

СОДЕРЖАНИЕ

Номер 3, 2024

Атомные электростанции

Валидация численной модели рекомбинатора водорода РВК-500

*С. Г. Калякин, А. В. Кощеев, М. К. Седов, С. Л. Соловьев, Е. В. Безгодков,
В. В. Стаханов, В. А. Симоненко* 5

Разработка конструктивных решений аккумулятора фазового перехода в условиях его функционирования в едином энергокомплексе с АЭС

Р. З. Аминов, М. В. Гариевский, Д. М. Аношин 18

Увеличение мощности АЭС с ВВЭР путем повышения качества контроля характеристик тепловой экономичности

Ю. В. Смолкин, С. А. Канатов, Д. А. Соболев, Д. В. Степанов, Е. Н. Кулаков 32

Паротурбинные, газотурбинные, парогазовые установки и их вспомогательное оборудование

Выбор утилизационной турбоустановки для автономного электроснабжения компрессорных станций магистральных газопроводов

*В. Е. Михайлов, М. А. Верткин, С. Б. Есин, П. А. Кругликов,
Д. А. Соболев, Ю. Г. Сухоруков, Л. А. Хоменок* 40

Паровые котлы, энергетическое топливо, горелочные устройства и вспомогательное оборудование котлов

Концепция регионального топливного комплекса сжиженного природного газа на базе тепловой электростанции

*В. Б. Перов, М. В. Федоров, О. О. Мильман, Д. Н. Жедяевский, А. Н. Вивчар,
А. А. Ивановский, А. В. Охлопков, К. С. Никишов, А. В. Сказочкин* 54

Перспективы получения углеродных сорбентов из углей марок Д и ДГ

С. А. Шевырёв, С. С. Азиханов, А. Р. Богомолов, А. Б. Кузнецов 63

Тепло- и массообмен, свойства рабочих тел и материалов

Линия фазового равновесия воды “газ – жидкость” в рамках теории ренормализационной группы

С. В. Рыков, И. В. Кудрявцева, В. А. Рыков, В. Ф. Очков, Е. Е. Устюжанин 72

Водородаккумулирующие материалы на основе сплавов титана с железом (обзор)

М. В. Лотоцкий, М. В. Дэвидс, В. Н. Фокин, Э. Э. Фокина, Б. П. Тарасов 85

Возобновляемые источники энергии, гидроэнергетика

Исследование возможности применения кобальтита бария-стронция
в водородной энергетике

*М. С. Пайзуллаханов, Н. Х. Каршиева, Ф. Н. Эрназаров,
С. М. Абдураимов, С. С. Сабиров*

102

Поправка

108

Contents

Vol. 71, No. 3, 2024

Nuclear Power Plants

Validation of the Numerical Model of the RVK-500 Hydrogen Recombinator

*S. G. Kalyakin, A. V. Koshcheev, M. K. Sedov, S. L. Solovyov,
E. V. Bezgodov, V. V. Stakhanov, and V. A. Simonenko*

5

Development of Design Solutions for a Phase Transition Battery under Conditions of Its Operation in a Single Energy Complex with an NPP

R. Z. Aminov, M. V. Garievsky, and D. M. Anoshin

18

Increasing the Power Output of VVER-Based NPPs through More Accurately Monitoring the Thermal Efficiency Indicators

Yu. V. Smolkin, S. A. Kanatov, D. A. Sobolev, D. V. Stepanov, and E. N. Kulakov

32

Steam-Turbine, Gas-Turbine, and Combined-Cycle Power Plants and Their Auxiliary Equipment

Selection of a Heat-Recovery Turbine Unit for a Self-Contained Power Supply of Compressor Stations in Gas Mains

*V. E. Mikhailov, M. A. Vertkin, S. B. Esin, P. A. Kruglikov, D. A. Sobolev,
Yu. G. Sukhorukov, and L. A. Khomenok*

40

Steam Boilers, Energy Fuel, Burners and Auxiliary Equipment for Boilers

Concept of a Regional Liquefied Natural Gas Fuel Complex Based on a Thermal Power Plant

*V. B. Perov, M. V. Fedorov, O. O. Milman, D. N. Zhedyaevsky, A. N. Vivchar,
A. A. Ivanovsky, A. V. Okhlopov, K. S. Nikishov, and A. V. Skazochkin*

54

Prospects for Obtaining Carbon Sorbents from D and DG Grade Coals

S. A. Shevyrev, S. S. Azikhanov, A. R. Bogomolov, and A. B. Kuznetsov

63

Heat and Mass Transfer and Properties of Working Fluids and Materials

The Vapor–Liquid Phase Equilibrium Line for Water within the Framework of the Renormalization Group Theory

S. V. Rykov, I. V. Kudryavtseva, V. A. Rykov, V. F. Ochkov, and E. E. Ustyuzhanin

72

Hydrogen-Accumulating Materials Based on Titanium and Iron Alloys (Review)

M. V. Lototsky, M. W. Davids, V. N. Fokin, E. E. Fokina, and B. P. Tarasov

85

Renewable Energy Sources, Hydropower

Studying the Possibility of Applying Barium-Strontium Cobaltite in Hydrogen Energy

*M. S. Paizullakhanov, N. Kh. Karshieva, F. N. Ernazarov,
S. M. Abduraimov, and S. S. Sabirov*

102

Errata

108

ВАЛИДАЦИЯ ЧИСЛЕННОЙ МОДЕЛИ РЕКОМБИНАТОРА ВОДОРОДА РВК-500

© 2024 г. **С. Г. Калякин^a, А. В. Кощеев^{a, *}, М. К. Седов^a, С. Л. Соловьев^a,
Е. В. Безгодов^b, В. В. Стаханов^b, В. А. Симоненко^b**

^aАО ВНИИАЭС, Ферганская ул., д. 25, Москва, 109507 Россия

^bФГУП “РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина”,
ул. Васильева, д. 13, а/я 245, г. Снежинск, Челябинская обл., 456770 Россия

*e-mail: avkoscheev@vniiaes.ru

Поступила в редакцию 07.09.2023 г.

После доработки 06.10.2023 г.

Принята к публикации 01.11.2023 г.

При возникновении тяжелых аварий на АЭС с легководным теплоносителем возможен выход большого количества водорода в результате пароциркониевой реакции. В целях исключения взрывных последствий, в помещениях защитной оболочки (ЗО) устанавливаются пассивные каталитические рекомбинаторы водорода (ПКРВ), предназначенные для его беспламенного удаления. Для обоснования водородной взрывобезопасности АЭС средствами компьютерного моделирования выполняются расчеты состояния парогазовой атмосферы внутри ЗО с учетом наличия ПКРВ. Для валидации расчетных моделей рекомбинаторов необходимы экспериментальные данные. В статье представлены результаты сравнения опытных и расчетных данных по характеристикам рекомбинатора водорода РВК-500. Дается краткое описание экспериментального стенда БМ-П, на котором впервые в России удалось исследовать работу промышленного рекомбинатора в нештатных режимах работы (режимы старта и режимы с натеканием потока). Для моделирования нештатных режимов работы рекомбинатора используется CFD-модель, описывающая течение внутри рекомбинатора в упрощенной постановке (на основе объемных источников энергии и концентрации компонентов парогазовой среды). Представлено описание CFD-модели, используемой для решения задачи моделирования работы стенда БМ-П с установленным (внутри измерительной камеры) рекомбинатором РВК-500. Для экспериментального режима с натеканием потока проведено детальное сравнение с результатами расчетов, выполненных для точек размещения датчиков (температуры и концентрации компонентов парогазовой среды). Совокупно для семи экспериментальных режимов, включая режим штатной работы рекомбинатора в условиях “покоящейся” среды, сопоставлены расчетные и экспериментальные данные по производительности рекомбинатора.

Ключевые слова: рекомбинатор водорода, валидация CFD-модели, водородная взрывобезопасность, моделирование аварий, эксперимент, АЭС

DOI: 10.56304/S0040363624030020

Validation of the Numerical Model of the RVK-500 Hydrogen Recombinator

S. G. Kalyakin^a, A. V. Koshcheev^{a, *}, M. K. Sedov^a, S. L. Solovyov^a, E. V. Bezgodov^b,
V. V. Stakhanov^b, and V. A. Simonenko^b

^a AO VNIIAES, Moscow, 109507 Russia

^b Zababakhin RFNC-VNIITF, Snezhinsk, Chelyabinsk oblast, 456770 Russia

*e-mail: avkoscheev@vniiaes.ru

Abstract—If severe accidents occur at nuclear power plants with light water coolant, large quantities of hydrogen may be released as a result of the zirconium-steam reaction. In order to avoid explosive consequences, passive catalytic hydrogen recombiners (PCHR) are installed in the containment building (CB) to remove hydrogen flamelessly. To substantiate the hydrogen explosion safety of nuclear power plants using computer modeling, calculations of the state of the vapor-gas atmosphere inside the CB are performed, taking into account the presence of PCHR. Experimental data are needed to validate computational models of recombinators. The article presents the results of a comparison of experimental and calculated data on the characteristics of the RVK-500 hydrogen recombiner. A brief description of the BM-P experimental stand is given, on which, for the first time in Russia, it was possible to study the operation of an industrial recombiner in abnormal operating modes (start modes and modes with leakage flow). To simulate abnormal operating modes of the recombinator, a CFD model is used, which describes the flow inside the recombinator in a simplified formulation (based on volumetric energy sources and the concentration of components of the vapor-gas medium). A description of the CFD model used to solve the problem of simulating the operation of the BM-P stand with the RVK-500 recombinator installed (inside the measuring chamber) is presented. For the experimental mode with leakage flow, a detailed comparison was carried out with the results of calculations performed using sensor readings (temperature and concentration of components of the vapor-gas medium). In total, calculated and experimental data on the performance of the recombinator were compared for seven experimental modes, including the normal operation mode of the recombiner under conditions of a “quiet” environment.

Keywords: hydrogen recombinator, CFD model validation, hydrogen explosion safety, accident modeling, experiment, nuclear power plant

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ АККУМУЛЯТОРА ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА В УСЛОВИЯХ ЕГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ В ЕДИНОМ ЭНЕРГОКОМПЛЕКСЕ С АЭС¹

© 2024 г. Р. З. Аминов^а *, М. В. Гариевский^а, Д. М. Аношин^а

^аСаратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина,
Политехническая ул., д. 77, г. Саратов, 410054 Россия

*e-mail: oepnan@inbox.ru

Поступила в редакцию 20.03.2023 г.

После доработки 31.07.2023 г.

Принята к публикации 30.08.2023 г.

В условиях роста доли атомных электростанций в энергосистемах европейской части России и дефицита маневренных генерирующих мощностей возникает необходимость привлечения АЭС к участию в покрытии переменной части графика электрических нагрузок. Использование аккумулирующих установок, таких как тепловые аккумуляторы фазового перехода, способные запасать тепловую энергию, получаемую от реакторных установок АЭС в часы спада нагрузки в энергосистеме, и расходовать ее в часы пиковых нагрузок для выработки электроэнергии, позволит повысить системную эффективность АЭС. На основе проведенного анализа выделены перспективные теплоаккумулирующие материалы (ТАМ) с фазовым переходом для эксплуатации в системах теплового аккумулирования при температурном режиме от 200 до 300°C, который обусловлен характеристиками паротурбинной установки АЭС, в том числе параметрами питательной воды и свежего пара. Для принятой схемы установки с аккумулятором фазового перехода (АФП) с повышением температуры питательной воды после подогревателей высокого давления двухконтурной АЭС разработаны методологические основы выбора конструктивных решений системы аккумулирования с нитратом лития в качестве теплоаккумулирующего материала. Методом конечных элементов в программном комплексе для ЭВМ проведено моделирование нестационарного теплообмена между этим материалом и водой для оребренных и неоребранных труб применительно к элементарной секции АФП. По результатам расчетов построены графики зависимости тепловой мощности секции от продолжительности разрядки АФП. Предложены способы расчета продолжительности разрядки АФП и массы необходимого теплоаккумулирующего материала при снижении тепловой мощности. Для схемы с дополнительной паротурбинной установкой мощностью 12 МВт (для энергоблоков АЭС с ВВЭР-1200) определены основные характеристики аккумулятора фазового перехода и эффективность предложенного решения при различной продолжительности разрядки АФП.

Ключевые слова: атомная электростанция, тепловое аккумулирование, аккумулятор фазового перехода, материал с фазовым переходом, математическое моделирование, метод конечных элементов

DOI: 10.56304/S0040363624030019

Development of Design Solutions for a Phase Transition Battery under Conditions of Its Operation in a Single Energy Complex with an NPP

R. Z. Aminov^{a, *}, M. V. Garievsky^a, and D. M. Anoshin^a

^a *Gagarin Saratov State Technical University, Saratov, 410054 Russia*

**e-mail: oepran@inbox.ru*

Abstract—Given the growing share of nuclear power plants in the energy systems of the European part of Russia and the shortage of flexible generating capacities, there is a need to attract nuclear power plants to participate in covering the variable part of the electrical load schedule. The use of storage units, such as phase change thermal accumulators, capable of storing thermal energy received from nuclear power plant reactor units during off-peak hours in the power system and using it during peak load hours to generate electricity will improve the system efficiency of nuclear power plants. Based on the analysis, promising heat storage materials (HSM) with a phase transition were identified for operation in thermal storage systems at temperatures from 200 to 300°C, which is determined by the characteristics of the steam turbine plant of a nuclear power plant, including the parameters of feed water and fresh steam. For the adopted installation scheme with a phase-change storage unit (PSU) with an increase in the temperature of the feed water after the high-pressure heaters of a double-circuit nuclear power plant, the methodological basis for choosing design solutions for the storage system with lithium nitrate as a heat-storing material has been developed. Using the finite element method in a computer software package, modeling of unsteady heat exchange between this material and water for finned and unfinned pipes was carried out in relation to the elementary section of PSU. Based on the calculation results, graphs of the dependence of the thermal power of the section on the duration of PSU discharge were constructed. Methods are proposed for calculating the duration of PSU discharge and the mass of the required heat-storing material when reducing thermal power. For a scheme with an additional steam turbine unit with a capacity of 12 MW (for NPP power units with VVER-1200), the main characteristics of the phase change accumulator and the effectiveness of the proposed solution for different PSU discharge durations are determined.

Keywords: nuclear power plant, thermal storage, phase change battery, phase change material, mathematical modeling, finite element method

УВЕЛИЧЕНИЕ МОЩНОСТИ АЭС С ВВЭР ПУТЕМ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА КОНТРОЛЯ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛОВОЙ ЭКОНОМИЧНОСТИ

© 2024 г. Ю. В. Смолкин^а, С. А. Канатов^б, Д. А. Соболев^а, Д. В. Степанов^а, Е. Н. Кулаков^а, *

^аНаучно-производственное объединение по исследованию и проектированию энергетического оборудования
им. И.И. Ползунова (НПО ЦКТИ), Атаманская ул., д. 3/6, Санкт-Петербург, 191167 Россия

^бАО «Атомтехэнерго», Московский филиал «Центратомтехэнерго», Воронцовский пер., д. 2, Москва, 109044 Россия

*e-mail: scheme@ckti.ru

Поступила в редакцию 03.08.2023 г.

После доработки 14.09.2023 г.

Принята к публикации 27.09.2023 г.

Контроль тепловой экономичности является важнейшим условием обеспечения эффективности работы АЭС. Для этого точность показаний измерительных приборов должна позволять определять фактические значения параметров тепловой схемы, тепловую экономичность и отклонения характеристик турбоустановки от нормативных показателей. Выполнена оценка погрешности определения тепловой мощности реактора с использованием теплофизических параметров активной зоны и параметров парогенератора. Показано, что наибольшая точность определения тепловой мощности реактора может быть достигнута лишь при повышении точности определения тепловой мощности парогенератора. Анализ показал, что погрешность определения тепловой мощности реактора более чем на 95% обусловлена погрешностью определения расхода питательной воды. Повышение точности определения тепловой мощности реактора обеспечит получение более точных данных о выработке электроэнергии при работе на номинальных параметрах в режиме заданной нейтронной мощности благодаря поддержанию реальной тепловой мощности реакторной установки, наиболее близкой к проектному значению, а также увеличит диапазон доступных для эксплуатации мощностей при работе в режиме поддержания заданной электрической мощности за счет увеличения ее максимального значения. Одним из критериев экономической эффективности работы АЭС при заданном периоде работы является максимум ее энерговыработки. С помощью разработанной математической модели турбоустановки АЭС-2006 (ВВЭР-1200) выявлены влияние погрешности определения параметров тепловой схемы на электрическую мощность энергоблока и те параметры, которые в наибольшей степени влияют на погрешность оценки электрической мощности. На основе анализа влияния погрешности определения теплотехнических параметров турбины, промежуточной сепарации и перегрева пара, регенерации высокого и низкого давления, низкопотенциальной части турбоустановки получена общая погрешность определения электрической мощности. Эти данные позволяют сформулировать требования к погрешности измерения расхода, температуры и давления в зависимости от допустимой погрешности оценки электрической мощности. Анализ эксплуатационных данных энергоблоков ЛАЭС-2, НВАЭС-2 и БелАЭС показал, что потенциал увеличения электрической мощности при повышении точности определения параметров тепловой схемы составляет 10–15 МВт.

Ключевые слова: АЭС, турбоустановка, тепловая экономичность, параметры, погрешность измерения, мощность энергоблока, экономическая эффективность, измерительные приборы

DOI: 10.56304/S0040363624030093

Increasing the Power Output of VVER-Based NPPs through More Accurately Monitoring the Thermal Efficiency Indicators

Yu. V. Smolkin^a, S. A. Kanatov^b, D. A. Sobolev^a, D. V. Stepanov^a, and E. N. Kulakov^a, *

^a *Polzunov Research and Production Association for Investigation and Design of Power-Generating Equipment (NPO TsKTI),
St. Petersburg, 191167 Russia*

^b *AO Atomtekhnenergo, Moscow Branch, Tsentratomtekhnenergo, 109044 Russia*

**e-mail: scheme@ckti.ru*

Abstract—Monitoring of thermal efficiency is of utmost importance for securing efficient NPP operation. To this end, the measurement instruments should have accuracy sufficient for the possibility of determining the actual values of thermal cycle circuit parameters, thermal efficiency, and deviations of the turbine set characteristics from their standardized indicators. The error with which the reactor thermal power is determined using the reactor core thermal-physical parameters and the steam generator parameters is estimated. It is shown that the best accuracy of determining the reactor thermal power can only be achieved through improving the accuracy of determining the steam generator thermal power. An analysis has shown that the error of determining the reactor thermal power is by more than 95% due to the error of determining the feed water flowrate. If we succeed in achieving more accurate determination of the reactor thermal power, it will be possible to obtain more accurate data on the electricity generation during operation at the nominal parameters in the mode with a specified neutron power due to maintaining of the reactor plant's actual thermal power closest to its design value; in addition, it will be possible to extend the range of power outputs available for operation during operation in the mode of maintaining the specified electric power output by increasing its maximal value. Given the specified period of NPP operation, the maximum of its energy production serves as one of the criteria for economically efficient NPP operation. By using the developed mathematical model of the turbine set used in the NPP constructed according to the AES-2006 conceptual design (with a VVER-1200 reactor), the authors have revealed the effect of the error of determining the thermal cycle circuit parameters on the power unit electric power output and the parameters that have the highest influence on the error of estimating the electric power output. The influence of the error of determining the turbine thermal parameters, moisture separation and steam reheating, high- and low-pressure regeneration, and the turbine set low-grade heat part was analyzed, and the total error of determining the electric power output has been obtained based on the analysis results. These data make it possible to formulate the requirements for the accuracy of flowrate, temperature, and pressure measurements depending on the allowable error of determining the electric power output. An analysis of the operational data of the Leningrad-2 NPP, Novovoronezh-2 NPP, and Belarussian NPP power units has shown that the potential of increasing the electric power output due to improved accuracy of determining the thermal cycle circuit parameters makes 10–15 MW.

Keywords: NPP, turbine set, thermal efficiency, parameters, measurement error, power unit output, economic efficiency, measurement instruments

**ПАРОТУРБИННЫЕ, ГАЗОТУРБИННЫЕ,
ПАРОГАЗОВЫЕ УСТАНОВКИ
И ИХ ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ**

**ВЫБОР УТИЛИЗАЦИОННОЙ ТУРБОУСТАНОВКИ ДЛЯ АВТОНОМНОГО
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ КОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЙ
МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ**

© 2024 г. В. Е. Михайлов^а, М. А. Верткин^а, *, С. Б. Есин^а, П. А. Кругликов^а,
Д. А. Соболев^а, Ю. Г. Сухоруков^а, Л. А. Хоменок^а

^аНаучно-производственное объединение по исследованию и проектированию энергетического оборудования
им. И.И. Ползунова (НПО ЦКТИ), Атаманская ул., д. 3/6, Санкт-Петербург, 191167 Россия

*e-mail: VertkinMA@ckti.ru

Поступила в редакцию 04.07.2023 г.

После доработки 07.08.2023 г.

Принята к публикации 30.08.2023 г.

Рассмотрены два варианта исполнения утилизационной турбоустановки (УТУ), вырабатывающей электроэнергию для автономного электроснабжения компрессорных станций магистральных газопроводов (КСМГП) на тепле выхлопных газов приводных газотурбинных двигателей (ГТД) газоперекачивающих агрегатов (ГПА). В качестве рабочего тела утилизационного контура в одной из двух УТУ используется октафторциклобутан (C_4F_8 , техническое обозначение RC318), в другой – выхлопные газы ГТД ГПА. Октафторциклобутановая УТУ – трехконтурная, в ней имеются три турбины, три рекуператора, три подогревателя RC318 и один общий конденсатор. В альтернативном варианте УТУ выполнена в виде газовой вакуумной ГТУ, содержащей газовую турбину перерасширения, сообщающуюся на входе по рабочему телу с выхлопом ГТД ГПА, охладители отработанных газов, компрессор охлажденных газов и дымосос. Мощность данной УТУ, избыточная по сравнению с текущим электропотреблением на КСМГП, используется для создания разрежения на выхлопе газовой турбины ГТД ГПА. Представлены результаты сопоставительных балансовых расчетов параметров и показателей обеих УТУ применительно к ГТД ГПА “Урал” мощностью 16 МВт, проведенных с уточненными исходными данными и с использованием одной и той же библиотеки программ расчета термодинамических параметров рабочих тел RefProp (в высокоуровневом интерфейсе CoolProp). Показано, что более компактная и более простая в реализации газовая УТУ (с газовой турбиной перерасширения), уступая октафторциклобутановой УТУ в мощности, способна, тем не менее, полностью обеспечить потребности КСМГП в электроэнергии высокого качества, а также решить проблему замещения импортных газопоршневых и дизельных генераторов на КСМГП в кратчайшие сроки и с наименьшими капитальными и эксплуатационными затратами.

Ключевые слова: утилизационная турбоустановка, автономное электроснабжение компрессорных станций, импортозамещение, октафторциклобутан, газовая турбина перерасширения, первичное регулирование частоты вращения вала турбогенератора

DOI: 10.56304/S0040363624030044

Selection of a Heat-Recovery Turbine Unit for a Self-Contained Power Supply of Compressor Stations in Gas Mains

V. E. Mikhailov^a, M. A. Vertkin^{a, *}, S. B. Esin^a, P. A. Kruglikov^a, D. A. Sobolev^a,
Yu. G. Sukhorukov^a, and L. A. Khomenok^a

^a *Polzunov Scientific and Development Association on Research and Design of Power Equipment,
St. Petersburg, 191167 Russia*

**e-mail: VertkinMA@ckti.ru*

Abstract—Two design options for a heat-recovery turbine unit (HRTU), which generates electricity for self-contained power supply of gas mains' compressor stations (GMCSs) using the heat of exhaust gases from gas-turbine engines (GTEs) driving gas-pumping units (GPUs), are examined. The working fluid of the recovery circuit is octafluorocyclobutane (c-C₄F₈, engineering name is RC318) in one of the two HRTUs and the exhaust gases of GPU GTE in the other HRTU. The HRTU operating on RC318 has a three-circuit cycle, including three turbines, three recuperative heat exchangers, three RC318 heaters, and one common condenser. An alternative design of HRTU is a vacuum-type GTU consisting of an overexpansion gas turbine, whose inlet is connected with the exhaust of GPU GTE, exhaust gas coolers, a cooled gas compressor, and an induced-draft fan. The excess power of this HRTU above the current power demand at the GMCS is used to create a vacuum at the exhaust of the gas turbine of the GPU GTE. The results are presented of the comparative balance calculations of parameters and characteristics of both HRTUs as applied to a 16-MW Ural GPU GTE. They were performed using the updated initial data and the same software library RefProp (in the CoolProp high-level interface) for the calculation of thermodynamic parameters of working fluids. It has been demonstrated that a more compact and easier to implement gas-type HRTU (with an overexpansion gas turbine), although having a lower power than the RC318-type HRTU, can still fully cover the demand of the GMCS for high-quality power. The power of the gas turbine unit, which exceeds the current power consumption at the GMCS, can be utilized to cut down the fuel consumption by the GPU GTE and also to solve the problem of substituting imported gas piston and diesel generators at the GMCS within the shortest possible time and with the lowest capital and operating expenditures.

Keywords: heat-recovery turbine unit, self-contained power supply of compressor stations, import substitution, octo fluorocyclobutane, overexpansion gas turbine, primary control of turbine generator shaft speed

**ПАРОВЫЕ КОТЛЫ, ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ТОПЛИВО,
ГОРЕЛОЧНЫЕ УСТРОЙСТВА
И ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ КОТЛОВ**

**КОНЦЕПЦИЯ РЕГИОНАЛЬНОГО ТОПЛИВНОГО КОМПЛЕКСА
СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА
НА БАЗЕ ТЕПЛОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ**

© 2024 г. В. Б. Перов^а*, М. В. Федоров^б, О. О. Мильман^с**, Д. Н. Жедяевский^д,
А. Н. Вивчар^е,^и, А. А. Ивановский^ф, А. В. Охлопков^е, К. С. Никишов^е, А. В. Сказочкин^г,^h

^аНаучно-производственное внедренческое предприятие “Турбокон”,
ул. Комсомольская Роцца, д. 43, г. Калуга, 248010 Россия

^бООО “Газпром энергохолдинг”, ул. Шкиперский Проток, д. 12, корп. 2, стр. 1, Санкт-Петербург, 199106 Россия

^сКалужский государственный университет им. К.Э. Циолковского,
ул. Степана Разина, д. 26, г. Калуга, 248023 Россия

^дРоссийский государственный университет нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина,
Ленинский просп., д. 65, Москва, 119991 Россия

^еПАО “Мосэнерго”, просп. Вернадского, д. 101, корп. 3, Москва, 119526 Россия

^фПАО “Силовые машины”, ул. Ватутина, д. 3, Лит. А, Санкт-Петербург, 195009 Россия

^гООО “Криокон”, ул. Комсомольская Роцца, д. 43, г. Калуга, 248010 Россия

^hООО “ТЕРМОКОН”, ул. Комсомольская Роцца, д. 43, г. Калуга, 248010 Россия

^иРоссийский университет дружбы народов, ул. Миклухо-Маклая, д. 6, Москва, 117198 Россия

*e-mail: perov@turboconkaluga.ru

**e-mail: turbocon@kaluga.ru

Поступила в редакцию 09.06.2023 г.

После доработки 19.08.2023 г.

Принята к публикации 30.08.2023 г.

Предложена концепция создания на базе тепловых электростанций региональных топливных комплексов сжиженного природного газа (СПГ), обеспечивающих расширение и надежное функционирование рынка газового топлива. Концепция предусматривает перевод систем топливного резервирования объектов электроэнергетики на СПГ, который производится непосредственно на электростанциях, а также поставки СПГ с электростанций региональным потребителям. Приведено описание зарубежной установки для гашения пиков газопотребления – наиболее близкого аналога электростанции с системой топливного резервирования на СПГ. Сравнительный технико-экономический анализ проектов создания мазутного хозяйства и системы резервного топлива на СПГ для ТЭЦ-22 ПАО “Мосэнерго” показал, что при сопоставимых капитальных затратах резервирование с использованием СПГ может дать экономический эффект до 654 млн руб. в год в ценах 2023 г. Отмечено, что при наличии больших объемов хранения СПГ могут быть обеспечены пиковые отгрузки топлива потребителям, а нормативный запас будет восстановлен с помощью установки сжижения. Приведены данные для расчета затрат и инвестиций, необходимых для создания комплексов, гарантирующих поддержание нормативных аварийных запасов топлива в виде СПГ для энергоблока ПГУ-220 (1778 млн руб. без НДС). Предложена методика распределения затрат комплекса аварийного топлива, относимых на себестоимость электрической мощности и СПГ, реализуемого сторонним потребителям. Показано, что относительное увеличение капитальных затрат на возведение ПГУ-220 с аварийным топливом в виде СПГ по отношению к аналогичным затратам на энергоблок с аварийным дизельным топливом составляет 1%. Выполнена оценка себестоимости собственного производства СПГ. Экономия при первичном формировании нормативных аварийных запасов для энергоблока составила 72.45 млн руб. Сформулировано преимущество создания сети комплексов СПГ: запасы резервного и аварийного топлива на тепловых электростанциях обеспечивают надежное топливоснабжение региональных рынков.

Ключевые слова: сжиженный природный газ, тепловая электростанция, газомоторное топливо, дизельное топливо, мазут, резервное топливо, аварийное топливо, пиковое газопотребление, парогазовая установка, газотурбинная установка

Concept of a Regional Liquefied Natural Gas Fuel Complex Based on a Thermal Power Plant

V. B. Perov^{a,*}, M. V. Fedorov^b, O. O. Milman^{c,**}, D. N. Zhedyaevsky^d, A. N. Vivchar^{e,i},
A. A. Ivanovsky^f, A. V. Okhlopkov^e, K. S. Nikishov^e, and A. V. Skazochkin^{g,h}

^a Turbocon Scientific and Production Innovation Enterprise, Kaluga, 248010 Russia

^b OOO Gazprom Energoholding, St. Petersburg, 199106 Russia

^c Tsiolkovsky Kaluga State University, Kaluga, 248023 Russia

^d Gubkin University National University of Oil and Gas, Moscow, 119991 Russia

^e PAO Mosenergo, Moscow, 119526 Russia

^f PAO Power Machines, St. Petersburg, 195009 Russia

^g OOO Kryokon, Kaluga, 248010 Russia

^h OOO TERMOKON, Kaluga, 248010 Russia

ⁱ Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, 117198 Russia

*e-mail: perov@turboconkaluga.ru

**e-mail: turbocon@kaluga.ru

Abstract—A concept has been proposed for the creation of regional liquefied natural gas (LNG) fuel complexes on the basis of thermal power plants, ensuring the expansion and reliable functioning of the gas fuel market. The concept provides for the transfer of fuel reserve systems for electric power facilities to LNG, which is produced directly at power plants, as well as the supply of LNG from power plants to regional consumers. A description of a foreign installation for extinguishing gas consumption peaks is given: the closest analogue of a power plant with an LNG fuel backup system. A comparative technical and economic analysis of projects for the construction of a fuel oil facility and an LNG backup fuel system for CHPP-22 of PAO Mosenergo showed that, with comparable capital costs, backup using LNG can provide an economic effect of up to 654 million rubles per year at 2023 prices. If there are large volumes of LNG storage, peak fuel shipments to consumers can be ensured, and the standard reserve will be restored using a liquefaction unit. Data are provided for calculating the costs and investments required to create complexes that guarantee the maintenance of standard emergency fuel reserves in the form of LNG for the CCGT-220 power unit (RUB 1778 million excluding VAT). A methodology has been proposed for allocating the costs of a complex of emergency fuels, attributable to the cost of electric power and LNG sold to third-party consumers. It is shown that the relative increase in capital costs for the construction of CCGT-220 with emergency fuel in the form of LNG in relation to similar costs for a power unit with emergency diesel fuel is 1%. The cost of in-house LNG production has been assessed. Savings during the initial formation of standard emergency reserves for the power unit amounted to 72.45 million rubles. The advantage of creating a network of LNG complexes is formulated: reserve and emergency fuel reserves at thermal power plants provide a reliable fuel supply to regional markets.

Keywords: liquefied natural gas, thermal power plant, gas engine fuel, diesel fuel, fuel oil, backup fuel, emergency fuel, peak gas consumption, combined cycle gas plant, gas turbine plant

**ПАРОВЫЕ КОТЛЫ, ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ТОПЛИВО,
ГОРЕЛОЧНЫЕ УСТРОЙСТВА
И ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ КОТЛОВ**

**ПЕРСПЕКТИВЫ ПОЛУЧЕНИЯ УГЛЕРОДНЫХ СОРБЕНТОВ
ИЗ УГЛЕЙ МАРОК Д И ДГ¹**

© 2024 г. С. А. Шевырѐв^а, *, С. С. Азиханов^а, А. Р. Богомолов^а, А. Б. Кузнецов^а

^аКузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева,
Весенняя ул., д. 28, г. Кемерово, 650000 Россия

*e-mail: ssa.pmahp@kuzstu.ru

Поступила в редакцию 23.07.2023 г.

После доработки 28.08.2023 г.

Принята к публикации 30.08.2023 г.

Промышленное получение углеродных сорбентов из углей является перспективным и актуальным направлением. В качестве исходного материала используется главным образом бурый уголь, который характеризуется высоким выходом летучих веществ и низкой зольностью. Определенный интерес для угольной промышленности представляет разработка технологии получения сорбентов из каменных углей низкой степени метаморфизма с большой удельной площадью поверхности, высокой адсорбционной активностью и низкой стоимостью. Существующие методики получения сорбентов из углей, соответствующих таким критериям, должны базироваться на различных теплофизических принципах воздействия на исходный материал. В работе исследовались одноступенчатая и двухступенчатая методики получения сорбентов из каменных углей марок Д и ДГ, добываемых в Кузбассе. Одноступенчатая методика заключалась в паровой газификации исходного материала в кипящем слое. Двухступенчатая методика базировалась на предварительной декарбонизации в муфельной печи с последующей активацией перегретым водяным паром в кипящем слое. В результате экспериментальных исследований получены образцы углеродных сорбентов из каменных углей низкой степени метаморфизма. Анализ текстурных характеристик показал, что удельная площадь поверхности сорбентов составляет до 250 м²/г, адсорбционная активность – до 100 мг/г. Установлено, что состав минеральной массы исходных углей существенно влияет на адсорбционную активность получаемых сорбентов. Оценки показывают, что чем выше индекс основности золы, тем более высокой адсорбционной активностью обладает получаемый углеродный сорбент. При одноступенчатой методике получения сорбентов из каменного угля марок Д и ДГ в кипящем слое достигается довольно высокая удельная площадь поверхности при относительно низкой адсорбционной активности в сравнении с двухступенчатой методикой.

Ключевые слова: энергетический уголь, паровая газификация, текстурные характеристики, удельная площадь поверхности, адсорбционная активность, сорбент, минеральная масса, индекс основности золы

DOI: 10.56304/S0040363624030081

Prospects for Obtaining Carbon Sorbents from D and DG Grade Coals

S. A. Shevyrev^{a, *}, S. S. Azikhanov^a, A. R. Bogomolov^a, and A. B. Kuznetsov^a

^a Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo, 650000 Russia

*e-mail: ssa.pmahp@kuzstu.ru

Abstract—The industrial production of carbon sorbents from coal is a promising and relevant direction. The starting material is mainly brown coal, which is characterized by a high yield of volatile substances and low ash content. Of particular interest to the coal industry is the development of technology for producing sorbents from low-grade coals with a large specific surface area, high adsorption activity, and low cost. Existing methods for producing sorbents from coals that meet such criteria should be based on various thermophysical principles of influence on the source material. The work investigated one-stage and two-stage methods for producing sorbents from coal grades D and DG mined in Kuzbass. The one-stage technique consisted of steam gasification of the starting material in a fluidized bed. The two-stage technique was based on preliminary decarbonization in a muffle furnace followed by activation with superheated water vapor in a fluidized bed. As a result of experimental studies, samples of carbon sorbents were obtained from coals of low metamorphism. Analysis of textural characteristics showed that the specific surface area of the sorbents is up to 250 m²/g and adsorption activity up to 100 mg/g. It has been established that the composition of the mineral mass of the original coals significantly affects the adsorption activity of the resulting sorbents. Estimates show that the higher the ash basicity index, the higher the adsorption activity of the resulting carbon sorbent. With a one-stage method for producing sorbents from coal grades D and DG in a fluidized bed, a fairly high specific surface area is achieved with a relatively low adsorption activity in comparison with a two-stage method.

Keywords: thermal coal, steam gasification, textural characteristics, specific surface area, adsorption activity, sorbent, mineral mass, ash basicity index

**ТЕПЛО- И МАССООБМЕН,
СВОЙСТВА РАБОЧИХ ТЕЛ И МАТЕРИАЛОВ**

**ЛИНИЯ ФАЗОВОГО РАВНОВЕСИЯ ВОДЫ “ГАЗ – ЖИДКОСТЬ”
В РАМКАХ ТЕОРИИ РЕНОРМАЛИЗАЦИОННОЙ ГРУППЫ**

© 2024 г. С. В. Рыков^a*, И. В. Кудрявцева^a, В. А. Рыков^a, В. Ф. Очков^b, Е. Е. Устюжанин^b

^aУниверситет ИТМО, Кронверкский просп., д. 49, Санкт-Петербург, 197101 Россия

^bНациональный исследовательский университет “Московский энергетический институт”,
Красноказарменная ул., д. 14, Москва, 111250 Россия

*e-mail: togg1@yandex.ru

Поступила в редакцию 04.07.2023 г.

После доработки 01.09.2023 г.

Принята к публикации 27.09.2023 г.

Предложена система уравнений, которая включает функции, описывающие свойства на линии насыщения (давление, плотность пара и жидкости, производную от давления насыщенного пара, теплоту парообразования и др.). Эта система удовлетворяет требованиям теории ренормализационной группы. Модель линии насыщения, входящая в систему уравнений, в окрестности критической точки согласуется с гипотезой Янга – Янга. Для описания плотности насыщенного пара привлечено уравнение Клапейрона – Клаузиуса. При построении системы уравнений использованы комплексы, которые характеризуют поведение среднего диаметра линии насыщения. Значения комплексов выбраны в соответствии с рекомендациями Wang и др. для асимметричных систем. В рамках предложенной модели линии фазового равновесия воды использованы критические индексы, рассчитанные на основе методов масштабной теории критической точки. С помощью системы уравнений получены численные значения показателей свойств воды в диапазоне от температуры в тройной точке до критической температуры. Неопределенность указанных значений удовлетворительно согласуется с неопределенностью соответствующих данных о свойствах, рассчитанных Wagner и Pruss в диапазоне от температуры тройной точки до критической температуры, и известных опытных данных. Проведено сравнение различных моделей линии насыщения и линии упругости. Показано, что предложенная система уравнений с меньшей неопределенностью передает имеющуюся экспериментальную информацию о равновесных свойствах воды, чем известные модели. Представляет интерес информация о диаметре, который рассчитан на основе системы уравнений в широком интервале относительных температур, включая окрестность критической точки. Обсуждается поведение среднего диаметра, рассчитанного в рамках различных моделей, вблизи тройной точки.

Ключевые слова: вода, давление насыщенного пара, линия насыщения, средний диаметр, уравнение Клапейрона – Клаузиуса, критические индексы, тройная точка, критические параметры, плотность, IAPWS-IF97

DOI: 10.56304/S004036362403007X

The Vapor–Liquid Phase Equilibrium Line for Water within the Framework of the Renormalization Group Theory

S. V. Rykov^{a, *}, I. V. Kudryavtseva^a, V. A. Rykov^a, V. F. Ochkov^b, and E. E. Ustyuzhanin^b

^a *ITMO University, St. Petersburg, 197101 Russia*

^b *National Research University Moscow Power Engineering Institute, Moscow, 111250 Russia*

**e-mail: togg1@yandex.ru*

Abstract—The article proposes an equation system that includes functions describing the properties at the saturation line (pressure and density of vapor and liquid, saturated vapor pressure derivative, heat of vaporization, etc.). This system satisfies the requirements of the renormalization group theory. The saturation line model included in the equation system is in consistency with the Yang–Yang hypothesis in the critical point neighborhood. For describing the saturated vapor density, the Clausius–Clapeyron equation is involved. In writing the equation system, complexes characterizing the saturation line mean diameter behavior were used. The values of the complexes were selected in accordance with the recommendations suggested by Wang et al. for asymmetrical systems. Within the framework of the proposed water phase equilibrium line model, the critical indices were used, which were calculated on the basis of the critical point scale theory methods. Using the equation system, numerical values of the water property indicators are obtained in the range from the triple point temperature to the critical temperature. The uncertainty of the above-mentioned values is in satisfactory agreement with the uncertainty of the corresponding data on the properties calculated by Wagner and Pruss in the range from the triple point temperature to the critical temperature and the known experimental data. Various models of the saturation line and elasticity curve are compared with each other. It is shown that the proposed equation system conveys the available experimental information on the equilibrium water properties with a smaller uncertainty than the known models do. The information on the diameter calculated on the basis of the equation system in a wide interval of relative temperatures, including the critical point neighborhood, is of interest. The behavior of the mean diameter calculated near the triple point within the framework of different models is discussed.

Keywords: water, saturated vapor pressure, saturation line, mean diameter, Clausius–Clapeyron equation, critical indices, triple point, critical parameters, density, IAPWS-IF97

ТЕПЛО- И МАССООБМЕН,
СВОЙСТВА РАБОЧИХ ТЕЛ И МАТЕРИАЛОВ

ВОДОРОДАККУМУЛИРУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ СПЛАВОВ
ТИТАНА С ЖЕЛЕЗОМ (ОБЗОР)¹

© 2024 г. М. В. Лотоцкий^{a, b}, М. В. Дэвидс^b, В. Н. Фокин^a, Э. Э. Фокина^a, Б. П. Тарасов^{a, c, d, *}

^aФедеральный исследовательский центр проблем химической физики и медицинской химии РАН,
просп. Академика Семенова, д. 1, г. Черноголовка, Московская обл., 142432 Россия

^bHuSA Systems Centre of Competence, University of the Western Cape, Robert Sobukwe Rd., Bellville, 7535 South Africa

^cНациональный исследовательский университет “Высшая школа экономики”,
Мясницкая ул., д. 20, Москва, 101000 Россия

^dМосковский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
Ленинские горы, д. 1, Москва, 119991 Россия

*e-mail: tarasov@icp.ac.ru

Поступила в редакцию 16.08.2023 г.

После доработки 26.09.2023 г.

Принята к публикации 27.09.2023 г.

Разработка компактных, безопасных и эффективных методов хранения водорода является одной из ключевых проблем водородной энергетики. Используемые в настоящее время технологии хранения водорода в виде сжатого газа или криогенной жидкости требуют значительных капиталовложений и расходов на обслуживание компрессорного и криогенного оборудования, характеризуются высокими энергозатратами, при их реализации необходимы особые меры по обеспечению безопасности, а также применение водородно-нейтральных конструкционных материалов. Перспективным путем решения указанных проблем для среднемасштабных систем хранения является использование металлгидридов, обеспечивающих наиболее простое в исполнении, компактное и безопасное, по сравнению с традиционными методами, хранение водорода. Однако высокая стоимость гидридообразующих материалов сдерживает реализацию данного подхода. Применение сплавов на основе интерметаллида TiFe позволило бы снизить расходы на металлгидридное хранение водорода более чем в 5 раз. Это обстоятельство является причиной растущего интереса специалистов в области водородных энерготехнологий к водород аккумулялирующим материалам на основе сплавов титана с железом. Хотя системы водорода с интерметаллидом TiFe и его производными изучаются более 50 лет, в последние годы поиск путей повышения устойчивости их водородсорбционных характеристик к отравлению кислородсодержащими примесями в газовой и твердой фазах приобрел особую актуальность. В настоящей статье приводится обзор исследований и разработок, направленных на получение, исследование свойств и применение сплавов титана с железом с улучшенными водородсорбционными характеристиками. Проведен анализ данных, представленных в научной литературе, сформулированы подходы к разработке высокоэффективных гидридообразующих материалов на базе интерметаллида TiFe и систем хранения водорода на их основе.

Ключевые слова: водородная энергетика, водородное материаловедение, хранение водорода, гидриды металлов, сплавы титана с железом, интерметаллиды, водородсорбционные свойства, металлгидридные технологии

DOI: 10.56304/S0040363624030032

Hydrogen-Accumulating Materials Based on Titanium and Iron Alloys (Review)

M. V. Lototsky^{a, b}, M. W. Davids^b, V. N. Fokin^a, E. E. Fokina^a, and B. P. Tarasov^{a, c, d, *}

^a *Federal Research Center for Problems of Chemical Physics and Medical Chemistry, Russian Academy of Sciences, Chernogolovka, Moscow oblast, 142432 Russia*

^b *HySA Systems Center of Competence, University of the Western Cape, Bellville, 7535 South Africa*

^c *National Research University Higher School of Economics, Moscow, 101000 Russia*

^d *Moscow State University, Moscow, 119991 Russia*

**e-mail: tarasov@icp.ac.ru*

Abstract—The development of compact, safe, and efficient methods for storing hydrogen is one of the key problems of hydrogen energy. Currently used technologies for storing hydrogen in the form of compressed gas or cryogenic liquid require significant capital investments and maintenance costs for compressor and cryogenic equipment, are characterized by high energy costs, and their implementation requires special safety measures as well as the use of hydrogen-neutral structural materials. A promising way to solve these problems for medium-scale storage systems is the use of metal hydrides, which provide the simplest, most compact, and safe hydrogen storage compared to traditional methods. However, the high cost of hydride-forming materials hinders the implementation of this approach. The use of alloys based on the TiFe intermetallic compound would reduce the costs of metal hydride hydrogen storage by more than five times. This circumstance is the reason for the growing interest of specialists in the field of hydrogen energy technologies in hydrogen-storage materials based on titanium-iron alloys. Although hydrogen systems with the TiFe intermetallic compound and its derivatives have been studied for more than 50 years, the search for ways to increase the resistance of their hydrogen sorption characteristics to poisoning by oxygen-containing impurities in the gas and solid phases has become particularly relevant in recent years. This article provides an overview of research and development aimed at obtaining, studying the properties, and using titanium-iron alloys with improved hydrogen sorption characteristics. An analysis of the data presented in the scientific literature is presented, and approaches to the development of highly efficient hydride-forming materials based on the TiFe intermetallic compound and hydrogen-storage systems based on them are formulated.

Keywords: hydrogen energy, hydrogen materials science, hydrogen storage, metal hydrides, titanium-iron alloys, intermetallic compounds, hydrogen sorption properties, metal hydride technologies

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КОБАЛЬТИТА БАРИЯ-СТРОНЦИЯ В ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ¹

© 2024 г. М. С. Пайзуллаханов^{a, *}, Н. Х. Каршиева^a,
Ф. Н. Эрназаров^a, С. М. Абдураимов^a, С. С. Сабиров^b

^aИнститут материаловедения Академии наук Республики Узбекистан,
ул. Чингиза Айтматова, д. 2Б, г. Ташкент, 100084 Узбекистан

^bФерганский филиал Ташкентского университета информационных технологий,
ул. Мустакиллик, д. 185, г. Фергана, 150118 Узбекистан

*e-mail: fayz@bk.ru

Поступила в редакцию 13.06.2023 г.

После доработки 08.09.2023 г.

Принята к публикации 27.09.2023 г.

Исследованы анионодефицитные структуры на основе $\text{Sr}_{0.5}\text{Ba}_{0.5}\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_{3-\delta}$, синтезированные из расплава в потоке концентрированного солнечного излучения плотностью 100–200 Вт/см², созданного в большой солнечной печи (БСП). Брикеты в виде таблеток, изготовленные на основе стехиометрической смеси карбонатов и оксидов металлов ($\text{SrCO}_3 + \text{BaCO}_3 + \text{Co}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$), расплавлялись на водоохлаждаемом плавильном агрегате в фокальной зоне БСП. Капли расплава стекали в воду в таре, находившейся на 40 см ниже плавильного агрегата. Такие условия способствовали охлаждению расплава со скоростью 10³ К/с. Отливки измельчали до тонины помола 63 мкм, сушили при 673 К и из полученного порошка методом полусухого прессования (при давлении 100 МПа) формовали образцы в виде таблеток диаметром 20 мм и высотой 10 мм. Таблетки спекали в воздушной среде при температуре 1050–1250°C. Были изучены структура, водопоглощение, а также электрические свойства готовых образцов. Кристаллическая решетка материала имела структуру перовскита с параметром элементарной ячейки $a = 4.04 \times 10^{-10}$ м пространственной группы Pm3m. Область гомогенности составов $\text{Sr}_{0.5}\text{Ba}_{0.5}\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_{3-\delta}$ соответствовала интервалу $x = [0; 0.7]$, где x – количество элемента, вводимого взамен основного. Наиболее оптимальным по стабильности структуры и свойств был состав $\text{Sr}_{0.5}\text{Ba}_{0.5}\text{Co}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}\text{O}_{2.78}$. Средний размер кристаллитов полученных материалов равен 30–40 мкм. Зерна преимущественно имеют форму сферолитов и искривленных цилиндров. Образцы материала показали высокую стойкость к воздействию паров воды. Значения структурных параметров свидетельствуют о том, что материал из $\text{Sr}_{0.5}\text{Ba}_{0.5}\text{Co}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}\text{O}_{2.78}$ может быть использован в качестве катализатора при генерации водорода и синтез-газа посредством риформинга и окисления метана.

Ключевые слова: солнечная печь, синтез из расплава, концентрированный поток, генерация водорода, катализатор, синтез-газ, перовскитные каталитические структуры

DOI: 10.56304/S0040363624030056

Studying the Possibility of Applying Barium-Strontium Cobaltite in Hydrogen Energy

M. S. Paizullakhanov^{a, *}, N. Kh. Karshieva^a, F. N. Ernazarov^a, S. M. Abduraimov^a, and S. S. Sabirov^b

^a Institute of Materials Science, Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, Tashkent, 100084 Uzbekistan

^b Fergana Branch, Tashkent University of Information Technologies, Fergana, 150118 Uzbekistan

*e-mail: fayz@bk.ru

Abstract—Anion-deficient structures based on $\text{Sr}_{0.5}\text{Ba}_{0.5}\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_{3-\delta}$ synthesized from a melt in a stream of concentrated solar radiation with a density of 100–200 W/cm² created in a large solar furnace (LSF) were studied. Briquettes in the form of tablets made on the basis of a stoichiometric mixture of carbonates and metal oxides ($\text{SrCO}_3 + \text{BaCO}_3 + \text{Co}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$) were melted in a water-cooled melting unit in the LSF focal zone. Drops of the melt flowed into the water in a container located 40 cm below the melting unit. Such conditions contributed to the cooling of the melt at a rate of 10³ C/s. The castings were ground to a grinding fineness of 63 microns, dried at 673 K, and samples were molded from the resulting powder using semidry pressing (at a pressure of 100 MPa) in the form of tablets with a diameter of 20 mm and a height of 10 mm. The tablets were sintered in air at a temperature of 1050–1250°C. The structure, water absorption, and electrical properties of the finished samples were studied. The crystal lattice of the material had a perovskite structure with a unit cell parameter $A = 4.04 \times 10^{-10}$ m of space group Pm3m. The area of homogeneity of compositions $\text{Sr}_{0.5}\text{Ba}_{0.5}\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_{3-\delta}$ corresponded to the interval $x = [0; 0.7]$, where x is the amount of element introduced instead of the main one. The most optimal composition in terms of stability of structure and properties was $\text{Sr}_{0.5}\text{Ba}_{0.5}\text{Co}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}\text{O}_{2.78}$. The average crystallite size of the obtained materials is 30–40 μm. The grains are predominantly in the form of spherulites and curved cylinders. Samples of the material showed high resistance to water vapor. The values of structural parameters indicate that the material made from $\text{Sr}_{0.5}\text{Ba}_{0.5}\text{Co}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}\text{O}_{2.78}$ can be used as a catalyst in the generation of hydrogen and synthesis gas through reforming and oxidation of methane.

Keywords: solar oven, melt synthesis, concentrated flow, hydrogen generation, catalyst, synthesis gas, perovskite catalytic structures

ПОПРАВКА

к статье А. А. Фалькова, И. Н. Кулакова, Е. А. Слепневой
“Тепломассообмен и газораспределение
в пароводяном объеме с неконденсирующимся газом”

DOI: 10.56304/S0040363624030111

В статье А. А. Фалькова, И. Н. Кулакова, Е. А. Слепневой “Тепломассообмен и газораспределение в пароводяном объеме с неконденсирующимся газом”, опубликованной в № 11 за 2023 г. (DOI: 10.56304/S0040363623110061), подписанная подпись к рис. 5 должна выглядеть так:

Рис. 5. Поток испарения и охлаждение поверхности водяного объема ($p = 0.1$ МПа).
1 – результаты расчета потока испарения; 2 – охлаждение поверхности; 3 – экспериментальные данные