные элементы (ТОТЭ) разрабатываются для целого ряда применений в составе установок генерирования электрической мощности. Планарная конструкция обеспечивает простую геометрию элементов, высокую энергонапряженность, а также универсальность изготовления ТЭ и конструирования системы газовых трубопроводов. Технология планарных ТОТЭ получила большое внимание в последнее время в связи со значительным прогрессом, достигнутым в этой области. Последние разработки корпорации "ЭллайдСигнал" посвящены созданию высокоэффективных, облегченных, планарных ТОТЭ с тонким слоем электролита, способных эффективно работать при пониженных температурах (<1000°C). Преимущества эксплуатации при пониженных температурах заключаются в более широком выборе материалов (включая использование металлических элементов коммутации), предполагаемом длительном ресурсе ТЭ, снижении воздействия тепловых нагрузок, повышении надежности и снижении себестоимости топливного элемента. Ключевым аспектом разработки ТОТЭ с тонкослойным покрытием является такое включение тонкого слоя электролита в избираемую структуру ТЭ, при котором обеспечиваются необходимые выходные параметры. В "Эллайд Сигнал" разработан простой и экономически эффективный метод на основе ленточного каландрования для изготовления ТОТЭ с тонкослойным электролитным покрытием. Элементы с тонким слоем электролита, полученные путем ленточного каландрования, продемонстрировали выдающиеся характеристики, например, произвели более 500 мВт/см^2 при 700°C и 800 мВт/см^2 при 800°C с водородом в качестве топлива и воздухом в качестве окмслителя. Отдельные элементы с тонкослойным электролитным покрытием объединялись в соответствующую металлическую многоуровневую структуру и проверялись в работе в условиях пониженной температуры.

Intentionally Left Blank

Poster Sessions

Note:

In most cases, only the abstracts from the poster sessions were available for publication. Whenever possible, both English and Russian translations are provided.

THE WAYS OF SOFC SYSTEMS EFFICIENCY INCREASING

A.K.DEMIN AND N.TIMOFEYEVA

INSTITUTE OF HIGH TEMPERATURE ELECTROCHEMISRY, RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES. 620219, EKATERINBURG, S.KOVALEVSKOY ST., 20, RUSSIA

THE PURPOSE OF THE REPORT IS TO SHOW HOW IT IS POSSIBLE TO INCREASE THE SOFC SYSTEM EFFICIENCY BY MEANS OF THE SOFC SYSTEM DESIGN IMPROVEMENT.

THE SOFC SYSTEM EFFICIENCY IS DEFINED AS A RATIO

$$h = \frac{\text{ELECTRICAL ENERGY, PRODUCED FROM ONE MOLE OF FUEL}}{\text{CHEMICAL ENERGY, CONTAINED IN ONE MOLE OF FUEL}} \quad (1)$$

IN THE TERMS OF ELECTRICAL CHARACTERISTICS THE FORMULA FOR THE EFFICIENCY IS AS FOLLOWS:

$$h = K_{ut}U_{av}/U_{th}, \quad (2)$$

WHERE K_{ut} – FUEL UTILIZATION, U_{av} – AVERAGE CELL VOLTAGE, U_{th} – THERMONEUTRAL VOLTAGE, WHICH IS DETERMINED AS

$$U_{th} = -\Delta H/zF, \quad (3)$$

WHERE ΔH – ENTHALPY OF FUEL OXIDATION REACTION, F – FARADAY NUMBER, z – NUMBER OF ELECTRONS IN REACTION OF ELECTROCHEMICAL FUEL OXIDATION (z = 2 FOR HYDROGEN AND z = 8 FOR METHANE).

THE FORMULA FOR THE CELL VOLTAGE CALCULATION IS AS FOLLOWS:

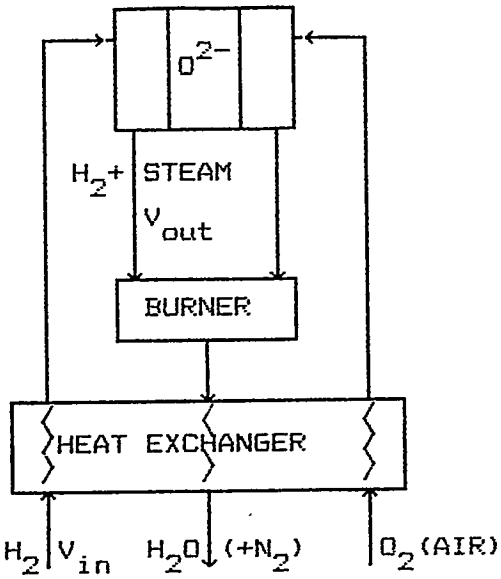
$$U = E - IR_{act} - IR_{react}, \quad (4)$$

WHERE E – ELECTROMOTIVE FORCE (EMF), IR – CELL VOLTAGE DROP (ACTIVE AND REACTIVE).

AT THE CONSTANT TEMPERATURE THE TWO LAST TERMS IN (4) DEPEND ON THE PROPERTIES AND DIMENSIONS OF THE ELECTROLYTE AND ELECTRODES AND HERE WE SUPPOSE THAT ONE CAN NOT INFLUENCE ON THESE FACTORS.

HERE WE CONSIDER HOW TO LIFT THE FUEL UTILIZATION AND/OR THE AVERAGE CELL VOLTAGE WITH THE AIM TO INCREASE THE SOFC SYSTEM EFFICIENCY BY THE IMPROVEMENT OF ITS DESIGN OR MODE OF OPERATION.

HYDROGEN FUELED SOFC SYSTEM WITH HYDROGEN RECYCLING [1]

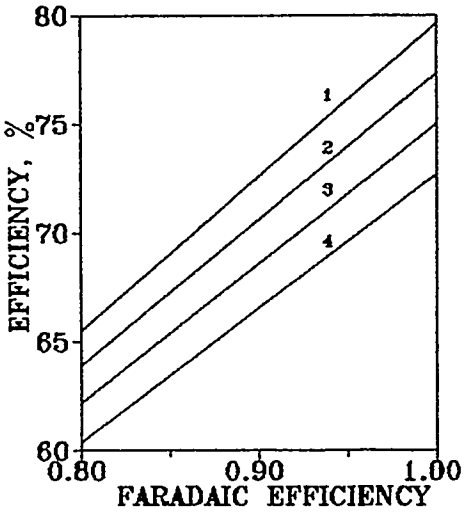


SOFC SYSTEM WITH DIRECT H_2 FLOW

V_{in} - INPUT HYDROGEN CONSUMPTION

V_{out} - OUTPUT HYDROGEN CONSUMPTION

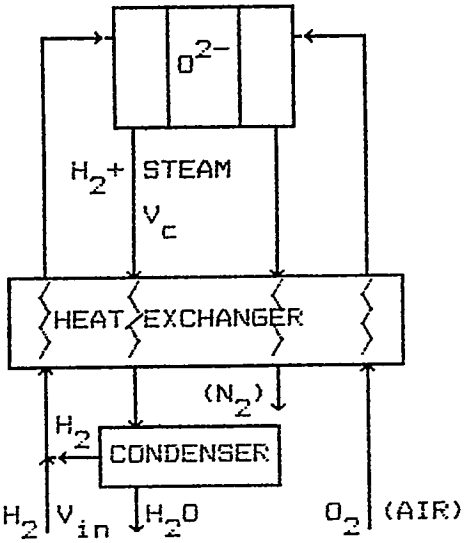
$K_{ut} = 1 - \frac{V_{out}}{V_{in}}$ - FUEL UTILIZATION



DEPENDENCE OF MAXIMUM SYSTEM EFFICIENCY ON FUEL UTILIZATION:

1 - T= 1000 K, 2 - T= 1100 K,

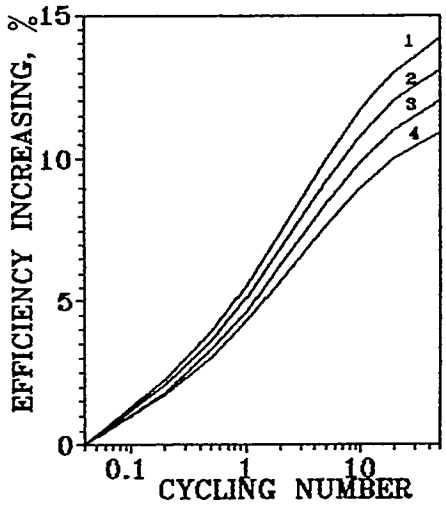
3 - T= 1200 K, 4 - T= 1300 K



SOFC SYSTEM WITH H_2 RECYCLING

V_c - HYDROGEN CONSUMPTION IN CYCLE

$K_c = V_c/V_{in}$ - CYCLING NUMBER

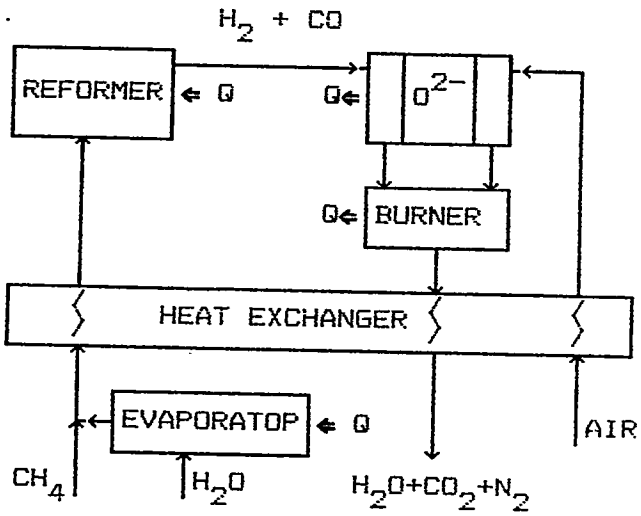


DEPENDENCE OF SYSTEM EFFICIENCY INCREASING ON CYCLING NUMBER

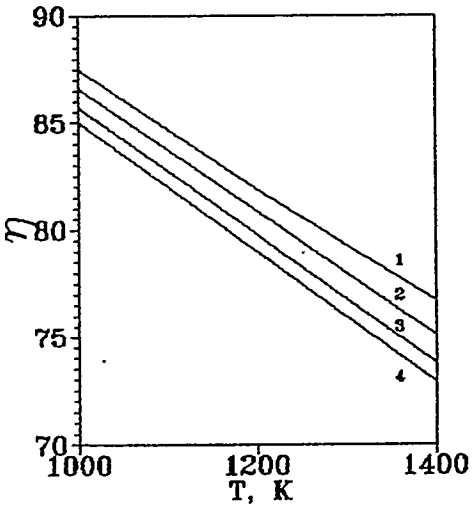
T_{cond} = 298 K.

METHANE FUELED SOFC SYSTEM

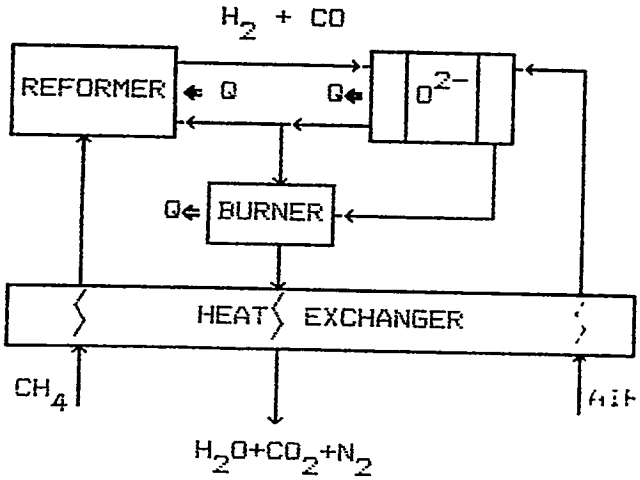
THE COMPARATIVE ANALYSIS OF THE DIFFERENT SCHEMES OF METHANE FUELED SOFC SYSTEMS WAS PROPOSED IN [2]. THE ANALYSIS SHOWS THAT THE LEAST EFFICIENCY HAS THE SYSTEM WITH METHANE TRANSFORMATION BY PARTIAL OXIDATION. THE SYSTEM WITH STEAM REFORMING HAS THE EFFICIENCY BY 25 - 35% HIGHER AT THE SAME OTHER CONDITIONS. THE HIGHEST EFFICIENCY HAS THE SYSTEM THE REFORMING BY EXHAUST ANODE MIXTURE. THE ANALYSIS WAS CARRIED OUT FOR THE CONDITIONS: RATIO H_2O/CH_4 IN REFORMER INLET MIXTURE = 1 (1), 1.5 (2), 2 (3) AND 2.5 (4); RATIO OX/RED IN ANODE MIXTURE = 9.



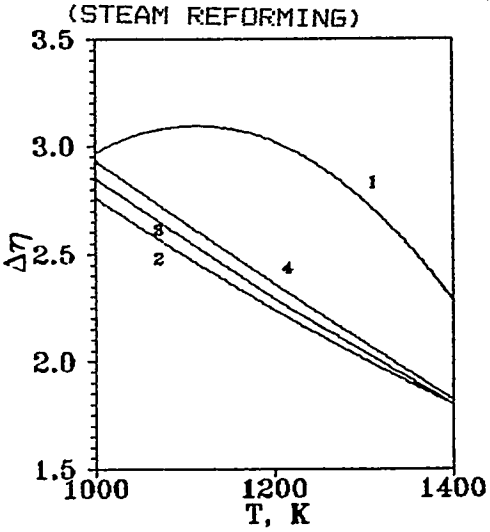
STEAM REFORMING



DEPENDENCE OF MAXIMUM SYSTEM EFFICIENCY ON TEMPERATURE (STEAM REFORMING)



EXHAUST ANODE MIXTURE REFORMING



DIFFERENCE OF EFFICIENCY OF SECOND AND FIRST SCHEMES

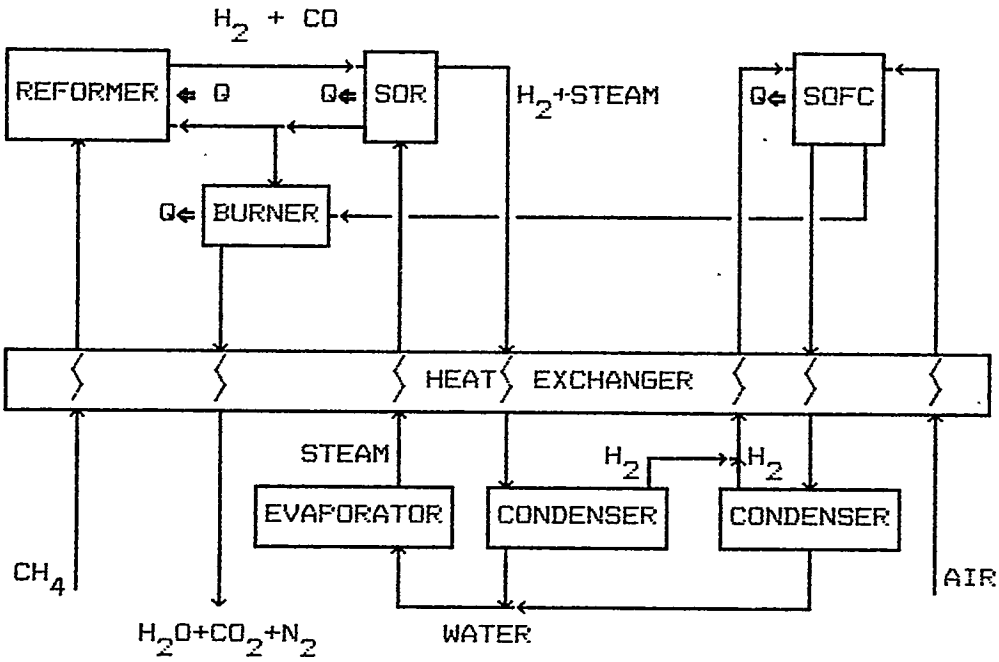
COMBINED SOR-SOFC SYSTEM [3]

THE SYSTEM CONSISTS OF A SOLID OXIDE REFORMER (SOR) AND A SOLID OXIDE FUEL CELL (SOFC) WITH HYDROGEN RECYCLING.

THE SOR TRANSFORMS METHANE INTO HYDROGEN WITH A RATIO 1:3.7. THE HYDROGEN OUTPUT IN THE SOR COMBINED WITH SOFC IS HIGHER THAN IN THE SEPARATE SOR

THE HYDROGEN-STEAM MIXTURE PASSES THROUGH A CONDENSER AND THEN THE HYDROGEN OF LOW HUMIDITY GOES INTO A HYDROGEN RECYCLING CONTOUR OF THE SOFC.

THE QUANTITY OF HYDROGEN PRODUCED IN THE SOR IS EQUAL TO THE QUANTITY OF HYDROGEN USED IN SOFC.



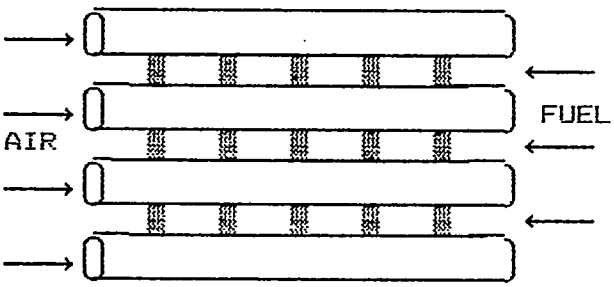
INFLUENCE OF FUEL FLOW DIRECTION IN A STACK ON ITS EFFICIENCY [4]

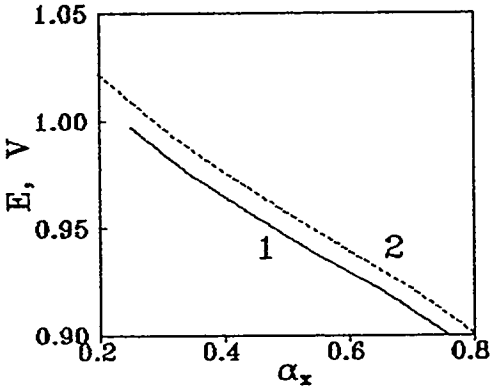
THE INFLUENCE IS SHOWN IN THE SAMPLE OF THE STACK OF TUBE CELLS CONNECTED IN SERIES. AIR PASSES THROUGH THE INNER TUBE CHANNELS, FUEL PASSES OUTSIDE THE TUBES. HERE ARE CONSIDERED TWO DIRECTION OF FUEL FLOW: PARALLEL (1) AND PERPENDICULAR (2) TO TUBES AXES.

IN THE FIRST CASE THE CURRENT DENSITY ALONG THE CELL DECREASES IN THE DIRECTION OF FUEL FLOW, WHEREAS IN THE SECOND CASE THE CURRENT DENSITY IN ALL THE CELLS IS THE SAME. AS A CONSEQUENCE THE AVERAGE ELECTROMOTIVE FORCE IN THE FIRST CASE IS LESS, THAN IN THE SECOND.

SO, IF OTHER CONDITIONS ARE THE SAME, THE STACK EFFICIENCY IN THE SECOND CASE IS HIGHER, THAN IN THE FIRST CASE.

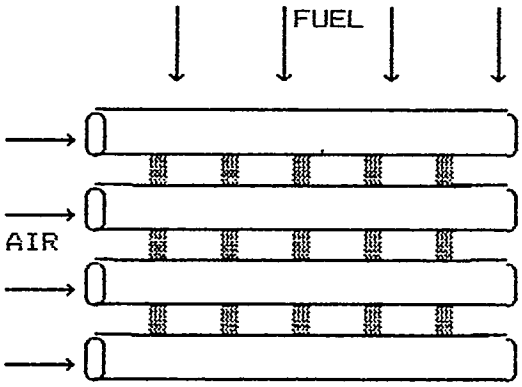
FIRST SCHEME

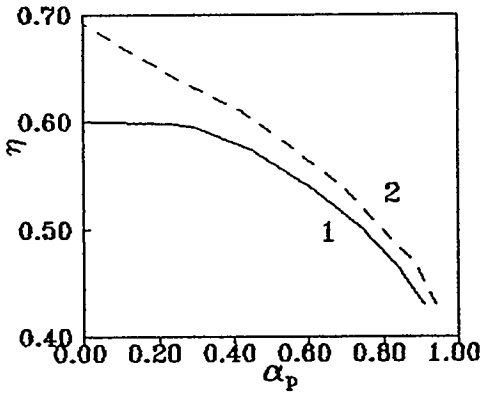




EMF DISTRIBUTION IN THE FUEL FLOW DIRECTION

SECOND SCHEME





DEPENDENCE OF THE EFFICIENCY ON THE RELATIVE POWER, $\alpha_P = P/P_{max}$

SOFC WITH HIGH FUEL UTILIZATION [5]

THE TRADITIONAL SOFC SCHEME INCLUDES A BURNER. SINCE THE CERMET ANODES DESTROIES IN ATMOSPHERE WITH SMALL CONCENTRATION OF REDUCING COMPONENTS, THEREFORE OUTPUT ANODE MIXTURE CONTAINS RESIDUAL FUEL (USUALLY 10-15 %). SOFC ELECTRIC EFFICIENCY IS DEFINED BY TWO FACTORS: FUEL UTILIZATION AND AVERAGE VOLTAGE OF THE CELL. ONE MAY EXPECT THAT FUEL UTILIZATION INCREASING MUST LEAD TO INCREASING OF ELECTRIC EFFICIENCY. HOWEVER, FUEL UTILIZATION INCREASING LEADS TO DECREASING OF SOFC AVERAGE VOLTAGE AND MORE ACCURATE ESTIMATION OF CHARACTER OF ELECTRIC EFFICIENCY CHANGE FOR FUEL UTILIZATION INCREASING IS REQUIRED. ON THE OTHER HAND, A NUMBER OF REPORTS APPEARED ON ELECTRODES, WHICH ARE STABLE BOTH IN OXIDIZING AND IN REDUCING ATMOSPHERES. ONE MAY SUPPOSE THAT FUEL CAN BE USED COMPLETELY IN THE SOFC WITH SUCH ELECTRODES.

SO IT IS POSSIBLE TO ANALYZE A SCHEME OF HYDROGEN-OXYGEN SOFC WITHOUT THE BURNER. THE ANALYSIS SHOWS THAT IN A BATTERY WITH THE CELL CONNECTED IN SERIES THE EQUIVALENT CURRENT CAN EXCEED THE FARADAIC CURRENT, THAT IS FORMALLY FUEL UTILIZATION MAY BE MORE THAN 1. WHEN THE FUEL UTILIZATION INCREASES FROM 0.85 TO 1 THE LIMIT ELECTRIC EFFICIENCY (I=0) INCREASES PRACTICALLY LINEARLY, WHEN THE FUEL UTILIZATION BECOMES MORE THAN 1 ELECTRIC EFFICIENCY GROWTH DELAYS. FOR CURRENT MORE THAN ZERO THE ELECTRIC EFFICIENCY HAS MAXIMUM AND THIS MAXIMUM REMOVES TO A REGION OF SMALL FUEL UTILIZATION VALUES WHEN CURRENT INCREASES.

THE WORK OF THE SOFC WITH THE FUEL UTILIZATION MORE THAN 1 IS INTERESTING FROM MANY VIEW POINTS: ITS ELECTRIC EFFICIENCY IS MAXIMUM, CONSTRUCTION IS SIMPLIFIED DUE TO EXCEPTION OF THE BURNER, OUTPUT GASES DOES NOT CONTAIN RESIDUAL FUEL (CO AND H_2O).

REFERENCES

1. A.DEMIN. THE METHOD OF INCREASING OF SOFC EFFICIENCY. 9 WORLD CONF. ON HYDROGEN ENERGY, PARIS, VOL.3, PP. 1527-1530 (1992).
2. A.DEMIN, I.IELO, V.ALDERUCCI ET AL. THERMODYNAMIC ANALYSIS OF METHANE FUELED SOFC SYSTEM. INT. J. HYDROGEN ENERGY 17 (6), 451 (1992).
3. A.K.DEMIN, V.ANTONUCCI. COMBINED SYSTEM: SOLID OXIDE FUEL CELL - OXIDE REFORMER. PROC. 1ST EUR. SOFC FORUM, LUCERNE, VOL.2, PP. 967 - 974 (1994).
4. N.I.TIMOFEYEVA, A.K.DEMIN, V.ANTONUCCI. MODELLING OF SOFC OPERATION IN VARIABLE REGIME. PROC. 1ST SOFC FORUM, LUCERNE, VOL.1, PP. 277-286 (1994).
5. A.K.DEMIN, N.TIMOFEYEVA, V.ANTONUCCI. SOFC WITH HIGH FUEL UTILIZATION. ABSTRACTS OF THE 46TH ANNUAL MEETING OF INT. SOCIETY OF ELECTROCHEM., XIAMEN, CHINA (1995)

Glass Sealing

Richard K. Brow, Larry Kovacic, and Robert S. Chambers
Sandia National Labs
Albuquerque, NM 87185

Hermetic glass sealing technologies developed for weapon component applications can be utilized for the design and manufacture of fuel cells. Component design requirements, such as hermeticity, electrical isolation, seal strength, material compatibility and environmental stability, provide the guidelines for the seal requirements. Design and processing of a seal are optimized through an integrated approach based on glass composition research, finite element analysis (FEA), and sealing process definition. By tailoring the glass composition, given the constraints imposed by the component design requirements, an optimal mechanical and chemical stability can be realized. The thermomechanical properties of the glass can then be used with FEA techniques and SNL developed codes to design an optimal seal geometry for the desired service conditions, as well as to facilitate seal manufacturing. Incorporation of the viscoelastic material response into the FEA codes improves the predictive modeling capability. Glass sealing procedures are selected to accommodate the limits imposed by glass composition and predicted by FEA calculations. Sealing processes tailored for SNL components include localized laser heating, low-temperature field-assisted bonding, and more conventional furnace techniques. This integrated systems approach to glass seal design and processing has resulted in the successful development of a variety of high-reliability hermetic seals. Examples include high strength glass-ceramic seals for Ni-based superalloy pyrotechnic components, corrosion resistant glass seals for lithium batteries, and high expansion glass seals for lightweight aluminum components. The same approach can be applied to the unique sealing requirements envisioned for fuel cells where mechanically and chemically stable materials are required for high temperature, corrosive environments and long service lifetimes.

This work was performed at Sandia National Laboratories and was supported by the US Department of Energy under Contract No. DE-AC04-94AL85000.

СТЕКЛЯННЫЕ УПЛОТНЕНИЯ

Ричард К. Брау, Ларри Ковачик и Роберт С. Чамберс
Национальная лаборатория Сандия
Альбукерке, Нью Мексика 87185

Технология герметических стеклянных уплотнений, первоначально разработанная в соответствии со спецификациями различных компонентов оружия, может применяться при проектировании и изготовлении топливных элементов (ТЭ). Проектные параметры, такие как герметичность, электрическая изоляция, прочность уплотнения, совместимость материалов и экологическая стабильность, определяют основные характеристики уплотнений. Проектирование и изготовление уплотнений оптимизируется благодаря комплексному подходу к исследованию композиций стекла, применению метода анализа конечных элементов и масштабному изменению процессов. Оптимальная механическая и химическая стабильность может быть достигнута путем изменения композиции с учетом заданных конструктивных ограничений. Применяя метод анализа конечных элементов и специальные, разработанные Сандией коды, можно использовать термомеханические характеристики стекла при разработке оптимальной для заданных условий работы геометрии уплотнения. Вискозопластичная реакция материала, которая учитывается посредством введения кодов в анализ конечных элементов, позволяет повысить точность прогноза моделируемых характеристик. Процесс установки уплотнений выбирается в соответствии с ограничениями композиции стекла и результатами анализа конечных элементов. Технологические процессы установки уплотнений, разработанные для Сандии, включают местный лазерный нагрев, низкотемпературную гибку на месте и более традиционный обжиг в печи. Системный подход к проектированию и изготовлению стеклянных уплотнений позволил успешно разработать целый ряд надежных герметических уплотнений. Примерами таких уплотнений являются высокопрочные стекло-керамические уплотнения для пиротехнических компонентов из суперсплавов на основе Ni, стеклянные уплотнения с высоким коэффициентом расширения для легких алюминиевых компонентов. Тот же системный подход можно применять при разработке ТЭ, где механическая или химическая стабильность материала необходима для работы в условиях высоких температур, коррозионных сред или увеличения срока службы.

Работа выполнена в Национальной лаборатории Сандия по заказу Министерства энергетики США, Контракт № DE-AC04-94AL85000.

PEM FUEL CELL BIPOLAR PLATE MATERIAL REQUIREMENTS FOR TRANSPORTATION APPLICATIONS, R. L. Borup, K. R. Stroh and N. E. Vanderborgh, Los Alamos National Laboratory: ESA-EPE, Los Alamos, NM 87545, (505) 665 - 9787.

Cost effective bipolar plates are currently under development to help make proton exchange membrane (PEM) fuel cells commercially viable. Bipolar plates separate individual cells of the fuel cell stack, thus must supply strength, be electrically conducting, provide for thermal control of the fuel stack, be a non-porous material separating hydrogen and oxygen feed streams, be corrosion resistant, provide gas distribution for the feed streams and meet fuel cell stack cost targets. The design constraints suggest that advanced materials, such as conductive, corrosion resistant coatings on metal substrates may be required for mass production of bipolar plates for large scale fuel cell applications.

Earlier fuel cell systems were designed for defense markets that dictated performance and reliability as primary requirements. The current emphasis is on broader civilian markets that work today using established, competing technology. Consequently, fuel cell developers are focused on new system approaches for this clean, efficient energy conversion technology. Performance, reliability and cost are the emphases. The major constraints include:

1. Electronic Conductivity
2. Gas Diffusivity
3. Corrosion
4. Chemical Compatibility
5. Cost
6. Low Weight
7. Low Volume
8. Strength
9. Thermal Control
10. Manufacturability

The design constraints are used to estimate materials that could be useful for current, large scale markets, such as those required for transportation applications.

The materials must be designed to withstand the conditions of the operating environment of the fuel cell. The cathode plate will be exposed to an O_2 (oxidizing) containing environment. The cathode plate will experience potentials of up to 1.23 V_{RHE}. The anode plate will be exposed to a H_2 containing, reducing environment. The plate will experience smaller anodic potentials—at open circuit the anodic plate will be near 0.0 V_{RHE}, but could see potentials up to 0.6 V as CO or COH poisoning species are oxidized, if anodic pulsing were used for CO control.

Possible bipolar plate materials are being evaluated to meet the design constraints and fuel cell operating conditions. For fuel cells to be commercially competitive with current energy conversion devices, the fuel cell materials must be inexpensive and readily available. The change in market supply of the materials used in fuel cells must be taken into account when considering materials. Candidate materials include conductive polymers and metal plates with conductive, corrosion resistant coatings. A possible manufacturing route for metal substrates, such as aluminum, could be cutting and forming, followed by a corrosion resistant coating. Possible metal substrates include: aluminum, titanium, iron / stainless steel and nickel, although for transportation applications the substrate will need to be of a material with a low density, probably either aluminum or titanium.

Corrosion testing of any coated metal plates must be done emulating conditions similar to those projected during use of that material. Because these fuel cell plates will be exposed to constant potentials, the galvanostatic corrosion rate at relevant potentials is of interest. During usual operation, the potentials for the anode and cathode are expected to be closer to 0.1 and 0.8 V_{RHE}, respectively. Anodic polarization and cyclic polarization are techniques used to determine passive/transpassive properties, and what occurs to test materials during the first polarization.

The electrochemical corrosion measurements need to be conducted at fuel cell operating conditions, replicating the chemical and potential environments, and both pressures and temperatures. A reducing hydrogen (anode) or an oxygen atmosphere (cathode) is required to simulate either cathode or anode conditions. The electrical resistance of materials must be measured and should not increase during exposure to the fuel cell environment. For plate materials in which gas permeability could be a concern, gas diffusion properties also need to be evaluated.

ТРЕБОВАНИЯ К МАТЕРИАЛАМ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПЛАСТИН ПРОТОННО-ОБМЕННЫХ МЕМБРАН ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ (ТЭ) ДЛЯ ТРАНСПОРТНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ.

Р.Л.Боруп, К.Р.Строх и Н.Е.Вандерборг, Национальная лаборатория Лос Аламос, ESA-EPE, Лос Аламос, Нью Мексика, 87545 (505) 665-9787

Для практического осуществления коммерческого внедрения ТЭ с протонно-обменной мембраной, в настоящее время разрабатываются экономически эффективные биполярные пластины . Биполярные пластины разделяют отдельные элементы батареи ТЭ, и, следовательно, материал пластин должен быть достаточно прочным, электропроводным и обеспечивающим термоконтроль батареи. Пластины должны выполняться из не пористого материала, разделяющего потоки водорода и кислорода, причем материал должен быть коррозиеустойчивым, обеспечивать распределение газов в потоке питания и соответствовать поставленной задаче снижения стоимости батарей. Перечисленные конструктивные ограничения предполагают применение современных материалов, например, можно использовать электропроводное коррозиеустойчивое покрытие на металлическом основании для массового производства биполярных пластин батарей увеличенного размера.

Большинство предыдущих систем ТЭ было спроектировано для военных нужд, при этом эксплуатационные качества и надежность были основными критериями. Сегодняшние требования диктуются гражданским рынком сбыта, т.е. разработкой внедрения проверенной, конкурентноспособной технологии. Разработчики ТЭ концентрируют свои усилия на создании нового системного подхода к созданию технологии изготовления экологически чистого и эффективного способа преобразования энергии. Эксплуатационные характеристики, надежность и стоимость являются наиболее важными критериями. Основными ограничениями конструкции являются:

1. Электропроводность
2. Газовая диффузионность
3. Коррозия
4. Химическая совместимость
5. Стоимость
6. Небольшой вес
7. Небольшой объем
8. Прочность
9. Термоконтроль
10. Технологичность конструкции

Перечисленные конструктивные ограничения учитываются при выборе материалов, которые могут быть использованы для удовлетворения нужд современного масштабного рынка сбыта, например для нужд транспортной отрасли.

Выбранные материалы должны выдерживать условия работы, аналогичные условиям работы ТЭ. Катодная пластина находится в среде, содержащей O_2 (окисление). Потенциал на катодной пластине достигает величины 1,23 V_{RHE}.

Анодная пластина находится в среде, содержащей H_2 (восстановление). Анодный потенциал пластины будет несколько меньше - около 0,0 в разомкнутой цепи, однако при окислении "зловредных" CO или COH, в случае контроля CO путем анодной пульсации, потенциал может достичь величины 0,6 V_{RHE}.

Возможные материалы изготовления биполярной пластины проверяются на соответствие конструктивным ограничениям и условиям работы ТЭ. Для того, чтобы ТЭ были коммерчески конкурентноспособными, материалы ТЭ должны быть недорогими и легко доступными. Следует также принимать во внимание изменения рынка поставки материалов. Рассматриваемые материалы включают проводящие полимеры и металлические пластины с проводящим коорозиеустойчивым покрытием. Возможные металлы для базовой пластины включают алюминий, титан, сталь/нержавейку и никель, однако для транспортной промышленности металл должен быть с небольшим удельным весом, скорее всего, алюминий или титан.

Испытания на коррозиеустойчивость должны проводиться в условиях, аналогичных предполагаемым условиям работы. Поскольку пластины ТЭ будут постоянно находиться под действием потенциала, следует обратить внимание на уровень гальванопластической коррозии при соответствующей величине потенциала. Предполагается, что во время обычного режима работы, потенциал на аноде будет близок к 0,1 V_{RHE}, а катоде - 0,8 V_{RHE}. Для определения пассивных/транспассивных характеристик материала и изменений испытываемого материала в процессе первой поляризации применяются методы анодной поляризации и циклической поляризации.

Измерения электрохимической коррозии должны проводиться в условиях, имитирующих условия работы ТЭ, с воспроизведением химических параметров и потенциала, а также давления и температуры среды. Восстановительный водород (анод) или кислородная атмосфера (катод) необходимы для моделирования условий работы катода и анода. Электрическое сопротивление материала, которое необходимо замерять в процессе испытаний, не должно увеличиваться во время испытаний в условиях работы ТЭ. В случаях испытания материаловя, для которых газовая проницаемость является критической, следует провести оценку и замер характеристик газовой диффузии.

FUEL CELL DEVELOPMENT FOR TRANSPORTATION; CATALYST DEVELOPMENT

by

Narayan Doddapaneni
Sandia National Laboratories
Battery Research Department 2223/MS0614
Albuquerque, NM 87185-0614
(505) 844-2517

Fuel cells are being considered as alternate power sources for transportation and stationary applications. The degradation of oxygen electrode catalysts (e.g., Pt. Ag and others) and corrosion of carbon substrates make commercialization of fuel cells incorporating present day technologies economically unattractive. In addition, with Proton Exchange Membrane (PEM) fuel cells, the fuel crossover to cathodes causes severe thermal management and cell voltage drop due to oxidation of fuel at the platinized cathodes. The main goal of this project is to design, synthesize and evaluate stable and inexpensive transition metal macrocyclic catalysts. These catalysts should posses good catalytic activity for the reduction of oxygen and chemically and electrochemically inert towards anode fuels such as hydrogen and methanol.

Sandia National Laboratories initiated fuel cell work in 1992 and has evaluated metal macrocyclic complexes for both oxygen reduction and direct methanol oxidation in Proton Exchange Membrane (PEM) fuel cells and aqueous carbonate fuel cells (ACFC). Initial results are very encouraging. Oxygen reduction on these catalysts showed lower potential drop than that observed on platinum catalysts. In addition, these catalysts did not show any deleterious effects on the air electrode performance after 60 days operation at 60°C. At a current density of 100 mA/cm2, the voltage of an aqueous carbonate fuel cell built with and SNL catalyst is higher by 150 mV compared to a fuel cell with platinum cathode catalyst. This, we believe, a significant achievement. Similar results are also observed in PEM fuel cells.

We propose to continue the optimization of composition of catalyst-substrate mixes. Most of the work is directed to the catalyst stability studies in PEM fuel cell environment. Both structural stability on long-term operation at elevation temperatures and the poisoning effect by by-products will be evaluated. Building and testing of small fuel stacks is also planned. Comparative catalyst performance of Sandia macrocyclic complexes versus a baseline platinum catalyst will also be carried out.

Intentionally Left Blank

РАЗРАБОТКА ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ РАЗРАБОТКА КАТАЛИЗАТОРА

Нараян Доддапанени
Сандиа нэшнел лабораториз
Отдел исследования батарей 2223/MS0614
Албукерк, штат Нью Мексико 87185-0614
Тел: (505)844-2517

Топливные элементы рассматриваются в качестве альтернативных источников энергии для транспорта и стационарных применений. Деградация катализаторов кислородных электродов (например, из платины, серебра и т.п.) и коррозия углеродных подложек делают экономически невыгодным промышленное производство топливных элементов, основанных на сегодняшних технологиях. Кроме того, в случае топливных элементов с протонообменными мембранами (PEM), попадание топлива на катоды вызывает серьезные проблемы перегрева и падения напряжения элемента в связи с окислением топлива на катодах с платиновым покрытием. Основной целью настоящего проекта является разработка, синтез и оценка стабильных и недорогих макроцикличных катализаторов на основе переходных металлов. Такие катализаторы должны обладать хорошей каталитической активностью для восстановления кислорода и быть химически и электрохимически инертными по отношению к анодным топливам, таким как водород и метанол.

Работа над топливными элементами в компании "Сандиа нэшнел лабораториз" началась в 1992 году. Была проведена оценка металлических макроцикличных комплексов как для восстановления кислорода, так и для прямого окисления метанола в топливных элементах с протонообменными мембранами (PEM) и в топливных элементах с водными углеродными видами топлива (ACFC). Первые результаты были весьма обнадеживающими. Восстановление кислорода на этих катализаторах продемонстрировало меньшее падение потенциала, чем на платиновых катализаторах. Кроме того, на этих катализаторах не было отмечено какого-либо отрицательного воздействия на воздушный электрод после 60 дней работы при температуре 60°C. При плотности тока 100 мА/см^2 напряжение топливного элемента на водном углеродном топливе с катализатором SNL на 150 мВ выше чем у топливного элемента с платиновым катализатором катода. Мы рассматриваем это в качестве значительного достижения. Аналогичные результаты получены для топливных элементов с протонообменными мембранами.

Мы предполагаем продолжить оптимизацию состава смесей катализатора и подложки. Основная часть работы будет направлена на изучения стабильности катализатора в топливных элементах с протонообменными мембранами (PEM). Будет проведена оценка как структурной стабильности в ходе продолжительной эксплуатации при повышенных температурах, так и отравление катализатора побочными продуктами. Также планируется изготовление небольшой батареи

топливных элементов. Будет также проведено сравнение работы катализатора из макроцикличных комплексов "Сандиа" с эталонным платиновым катализатором.

Pyrolytic Carbon Film Technology

C.L. Renschler and C. A. White

Over the past several years, we have demonstrated the ability to produce thin films of carbon with controlled morphology and electrical conductivity via pyrolytic decomposition of a polymeric precursor. Specifically, we have developed techniques for the deposition of polyacrylonitrile (PAN) on virtually any surface, allowing carbon film formation with only the caveat that the substrate must withstand carbonization temperatures of at least 600 C. In this presentation, we will describe some of what we have learned about the influence of processing conditions upon the structure and properties of the final carbonized films. Electrical conductivity, microstructure, and morphological control will be described. We will also give an overview of a few of the many applications to which we have put these film structures. A number of important applications of this technology can be envisioned, including some specific to fuel cell design and operation.

Intentionally Left Blank

Технология пиролитических углеродных покрытий

К.Л. Реншлер и К.А. Уайт

За последние несколько лет нами продемонстрирована возможность получения тонкослойных углеродных пленок контролируемой морфологии и электрической проводимости путем пиролитического разложения первоначального полимерного продукта. В частности, разработаны методики осаждения полиакрилонитрила (PAN) практически на любую поверхность с образованием углеродной пленки при единственном условии устойчивости подложки к температурам науглероживания до 600°C. В докладе описываются полученные знания о влиянии условий обработки на структуру и свойства конечных науглероженных пленок. Описываются электрическая проводимость, микроструктура и морфологический контроль. Кроме того, дается обзор некоторых применений полученных нами структур пленок. Можно предусмотреть еще целый ряд важных применений данной технологии, включая специфику, связанную с разработкой и эксплуатацией топливных элементов.

Poster 7:

Advanced Technologies in the Fuel Cell Program
(Photo album with abstracts)

N. V. Smotrov, Y. N. Kleschev, V. F. Chukharev

Photos and abstracts show scientific and technical possibilities of VNIITF providing the development of a program on solid-oxide fuel cells, fragments of advanced technologies and SOFC assembly.

Power Source Evaluation Capabilities at Sandia National Laboratories

D. H. Doughty and P. C. Butler
Sandia National Laboratories
Albuquerque, New Mexico 87185

Sandia National Laboratories maintains one of the most comprehensive power source characterization facilities in the U.S. National Laboratory system. These capabilities could be well used in evaluation of fuel cell technology.

This expertise primarily resides in the Battery Analysis and Evaluation Department. The department has staff and facilities to test electrochemical power sources and to function as an independent test facility for industry and government. One unique aspect of the department is our ability to design testers for virtually any battery, which allows us to uniquely produce test data to analyze battery performance.

Our power source testing facility is flexible, versatile and complete. In this facility we evaluate battery performance under normal and abnormal conditions. When combined with our comprehensive failure analysis capabilities, we provide in-depth analysis and high value to our customers.

The rechargeable battery test laboratory is a fully-automated facility used to evaluate various storage and electric vehicle battery technologies. We use the results of these tests to characterize the performance of advanced materials, cell and battery prototypes and to assist in identifying strengths and weaknesses of emerging technologies.

Another tester area is used for performing nondestructive and functional computer-controlled testing of cells and batteries. The thermal battery functional tester, which also tests active lithium batteries and double-layer capacitors, does multichannel testing in any combination of resistance, constant current, and constant power with a load-change time step of 10 milliseconds. We also perform pretest and post-test analysis of thermal batteries.

All of these activities allow the performance and failure mechanisms of various components under development to be characterized. Computerized environmental testing, (such as vibration, shock or spin), abnormal environment testing (such as fire or crush), and safety testing (such as short circuit, over charge and over discharge) are available.

As part of the Sandia Battery Group, the Battery Analysis and Evaluation Department teams with other highly trained and experienced engineers, scientists, and to solve a wide variety of electrochemical problems. Our staff members have backgrounds in chemistry, electrochemistry, metallurgy, chemical engineering, materials engineering, and physics. The facility includes twelve R&D laboratories, four battery test laboratories, and two dry rooms. Our expertise spans electrochemical and materials research, component design, development, prototype fabrication, and testing.

Intentionally Left Blank

Возможности оценки источников энергии в Сандийских национальных лабораториях

Д.Х. Даути и П.К. Батлер
Сандийские национальные лаборатории
Альбукерк, Нью-Мексико 87185

Из числа национальных лабораторий США Сандийские национальные лаборатории располагают одними из наиболее универсальных средств определения характеристик источников энергии. Эти возможности могут равным образом использоваться для оценки технологий топливных элементов.

Экспертиза в этой области в первую очередь принадлежит Отделению анализа и оценки батарей. В отделении имеется персонал и оборудование для испытаний электрохимических источников энергии, а также работы в качестве независимой испытательной площадки для промышленных и государственных нужд. Уникальным аспектом работы отделения является способность конструировать испытательные приборы (тестеры) практически для любой батареи, что позволяет получать уникальные данные испытаний для анализа выходных характеристик батареи.

Наша площадка для испытаний источников энергии является эксплуатационно гибкой, универсальной и полностью укомплектованной. На этой площадке производится оценка рабочих характеристик батареи при нормальных и экстремальных условиях. Сочетая возможности площадки с оборудованием для комплексного анализа отказов, мы предоставляем нашим заказчикам глубокий анализ высокого качества.

Лаборатория испытаний аккумуляторных батарей полностью автоматизирована и используется для оценки различных технологий хранения и применения батарей в электромобилях. На основании результатов этих испытаний составляются спецификации на улучшенные материалы, образцы аккумуляторов и батарей и определяются сильные и слабые стороны разрабатываемых технологий.

Другая часть испытательной площадки используется для проведения неразрушающих и управляемых по ЭВМ функциональных испытаний аккумуляторов и батарей. Функциональный тестер тепловой батареи, способный также проверять активные литиевые батареи и двуслойные конденсаторы, выполняет многоканальное тестирование в любой комбинации параметров сопротивления, постоянного тока и постоянной мощности с 10-ти миллисекундным пошаговым изменением нагрузки. Кроме того, мы проводим анализ тепловых батарей до и после испытаний.

Все эти виды работ позволяют определить характеристики и механизмы отказов различных разрабатываемых узлов. Существуют возможности проведения компьютеризированных натурных испытаний (например, вибрационных, ударных или центрифужных), натурных испытаний в экстремальных условиях (например, на огнестойкость и раздавливание) и испытаний предохранительных устройств (например, на короткое замыкание, избыточный заряд и избыточный разряд).

Являясь частью Сандийской группы по разработке батарей, Отделение анализа и оценки батарей работает совместно с другими высококвалифицированными и опытными инженерами и учеными над решением широкого спектра электрохимических проблем. Члены нашего коллектива имеют опыт работы в области химии, электрохимии, металлургии, химических технологий, технологий материалов и физики. Площадка включает в себя двенадцать лабораторий НИОКР, четыре лаборатории по испытаниям батарей и две сухие комнаты. Наши специальные знания охватывают область электрохимических и материаловедческих исследований, вопросы проектирования, разработки, изготовления образцов и испытания отдельных узлов.

Metalloporphyrin Catalysts for Oxygen Reduction Developed Using Computer-Aided Molecular Design

Gail N. Ryba, J. David Hobbs, John A. Shelnutt
Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM

The objective of this project is the development of a new class of metalloporphyrin materials as catalysts for use in fuel cell applications. Fuel cell efficiency and reliability are controlled largely by the catalytic processes occurring at the cell electrodes. New classes of metalloporphyrin materials, including the dodeca-substituted porphyrins and porphyrins with hydrogen-bonding and ionic groups developed at Sandia, are excellent candidates for use as catalysts at both the fuel anode and the air cathode. Proper design of these materials could provide solutions to many of the present day catalyst limitations, particularly for the fuel cell systems that are most appropriate for transportation applications (PAFC, AFC, and PEM fuel cells). Sandia has pioneered the use of 3-D computer modeling to design metalloporphyrin materials to have specific physical and chemical properties

The catalysts reduce O_2 in 1 M KOH, as well as in 2 M sulfuric acid, where macrocyclic catalysts are traditionally less stable. Using gas-diffusion electrodes, we found that the non-planar porphyrins were slightly more active than planar porphyrins for O_2 reduction, whereas on solid glassy carbon electrodes they were found to be inactive. This dependence on the nature of the electrode points to the importance of the interactions of the catalyst with the carbon support.

For use in an actual fuel cell the catalysts were loaded onto blank graphite-based, porous gas-diffusion electrodes. To optimize the electrode, changes in solvent, rates of drying, and catalyst loadings have been made. All of the electrode preparation methods resulted in roughly equal performance.

Covalent attachment of the catalysts to the carbon supports is being pursued by derivatizing the carbon surface with an amino-pyridine which is expected to be an axial ligand for cobalt porphyrins. XPS studies of two different solid carbon supports (highly-ordered pyrolytic graphite (HOPG) and glassy carbon (GC)) were made and showed that loading of the catalyst differed significantly for the two samples.

The computer-aided molecular design is an iterative process, in which experimental results feed back into the design of future catalysts. Molecular modeling is performed using Molecular Simulations' CERIUS^2 Version 1.6 and a research version of POLYGRAF. The binding of oxygen in the pocket of the non-planar porphyrins is found to be enhanced by several kilocalories over the planar porphyrin binding.

Металлопорфириновые катализаторы для восстановления кислорода, разработанные с помощью компьютерных методов молекулярного конструирования

Гейл Н. Райба, Дж. Дэвид Хоббс, Джон А. Шелнат
Сандийские национальные лаборатории

Целью настоящего проекта является разработка нового класса металлопорфириновых материалов для использования в качестве катализаторов в топливных элементах. К.п.д. и надежность топливных элементов в основном контролируются каталитическими процессами, происходящими на электродах элементов. Новые классы металлопорфириновых материалов, в том числе, порфирины с 12 заменителями-лигандами на периферии молекулы, порфирины с водородной связью и ионные группы, разработанные в Сандии, являются прекрасными кандидатами для применения в качестве катализаторов как на топливном аноде, так и на воздушном катоде. Правильная конструкция этих материалов может обеспечить решение многих существующих сегодня проблем, ограничивающих использование катализаторов, в частности, для установок на топливных элементов, в основном предназначенных для использования на транспорте (ФКТЭ, ШТЭ, ТПТЭ). В Сандии впервые начали применять трехмерное компьютерное моделирование для конструирования металлопорфириновых материалов с определенными физическими и химическими свойствами.

Катализаторы восстанавливают O_2 в 1 М КОН, а также в 2 М серной кислоты, в которой макроциклические катализаторы обычно менее устойчивы. Применяя газодиффузные электроды, мы обнаружили, что непланарные порфирины проявляли несколько более высокую активность при восстановлении кислорода, чем планарные, в то время как на твердых стеклоуглеродных электродах они были неактивными. Такая зависимость от природы электрода указывает на важность взаимодействия катализатора с углеродной основой.

Для использования в топливном элементе катализаторы были нанесены на графитные пористые газодиффузные электроды. С целью оптимизации действия катализатора были внесены изменения в состав растворителя, скорость сушки и способ нанесения катализатора. Никакие методы подготовки электродов особенно не повлияли на рабочие характеристики катализаторов.

Проводятся попытки достичь ковалентного соединения катализаторов с углеродными основами посредством обработки углеродной поверхности аминопиридином, от которого ожидается, что он будет служить осевым лигандом для кобальтового порфирина. Были проведены исследования двух различных твердоуглеродных основ (пиролитического графита высокого порядка и твердого углерода) с помощью рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии. Они показали, что загрузка катализатора на двух образцах значительно различалась.

При применении методов компьютерного молекулярного конструирования активно используется обратная связь, когда результаты экспериментов учитываются при проектировании будущих катализаторов. Молекулярное моделирование проводится с помощью программного обеспечения "Molecular Simulations' CERIUS^{2}", версия 1.6, а также с помощью научно-исследовательского варианта программы POLYGRAF. Связь кислорода в "кармане" непланарного порфирина выше на несколько килокалорий по сравнению со связью непланарных порфиринов.

A Source of Electrical Energy Using an Air-Aluminum Element (AAE)

A.V. Anisin, V.A. Borisenok, G.A. Potemkin, A.V. Rudnev

Abstract of Paper

An air-aluminum element (AAE) is a chemical current source (CCS) with an aluminum anode and an oxygen gas-diffusion cathode. An AAE may be relegated to intermediate types of CCS, occupying a position between primary and fuel cells.

A primary cell includes a consumable fuel and oxidizer, after the depletion of which the element is replaced with a new one. The fuel and oxidizer are fed into the fuel cell from outside, which makes it possible to extend its service life considerably.

The consumable fuel material in the AAE is aluminum, and the oxidizer is oxygen in the air coming from the external environment. The electrolyte is an aqueous solution of sodium chloride. Sea water can also be used in this capacity.

The end product of AAE operation is aluminum hydroxide AL(OH)3, which is a valuable chemical raw material. Al(OH)3 can be regenerated with relatively small expenditures into the initial anode aluminum, as well as – being an absolutely non-toxic product that does not pollute the environment – being able to be used, as follows from well-known sources in the literature, for the treatment of waste water and in medicine.

The results of experiments to select the optimal variation for the design of an AAE show that a current density of up to 30 mA/cm^2 with an electromotive force on the order of (1.4–1.5) V is entirely realistic.

It has also been experimentally established that an AAE with an NaCl electrolyte, as opposed to those where an alkali is used as the electrolyte, has a markedly lower self-discharge current, and is cheaper and safer in operation.

This, as well as the ecological cleanliness and possibility of recovery of the aluminum scrap and its alloys by the most efficient means, indicates the promising nature of the further development of such energy sources.

AN ELECTRICAL ENERGY SOURCE BASED ON THE ALUMINUM-AIR CELL

by

A.V. Anisin, V.A. Borisenok, G.A. Potemkin and A.V. Rudnev

Russian Federal Nuclear Center—All-Russian Scientific Research Institute of Experimental Physics
Arzamas-16, Russia

Introduction

The aluminum-air cell is a chemical current source with an aluminum anode and an oxygen gas-diffusion cathode. The aluminum-air cell (AAC) can be classified as a type of chemical current source intermediate between the galvanic cell and the fuel cell.

Fuel-cell-based power installations appear most promising with regard to environmental cleanliness and power capacity. This approach is being pursued vigorously in Russia. It is anticipated that demonstration facilities using molten-carbonate and solid-oxide cells, the most efficient types of fuel cells, will be built at the end of the 1990s and the beginning of the next century. Fuel-cell power plants will have capaci-

---

Original title: "Istochnik elektricheskoi energii na osnove vozdushno-alyuminievogo elementa (VAE)" (in Russian). Translated from: Fuel Cell Technology Workshop Compendium. Translated by Ben Teague.

ties of 1 MW and up. These are considered high-technology installations requiring heavy investment of materials and funds.

A galvanic cell contains consumable fuel and oxidizer; when these are exhausted, the cell is replaced with a new one.

Galvanic cells and batteries are widely used. A state may require tens of millions of such chemical current sources every year. In our country, for example, the annual demand for chemical current sources just for children's toys is over 10 million units. Relatively costly materials, some of them toxic, are used in the manufacture of the great majority of chemical current sources. The production of such devices is not environmentally safe, and spent units are not generally recycled.

The fuel in the aluminum-air cell is aluminum, while oxygen admitted from the atmosphere serves as oxidizer. The electrolyte is an aqueous solution of sodium chloride.

The development and standardization of power plants using aluminum-air cells will be a fairly inexpensive way to obtain an environmentally safe source of electrical energy. These cells are estimated to have a generating capacity of up to 30 kW.

1. Current-Generating Reaction

The reaction producing current in the aluminum-air cell is

$$4Al + 3O_2 + 6H_2O \rightarrow 4Al(OH)_3$$

Theoretically, the oxidation of 1 gram-molecular weight of aluminum by oxidation liberates an energy of 837.5 kJ/mol [1].

This energy can be transformed to electrical energy.

2. Experimental

The experiment involves measuring the specific surface area of cathode materials, examining the electrical characteristics of mockup aluminum-air cells, and carrying out preliminary studies of their service life.

2.1. Experimental Cells

Mockups of the following types of aluminum-air cells were investigated:

(a) "Bulk" aluminum-air cell. The cathode is a sheet of nickel oxide, $S = 100$ cm^2; the anode is a sheet of aluminum alloy D16, $S = 100$ cm^2; the electrolyte is a saturated aqueous solution of NaCl.

(b) "Bulk" cell. The cathode is a sheet of a carbon-polymer composite supported on a metal screen, $S = 40$ cm^2; the anode is a sheet of technical grade (99.99) aluminum, $S = 40$ cm^2; the electrolyte is a saturated aqueous solution of NaCl.

(c) Matrix cell. The cathode is a sheet of nickel oxide, $S = 100$ cm^2; the anode is a sheet of aluminum alloy D16, $S = 100$ cm^2; the electrolyte is a saturated solution of NaCl. Specimens of fabric and paper having various wettabilities were tested as matrix materials.

(d) Matrix cell. The cathode consists of type UT-2 carbon fabric, $S = 18$ cm^2; the anode is a sheet of aluminum alloy D16, $S = 18$ cm^2; the electrolyte is a saturated aqueous solution of NaCl; the matrix is fabric.

(e) Matrix cell. The cathode is made of a carbon-polymer composite supported on a metal screen, $S = 20$ cm^2; the anode is a sheet of technical grade (99.99) aluminum, $S = 20$ cm^2; the electrolyte is a saturated aqueous solution of NaCl; the matrix is paper.

(f) Matrix cell. The cathode is made of a carbon-polymer composite supported on a metal screen, $S = 20$ cm^2; the anode is alloy D16, $S = 20$ cm^2; the matrix is paper.

(g) Matrix cell. The cathode is made of carbon fabric with a platinum catalyst deposited on it, $S = 20$ cm^2; the anode is aluminum alloy D16, $S = 20$ cm^2; the electrolyte is a saturated aqueous solution.

2.2. Results: Measurement of Specific Surface of Cathode Materials

In order to achieve a high electrode current density, the porous electrodes must have a highly developed internal surface. The specific surface (area) S_{sp} of the material can serve as a measure. The specific surfaces of the cathode materials in the mock-up cells were measured by the BET (Brunauer-Emmett-Teller) method. Table 1 states the measured results.

Table 1. Measured specific surfaces.

Material	Specific surface, m^2/g
Nickel	0.13-0.17
UT-2 carbon fabric	4.0
Carbon fabric with Pt	2.3
Carbon-polymer composite	280

2.2. Results: Measurement of Electrical Characteristics of Cell Mockups

The current versus voltage curves of the aluminum-air cells were measured by the voltmeter-ammeter method. The ohmic load was a type R33 resistance box (1 to 99,999 Ω). The voltmeter used was a type F203; the ammeter, a type V7-41. The measurements were carried out at room temperature. The error was no greater than 2.5%. The measured currents and voltages were used in constructing current versus voltage curves for the cell mockups. By way of illustration, Fig. 1 shows the plotted curve for the cell described in paragraph (b) of Section 2.1; Fig. 2 shows the curve for cell (e). The results of these measurements are presented in Table 2 (absolute values) and Table 3 (values per unit area). The tables employ the following notation: *I*

is current, E is emf, U is voltage, P is power, R is resistance, and S is electrode area. The current I_0 and the voltage U_0 are the values measured at the power maximum.

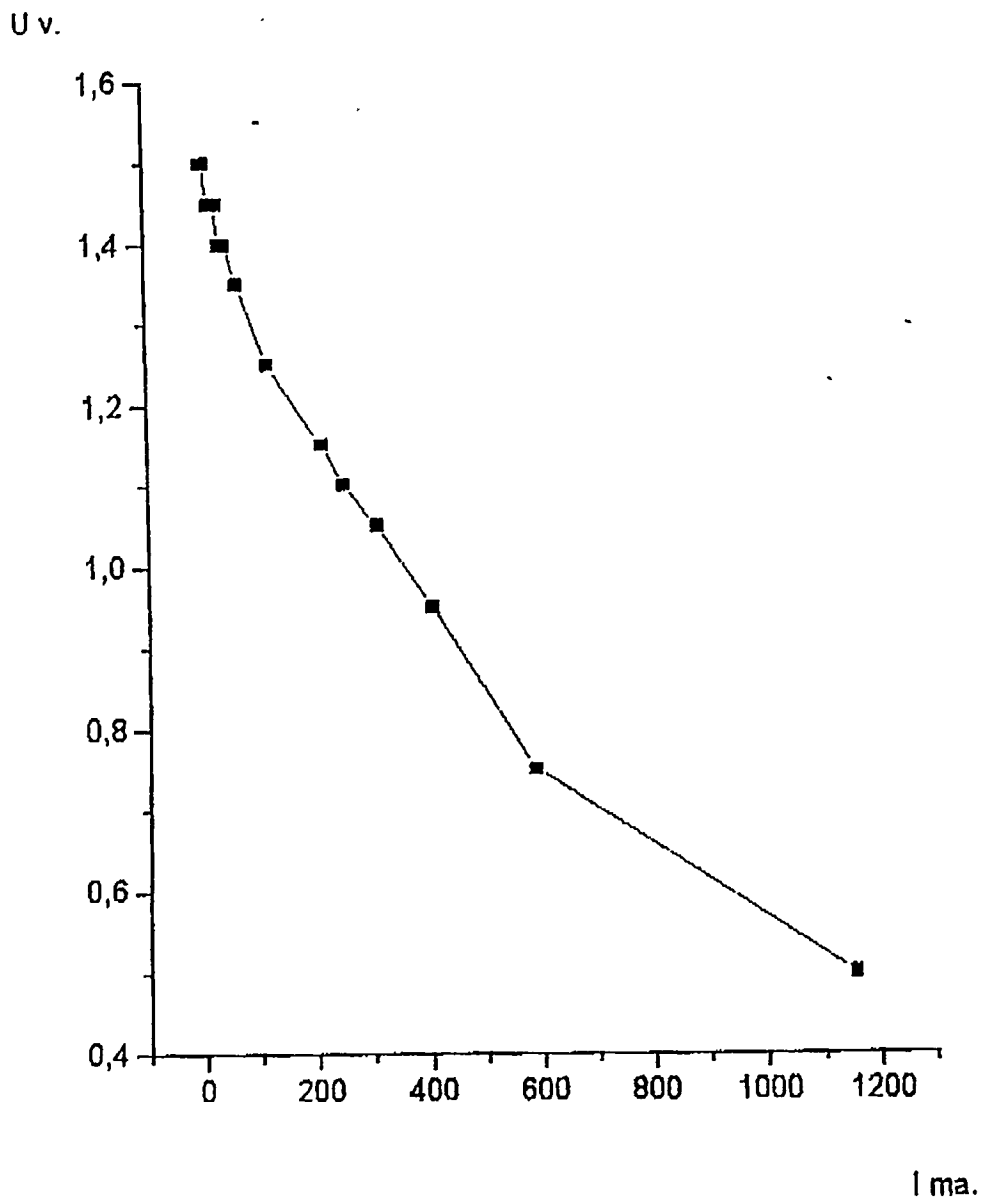


Fig. 1

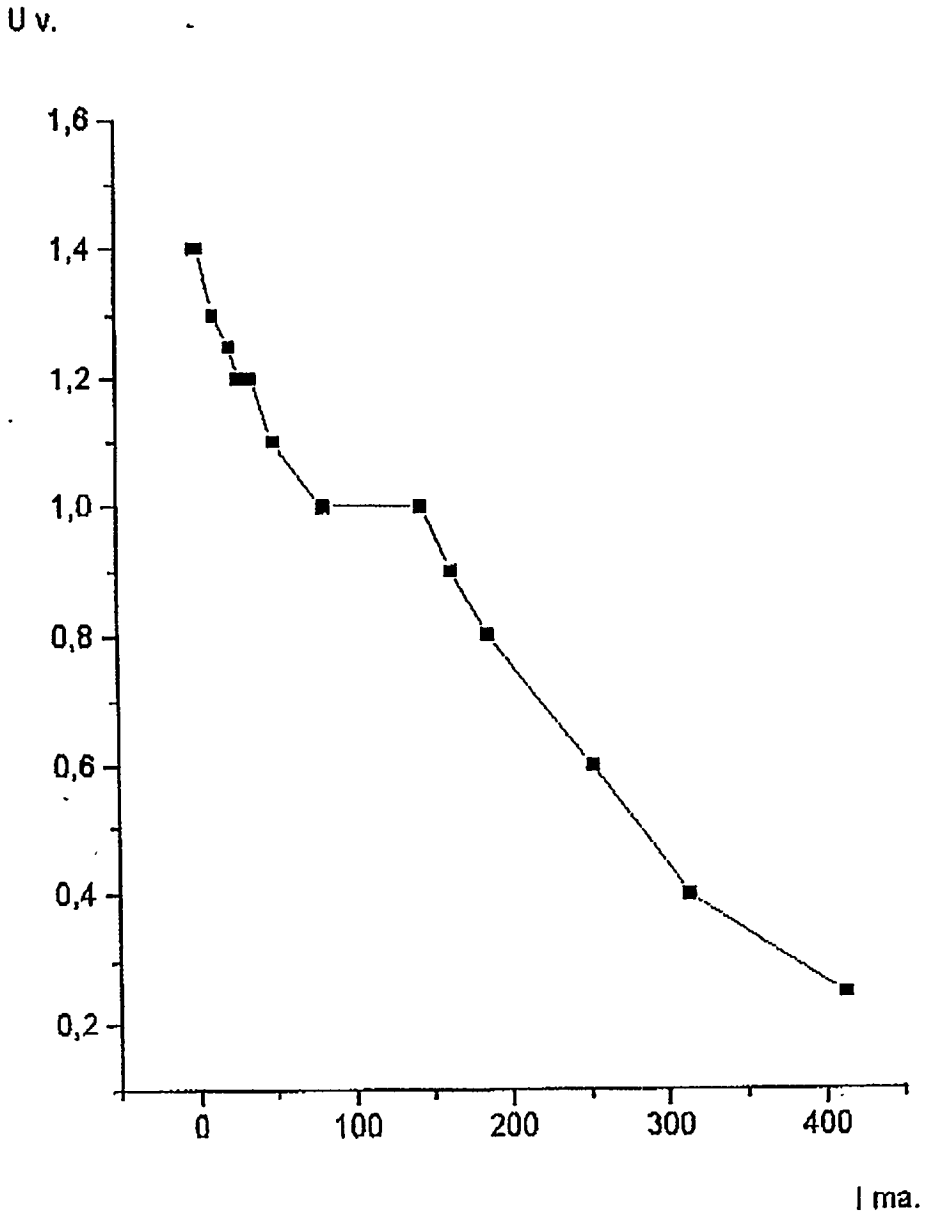


Fig. 2

2.2. Results: Measurement of Service Lives of Cell Mockups

Preliminary studies of the service lives of the cell mockups gave the following results:

Table 2. Absolute measurements on mockups of aluminum-air cells.

Cell type	I_{max}, mA	E_0, V	P_{max}, mW	I_0, mA	U_0, V	S, cm^2
(a)	400	0.64	20	247	0.1	100
(b)	1200	1.5	579	1153	0.5	40
(c)	48	0.6	9	38	0.13	100
(d)	158	0.65	37	106	0.35	18
(e)	412	1.4	151	252	0.6	20°
(f)	360	0.7	56	160	0.35	20
(g)	168	1.2	23	47	0.5	20

Table 3. Specific characteristics of cell mockups.

Cell type	I_{max}, mA/cm^2	P_{max}, mW/cm^2	I_0, mA/cm^2
(a)	4.0	0.2	0.25
(b)	30.0	14.5	28.8
(c)	0.48	0.09	0.38
(d)	8.8	2.0	5.8
(e)	20.6	7.6	12.7
(f)	18.0	2.8	8.0
(g)	3.4	1.2	2.4

- The electrical performance of cell (a), the bulk aluminum-air cell with nickel oxide cathode, declines significantly in the first hour of operation. The main reason is the formation of NaCl crystals on the free surface of the cathode, which obviously hinders the access of oxygen to the reaction zone. The rate of salt crystal formation was a factor of 5-6 lower in the matrix cell with nickel oxide cathode.

- For stable operation of cell (b) with carbon-polymer cathode, the electrolyte must be replaced every 6-8 hours. The reason is that the properties of the electrolyte are degraded by products of the anode reaction.

- The matrix cell (c) with carbon fabric cathode operated for 180 hours with no change in the current versus voltage curve. The experiment was terminated after this time. The total charge passed through the load (R = 10 Ω) was 2.7 A·h, the energy dissipated in the load was 60 J, and the consumption of anode material was approximately 1 g.

2.5. Analysis of Results

The experimental data permit the following inferences:

(1) An emf of 1.4-1.5 V and a short-circuit current density of 30 mA/cm^2 are realistic values for aluminum-air cells.

(2) The matrix cell design offers the greatest advantages. This conclusion follows from an analysis of the service life findings for the bulk and matrix types. A further improvement in performance should come about through the introduction of a water-accumulating material into the cell design (the developer does have such a material), which will extend the unattended service life of the aluminum-air cell.

(3) For the cathode in the aluminum-air cell, the material selected must have these two features: a combination of hydrophobic and hydrophilic properties that insures filling of 30% of the pore volume with the electrolyte, together with a large specific surface. This follows from a comparison of the measured specific surfaces and electrical characteristics, where the maximum current density was found for cells having a carbon-polymer composite cathode with S_{sp} = 280 m^2/g, that is, cells (b) and (e).

(4) The efficiency of the aluminum-air cell can be increased through the use of catalysts. This conclusion is based on a comparison of the results for cells (e) and (g), where the specific surfaces of the cathode materials differed by more than two orders of magnitude but the current densities were less than a factor of 5 apart.

(5) A key problem in the development of aluminum-air cells is to select a matrix material that insures good contact between electrolyte and electrodes. The lack of such a material is apparently the only thing that can account for the difference in current density between cells (b) and (e), which had identical cathode and anode materials.

3. Applications of the Aluminum-Air Cell

Aluminum-air cells can be used in self-contained power supplies for a variety of telemetry equipment, light sources, signal buoys, means of transportation (boats, wheelchairs, electric cars and other vehicles), emergency and rescue equipment, parking lot lighting, signal lamps for ships and barges, and toys and models.

These power sources are also well-suited to service in remote and difficultly accessible regions where there is no electrical grid, including vacation homes, where the cells can operate continuously for several months provided supplies of water, salt and aluminum anodes are present. They can also be employed for tourist purposes and during expeditions, since an aluminum-air cell can be carried in dry form and activated when needed.

The ultimate product obtained when the anode of the aluminum-air cell is consumed is aluminum hydroxide $Al(OH)_3$. This is absolutely nontoxic and is in itself a valuable chemical. It can be used as a raw material in the chemical and ceramics industries, as an aggregate in concrete, in wastewater treatment (since aluminum hydroxide can absorb a variety of harmful substances), as a component in medicinal preparations, and for other purposes. $Al(OH)_3$ can also be regenerated into the starting anode material, aluminum. The cost of regenerating aluminum from its hydroxide is comparable with, or even lower than, the cost of producing it from native raw materials (bauxites, kaolin, etc.).

In our view, the final development of aluminum-air cells will make it possible

- To replace today's chemical current sources with an environmentally clean source of electrical energy in devices with self-contained power supplies
- To create an environmentally safe urban transportation vehicle
- To utilize aluminum and aluminum alloy scrap in the most efficient way—as a fuel

The authors wish to express their sincere gratitude to D.R. Agzamova, N.I. Puchkova, S.Yu. Rogozhin and E.A. Korochkina, their colleagues at Arzamas-16, for assisting in the conduct of the experiments and the preparation of the paper.

Literature Cited

[1] Mishchenko, K.P., and A.A. Ravdel' (eds.), *Kratkii spravochnik fiziko-khimicheskikh velichin* [Short Handbook of Physical and Chemical Values], 5th ed., p. 12. Leningrad: Khimiya, 1967.

Intentionally Left Blank

Источник электрической энергии на основе воздушно-алюминиевого элемента (ВАЭ)

А.В.Анисин, В.А.Борисенок,Г.А.Потемкин,А.В.Руднев

Аннотация доклада.

Воздушно-алюминиевый элемент (ВАЭ) является химическим источником тока (ХИТ) с алюминиевым анодом и кислородным газодиффузионным катодом. ВАЭ может быть отнесся к промежуточному типу ХИТ, занимающему положение между гальваническими и топливными элементами.

В состав гальванического элемента входят расходуемые топливо и окислитель, после выработки которых элемент заменяется на новый. В топливный элемент топливо и окислитель подаются извне, что позволяет существенно продлить его ресурс.

В ВАЭ расходуемым материалом служит топливо - алюминий, а окислитель - кислород воздуха, поступающий из внешней среды. Электролитом является водный раствор хлорида натрия. В этом качестве также может быть использована морская вода.

Конечный продукт работы ВАЭ - гидрооксид алюминия Al(OH)3, являющийся ценным химическим сырьем. Al(OH)3 может быть с относительно малыми затратами регенерирован в исходный анодный алюминий, а также, будучи абсолютно нетоксичным продуктом, не вызывает загрязнения окружающей среды и даже, как следует из известных литературных источников, может быть использован при очистке сточных вод я в медицине.

Результаты экспериментов по выбору оптимального варианта построения ВАЭ показывают, что вполне реальным для них является плотность тока до 30 мА/см2 при э.д.с. порядка (1,4 - 1.5)В.

Экспериментально также установлено, что ВАЭ с NaCl - электролитом в отличии от тех, где в качестве электролита используется щелочь, обладают существенно меньшим током саморазряда, более дешевы и безопасны в эксплуатации.

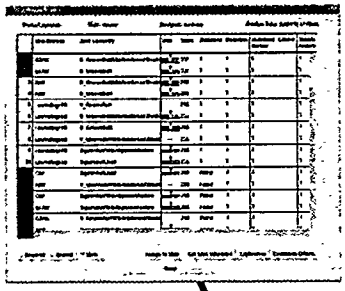
Это, а также экологическая чистота и возможность утилизации лома алюминия и его сплавов наиболее рациональным путем, указывают на перспективность дальнейшей разработки таких источников энергии.

SmartWeld / SmartProcess

Intelligent Model Based System for the Design and Validation of Welding Processes

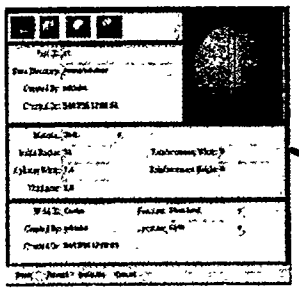
---

"Point and Click" Electronic Access to Processing Knowledge and Simulation Tools Enables Rapid Trade-off Assessments

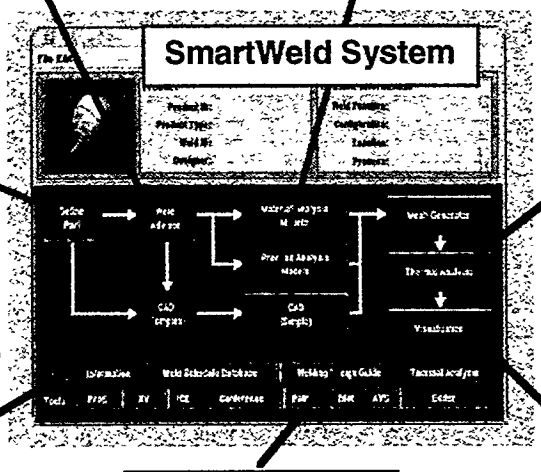


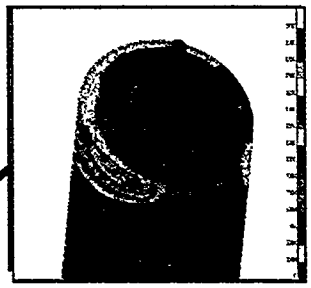
Knowledge-based Recommendations of Weld Processes and Schedules

Calculation of Optimum Weld Schedules using Mathematical Models

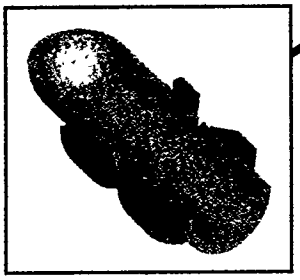


Seamless Integration of Customer Requirements / Info



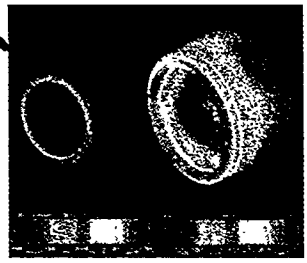


3D Simulation of Welding Process



Automatic Insertion of Weld Joint Geometry into Part Design

Optimized Processing on Manufacturing Floor



Model-based Predictions of Weld-Induced Temperature / Stress Distributions

Key Capabilities

• "Right-the-first-time" Manufacturing• Continuous Improvement • On-Line Quality Assurance

RUSSIAN FEDERAL NUCLEAR CENTER
ALL - RUSSIAN RESEARCH INSTITUTE OF TECHNICAL
PHYSICS (RFNC - VNIITF)

PROJECT OF PROPOSALS ON THE CREATION OF RUSSIAN - AMERICAN JOINT ENTERPRISE FOR INVESTIGATION, DEVELOPMENT AND MANUFACTURE OF POWER PLANTS ON THE BASIS OF SOLID OXIDE FUEL CELLS

- RASOFCo -

N.V.Smotrov - RFNC-VNIITF Chief Engineer
Yu.N.Kleschev - RFNC-VNIITF Chief Technologist

456670 Snezhinsk
Chelybinsk Region
p.o. 245, Russia
Phone : (351)723-2351
FAX : (351)723-2077
E-mail : avn@onti. Ch 70.Chel.su

- Albuquerque -
- Snezhinsk -
–1995–

ВНИИТФ

CONTENTS

1. INTRODUCTION

Energy problems progressing constantly in the world require their efficient and ecological solution. Along with the improvement of the traditional methods for energy conversion (hydropower engineering, thermal and atomic power engineering) the essential contribution may and must be made by the alternative power engineering and, in the first place, by that based on fuel cells and having the higher coefficient of its efficiency and practically absolute ecological safety (ejections of harmful substances decrease by a factor of 100 and the more higher one). Being based on the direct conversion of natural fuel (gas) energy just into the electric power the fuel cells are able, under definite technical progress, to become a seriour alternative to the traditional converters of electric power.

In this row a special role belongs to high-temperature FC (and especially to those based on solid electrolyte) reaching the efficiency coefficient equal to 80-85 % when using removed heat.

The noted progress in FC technology can be essentially accelerated at the expense of involving the high scientific and technical potential of Russian Nuclear Centers and USA National Nuclear Laboratories into solving the problem due to the expanding conversion of the military production (industry).

The given project is the proposal for the commercial and financial circles to concentrate efforts and to organize the joint activity on the base of RFNC-VNIITF and Russian enterprises being conversed and engaged in development of power plants based on SOFC with the subsequent commercialization of these plants at Russian market with a view to get profits.

2. ESSENCE OF THE PROPOSAL

Creation of Russian - American joint enterprise for performing scientific investigations, development and manufacture of power plants on the basis of solid oxide fuel cells RASOFCo = Russian-American Solid Oxide Fuel Cells Company.

3. MAIN GOAL OF RASOFCo

Performing of scientific investigations, development and manufacture of power plants based on SOFC, winning of Russian market, getting of profit.

4. TASK OF THE FIRST LEVEL (1996-2000)

Completion of basic investigations and technologies, development of commercial power plant of 1 kW power, tests, putting into series production, series production, sale of power plants to the Russian Joint-Stock Company "GAZPROM", organizing of maintenance, getting of profit.

5. TASK OF THE SECOND LEVEL (1998 and later)

Development and tests of power plants of 10 kW - 100 kW-MW class, putting into production, marketing, sale, maintenance, getting of profit.

6. DESCRIPTION OF THE PRODUCT

When using the electrochemical method, at the electrodes of the fuel cell the accumulation and transfer of electric charges into the external part (electrons) and electrolyte (ions) take place as a result of high-temperature catalytic oxidation reaction of hydrocarbon fuel on the solid electrolyte surface. Using direct electrochemical conversion the efficiency increases to 55-60 % but with taking into account the removed heat - to 80-85 %. The essential advantage is the ecological safety of ECG and PP operation.

A single fuel cell generates voltage in the range from 0.6 to 1.2 V at current density equal to 100-250 mA/cm^2. For obtaining the given output parameters the fuel cells are combined into the battery. The structural combination of FC battery with the systems of reagents feed and disrubution, removal of reaction products and automatics of control forms the electrochemical generator (ECG).

If ECG is combined with the systems of fuel preparation, current conversion, heat utilization, then such complexes are converted into power plants.

ECG based on SOFC uses natural gas (methane) as a fuel. When applying reforming the range of the used fuel , for example, petroleum products, coal, peat (turf), wood can be extended. RASOFCo will provide the series output of ECG of 1 kW power, then of 5 kW and 10 kW power as well as the development and the output of 10 kW PP with subsequent output of PP of greater power.

7. PREDICTED TECHNICAL CHARACTERISTICS

OF POWER PLANTS BASED ON SOFC (I stage)

- Power (kW) - 1.0
- Voltage (V) - 24...48
- Type of current - constant
- Current density (A/cm^2) - 0.15...0.2
- Total operating surface of FC (cm^2) - 250...300
- Flow rate of gas (methane) (l/kW/hour) - less than 300
- Coefficient of efficiency - 0.55...0.6
- Resource of operation (hour) - up to 15 000
- Dimensions (mm) - ∅ = 500, H=500
- Weight (kg) - less than 50

8. PREDICTED COST OF 1 kW POWER PLANT

№ item	Expense items	Cost (thous.USD)
1.	Materials	1.5
2.	Wages	2.1
3.	Tax (39% .iten2)	0.82
4.	Payment for resources - energy, heat, equipment, gas, water and so on (75% item 2)	1.58
5.	Cost price	6.0
6.	Profit (40%, item5)	2.4
7.	Profit tax (30% .item 6)	0.72
8.	Net profit (6-7)	1.68
9.	Price (5+6)	8.4
10.	Value-added tax (21.5% .item 9)	1.8
11.	Commercial price (9+10)	10.2

9. COMMODITY MARKET ANALYSIS

According to assessments of scientists and RF MINTOPENERGO specialists with participation of RF Engeneering Academy, steady providing with decentralized electric power sources is required for 50% of Russia territory with 20% of them being found in the zone of providing with natural gas. Enterprises of gas production. mining, raw materials, agricultural, housing facilities and public utilities are the basic consumers of electrical power and population. However, at present the real consumers of power plants based on FC can be only resource-extractive industries. Consultations with "GAZPROM" experts confirm the potential need for power plants of wide power class (from 0.5 kW to hundreds kW). But today the technical possibilities for the development of PP based on SOFC are limited to the kWclass. From this class of PP the most acceptable and potentially realized are:

- autonomous current sources (ACS) with their power up to 0.5 kW for the telemetering control of gas parameters during its production and transportation ;
- cathode protection stations (CPS) of 0.5-1 kW power for gas pipelines :
- low power sources (5-10 kW) for power supply of dwelling houses and watch houses removed from power transmission lines.

The first two tasks can be solved by the development of universal PP of 1 kW power (PP-1), the third one - by PP of 10 kW power (PP-10).

At present at Russian market there are no manufacturers of power plants based on SOFC. VNIITF is close to completion of development and to the beginning of SOFC - based PP commercialization. Competition is possible on the part of VNIIEF (Sarov) engaged in the development of power plants based on melt-carbonate FC (MCFC) within the framework of the joint Program of RF Ministry for Atomic Energy. However. the great extension of gas main lines both in the European part of Russia and in Siberia allows to suppose that in the nearest years the saturation of the market will not be reached and the separation of influence spheres is possible. The important factors in competition will be cost, terms of commercial products access to market. quarantee term of their service life which should be taken into account.

10. ASSESSMENT OF POTENTIAL DEMANDS FOR POWER PLANTS OF LOW POWER FOR TYUMENTRANSGAS

Tyumentransgas is a part of the system "GASPROM" (Russian Joint - Stock Company) and transports gas from northern deposits of West Siberia up to the Middle Urals (see map shown in Fig. 1).

Tyumentransgas has 17 gas pipelines with total extension up to 1500 km (see scheme given in Fig. 2). It is potentially required to place (or to substitute) cathode protection stations through each 10 km of the route and telemetering control stations through each 40-50 km of the route.

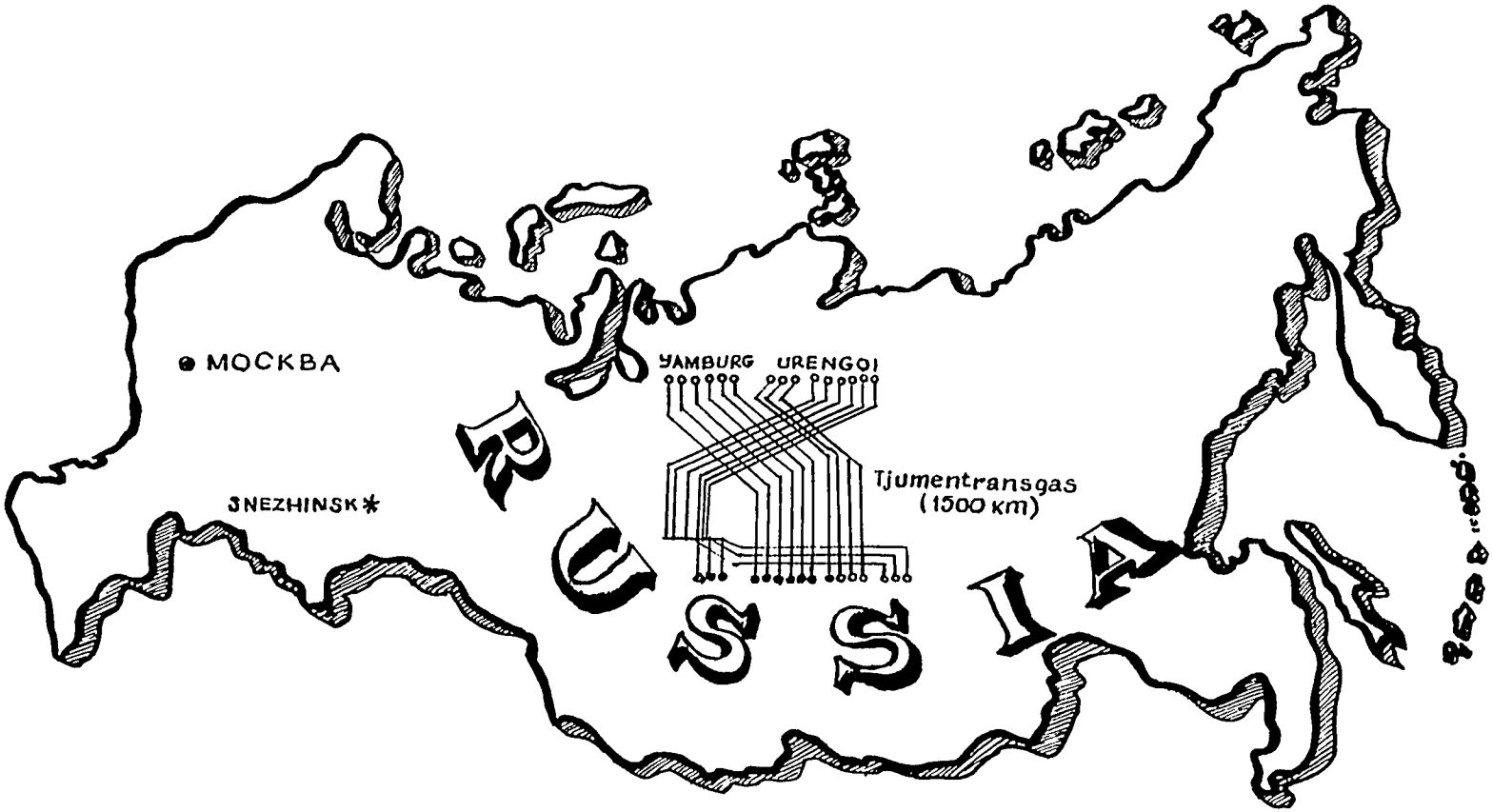
Thus, for the whole route it is required to mount 2250 cathode protection stations and 500 power sources for telemetry system (power plants of power up to 1 kW). Demand for power plants of power up to 10 kW is assessed by experts to be equal to 100-300 pieces.

Similar assessments of demands can be also performed for other organizations transporting gas in the West Siberia Region, winning of its market for Severgasprom. Perm'transgas, Uraltransgas, etc is the VNIITF aim.

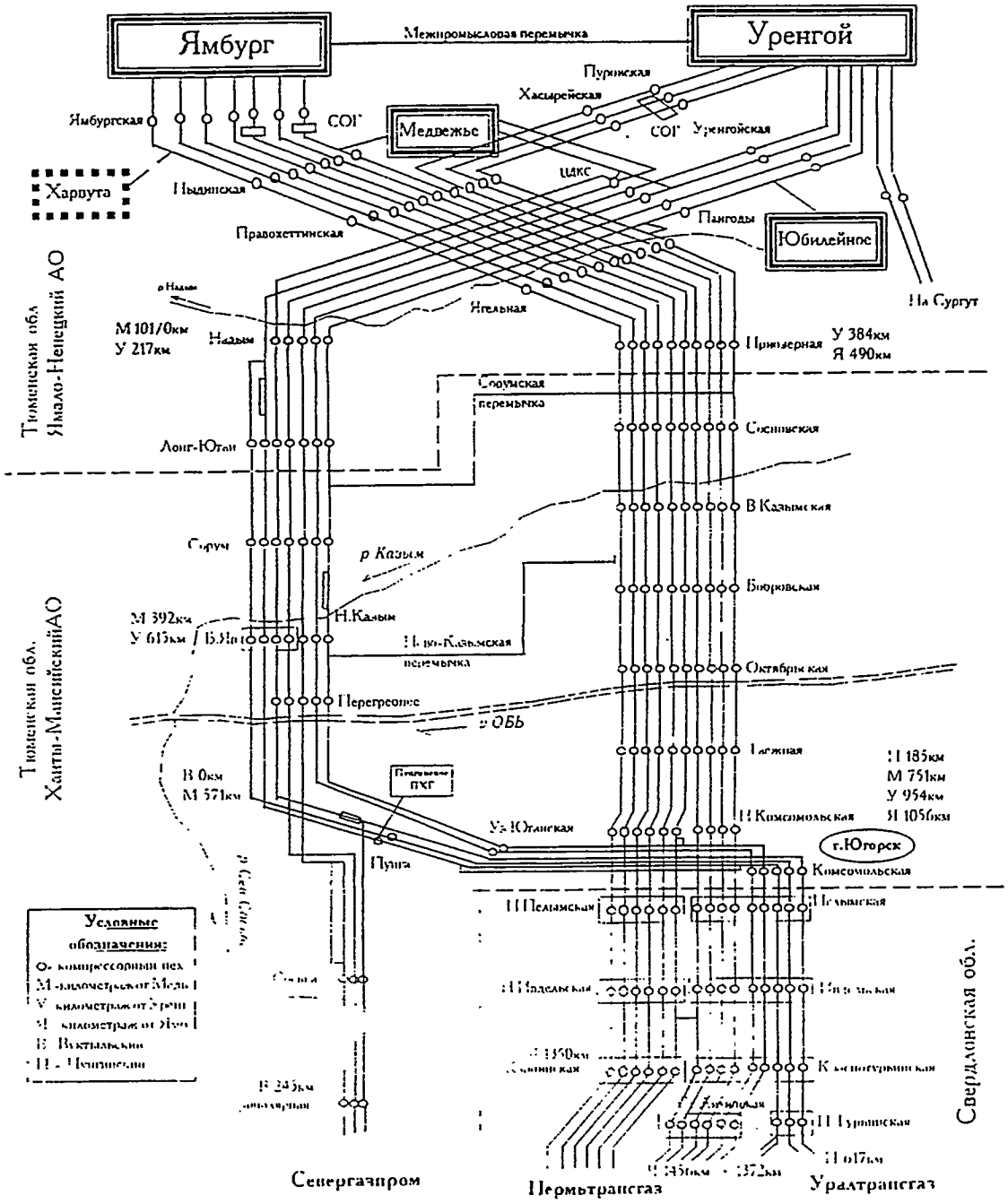
Taking into account that the guarantee service life of the power plant can be set to be equal to 2 years (~ 15 000 hours), the renovation (substitution) of the power plants provides their constant production for a long term.

CONCLUSION : DATA SUBSTANTIATE THE STEADY COMMODITY MARKET AVAILABILITY FOR POWER PLANTS OF LOW POWER IN RUSSIA.

ASSESSMENT OF COMMODITY MARKET



SCHEME
OF MAIN GAS PIPELINES OF THE ENTERPRISE "TYUMENTRANSGAS" (1994)



уточнен	200	1.050	50
годовой	73.000	350.000	12.500

Транспорт газа, млн.м3

11. PARTICIPANTS OF THE JOINT ENTERPRISE - RASOFCo -

On the part of Russia :

1) Russian Federal Nuclear Center -
All - Russian Research Institute of Technical Physics
(RFNC - VNIITF). Snezinsk - Main developer
- scientific investigations. development. technology, making of
test samples. tests. transfer to series production.

2) High - Temperature Electrochemistry Institute of RAS Ural Branch (IVTE).
Ekaterinburg -
- fundamental scientific investigations of SOFC. technologies.

3) Russian Scientific Center -
Physics-Power Engeneering Institute (RNTZ - FEI), Obninsk -
- development of thin-film technologies of SOFC.

4) Production Assotiation
"Chepetzky Machine Works" (CHMZ). Glazov -
- series production of FC and blocks of FC.

5) Ural Electromechanical Works (UEMZ), Ekaterinburg -
- series production of automatics and control elements.

6) Zlatoust Instrument Making Works –
– series production for the final assembling of PP. sale, maintenance.

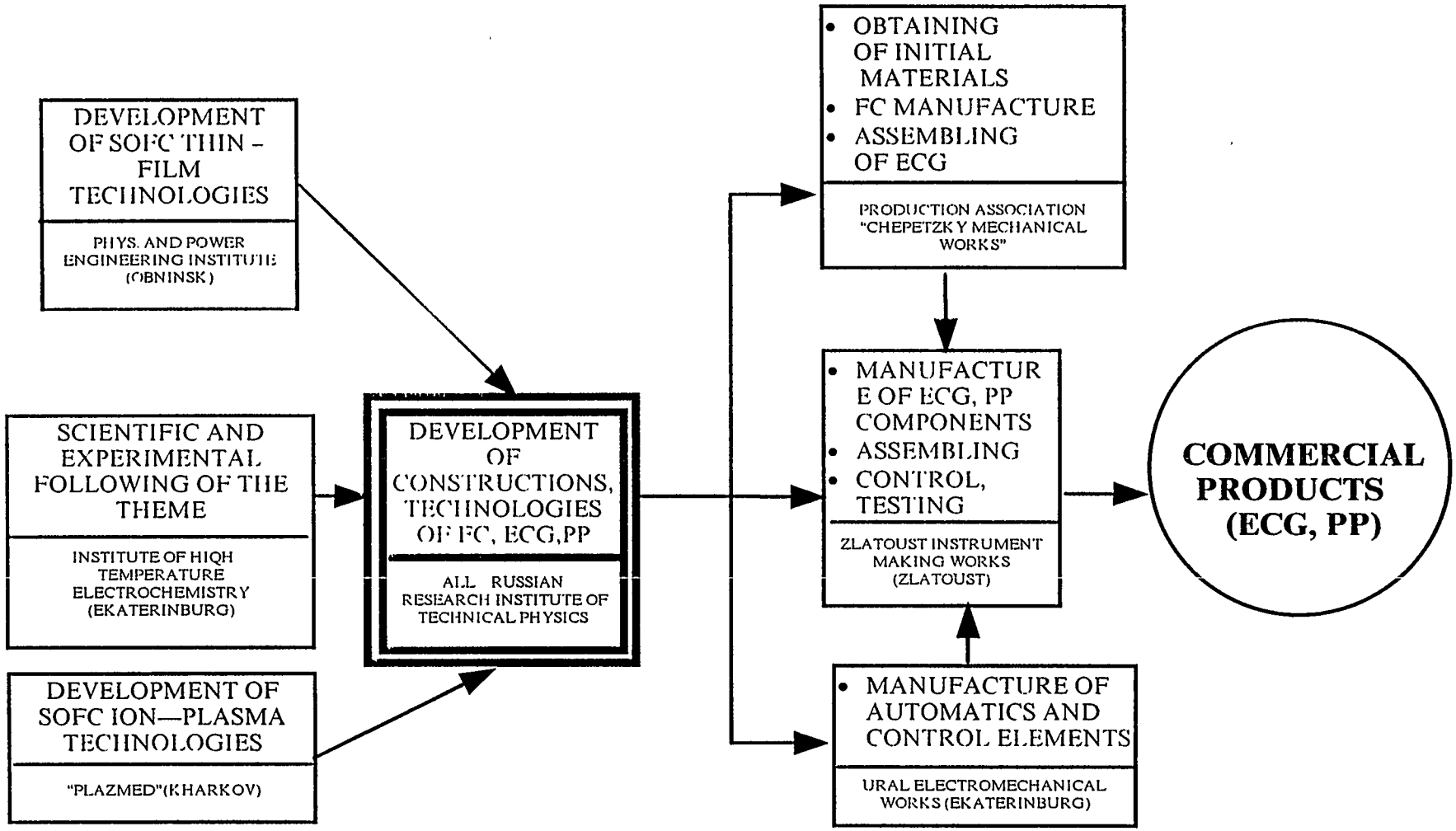
On the part of USA :

1) .....

2) .....

3) .....

12. PUTTING INTO SERIES PRODUCTION OF SOFC



13. CONTRIBUTION OF EACH SIDE INTO FOUNDING OF RASOFCo

Russian side:

a)partial providing of financing for development and tests of 1 kW power plant (PP-1kW) in VNIITF in 1996-1997 in the sum of 0,6 mln USD;

b) design plans and specifications, technology of 1 kW PP;

c) providing of possibility for using specialists, equipment, buildings, resources, materials.

American side:

a) partial financing of power plant (PP-1 kW) development and test in VNIITF in the sum of 1,0 mln. USD and 0,2 mln. USD - for management in 1996.

b) financing of the stage for preparation and series production of 1 kW PP since the second half of 1996 in the sum of 1,5 mln. USD and 0,2 mln. USD - for management in 1997;

c) credit for series production (initial cycle) in 1997 in the sum of 1,8 mln. USD with repayment of a credit during 2.5 years;

Sharing distribution of contributions is to be assessed as follows: RUS:USA= 0.6 : 0.4.

14. STRATEGY FOR ORGANIZING MANUFACTURE AND FINANCING

1) In 1996 VNIITF completes the development of the construction and the technologies of the tubular type FC and the 1 kW power plant, manufacture and testing of the test sample.
Financing: RUS - 0,3 mln USD
US - 1,0 mln USD + 0,2 mln USD for management in 1996.

2) VNIITF organizes the transfer of design plans & spesifications and technologies to series production enterprises.
Those enterprises (ZPZ, Production Association CHMZ, UEMZ) organize putting into production the technological batch of 1 kW PP during July 1996 - June 1997.
Financing: USA - 1,5 mln USD + 0,2 mln USD for management in 1997.

3) Series production enerprises (ZPZ, Production Association CHMZ, UEMZ) organize output of 300 pieces of 1 kW PP during July - December 1997.
Financing: USA credit - 1,8 mln USD.

4) Series production enerprises (ZPZ, Production Association CHMZ, UEMZ) increase the output of 1 kW PP up to 600 pieces in 1998 and up to 1000 pieces in 1999 at the expense of circulating funds obtained due to realization.

5) Repayment of a credit is provided at the expense of the obtained profit:
1997 - 0,1 mln USD;
1998 - 0,5 mln USD;
1999 - 1,2 mln USD.

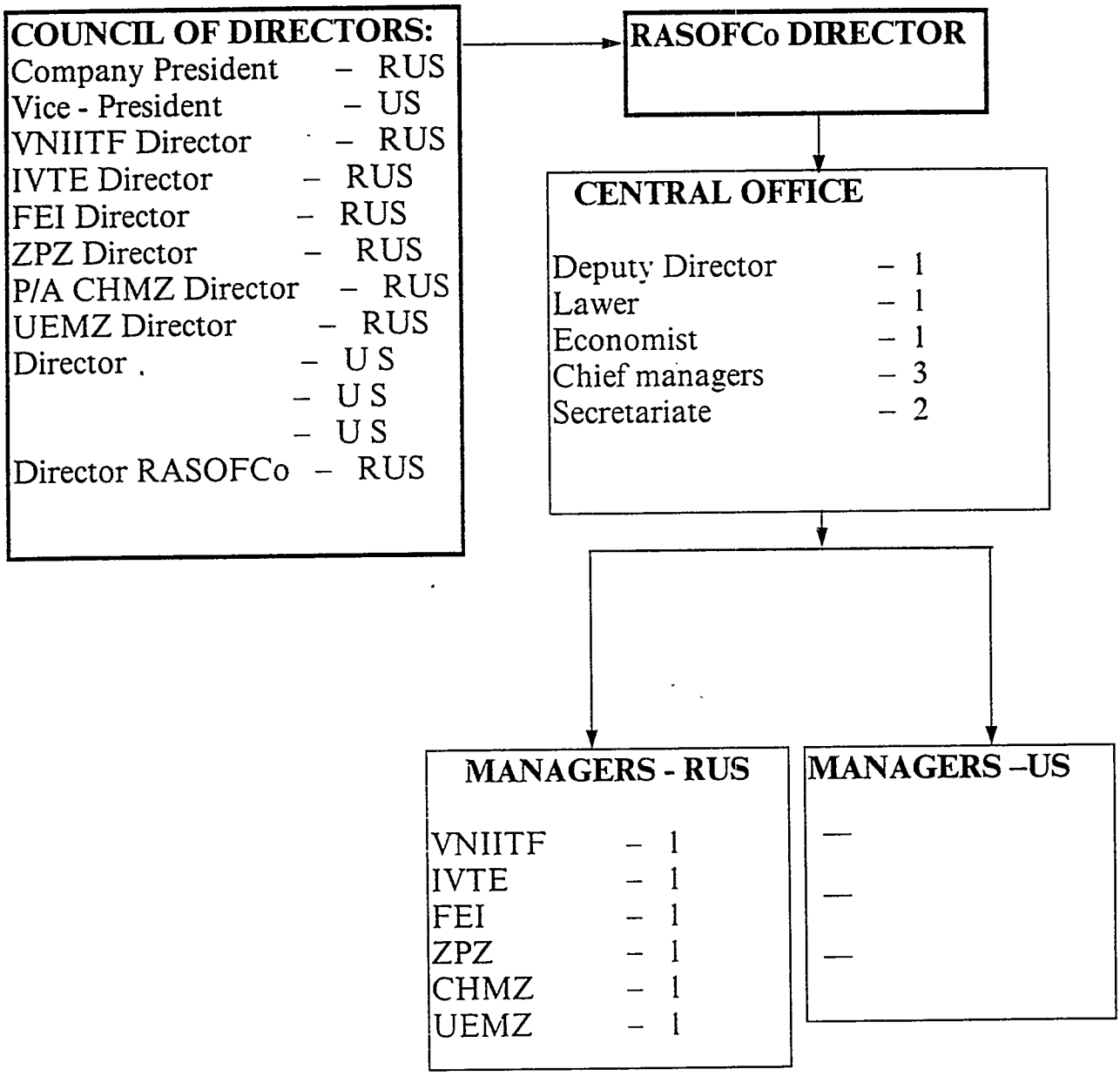
6) Since 2000 year the net profit rest is ditributed between participants and for the further production.
Plan for organizing production and financing is given in Fig.3.

15. PLAN FOR ORGANIZING PRODUCTION AND FINANCING

No item	Indices \ Years	1 1996	2 1997	3 1998	4 1999	5 2000	6 2001
1	Necessary financing (mln USD), including	3,0	2,3	2,2	2,3	2,3	2,48
	1.1.R&D work	US-1,0* RUS-0,3*	RUS-0,3*	Co-0,2	Co-0,3	Co-0,28	Co-0,3
	1.2. Putting into production	US-1,5*					Co-0,18
	1.3. Production		US- 1,8**	Co-1,8(×2)	Co-1,8(×3,3)	Co-1,8(×3,3)	Co-1,8
	1.4 Management	US - 0,2*	US - 0,2*	Co-0,2	Co-0,2	Co-0,2	Co-0,2
2	Plan of PP output (pieces)		300	600	1000	1000	
3	Income from realization (mln. $)		3,06	6,12	10,2	10,2	
	From it: 3.1 Expenditures connected with production		1,8	3,6	6,0	6,0	
	3.2 Value - added tax		0,54	1,08	1,8	1,8	
	3.3 Profit		0,72	1,44	2,4	2,4	
	3.4 Profit tax		0,22	0,44	0,72	0,72	
	3.5 Net profit		0,5	1,0	1,68	1,68	
4	Distribution of net profit						
	4.1 Repayment of a credit		0,1	0,5	1,2	-	
	4.2 R&D work		0,2	0,3	0,28	0,3	
	4.3 Improvement of production					0,18	
	4.4 Expenditures for management		0,2	0,2	0,2	0,2	
	4.5 Net profit rest					1,0	

* - as a founding (constitutive) contribution
**- credit
Co - company RASOFCo

16. SCHEME OF RASOFCo MANAGEMENT



CONCLUSION

Project of Proposals has been developed by Russian side and here its conception is presented. Other proposals being of mutual interest can be also considered.

VNIITF

INVITES
TO
THE MUTUALLY PROFITABLE JOINT

COLLABORATION WITH RESPECT TO SOFC

Intentionally Left Blank

РОССИЙСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ЯДЕРНЫЙ ЦЕНТР

ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ТЕХНИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ
(РФЯЦ–ВНИИТФ)

ПРОЕКТ ПРЕДЛОЖЕНИЙ ПО СОЗДАНИЮ СОВМЕСТНОГО РОССИЙСКО–АМЕРИКАНСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ, РАЗРАБОТКЕ И ИЗГОТОВЛЕНИЮ ЭНЕРГОУСТАНОВОК НА ТВЕРДООКСИДНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ

–R A S O F Co–

Н.В.Смотров – **Главный инженер РФЯЦ–ВНИИТФ**

Ю.Н.Клещев – **Главный технолог РФЯЦ–ВНИИТФ**

а/я 245, Снежинск
Челябинской области
456770, Россия
тел: (351)723-2351
факс: (351)723-2077
E-mail: avn@onti.Ch70.Chel.su

— Челябинск —
— Снежинск —
1995 год

ВНИИТФ

СОДЕРЖАНИЕ

1. ВВЕДЕНИЕ

Постоянно прогрессирующие энергетические проблемы в мире настоятельно требуют их эффективного и экологического разрешения. Наряду с совершенствованием традиционных способов преобразования энергии (гидроэнергетика, тепловая и атомная энергетика) существенным вкладом может и должна стать альтернативная энергетика и, в первую очередь, основанная на топливных элемлентах, обладающая в 1,5–2 раза более высоким коэффициентом эффективности и практически абсолютной экологической чистотой (выбросы вредных веществ снижаются в 100 и более раз). Основанные на прямом преобразовании энергии природного топлива (газ) непосредственно в электрическую энергию, топливные элементы при определенном техническом прогрессе способны создать серьезную альтернативу традиционным преобразователям электроэнергии.

Особая роль в этом ряду принадлежит высокотемпературным ТЭ (и особенно на твердом электролите), достигающим коэффициента эффективности 80–85% при использовании отводимого тепла.

Наметившийся прогресс в технике ТЭ может быть существенно ускорен за счет привлечения к решению проблемы высокого научно–технического потенциала ядерных центров России и национальных ядерных лабораторий США вследствие расширяющейся конверсии военного производства.

Данный проект является предложением к коммерческим и финансовым кругам сконцентрировать усилия и организовать совместные действия на базе РФЯЦ–ВНИИТФ и конверсируемых предприятий России по разработке энергоустановок на ТОТЭ и коммерциализации их на Российском рынке с целью получения прибыли.

2. СУТЬ ПРЕДЛОЖЕНИЯ – создание совместного Российско–Американского предприятия по проведению научных исследований, разработке и изготовлению энергоустановок на основе твердооксидных топливных элементов – RASOFCo = Russian–American Solid Oxide Fuel Cells Company.

3. ГЕНЕРАЛЬНАЯ ЦЕЛЬ RASOFCo – проведение научных исследований, разработка и производство энергоустановок на ТОТЭ, завоевание Российского рынка, получение прибыли.

4. ЗАДАЧА 1-го УРОВНЯ (1996-2000г.) – завершение базовых исследований и технологий, разработка коммерческой энергоустановки мощность 1 кВт, испытания, освоение серийного производства, серийное производство, продажа энергоустановок предприятиям РАО "Газпром" России, организация технического обслуживания, получение прибыли.

5. ЗАДАЧА 2-го УРОВНЯ (1998 г. и далее) – разработка и испытания энергоустановок 10 кВт – 100 кВт – МГВт класса, освоение производства, маркетинг , продажа, техническое обслуживание, получение прибыли.

6. ОПИСАНИЕ ПРОДУКТА.

При электрохимическом способе на электродах топливного элемента происходит накопление и передача электрических зарядов во внешнюю часть (электроны) и в электролит (ионы) за счет реакции высокотемпературного каталического окисления углеводородного топлива на поверхности твердого электролита. Используя прямое электрохимическое преобразование, коэффициент полезного действия увеличивается до 55–60 %, а с учетом использования отводимого тепла – до 80–85 %. Существенным преимуществом является экологическая чистота работы ЭХГ и ЭУ.

Один топливный элемент генерирует напряжение 0,6 – 1,2 В при плотности тока 100–250 мА/см^2. Для получения заданных выходных параметров топливные элементы собирают в табарею. Конструктивное объединение батареи ТЭ с системами подачи и распределения реагентов, отвода продуктов реакции, автоматики управления – образуют электрохимический генератор (ЭХГ).

Если ЭХГ объединить с системами подготовки топлива, преобразования тока, утилизации тепла, то такие комплексы превращаются в энергоустановки.

ЭХГ на основе ТОТЭ работает на природном газе (метан). При применении реформинга может быть расширен диапазон применяемого топлива, например, нефтепродукты, уголь, торф, дерево. RASOFCo будет обеспечивать серийный выпуск ЭХГ мощностью 1 кВт., далее 5 кВт и 10 кВт.. а также разработку и выпуск 100 кВт ЭУ с последующим выходом на ЭУ большей мощности.

7. ПРОГНОЗИРУЕМЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭНЕРГОУСТАНОВКИ НА ТОТЭ (1 этап)

– Мощность (кВт)	– 1,0
– Напряжение (В)	– 24...48
– Ток (А)	– 42...21
– Род тока	– постоянный
– Плотность тока (А/см^2)	– 0,15...0,2
– Суммарная рабочая поверхность ТЭ (см^2)	– 250...300
– Расход газа (метан) (л/квт час)	– менее 300
– Коэффициент эффективности	– 0,55...0,6
– Уровень вредных выбросов	–
– Ресурс работы (час)	– до 15 000
– Габариты (мм)	– ∅ = 500, Н=500
– Вес (кг)	– менее 50

8. ПРОГНОЗИРУЕМАЯ ЦЕНА ЭНЕРГОУСТАНОВКИ – 1 кВт

NN/пп	Статьи затрат	Стоимость (тыс.USD)
1.	Материалы	1,5
2.	Зарплата	2,1
3.	Налог (39% п.2)	0,82
4.	Плата за ресурсы–энергия, тепло, оборудование, газ, вода и пр.(75% п.2)	1,58
5.	Себестоимость	6,0
6.	Прибыль (40 % п.5)	2,4
7.	Налог на прибыль (30 % п.6)	0,72
8.	Чистая прибыль (6–7)	1,68
9.	Цена (5+6)	8,4
10.	Налог на добавленную стоимость (21,5 % п.9)	1,8
11.	Коммерческая цена (9+10)	10,2

9. АНАЛИЗ РЫНКА СБЫТА

По оценкам ученых и специалистов Минтопэнерго РФ с участием Инженерной Академии РФ России требуется устойчивое обеспечение до 50 % территории децентрализованными источниками электроэнергии, из них до 20 % находящихся в зоне обеспечения природным газом. Основными потребителями электрической энергии являются преимущественно предприятия газодобывающего, горнодобывающего, сырьевого, сельськохозяйственного, жилищно-коммунального хозяйства и население. Однако, по состоянию платежеспособности сегодня реальными потребителями энергоустановок на ГЭ могут стать только ресурсодобывающие отрасли. Консультации с экспертами РАО "Газпром" свидетельствуют о потенциальной потребности энергоустановок широкого класса мощности (от 0,5 кВт до сотен кВт). Но сегодня технические возможности разработки ЭУ на ТОТЭ ограничиваются киловаттным классом. Из этого класса ЭУ наиболее приемлемыми и потенциально реализуемыми являются;

– автономные источники питания мощностью до 0,5 кВт для телеметрического контроля параметров газа при добыче и его транспортировке (АИТ);

– станции катодной защиты газопроводов мощностью от 0.5 до 1 кВт (СКЗ);

– источники малой мощности (5–10 кВт) для энергообеспечения жилых домов и вахтовых домиков, удаленных от линий электропередач.

Первые две задачи могут быть решены разработкой универсальной ЭУ мощностью 1 кВт (ЭУ–1), третья – мощностью 10 кВт (ЭУ–10).

Сегодня на Российском рынке нет производителей энергоустановок на ТОТЭ. ВНИИТФ наиболее близок к завершению разработки и началу коммерциализации энергоустановок на ТОТЭ. Конкуренцию может составить ВНИИЭФ (г.Саров), занимающийся разработкой энергоустановок на расплавкарбонатных ТЭ (РКТЭ) в рамках совместной Программы Минатома РФ. Однако, большая протяженность газовых магистралей как в Европейской части России, так и в Сибири позволяет предположить, что в ближайшие годы не будет достигнуто насыщение рынка и возможно разделение сфер влияния. Важным фактором в конкуренции будет стоимость, сроки выхода коммерческой продукции на рынок, гарантированный срок службы, на что должно быть обращено внимание.

10. РАСЧЕТ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ПОТРЕБНОСТИ ЭНЕРГОУСТАНОВОК МАЛОЙ МОЩНОСТИ ДЛЯ ТЮМЕНТРАНСГАЗА

Тюментрансгаз является объединением, входящим в систему РАО "Газпром" и транспортирующим газ из Северных месторождений Западной Сибири до Среднего Урала (карта – рис. 1).

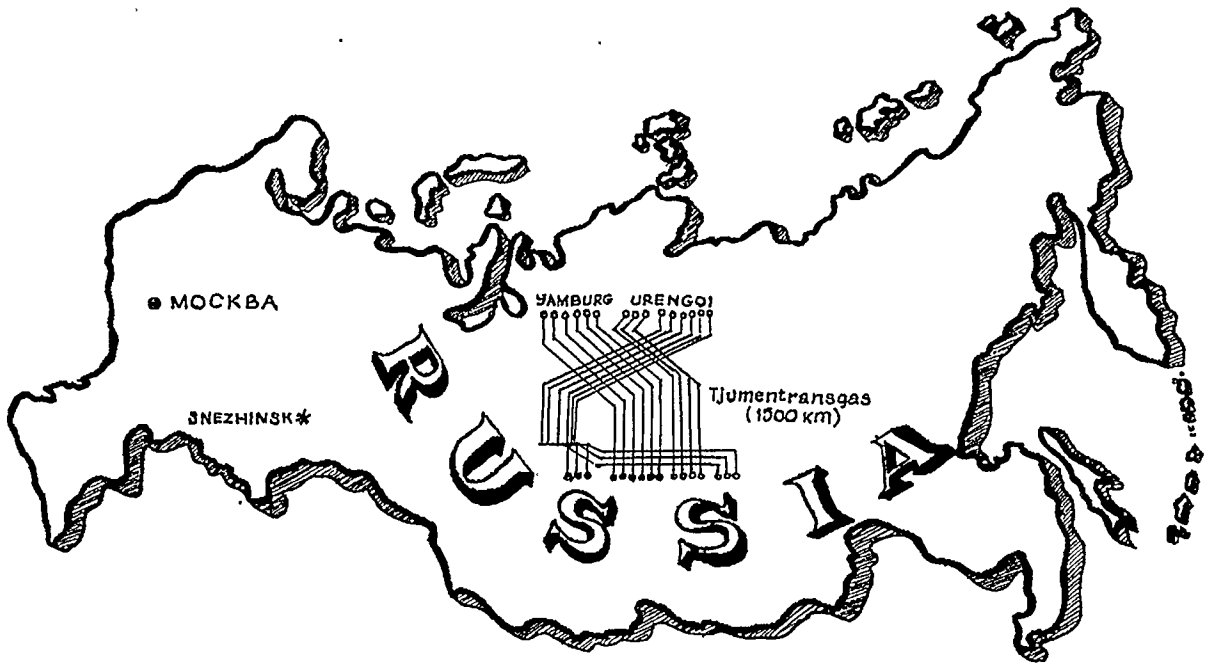
Тюментрансгаз имеет 17 линий газопроводов общей протяженностью 1500 км (схема – рис. 2). Потенциально требуется установить (или заменить) через каждые 10 км трассы станции катодной защиты, через каждые 40–50 км – системы телеметрического контроля. Таким образом, требуется для всей трассы 2550 станций катодной защиты и 500 источников тока для систем телеметрии (энергоустановки мощностью до 1 кВт). Потребность в энергоустановках мощностью до 10 кВт на первом этапе экспертно оценивается от 100 до 300 штук.

Подобные расчеты потребности могут быть также проведены для других организаций, транспортирующих газ в регионе Западной Сибири, на завоевание рынка которого нацелен ВНИИТФ, – для Севергазпрома, Пермьтрансгаза, Уралтрансгаза и др.

Учитывая, что гарантийный срок службы энергоустановки может быть установлен в течение 2 лет (~ 15 000 часов), обновление (замена) энергоустановок обеспечивает постоянное их производство на длительный срок

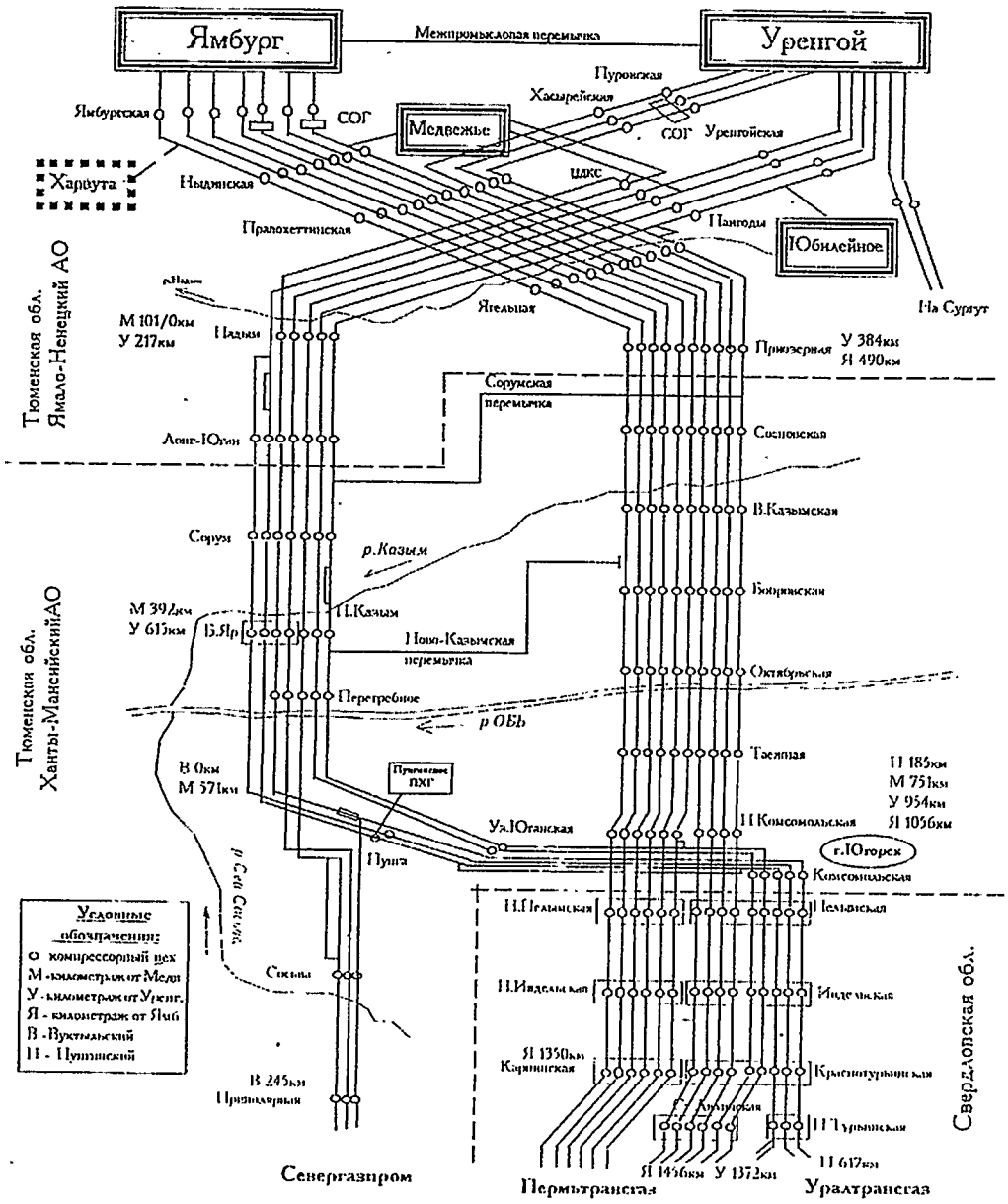
ВЫВОД ; Данные доказывают о наличии в России устойчивого рынка сбыта энергоустановок малой мощности.

III. ОЦЕНКА РЫНКА СБЫТА



Схема

магистральных газопроводов предприятия "Тюменьтрансгаз" (на 1994 г.)



суточный	200	1.050	50
годовой	73.000	350.000	12.500

Транспорт газа, млн.м3

11. УЧАСТНИКИ СОВМЕСТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ –RASOFCo–

С Российской стороны;

1) Российский Федеральный Ядерный Центр –
Всероссийский научно–исследовательский институт технической физики (РФЯЦ–ВНИИТФ), г. Снежинск — Генеральный разработчик
— научные исследования, разработка, технология, изготовление опытных образцов, испытания, передача в серийное производство.

2) Институт Высокотемпературной Электрохимии Уральского отделения Российской Академии Наук (ИВТЭ УрО РАН), г. Екатеринбург —
— фундаментальные научные исследования ТОТЭ, технологий.

3) Российский Научный Центр —
Физико–Энергетический Институт (РНЦ–ФЭИ), г.Обнинск—
— разработка тонкопленочных технологий ТОТЭ.

4) Производственное объединение
"Чепецкий механический завод" (ПО ЧМЗ), г. Глазов —
— серийное изготовление ТЭ и блоков ТЭ.

5) Уральский электромеханический завод (УЭМЗ), г. Екатеринбург —
серийное изготовление элементов управления и автоматики.

6) Златоустовский Приборостроительный завод (ЗПЗ), г.Златоуст —
— серийное предприятие по окончательной сборке ЭУ, продажа, техническое обслуживание.

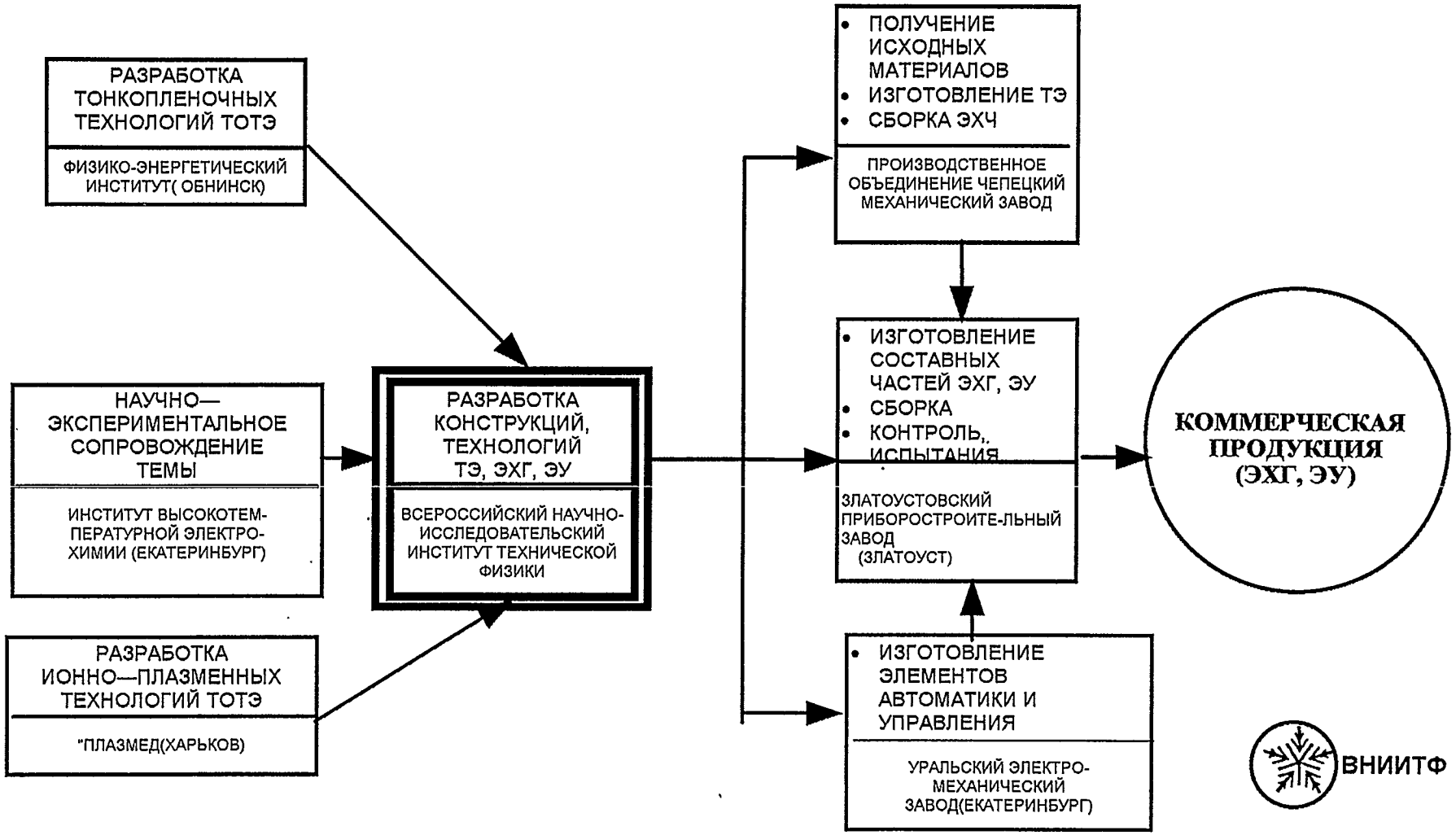
С Американской стороны:

1) .....

2) .....

3).....

ОСВОЕНИЕ СЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА ТОТЭ



13. ВКЛАД СТОРОН В УЧРЕЖДЕНИЕ RASOFCo

Российская сторона:

а) частичное целевое обеспечение финансирования разработки и испытания во ВНИИТФ энергоустановки ЭУ–1 кВт в 1996–1997 г. в сумме 0,6 млн.$;
б) конструкторская документация, технологии на ЭУ–1 кВт;
в) предоставление возможности использования специалистов, оборудования, зданий, ресурсов, материалов.

Американская сторона:

а) частичное целевое финансирование разработки и испытания во ВНИИТФ энергоустановки ЭУ–1 кВт в 1996 г. в сумме 1,0 млн. $ и 0,2 млн $ на управление в 1996 г.
б) финансирование стадии подготовки и освоения серийного производства ЭУ–1 кВт со второй половины 1996 года в сумме 1,5 млн.$ и 0,2 млн$ на управление в 1997 году.
в) кредит на серийное производство (начальный цикл) в 1997 году в сумме 1.8 млн.$ с погашением кредита в течение 2,5 лет.

Долевое распределение вкладов предлагается оценить RUS : US = 0,6 : 0,4.

14. СТРАТЕГИЯ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА И ФИНАНСИРОВАНИЯ

1) ВНИИТФ в 1996 году завершает разработку конструкции и технологий трубчатого ТЭ и энергоустановки 1 кВт, изготовление и испытание экспериментального образца.
Финансирование: RUS – 0,3 млн. $
U S – 1,0 млн. $ + 0,2 млн $ на управление в 1996 году.

2) ВНИИТФ со второй половины 1996 года организует передачу КД и технологий на серийные предприятия.
Серийные предприятия (ЗПЗ, ПО ЧМЗ, УЭМЗ) организуют освоение производства и выпуск технологической партии ЭУ– 1 кВт в течение июль 1996 г. – июнь 1997 г.
Финансирование : U S – 1.5 млн.$ + 0,2 млн $ на управление в 1997 г.

3) Серийные предприятия (ЗПЗ, ПО ЧМЗ, УЭМЗ) организуют выпуск 300 шт. ЭУ–1 кВт в течение июль–декабрь 1997 года.
Финансирование : кредит U S – 1,8 млн.$.

4) Серийные предприятия (ЗПЗ, ПО ЧМЗ, УЭМЗ) доводят выпуск ЭУ–1 кВт в 1998 г. до 600 штук, в 1999 году – до 1000 штук за счет оборотных средств, полученных от реализации.

5) За счет полученной прибыли погашается кредит:
1997г. – 0,1 млн. $, 1998г. – 0,5 млн. $, 1999г. – 1,2 млн.$.

6) С 2000 года остаток чистой прибыли распределяется между участниками и для дальнейшего производства.

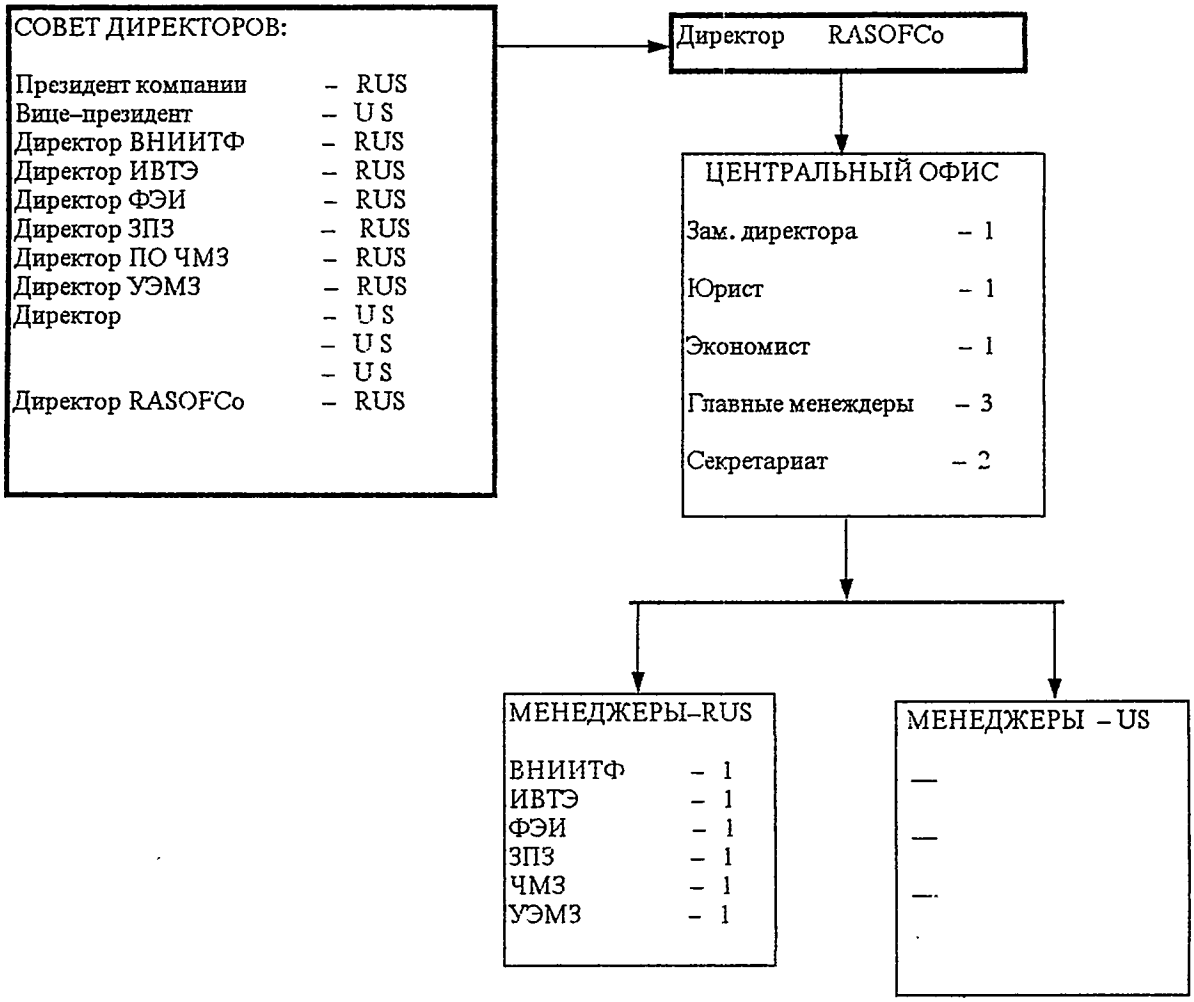
План организации производства и финансирования представлен на рис.3

15. ПЛАН ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА И ФИНАНСИРОВАНИЯ

NN пп	Годы / Показатели	1 1996	2 1997	3 1998	4 1999	5 2000	6 2001
1	Необходимое финансирование (млн.$), в том числе:	3,0	2,3	2,2	2,3	2,3	2,48
	1.1. НИОКР	US–1,0* RUS–0,3*	RUS–0,3*	Co–0,2	Co–0,3	Co–0,28	Co–0,3
	1.2. Освоение производства	US–1,5*					Co–0,18
	1.3. На производство		US–1,8**	Co–1,8(×2)	Co–1,8(×3,3)	Co–1,8(×3,3)	Co–1,8
	1.4. На управление	US–0,2*	US–0,2*	Co–0,2	Co–0,2	Co–0,2	Co–0,2
2	План выпуска ЭУ (штук)		300	600	1000	1000	
3	Доход от реализации (млн.$)		3,06	6,12	10,2	10,2	
	Из него: 3.1. Затраты на производство		1,8	3,6	6,0	6,0	
	3.2. НДС		0,54	1,08	1,8	1,8	
	3.3. Прибыль		0,72	1,44	2,4	2,4	
	3.4. Налог с прибыли		0,22	0,44	0,72	0,72	
	3.5. Чистая прибыль		0,5	1,0	1,68	1,68	
4	Распределение чистой прибыли						
	4.1. Погашение кредита		0,1	0,5	1,2	–	
	4.2. НИОКР		0,2	0,3	0,28	0,3	
	4.3. Совершенствование производства					0,18	
	4.4. На управление		0,2	0,2	0,2	0,2	
	4.5. Остаток чистой прибыли					1,0	

* – в качестве учредительного взноса
** – кредит
Co – компания RASOFCo

16. СХЕМА УПРАВЛЕНИЯ RASOFCo



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проект предложений разработан российской стороной и изложена ее точка зрения. Могут быть рассмотрены другие предложения, представляющие взаимный интерес.

ВНИИТФ приглашает к совместному взаимовыгодному сотрудничеству по SOFC.

ELECTROCHEMICAL PROPERTIES OF MIXED CONDUCTING (La,M)(CoFe) OXIDE PEROVSKITES (M=3DSr, Ca, and Ba)

J. W. Stevenson, T. R. Armstrong, J. L. Bates, L. R. Pederson, and W. J. Weber

Pacific Northwest Laboratory
P.O. Box 999
Richland, WA 99352

Electrical and oxygen permeation properties of solid mixed-conducting electrolytes in the series La1-xMxCo1-yFeyO3-EB (M=3DSr, Ca, and Ba; $0.4 < x < 1.0$; $0.2 < y < 0.8$) have been characterized. These materials are potentially useful as passive membranes to separate high purity oxygen from air and as the cathode in a fuel cell.

Many of the compositions in this series exhibited very high electrical conductivities. At lower temperatures, conductivities increased with increasing temperature, characterized by activation energies of 0.1 to 0.2 eV that are consistent with a small polaron (localized electronic carrier) conduction mechanism. At higher temperatures, electronic conductivities tended to decrease with increased temperature, which is attributed to decreased electronic carrier populations associated with lattice oxygen loss. Oxygen ion conductiivities, approximately 1% of the electronic contribution but still higher than those for yttria stabilized zirconia at the same temperature, generally increased with the cobalt content and also increased with the extent of A-site substitution in these perovskites. Thermogravimetric studies were conducted to establish the extent of oxygen vacancy formation as a function of temperature, oxygen partial pressure, and composition. These vacancy populations, needed to model conduction behavior, strongly depend on the extent of A-site substitution.

Dilatometric linear expansion measurements were performed as a function of temperature and oxygen partial pressure to evaluate the dimensional stability of these perovskites. Substantial expansions, on the order of 0.4% for La0.6M0.4Co0.2Fe0.8O3-EB were observed as the oxygen partial pressure was lowered from 1 atm to F710-5 atm.

Oxygen permeation rates were measured as a function of temperature. In the compositional series La1-xSrxCo1-yFeyO3-=EB, oxygen permeation increased substantially with increased Sr content. High oxygen permeation rates corresponded to increased lattice oxygen losses at elevated temperatures. Compositions containing Ca in the place of Sr showed the smallest oxygen fluxes of those examined, while those containing Ba behaved similarly to those containing Sr. Ionic conductivities were calculated from the flux rartes, oxygen partial pressure gradient, and membrane thickness. For many compositions, the calculated ionic conductivities were higher than that of yttria-stabilized zirconia at the same temperature.

Электрохимические свойства оксидов перовскитов (M=3DSr, Ca и Ba) смешанной проводимости (La,M)(CoFe)

Д.У. Стивенсон, Т.Р. Армстронг, Д.Л. Бейтс, Л.Р. Педерсон и У.Д. Вебер

Лаборатория Пасифик Нордвест
P.O. Box 999
Richland, WA 99352

Определены электрические параметры и свойства кислородной проникаемости в твердых электролитах смешанной проводимости, представленных сериями Lal-xMxCol-yFeyO3-EB (M=3DSr, Ca и Ba; 0,4 < x < 1,0; 0,2 < y < 0,8). Эти материалы потенциально пригодны для использования в качестве пассивных мембран для отделения высокочистого кислорода от воздуха и в качестве катода в топливном элементе.

Многие из соединений этой серии показали высокие характеристики электрической проводимости. При низких уровнях температуры проводимость начинала возрастать по мере дальнейшего роста температуры с характерной энергией активации от 0,1 до 0,2 эВ, что соответствует механизму малой поляронной проводимости (локализованного носителя электронов). При более высоких температурах было заметно уменьшение электронной проводимости при повышении температуры, что объясняется уменьшением заселенности носителя электронов ввиду потери кислорода в решетке. Ионная проводимость кислорода, составляющая примерно 1% от вклада электронной проводимости, но тем не менее выше, чем у оксида циркония, стабилизированного оксидом иттрия, при той же температуре, в целом, увеличивалась в зависимости от содержания кобальта, а также степени замещения узла А в решетке перовскитов. Были проведены теплогравиметрические изучения для определения степени формирования кислородных вакансий в зависимости от температуры, парциального давления кислорода и химического состава. Характеристики заселенности этих вакансий, необходимые для моделирования механизма проводимости, сильно зависят от степени замещения узла А в решетке.

Проведены дилатометрические измерения линейного расширения с учетом температуры и парциального давления кислорода с целью оценки стабильности размеров перовскитов. Существенное расширение на порядок 0,4% наблюдалось для La0.6M0.4Co0.2Fe0.8O3-EB при понижении парциального давления кислорода от 1 атм до F710-5 атм.

Коэффициент кислородной проникаемости измерялся в зависимости от температуры. В сериях соединений Lal-xSrxCol-yFeyO3-=EB проникаемость кислорода значительно возросла с увеличением содержания Sr. Высокий коэфициент кислородной проникаемости соответствовал увеличению потерь кислорода в решетке при повышенных температурах. Соединения, содержащие Ca вместо Sr, показали наименьшие потоки кислорода из числа всех исследованных образцов, а соединения с Ba обнаружили то же поведение, что и соединения с Sr. Характеристики ионной проводимости вычислялись с учетом скорости потоков, градиента парциального давления кислорода и толщины мембраны. Для многих соединений расчетные параметры ионной проводимости были выше, чем для оксида циркония, стабилизированного оксидом иттрия, при той же температуре.

A Small, Rugged, And Inexpensive Hydrogen Sensor

Stephen J. Martin and Robert C. Hughes
Sandia National Laboratories

A new-generation hydrogen sensor that is smaller, faster, sturdier, and less expensive to manufacture has been developed at Sandia National Laboratories.
Early versions of this practical, reliable device for detecting hydrogen already have completed the design, fabrication, and test stages and are now in field application.

Existing techniques for detecting hydrogen have numerous drawbacks: limited dynamic range; poor reproducibility and reversibility; subject to false alarms; and tend to be slow, unreliable, and difficult to use.

Ceramic Joining

by

Ronald E. Loehman
Advanced Materials Laboratory
Sandia National Laboratories
Albuquerque, NM

Ceramic joining is used to connect ceramics to metals in a variety of devices and structures. Common examples include high pressure sodium vapor lamps, vacuum tubes, ceramic multilayer structures for microelectronic packaging, and feed-thrus for electronic components. Some uses still under active development are heat engine components, heat exchangers and recuperators, and solid oxide fuel cells.

For a number of years Sandia National Laboratories has had active R&D programs in ceramic-metal and glass-metal joining. Early applications were for high-strength, hermetic electrical connectors and feed-thrus and for seals for battery headers. Some of the more recent ceramic-metal joining research aims to develop sealing techniques for silicon nitride used in aerospace applications and to seal gas separation membranes. The techniques involved are broadly applicable to developing sealing methods for solid oxide fuel cells as well.

This poster describes the relation between reactions at ceramic-metal interfaces and the development of strong interfacial bonds in ceramic joining. Studies on a number of systems are described, including silicon nitride, aluminum nitride, mullite, and alumina. Reactions can generally be predicted using thermodynamic calculations, as illustrated by interfacial compositions and structures observed by scanning electron microscopy and electron probe analytical techniques. Strong joints are promoted by chemical reactions at the ceramic-metal interface, however joints can be weakened by stresses caused, for example, by thermal expansion mismatch.

Potential VNIITF Capabilities in the Area of SOFC Power Generation

(Poster)

- Research areas included in the process of developing SOFC power supplies:
  - Material Science
  - Production Technology
  - Design and Modeling
- VNIITF has all the necessary capabilities to meet these challenges successfully.
- Material Science
  - qualified personnel
  - necessary research and analytical equipment
  - well developed and implemented research methodology.
- Technology
  - hardware driven by modern computer technology
  - ion-plasma and plasma-chemical methods of thin film metals and oxides . nitrides and carbides coating of different substrates
  - advanced thermal and welding equipment that allows sealing of heterogeneous materials to each other
- Design and modeling

The availability of a computer center, design bureau. manufacturing tecnologies division. prototype production and testing facilities allows us to conduct development operations. testing. data processing and modeling of SOFC power generators as an integrated cycle.

Потенциальные возможности РФЯЦ- ВНИИТФ в разработке энергоустановок на основе твердооксидных топливных элементов

(Стендовый доклад)

- Области проблем разработки ЭУ на ТОТЭ :
  - материаловедение ;
  - технология ;
  - конструирование и моделирование.
- РФЯЦ- ВНИИТФ обладает необходимыми возможностями для успешного решения поставленных задач.
- Материаловедение
  - квалифицированные кадры ;
  - необходимое исследовательское и аналитическое оборудование ;
  - разработанные и внедренные методики исследований.
- Технология
  - техническая база, основанная на современном программном оборудовании ;
  - ионно- плазменные и плазмо- химические способы нанесения тонких пленок металлов и их оксидов, нитридов, карбидов на различные подложки ;
  - современное термическое и сварочное оборудование, позволяющее осуществлять соединение разнородных материалов.
- Конструирование и моделирование
  Вычислительный центр, конструкторское бюро, технологическое отделение, опытное производство, испытательная база - позволяют в едином цикле осуществлять разработку, испытания, обработку данных, моделирование ЭУ на ТОТЭ.

US/RUSSIAN FUEL CELL TECHNOLOGY WORKSHOP
SEPTEMBER 26-28, 1995
ALBUQUERQUE, NEW MEXICO

ATTENDANCE

Name	Affiliation	Phone / Fax
Russian Delegation:		
Yuri Abramov	MINATOM	
Valeri Borissenok	VNIIEF	
Vlamimir Chukharev	VNIITF	
Anatoli Demine	High Temp...	
Vladimir Fateev	RSSC	
Yuri Galitsky	GAZPROM	
Vladimir Kazarinov	Electrochemical Institute/RAC	
Yuri N. Kleschev	VNIITF	
Boris Loubovin	MINATOM	
Grigory Mezeheritsky	OBNINSK	
Evgueni Novitsky	VNIIEF	
Felix Pekhota	RF Ministry of Science	
Valery Podlednev	PROTVINO	
Nicolai Smotrov	VNIITF	
Alexander Stikhin	UEIP	
Valery Zoria	VNIIEF	
Svetlana Goncharova	VNIIEF (Interpretor)	
Svetlana Gorelova	VNIIEF (Interpretor)	

ATTENDANCE (continued)

Name	Affiliation	Phone	Fax
Industry Participants:			
Mike Carolan	Air Products & Chemical	(610) 398-9742	(610) 481-6517
Tan-Ping Chen	Bechtel	(415) 768-1419	(415) 768-3580
Michael Cobb	Michael A. Cobb & Co.	(216) 869-8046	(216) 752-9599
Dan Dilger	MC Power	(708) 986-8040	(708) 986-8193
S. Elangovan	SOFCo Ceramatec	(801) 972-2455	(801) 972-1925
Rocky Goldstein	Electric Power Res. Inst.	(415) 855-2171	(415) 855-2295
Michael S. Hsu	Ztek Corp.	(617) 890-5665	(617) 890-3731
Malcolm Jacobson	ENRON	(713) 853-7348	(713) 646-3653
Vera Kats	H Power Corp.	(201) 450-4400	(201) 450-9850
Jim Kimball	Gas Research Inst.	(312) 399-8178	(312) 864-3530
Kirby Meacham	Michael A. Cobb & Co.	(216) 752-9329	(216) 752-9599
Nguyen Minh	Allied Signal	(310) 512-3515	(310) 512-2476
Walter G. Parker	Westinghouse	(412) 256-2417	(412) 256-2002
Vince Petraglia	M-C Power Corp.	(708) 986-8040 x 118	986-8153
Steve Scoles	Babcock & Wilcox	(804) 522-5608	(804) 522-6906
Ron I. Sims	Ford Motor Co.	(313) 594-0879	(313) 845-4495
Alex Skelekhin	Electrochem	(617) 938-5300	(617) 935-6966
Swathy Swathirajan	General Motors RD Center	(810) 986-0702	(810) 986-2244
Larry Wismer	Allied Signal	(310) 512-3321	(310) 512-2812
Doug Wheeler	International Fuel Cells	(203) 727-2513	(203) 727-2319
Fred Zerkel	M-C Power Corp.	(703) 845-8409	(703) 845-7905

ATTENDANCE (continued)

Name	Affiliation	Phone / Fax	
DOE and Other Agencies:			
Barry Gale	DOE	(202) 586-6708	(202) 586-1180
Diane Hooie	DOE, METC	(304) 285-4524	(304) 285-4403
Bob Kost	DOE	(202) 586-2334	(202) 586-1600
John Patton	DOE, Idaho	(208) 526-1499	(208) 526-6249
Charlie Pax	DOE	(301) 903-2822	(301) 903-2713
Marilyn Pifer	DOS	(202) 647-4891	(202) 647-0773
Marvin Singer	DOE	(202) 586-1577	(202) 586-7085
Mark C. Williams	DOE	(304) 285-4747	(304) 285-4403

ATTENDANCE (concluded)

Name	Affiliation	Phone	Fax
National Laboratories and Universities:			
Olin Bray	Sandia Nat. Labs	(505) 845-8636	(505) 844-1218
Rod Borup	Los Alamos Nat. Lab	(505) 665-9787	(505) 665-6173
Bob Baker	Sandia Nat. Labs	(505) 898-3206	(505) 898-2131
Gary Carlson	Sandia Nat. Labs	(505) 844-8116	(505) 845-9500
Victor Chavez	Sandia Nat. Labs	(505) 843-4190	(505) 843-4175
Dan Doughty	Sandia Nat. Labs	(505) 845-8105	(505) 844-6972
Marie Garcia	Sandia Nat. Labs	(505) 844-9444	(505) 844-1218
Shimshon Gottesfeld	Los Alamos Nat. Lab	(505) 667-0853	(505) 665-4292
Sossina Haile	Univ. of Washington	(206) 685-7869	(206) 543-3100
Mike Krumpelt	Argonne Nat. Lab	(708) 252-8520	(708)252-4176
Jeff Lawrence	Sandia Nat. Labs	(505) 844-0217	(505) 844-0918
Ron Loehman	Sandia Nat. Labs	(505) 272-7601	(505) 272-7304
Cesar Lombana	Sandia Nat. Labs	(505) 843-4193	(505) 843-4175
Ganesan Nagasubramanian	Sandia Nat. Labs	(505) 844-1684	(505) 844-6972
S. R. Narayanan	Jet Propulsion Lab	(818) 354-0013	(818) 393-6951
Larry Pederson	Pacific NW Labs	(509) 375-2731	(509) 375-2186
Gail Ryba	Sandia Nat. Labs	(505) 844-1802	(505) 845-9500
Ken Stroh	Los Alamos Nat. Lab	(505) 667-7933	(505) 665-6173
Al Sylwester	Sandia Nat. Labs	(505) 844-8151	(505) 844-7354
Kirk Weisbrod	Los Alamos Nat. Lab	(505) 665-7847	(505) 665-6173

DISTRIBUTION:

Rui Alfonso
NEES
25 Research Drive
Westborough, MA 01582

Douglas R. Boleyn
Portland General Electric Co.
Mail Stop 1WTC-0704
121 S. W. Salmon Street
Portland, OR 97204

Chris Borroni-Bird
Chrysler Corporation
30900 Stephenson Highway
Madison Heights, MI 48071

Ron Calise
Wasserstein Perella & Co., Inc.
31 West 52nd Street
New York, New York 10019

Mike Carolan
Air Products & Chemicals, Inc.
7201 Hamilton Blvd
Allentown, PA 18195-1501

Tan-Ping Chen
Bechtel Corp.
50 Beale Street
San Francisco, CA 94119-3965

Michael Cobb
Michael A. Cobb & Co.
1688 Brookwood Drive
Akron, OH 44313

Dan Dilger
M-C Power Corp.
80100 S. Madison St.
Burr Ridge, IL 60521

S. Elangovan
SOFCo Ceramatec
2425 South 900 West
Salt Lake City, UT 87119

Craig Harrison
Strategic & Resource Planning
Pacificorp
700 NE Multnomah, Suite 1180
Portland, OR 97232

Rocky Goldstein
EPRI
3412 Hillview Ave.
Palo Alto, CA 94303

John A. Gruver
Westinghouse Electric Corporation
Watergate 600
600 New Hampshire Ave. NW
Suite 1200
Washington, DC 20037

Sossina Haile
Dept. of Materials Science & Engineering
University of Washington
P. O. Box 352120
Seattle, WA 98195

Michael S. Hsu
Ztek Corp.
460 Totten Pond Road
Waltham, MA 02154

Malcolm Jacobson
Director, Emerging Technologies
ENRON Corp.
1400 Smith
Houston, TX 77002

Vera Kats
H Power Corp.
60 Montgomery St.
Belleville, NJ 07109

Jim Kimball
Gas Research Institute
8600 West Bryn Mawr Ave.
Chicago, IL 60631

Betsy Krieg
Pacific Gas & Electric Company
2303 Camino Ramon, Suite 200
San Ramon, CA 94583

Benson Lee
Technology Management Inc.
9718 Lakeshore Blvd.
Cleveland, OH 44108-1049

DISTRIBUTION (continued):

Daniel Madet
Research & Development Div.
Electricite' de France
1320 Channing Ave.
Palo Alto, CA 94301

Kirby Meacham
Michael A. Cobb & Co.
1688 Brookwood Drive
Akropn, OH 44313

Nguyen Minh
Allied Signal Aeorspace Co.
2525 West 190th Street
P. O. Box 1960
Torrance, CA 90509

William Muston
TU Services
Energy Plaza, 19-052
1601 Bryan Street
Dallas, TX 75201-3411

S. R.Narayanan
Jet Propulsion Lab
Mailstop 277-207
4800 Oak Grove Drive
Pasadena, CA 91109

David L. Odor
CINergy
Technology Assessment
2437 E. Main Street
Plainfield, IN 46168

Walter G. Parker
Westinghouse Electric Corp.
1310 Beulah Road
Pittsburgh, PA 152356-5098

Vince Petraglia
M-C Power Corp.
80100 S. Madison St.
Burr Ridge, IL 60521

Rex Roehl
Commonwealth Edison
10 S. Dearborn St. 35FNE
Box 767
Chicago, IL 60690

Steve Scoles
Babcock & Wilcox
P. O. Box 785, Mailcode 84
Lynchburg, VA 24505-0785

Graham Siegel
R&D Coordinator
Wisconsin Electric Power Co
333 W. Everett St.
P. O. Box 2046
Milwaukee, WI 53201-2046

Eric Simpkins
Energy Research Corp.
Suite 900
1634 Eye Street NW
Washington, DC 20006

Ron I. Sims
APST
Ford Motor Co.
P. O. Box 2053
Maildrop 3439, SRL
Dearborn, MI 48121-2053

Alex Shelekhin
Electrochem Inc.
400 West Cummings Park
Woburn, MA 01801

Christine Sloane
General Motors
Research and Development Center
30500 Mound Road, Bldg. 1-3, RTP
Warren, MI 48090-9055

Swathy Swathirajan
General Motors
R&D Center
30500 Mound Road
Warren, MI 48090-9055

E. Stratos Tavoulareas
EnTEC
7722 Desdemona Court
McLean, VA 22102

Larry Wismer
Allied Signal
2525 W. 190th Street
Torrance, CA 90504

DISTRIBUTION (continued):

Doug Wheeler
International Fuel Cells
195 Governor's Highway
P. O. Box 739
South Windsor, CT 06074

Fred Zerkel
M-C Power Corp.
80100 S. Madison St.
Burr Ridge, IL 60521

Ed Beardsworth
951 Lincoln Ave
Palo Alto, CA 94301

Rod Borup
Los Alamos National Laboratory
Los Alamos, NM 87545

Shimshon Gottesfeld
Los Alamos National Laboratory
Mailstop D-429
P. O. Box 1663
Los Alamos, NM 87545

Ken Stroh
Los Alamos National Laboratory
Box 1663
Los Alamos, NM 87545

Kirk Weisbrod
Los Alamos National Laboratory
Box 1663
Los Alamos, NM 87545

Mike Krumpelt
Argonne National Laboratory
9700 S. Cass Avenue
Argonne, IL 60439

James Miller
Chemical Technology Division
Argonne National Laboratory
9700 South Cass Avenue
CMT/205
Argonne, IL 60439-4837

Larry Pederson
Pacific Northwest Laboratory
P. O. Box 999
Richland, WA 99352

Steve Chalk
U.S. Dept. of Energy, CE-32
1000 Independence Ave., SW
Washington, DC 20585

Barry Gale
U. S. Department of Energy
1000 Independence Ave Sw
Washington, DC 20585

Charlie Pax
U. S. Dept. of Energy
Germantown Mailstop FE-73
Washington, DC 20545

Diane Hooie
U. S. Department of Energy
Morgantown Energy Technology Center
P. O. Box 880
Morgantgown, WV 26507-0880

Marvin Singer
U. S. Department of Energy
Forrestal Bldg
1000 Independence Ave SW
Washington, DC 20585

Mark C. Williams
U. S. Department of Energy
Morgantown Energy Technology Center
P. O. Box 880
Morgantown, WV 26507-0880

Marilyn Pifer
OES/SCP
Room 4330
Department of State
Washington, DC 20520-7818

1	MS 0127	Olin Bray
1	0749	Bob Baker
1	0710	Gary Carlson
1	1380	Vic Chavez
1	0613	Dan Doughty
1	0127	Marie Garcia
1	0467	Jeff Lawrence
1	0467	Dennis Croessmann
1	1349	Ron Loehman
1	1378	Cesar Lombana
1	0614	Ganesan Nagasubramanian
1	0710	Gail Ryba
1	0749	Al Sylwester

DISTRIBUTION (concluded):

RUSSIAN DELEGATION

Valery V. Zoria
Associate Director of Marketing and
Foreign Economical Relations Office
Attn: Valeri Borissenok, VNIIEF
Evgueni Novitsky, NVIIEF
Vladimir Chukharev, VNIITF
Yuri N. Kleschev, VNIITF
Nicolai Smotrov, VNIITF
Vladimir Kazarinov,
Electrochemical Institute/RAC
Grigory Mezeheritsky, OBNINSK
Valery Podlednev, PROTVINO
Yuri Galitsky, GAZPROM
Yuri Abramov, MINATOM
Boris Loubovin, MINATOM
Vladimir Fateev, RSSC
Alexander Stikhin, UEIP
Anatoli Demine, High Temp
Felix Pekhota, RF Ministry of
Science
607200, Arzamus-16
NIZHNL
Novgorod Region
Russian Federation

1	MS 9018	Central Technical Files, 8523-2
5	0899	Technical Library, 4414
1	0619	Print Media, 12615
2	0100	Document Processing, 7613-2 For DOE/OSTI