

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»
ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»

ВОПРОСЫ АТОМНОЙ НАУКИ И ТЕХНИКИ

СЕРИЯ:
Физика
ядерных реакторов
ВЫПУСК

2013

3

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»

ВОПРОСЫ АТОМНОЙ НАУКИ И ТЕХНИКИ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СБОРНИК

СЕРИЯ:

ФИЗИКА ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ

Издается с 1989 г.

ВЫПУСК 3

ИМПУЛЬСНЫЕ РЕАКТОРЫ
И ПРОСТЫЕ КРИТИЧЕСКИЕ СБОРКИ

Издается с 1985 г.

Москва – 2013

Сборник «Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика ядерных реакторов» включен в Перечень ведущих изданий Высшей аттестационной комиссии.

Выпуск «Импульсные реакторы и простые критические сборки» серии «Физика ядерных реакторов» подготавливается Российским федеральным ядерным центром - ВНИИЭФ.

Подписной индекс 32067 с 2010 г. в каталоге «Газеты. Журналы» ОАО Агентство «Роспечать».

Статьи из сборника «ВАНТ. Серия: Физика ядерных реакторов» публикуются в переводе на английский язык в специальных выпусках «Voprosy Atomnoi Nauki i Tekhniki. Seriya: Fizika Yadernykh Reaktorov» журнала «Physics of Atomic Nuclei» (перевод российского журнала «Ядерная физика»), издаваемого PLEIADES PUBLISHING и распространяемого издательством Springer (ISSN 1063-7788).

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются. При перепечатке и цитировании ссылка на сборник ВАНТ обязательна. Перепечатка материалов допускается только с письменного разрешения редакции.

Редакционная коллегия серии

Главный редактор **Ю. М. Семченков** (НИЦ «Курчатовский институт»);
 Заместители главного редактора **С. М. Зарицкий** (НИЦ «Курчатовский институт»),
В. Ф. Колесов (ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»), **А. Е. Крошили** (ОАО «ВНИИАЭС»),
В. В. Пчелин (НИЦ «Курчатовский институт»);
 Ответственный секретарь **Е. А. Старостина** (НИЦ «Курчатовский институт»);
 Члены редколлегии **П. Н. Алексеев, Е. В. Бурлаков, А. Ю. Гагаринский,**
М. П. Лизоркин, В. Д. Павлов, Я. И. Штроббах (НИЦ «Курчатовский институт»)

Редакционная коллегия выпуска

В. Ф. Колесов (главный редактор), **Е. В. Куличкова** (отв. секретарь),
С. В. Воронцов (зам. главного редактора), **А. В. Лукин, В. А. Павшук, А. С. Кошелев,**
В. А. Терехин, В. Х. Хоружий

В выпусках «Импульсные реакторы и простые критические сборки» публикуются статьи, охватывающие следующие конкретные проблемы:

- кинетика и динамика импульсных реакторов и бустеров аperiodического действия;
- конструкции и физические характеристики действующих или проектируемых импульсных реакторов;
- опыт эксплуатации импульсных реакторов;
- методики и результаты проводимых с помощью импульсных реакторов экспериментов;
- критические и другие нейтронно-физические характеристики простых сборок из делящихся веществ;
- использование интегральных экспериментов на простых критических сборках для проверки многогрупповых нейтронных констант;
- ядерная безопасность импульсных реакторов и простых критическихборок.

Materials related to the concrete topics described below are published in issues «Pulse Reactors and Simple Critical Assemblies»:

- kinetics and dynamics of pulse reactors and boosters of aperiodic action;
- designs and physical characteristics of working and projected pulse reactors;
- operational experience of pulse reactors;
- procedures and results of experiments performed with pulse reactors;
- critical and other neutron-physical characteristics of simple assemblies of fissile material;
- integral experiments as applied to simple critical assemblies to test multigroup neutron constants;
- nuclear safety of pulse reactors and simple critical assemblies.

© ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2013

© НИЦ «Курчатовский институт», 2013

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

Воронцов С. В., Кувшинов М. И.
Критические эксперименты на сборках с металлическим плутонием, выполненные в РФЯЦ-ВНИИЭФ 3

Маршалкин В. Е., Повышев В. М.
Расширенное воспроизводство ²³³U в торий-урановом топливном цикле в реакторах типа ВВЭР с использованием тяжелой воды 12

Колесов В. Ф.
Истоки неточностей в реактивности, определяемой с помощью обращенного решения уравнений кинетики 30

Воинов А. М., Кривonosов В. Н., Мельников С. П., Пикулев А. А., Сизов А. Н., Синянский А. А.
Лазеры с ядерной накачкой – устройства с прямым преобразованием ядерной энергии в лазерное излучение 46

Кошелев А. С., Хоружий В. Х.
Спектральные характеристики гамма-полей реакторных установок ВНИИЭФ 65

Богданов В. Н., Воронцов С. В., Гуменных Э. А., Девяткин А. А., Кайгородов А. А., Кувшинов М. И., Панин А. В., Финогеев С. В., Хоружий В. Х.
Экспериментальные и расчетные параметры сферических критическихборок с активной зоной из металлического плутония (²³⁹Pu(98 %)) в δ-фазе и отражателями из дюралюминия, свинца и вольфрама 83

Никитин И. А.
Некоторые вопросы проектирования исполнительных механизмов импульсных ядерных реакторов 94

Кошелев А. С., Хоружий В. Х.
Формирование импульса делений на мгновенных нейтронах реактора БР-1М в условиях высокой стартовой мощности 102

Модестов Д. Г.
О построении схемы расчета стационарного состояния реактора при использовании методов статистического моделирования 112

Модестов Д. Г.
Адаптивная схема решения уравнений выгорания ядерного топлива с оценкой равновесной концентрации короткоживущих ядер 120

Vorontsov S. V., Kuvshinov M. I.
Critical experiments on assemblies with metallic plutonium carried out at RFNC-VNIIEF 3

Marshalkin V. E., Povyshev V. M.
Breeding of ²³³U in a thorium-uranium fuel cycle in WWPR reactors employing heavy water 12

Kolesov V. F.
Background of uncertainties in reactivity determined with the aid of inverse solution of kinetics equations 30

Voinov A. M., Krivonosov V. N., Melnikov S. P., Pikulev A. A., Sizov A. N., Sinyanskiy A. A.
Nuclear-pumped lasers – devices with direct conversion of nuclear energy into laser radiation 46

Koshelev A. S., Khoruzhy V. Kh.
Gamma-field spectral characteristics of VNIIEF reactor facilities 65

Bogdanov V. N., Vorontsov S. V., Gumenykh E. A., Devyatkin A. A., Kaigorodov A. A., Kuvshinov M. I., Panin A. V., Finogeev S. V., Khoruzhy V. Kh.
Experimental and calculation parameters of spherical critical assemblies with a core of metal plutonium (²³⁹Pu (~98 %)) in δ-phase and reflectors of duraluminium, lead and tungsten 83

Nikitin I. A.
Some issues of designing actuating mechanisms of pulsed nuclear reactors 94

Koshelev A. S., Khoruzhy V. Kh.
Shaping of fission pulses on prompt neutrons of BR-1M reactor under high initial power 102

Modestov D. G.
Statistical modeling in steady-state reactor analysis 112

Modestov D. G.
An adaptive scheme for solving nuclear fuel depletion equations with the estimated equilibrium concentrations of short-lived nuclei 120

Безносов А. В., Новожилова О. О., Молодцов А. А., Ярмонов М. В., Боков П. А., Назаров А. В.
 Реакторные установки с горизонтальными парогенераторами 131

Алексеев А. В.
 Использование программы МУЗА для расчетного сопровождения экспериментов в исследовательских реакторах 135

Beznosov A. V., Novozhilova O. O., Molodtsov A. A., Yarmonov M. V., Bokov P. A., Nazarov A. V.
 Reactor plant with horizontal steam generators ... 131

Alekseev A. V.
 MUZA code employed for calculation support of experiments in research reactors 135

ВОПРОСЫ АТОМНОЙ НАУКИ И ТЕХНИКИ

Серия: Физика ядерных реакторов

Выпуск 3

Ответственный за выпуск В. Ф. Колесов

Редактор *Е. А. Мясоедова*

Компьютерная подготовка оригинала-макета *Н. А. Лештаева*

Подписано в печать 31.07.2013.	Формат 60 × 84/8
Офсетн. печ. Усл. печ. л. ~16,5	Уч.-изд. л. ~17,5
Тираж 200 экз. Зак. тип. 1104-2013.	12 статей

Отпечатано в ИПК ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»
 607188, г. Саров Нижегородской области

Правила оформления статей

(уточненные в соответствии с требованиями ВАК 2008 г. – выделены п/ж шрифтом)

При подготовке статьи в сборник автор должен руководствоваться стандартом «Оригиналы авторские и текстовые издательские» (ОСТ 29.115–88). К авторским оригиналам, передаваемым для издания, предъявляются следующие требования:

1. Экземпляр статьи должен быть первым, отпечатан на одной стороне листа формата А4 **шрифтом № 12 через 2 интервала**. Статья должна быть составлена в следующем порядке: индекс УДК; **заглавие; инициалы и фамилии авторов; место работы каждого автора с почтовым адресом; аннотация (не более 10 строк); ключевые слова** – все вышперечисленное **на русском и английском языках**; текст; список литературы; рисунки; подрисуночные подписи (на отдельном листе).

2. Статья должна также предоставляться обязательно **в виде электронной версии обычным шрифтом № 11 Times New Roman, междустрочный интервал – одинарный**, в редакторе Word 97 или более поздних версий. Текст не форматируется, в качестве имени файла используется ФИО первого автора статьи. **Кавычки** в тексте ставятся **при английской раскладке клавиатуры (“...”)**.

3. Содержание статьи должно быть кратким и четким. Исключаются общие рассуждения, известные положения. Не допускается дублирование материала в тексте, таблицах, подрисуночных подписях. Необходимо соблюдать единообразие в написании терминов, наименований физических величин и единиц измерения, условных обозначений, сокращений, символов. Наименования и обозначения единиц физических величин необходимо приводить в системе СИ.

Необходимо обращать внимание на **написание прописных и строчных букв: русские и греческие буквы (α, β, γ, φ и т. д.) набираются прямо, а латинские (x, y, z, w и т. д.) – курсивом**. Те же требования в обозначениях нужно соблюдать при написании индексов и степеней в формулах. **Обозначения матриц и векторов набираются полужирным шрифтом прямо**. Формулы, включенные в текст, следует набирать без увеличения интервала между строками, например, b/d , $\exp(x/e)$.

4. Таблицы нумеруются, **каждая таблица должна иметь заголовок**. Сокращения в графах таблицы не допускаются. В тексте необходимы ссылки на все таблицы. **Каждая таблица печатается на отдельном листе, а в электронном виде предоставляется отдельным файлом**.

5. Формулы и буквенные обозначения величин должны быть размечены и сразу расшифрованы. Формулы нумеруются арабскими цифрами, номер ставится с правой стороны листа в круглых скобках. **Нумеровать следует только те формулы и уравнения, на которые есть ссылка в последующем изложении**. Формулы выполняются в редакторе Equation 3.0 или MathType при невозможности набора на клавиатуре $\left(x_n^2, y_m^n, \sqrt{x}, \int_0^1 x, \frac{1}{y} \text{ и т. д.} \right)$. Подстрочные и надстрочные индексы вводятся с клавиатуры

(x_3 , км² и т. д.), греческие буквы вставляются через Меню *Вставка* → *символ*.

6. В тексте статьи рисунок обязательно предоставляется на отдельном листе формата не более А4. На рисунках допускается минимальное число обозначений – краткие цифровые (по порядку номеров слева направо или по часовой стрелке) или буквенные обозначения. Все пояснения выносятся в подрисуночные подписи. На обороте каждого рисунка указываются фамилии авторов, название статьи, номер рисунка, обозначения верха и низа. Внутренние надписи на рисунках набираются шрифтом № 10. Внизу каждого рисунка должны быть приведены его номер и подрисуночная подпись шрифтом № 11. При наличии нескольких различных графиков на одном рисунке каждый из них обозначается русскими буквами а), б), в) и т. д. и расшифровывается.

В электронном виде рисунки предоставляются отдельными файлами, выполненными в графических редакторах *Paint*, *PhotoShop*, *CorelDraw* в черно-белом цвете (фотографии – в растровом формате *tif*, *dpi-300*). Рисунки в Word не вставлять, кроме случаев, когда рисунок изначально выполнен в Word.

7. Ссылки на литературу в тексте даются по порядку, арабскими цифрами в квадратных скобках. **Список литературы составляется в той же последовательности, в которой приводятся ссылки на литературу.** Фамилии и инициалы авторов набираются полужирным курсивом.

8. Список литературы следует оформлять в соответствии с Государственным стандартом «Библиографическая ссылка» (ГОСТ Р 7.0.5–2008), в частности, необходимо указать :

а) для журнальных статей – фамилии и инициалы авторов (не менее трех первых), название статьи, название журнала (без кавычек), год, том, выпуск, номер страницы;

б) для книг – фамилии и инициалы авторов, полное название книги, место издания, издательство (без кавычек), год издания;

в) для авторефератов диссертаций – фамилию и инициалы автора, название автореферата диссертации, на соискание какой ученой степени написана диссертация, место и год защиты;

г) для препринтов – фамилии и инициалы авторов, название препринта, наименование издающей организации, шифр и номер, место и год издания;

д) для патентов – фамилии и инициалы авторов, название патента, страну, номер и класс патента, дату и год заявления и опубликования патента;

е) для отчетов – фамилии и инициалы авторов, название отчета, инвентарный №, наименование организации, год выпуска;

ж) для электронных источников – **полный электронный адрес (включая дату обращения к источнику)**, позволяющий обратиться к публикации.

9. **В конце текста перед списком литературы указывается контактная информация обо всех авторах статьи: фамилия, имя и отчество (полностью), должность, телефон, e-mail и по желанию автора – домашний почтовый адрес.**

Новая информация

для читателей научно-технического сборника
«Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика ядерных реакторов»!

Редколлегия сборника «ВАНТ. Сер.: Физика ядерных реакторов» информирует авторов и читателей, что начиная с 2011 г. в серии «Физика ядерных реакторов» издаются выпуски «Физика и методы расчета ядерных реакторов» (3 выпуска в год) и «Импульсные реакторы и простые критические сборки» (1 выпуск в год). Подписка на «ВАНТ. Сер.: Физика ядерных реакторов» с 2012 г. будет осуществляться только по каталогу «Газеты. Журналы» ОАО Агентство «Роспечать» (подписной индекс 32067).

ISSN 0205-4671. Вопросы атомной науки и техники.
Сер. Физика ядерных реакторов, 2013, вып. 3, 1-142