

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»

ВОПРОСЫ АТОМНОЙ НАУКИ И ТЕХНИКИ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

СЕРИЯ:
ФИЗИКА ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ

Издается с 1989 г.

ВЫПУСК 4

2020

Журнал «Вопросы атомной науки и техники» был учрежден в 1970 году Министерством среднего машиностроения СССР и включал в себя несколько серий по различным направлениям атомной отрасли. До 1989 года статьи по проблематике физики ядерных реакторов публиковались в выпусках «Физика и методы расчета ядерных реакторов» (с 1981 года, ИАЭ им. И. В. Курчатова) и «Динамика ядерно-энергетических установок» (НИИМеханики ННГУ) в составе серии «Физика и техника ядерных реакторов», а также в серии «Импульсные реакторы и простые критические сборки» (ВНИИЭФ). В настоящее время издание указанных выпусков и серии прекращено, и статьи по соответствующей тематике публикуются в журнале «Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика ядерных реакторов» (ВАНТ. ФЯР), учрежденном в 1989 году Национальным исследовательским центром «Курчатовский институт».

Свидетельство о регистрации средства массовой информации ВАНТ. ФЯР – ПИ № ФС77-66041 от 10.06.2016.

Международный классификатор – ISSN 0205-4671.

Подписной индекс 32067 в каталоге «Газеты. Журналы» Агентства «Роспечать».

Выходят пять выпусков в год.

Тематика журнала ВАНТ. ФЯР:

ядерные реакторы и ядерно-энергетические установки (ЯЭУ) различного типа и назначения, импульсные реакторы, критические сборки; теория ядерных реакторов и ЯЭУ, методы расчета, вычислительные программы; экспериментальные методы, приборы и установки; расчетно-теоретические и экспериментальные исследования ядерных реакторов и ЯЭУ; динамика ядерных реакторов и ЯЭУ, контроль и управление; ядерная безопасность; радиационная защита; радиационная безопасность; гидродинамика и теплообмен; физико-технические проблемы ЯЭУ; исследования характеристик материалов и их изменения под воздействием облучения; обеспечение безопасной эксплуатации АЭС и других ядерных установок; топливный цикл ядерной энергетики; отдельные аспекты и общие проблемы ядерной энергетики.

Тематика журнала соответствует специальностям 01.04.01, 01.04.14, 05.13.18, 05.14.03 и 05.26.05 Номенклатуры специальностей научных работников.

Рукописи, поступающие в редакцию журнала, рецензируются.

Журнал включен в Перечень рецензируемых научных изданий ВАК, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук.

Электронные копии журнала находятся в базе данных Научной электронной библиотеки www.elibrary.ru и на сайте НИЦ «Курчатовский институт» http://nrcki.ru/catalog/index.shtml?g_show=37331

Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ).

С 2011 года статьи из журнала публикуются в переводе на английский язык в специальных выпусках журнала «Physics of Atomic Nuclei» (перевод Российского журнала «Ядерная физика»), издаваемого компанией PLEIADES PUBLISHING Ltd (ISSN: 1063-7788 печатная версия, ISSN: 1562-692X электронная версия). Журнал «Physics of Atomic Nuclei», включая выпуски с переводными статьями из журнала «Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика ядерных реакторов», индексируется в Web of Science, SCOPUS, Science Citation Index, INIS Atomindex и др.

Редакционная коллегия:

Главный редактор – Ю. М. Семченков (НИЦ «Курчатовский институт»).

Заместители главного редактора: С. М. Зарицкий (НИЦ «Курчатовский институт»),

В. Ф. Колесов (ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»), В. М. Махин (АО ОКБ «ГИДРОПРЕСС»).

Секретариат: Е. А. Старостина (НИЦ «Курчатовский институт»), Е. В. Куличкова (ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»), Н. А. Ясколко (АО ОКБ «ГИДРОПРЕСС»).

Члены редколлегии: П. Н. Алексеев, Е. В. Бурлаков, В. Е. Велихов, А. Ю. Гагаринский, А. А. Ковалишин,

Н. Е. Кухаркин, М. П. Лизоркин, В. А. Павшук, В. А. Сидоренко (НИЦ «Курчатовский институт»);

С. В. Воронцов, А. С. Кошелев, В. Х. Хоружий (ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»);

А. В. Лукин, Ю. А. Соколов (ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ»);

А. Н. Шмелев, Н. В. Щукин (НИЯУ МИФИ);

Ю. А. Безруков, А. А. Николаев, В. П. Семишкин, М. А. Увакин, А. Н. Чуркин (АО ОКБ «ГИДРОПРЕСС»).

При перепечатке и цитировании ссылка на журнал обязательна.

Перепечатка материалов допускается только с письменного разрешения редакции.

СОДЕРЖАНИЕ

Пикулев А. А., Волгутов В. Ю., Шлячков Н. А., Юнин Д. А., Дягель А. Р., Жилкина О. А., Беспалова Е. Н., Голубева В. Н. Разработка и испытания макета системы ката- литической рекомбинации радиолитического газа, образующегося в топливном растворе исследовательских ядерных реакторов	4
Колесов В. Ф., Ганичев А. Н. Оперативный анализ флуктуаций мощности в реакторах со слабым источником	17
Сизов А. Н., Гречушкин В. Б., Хоружий В. Х. Радиолитическое кипение растворного гомогенного реактора в статическом режиме работы	38
Демьянов С. А., Картанов С. А., Колесов В. Ф., Кораблев С. А., Лопухов Н. В., Пикулев А. А., Плузян К. Г., Сизов А. Н. Комплексный расчет растворного импульсного ядерного реактора ВИР-2М	44
Богомолова Л. С., Варавин Д. А., Дьянов Д. Ю., Казанцев А. В., Лопухов Н. В., Маслов Е. Е., Плужан К. Г., Романов В. И., Филатов П. Н., Шошин С. В. Расчеты динамического деформирования блоков реактора БР-К1М	68

CONTENTS

Pikulev A. A., Volgutov V. Yu., Shlyachkov N. A., Yunin D. A., Dyagel' A. R., Zhilkina O. A., Besspalova Ye. N., Golubeva V. N. Development and testing of a model of a system aimed at catalytic recombination of radiolytic gas formed in a fuel solution of research nuclear reactors	4
Kolesov V. F., Ganichev A. N. On-line analysis of power fluctuations in reactors with a weak source	17
Sizov A. N., Grechushkin V. B., Khoruzhy V. Kh. Radiolytic boiling during solution homogeneous reactor operation in static mode	38
Dem'yanov S. A., Kartanov S. A., Kolesov V. F., Korablev S. A., Lopukhov N. V., Pikulev A. A., Pluzyan K. G., Sizov A. N. Complex calculations of solution pulsed nuclear reactor VIR-2M	44
Bogomolova L. S., Varavin D. A., D'yanov D. Yu., Kazantsev A. V., Lopukhov N. V., Maslov Ye. Ye., Pluzyan K. G., Romanov V. I., Filatov P. N., Shoshin S. V. Dynamic deformation calculation of reactor BR-K1M blocks	68

УДК 621.039.541

РАЗРАБОТКА И ИСПЫТАНИЯ МАКЕТА СИСТЕМЫ КАТАЛИТИЧЕСКОЙ РЕКОМБИНАЦИИ РАДИОЛИТИЧЕСКОГО ГАЗА, ОБРАЗУЮЩЕГОСЯ В ТОПЛИВНОМ РАСТВОРЕ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ

А. А. Пикулев, В. Ю. Волгутов, Н. А. Шлячков, Д. А. Юнин, А. Р. Дягель, О. А. Жилкина, Е. Н. Беспалова, В. Н. Голубева

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

Статья поступила в редакцию 07.07.2020, после доработки – 30.09.2020, принята к публикации – 20.11.2020

Разработан макет системы каталитической рекомбинации (СКР) радиолитического газа, образующегося в топливном растворе гомогенного исследовательского ядерного реактора (ИЯР). Макет СКР состоит из каталитического блока, воздушного компрессора, конденсаторов паров воды, имитатора надтопливного пространства ИЯР, в котором происходит накопление водородно-кислородной смеси, и системы регистрации данных с датчиками водорода, давления и температуры. В каталитическом блоке использованы гранулированные палладиевые катализаторы промышленного изготовления и катализаторы, изготовленные в РФЯЦ-ВНИИЭФ. Проведены исследования эффективности каталитической рекомбинации водородно-кислородной смеси при скорости ее поступления $0,45 \text{ dm}^3/\text{min}$ и скоростях циркуляции парогазовой смеси в макете СКР $4,5$ и $9,0 \text{ dm}^3/\text{min}$ в зависимости от количества каталитических сегментов в каталитическом блоке. Установлена динамика изменения концентрации водорода до и после каталитического блока, давления в газовом контуре макета СКР и температуры каталитических сегментов.

Ключевые слова: растворные ядерные реакторы, радиолиз топливного раствора, система каталитической рекомбинации водорода, испытательный стенд, каталитический блок, палладиевый катализатор, каталитическая утилизация радиолитического газа.

DEVELOPMENT AND TESTING OF A MODEL OF A SYSTEM AIMED AT CATALYTIC RECOMBINATION OF RADIOLYTIC GAS FORMED IN A FUEL SOLUTION OF RESEARCH NUCLEAR REACTORS / A. A. PIKULEV, V. Yu. VOLGUTOV, N. A. SHLYACHKOV, D. A. YUNIN, A. R. DYAGEL', O. A. ZHILKINA, Ye. N. BESPALOVA, V. N. GOLUBEVA // There is developed a model of a system aimed at catalytic recombination of radiolytic gas (SKR) formed in a fuel solution of a homogeneous research nuclear reactor (IYaR). The model of SKR consists of a catalytic block, air compressor, air vapor condenser, IYaR above-fuel space simulator where there takes place accumulation of hydrogen-oxygen mixture and the systems of data registration with hydrogen, pressure and temperature sensors are applied. In the catalytic block there are used industrially prepared granular palladium catalysts as well as catalysts produced in RFNC-VNIIEF. There were performed the researches of efficiency of hydrogen-oxygen mixture catalytic recombination at a rate of its ingress equal to $0.45 \text{ dm}^3/\text{min}$ and circulation rates of vapor-gas mixture in the SKR model equal to 4.5 и $9.0 \text{ dm}^3/\text{min}$ depending on the number of catalytic segments in the catalytic block. There was determined the dynamics of hydrogen concentration variation ahead of and behind the catalytic block, pressure in the gas contour and temperature in the catalytic segments.

Key words: solution nuclear reactors, fuel solution radiolysis, system of hydrogen catalytic recombination, test-bench, catalytic block, palladium catalyst, catalytic utilization of radiolytic gas.