

УДК 621.039.51

DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2026.1.01>
Оригинальная статья / Original paper

Константное обеспечение расчетов реакторов на тепловых нейтронах типа ВВЭР

М.А. Калугин, А.П. Лазаренко, М.П. Лизоркин, Ю.М. Семченков, Д.А. Шкаровский

НИЦ «Курчатовский институт»,

123182 Россия, г. Москва, пл. Академика Курчатова, д. 1

Реферат. Рассматривается константное обеспечение нейтронно-физических расчетов реакторов ВВЭР, научным руководителем которых является НИЦ «Курчатовский институт». Показано, что функции научного руководителя реализуются с использованием аттестованных программных комплексов (КАСКАД 2007, Хортица-М и др.), в которых применяется двухуровневая система подготовки констант. Ключевую роль играет спектральная программа ТВС-М, разрабатываемая в НИЦ «Курчатовский институт» более 30-ти лет. Она основана на физической модели RT, использующей библиотеки БНАБ (надтепловая область), LIPAR (резонансные параметры) и ТЕПКОН (тепловая область). Программа обеспечивает высокую скорость расчетов (одна-две секунды на состояние ТВС) и необходимую точность. В заключении обосновывается необходимость отраслевой программы «Ядерные данные» для обеспечения национального суверенитета. Предлагается размещение файлов оцененных ядерных данных и процессинговых кодов в открытых российских репозиториях, а также их постоянное развитие, что критически важно для проектирования перспективных реакторов.

Ключевые слова: ВВЭР, нейтронно-физический расчет, ядерные константы, ТВС-М, библиотеки ядерных данных.

Для цитирования: Калугин М.А., Лазаренко А.П., Лизоркин М.П., Семченков Ю.М., Шкаровский Д.А. Константное обеспечение расчетов реакторов на тепловых нейтронах типа ВВЭР. *Известия вузов. Ядерная энергетика.* 2026;1:6–15. DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2026.1.01>

Введение

В настоящее время в России и за рубежом эксплуатируется более 60-ти блоков ВВЭР, в том числе Поколения «3+», ведется строительство новых блоков. НИЦ «Курчатовский институт» является научным руководителем реакторной установки и АЭС с ВВЭР в части ядерной и радиационной безопасности [1].

Ключевые функции научного руководителя (НР):

- научное руководство проектированием и пуском новых энергоблоков, сопровождение эксплуатации АЭС с реакторами ВВЭР;
- разработка концепции и принципов обеспечения безопасности АЭС;
- разработка и экспериментальное обоснование активной зоны и топливных циклов;
- разработка методов и расчетных программ в области нейтронной физики, теплогидравлики и динамики реакторных установок (РУ);
- разработка методов, средств и систем контроля и диагностики активной зоны;
- разработка методических подходов, обоснование характеристик водно-химического режима первого контура АЭС;
- разработка и обоснование методов управления тяжелыми авариями, а также руководств по управлению тяжелыми авариями;
- разработка документации и обоснование проектов.

Выполнение функций НР возможно исключительно при владении организацией НР расчетными кодами [2] и базами данных по пуску и эксплуатации по перечисленным направлениям. В данной работе описано константное обеспечение нейтронно-физических расчетов (НФР) ВВЭР.

Нейтронно-физический расчет ВВЭР

В качестве программных средств, которые используются научным руководителем для расчетов ВВЭР, можно выделить программные комплексы (ПК) Хортица-М [3], ATHLET/BIPR-VVER [4] и КАСКАД 2007 [5], в который входят коды ТВС-М 2007 [6], БИПР 2007 [7] и ПЕРМАК 2007 [8], а также программы для ЭВМ ТИГР-1 [9], NOSTRA [10] и ИР [11]. Все указанные программные средства аттестованы в Ростехнадзоре.

ПК КАСКАД 2007 применяется для разработки и обоснования топливных циклов при выполнении физической части проекта активной зоны.

Контроль состояния активной зоны в процессе эксплуатации ядерных реакторов осуществляется с использованием систем внутриреакторного контроля, в которых используются Хортица-М и ИР.

Программы для ЭВМ ATHLET/BIPR-VVER, ТИГР-1 и NOSTRA используются для анализа реактивностных аварий.

Во всех этих программных средствах крупносеточные трехмерные расчеты активной зоны ВВЭР выполняются с помощью одной из версий мало групповой диффузионной программы для ЭВМ БИПР. В ПК КАСКАД 2007 и Хортица-М помимо крупносеточных выполняются также и мелкосеточные двумерные расчеты в нескольких поперечных сечениях активной зоны. Такие расчеты проводятся с помощью одной из версий мало групповой диффузионной программы для ЭВМ ПЕРМАК.

Таким образом, при выполнении НФР ВВЭР можно выделить два уровня подготовки констант.

На первом уровне для каждого высотного фрагмента тепловыделяющей сборки (ТВС) рассчитывается библиотека мало групповых диффузионных констант, зависящих от параметров активной зоны: температуры и плотности теплоносителя, температуры топлива, выгорания, концентрации борной кислоты в теплоносителе, концентрации

ксенона. Такие многопараметрические таблицы называются крупносеточными константами. Они являются исходными данными для реакторной программы БИПР.

На втором уровне для каждой топливной и нетопливной ячейки внутри каждой ТВС, а также для ячеек, описывающих отражатель, дополнительно рассчитываются мелкосеточные константы, которые являются исходными данными для реакторной программы ПЕРМАК.

Библиотеки малогрупповых диффузионных констант рассчитываются по так называемым спектральным программам. Для ВВЭР в качестве такой программы используется одна из версий программы ТВС-М.

В программе ТВС-М 2007 для решения уравнений переноса нейтронов исходными данными для расчетов являются ядерные данные, т.е. нейтронные микроскопические сечения нуклидов в зависимости от температуры материала. Нейтронные сечения могут иметь различное представление: поточечное, групповое, подгрупповое. В различных энергетических областях используют различные представления сечений. Способ представления сечений вместе с численным методом решения уравнения переноса с сечениями в качестве исходных данных и составляют научную базу метода НФР ВВЭР.

Метод нейтронно-физического расчета реакторов на тепловых нейтронах разрабатывался в Курчатовском институте более 30-ти лет.

На начальном этапе отработывались различные физические модели с различными способами представления сечений. Для этого использовался в том числе и метод Монте-Карло, реализованный в программе МСУ [12]. Тестирование проводилось на расчетах сотен критических экспериментов.

Преимущества использования метода Монте-Карло для отработки физических моделей определяется тем, что

- универсальная геометрия позволяет моделировать критические эксперименты любой сложности практически без приближений;
- отсутствуют приближения в представлении зависимости сечений от энергии;
- отсутствуют приближения в представлении зависимости дважды дифференциальных сечений рассеяния от энергии и угла.

Эти преимущества позволяют практически полностью исключить методическую погрешность, свойственную детерминистическим программам в представлении геометрии, энергетической и угловой зависимости сечений.

Рассматривались следующие три модели констант [13].

1. Групповая модель. В тепловой области (ниже 1 эВ) используются сечения из библиотеки ТЕПКОН (40 групп), в эпитепловой – групповые сечения из библиотеки БНАБ (26 групп), резонансная блокировка сечений реализована с помощью f -факторов и подгрупп.

2. Модель RT. Это уточнение групповой модели с помощью использования резонансных параметров в области разрешенных резонансов для основных ядер, что обеспечивает точный расчет требуемых нейтронных сечений в зависимости от текущих энергии нейтрона и температуры материала.

3. Модель FRT. Она отличается от RT использованием детальной энергетической и угловой зависимости сечений в быстрой области. Для этого в области энергий выше 100 кэВ используются сечения в поточечном представлении.

Уже к 1988 г. стало очевидно, что для тепловых реакторов оптимальной с точки зрения точности и быстродействия является физическая модель RT [13].

Таким образом, можно выделить следующие основные библиотеки констант, имеющие важное значение для моделирования ВВЭР:

- ACE – библиотека поточечных сечений из файлов оцененных ядерных данных;
- БНАБ – расширенная версия 26-групповой системы констант БНАБ-78;
- LIPAR – резонансные параметры в области разрешенных резонансов;
- ТЕПКОН – многогрупповые сечения в области термализации.

Здесь необходимо отметить, что библиотеки ACE, LIPAR, ТЕПКОН и, в определенном смысле, БНАБ являются производными от более общего представления оцененных ядерных данных, выполненного в формате ENDF-6 [14], поскольку могут быть получены из него посредством преобразований, выполняемых с помощью процессинговых кодов.

Схема разработки константной модели для реакторов ВВЭР представлена на рис. 1.

Вообще говоря, математическое моделирование физических процессов в таком сложном объекте как активная зона ядерных реакторов является очень сложной задачей. Так сложилось, что модель RT оказалась очень «удачной», так как по ней можно с достаточной для практики точностью рассчитывать нейтронно-физические характеристики тепловых реакторов. В версиях программы MCU, которые широко используются для тепловых реакторов различных типов (ВВЭР, РБМК, исследовательские реакторы и др.) и в программе ТВС-М (ВВЭР) в настоящее время используется расширенная и модернизированная модель RT.

Программа ТВС-М

Программа ТВС-М разрабатывается и развивается в Курчатовском институте более 30-ти лет. Основные этапы разработки различных версий программы ТВС-М показаны в табл. 1. Примерная блок-схема программы ТВС-М показана на рис. 2.

В области энергий быстрых нейтронов (от 10,5 МэВ до 1 эВ) используются библиотека групповых сечений БНАБ (23 группы) и ее подгрупповые параметры с температурной зависимостью, а также файлы резонансных параметров для «резонансных» нуклидов из библиотеки LIPAR.

В области энергий тепловых нейтронов (от 1 до 0 эВ) используются групповые сечения (40 групп) и матрицы рассеяния для ^{16}O , ^{12}C и H из библиотеки ТЕПКОН.

Как видно из рис. 2, расчет нейтронно-физических характеристик ТВС реакторов ВВЭР выполняется в два этапа. На первом этапе для каждого типа топливной или нетопливной ячейки, разбитой на практически произвольное число геометрических зон, производится детальный расчет пространственно-энергетического распре-



Рис. 1. Разработка константной модели НФР ВВЭР

Основные этапы разработки программы ТВС-М

Этапы разработки программы	Год
Выход первой «бета»-версии программы ТВС-М	1995
Программа ТВС-М (версия 1.1) проходит процедуру аттестации в ГАН РФ	1997
Программа ТВС-М (версия 1.2) аттестована применительно к системам с U-Gd-топливом	2002
Программа ТВС-М (версия 1.3) аттестована применительно к системам с MOX-топливом	2004
Программа ТВС-М (версия 1.4) аттестована; в 2019 г. паспорт продлен	2008
Программа ТВС-М 2007 аттестована	2010
Программа ТВС-М 2007 (версия 1.1) аттестована	2022



Рис. 2. Блок-схема программы ТВС-М

ления нейтронов с использованием метода вероятностей прохождения [15] (быстродействующий вариант метода ВПС, использующий аппроксимацию предварительно рассчитанных параметров зон). При этом в надтепловой области энергий (от 10,5 МэВ до 1 эВ) выполняется детальный внутригрупповой расчет спектра нейтронов, в котором каждая группа БНАБ разбивается на произвольное число одинаковых по летаргии интервалов (общее число интервалов около 6000), и расчет выполняется в каждой точке разбиения. В тепловой области решается многогрупповое уравнение термализации с источниками из надтепловой области энергий.

Результатом первого этапа являются многогрупповые гомогенизированные диффузионные макро- и микроконстанты для каждого типа ячеек, которые используются на втором этапе при выполнении диффузионного мелкосеточного расчета всей ТВС с произвольным числом групп (по умолчанию в 63-х группах). При этом используется уточненная сеточная схема, принципы построения которой описаны в [16].

Следует отметить, что описанная выше схема расчета является быстродействующей: расчет одного состояния ТВС ВВЭР-1000 на одном ядре современного процессора занимает одну-две секунды.

Процедура валидации программы ТВС-М включает в себя следующие основные этапы:

- сопоставление с данными измерений (эксперименты на критических сборках);

- сравнение с расчетами по другим программам, в том числе прецизионным (расчетные бенчмарки);
- использование данных постреакторных исследований облученного топлива.

Предложения в концепцию отраслевой программы «Ядерные данные»

В работе показано, что научной базой НФР ВВЭР являются ядерные данные, собранные в библиотеку микроскопических сечений спектральной программы ТВС-М, отработанные и проверенные с использованием программы MSU на критических экспериментах.

Развитие атомной энергетики предполагает проектирование и строительство перспективных ядерных реакторов, для каждого из которых необходимо разработать научную базу НФР, аналогичную научной базе НФР ВВЭР. Для развития атомной энергетики и ядерных технологий Российской Федерации абсолютно необходимо иметь собственные ядерные данные и процессинговые коды, которые преобразуют нейтронные сечения из файлов оцененных ядерных данных в рабочие библиотеки программ для ЭВМ.

Такие ядерные данные и процессинговые коды должны храниться на территории Российской Федерации и быть доступными всем российским организациям и институтам на безвозмездной основе.

Работы по созданию, сопровождению и модернизации ядерных данных и процессинговых кодов должны вестись на постоянной основе для сохранения научного потенциала отрасли.

Для этого необходимо

- версии файлов оцененных ядерных данных (РОСФОНД, ENDF/B-VII, ENDF/B-VIII, JEFF, JENDL) и процессинговые коды (GRUCON, NJOY, PREPRO) разместить в репозиториях на территории Российской Федерации на открытых или закрытых серверах с безвозмездным доступом российских организаций и институтов;
- работы по развитию библиотек оцененных ядерных данных (РОСФОНД, ФОНД, БРОНД и др.) и процессинговых кодов (GRUCON, NJOY, PREPRO) вести на постоянной основе;
- использовать положительный опыт размещения РОСФОНД и NJOY в сети интернет.

Заключение

Разработка и развитие библиотек ядерных данных и процессинговых кодов необходимы для

- снижения излишнего консерватизма;
- анализа погрешностей и неопределенностей;
- расчетов новых перспективных ядерных реакторов.

Для верификации и валидации библиотек ядерных данных и процессинговых кодов необходимо обеспечить

- сохранение и развитие экспериментальной базы;
- получение, сохранение и анализ данных эксплуатации.

Развитие атомной энергетики в части проектирования перспективных реакторных установок невозможно без постоянного развития и совершенствования

- библиотек ядерных данных,
- процессинговых кодов,

включая экспериментальные и теоретические исследования для верификации и валидации.

Литература

1. Семченков Ю.М. Научное руководство в развитии легководного направления атомной энергетики по проектам ВВЭР. *Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика ядерных реакторов*. 2023;1:9–23. URL: <https://nrcki.ru/files/pdf/VANT-2023-01.pdf> (дата обращения 15.03.2026).
2. Калугин М.А., Семченков Ю.М. Комплекс программ обоснования безопасности ВВЭР. Доклады 32-ой Всероссийской научно-технической конференции «Нейтронно-физические проблемы атомной энергетики» («Нейтроника-2024») 28.05–31.05.2024. г. Обнинск. URL: https://www.ippe.ru/images/science_info/conference/neutron2024/presentation/pl-4.pdf (дата обращения 15.03.2026).
3. Скороходов Д.Н., Мильто Н.В., Калинушкин А.Е., Семченков Ю.М., Липин Н.В., Курченков А.Ю. Программа «Хортица-М». Устойчивость решения уравнения восстановления к возмущению входных данных. *Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика ядерных реакторов*. 2020;5:30–42. URL: <https://nrcki.ru/files/pdf/VANT-F-5-2020-1.pdf> (дата обращения 15.03.2026).
4. Аттестационный паспорт программного средства ATHLET/BIPR-VVER (версия 1.0). Регистрационный номер паспорта аттестации № 455 от 24.10.2018.
5. Bolobov P.A., Lazarenko A.P., Tomilov M.Ju. Development of the Code Package KASKAD for Calculations of VVERs. In Proc.of the 18th Symposium of AER, 6–10 October 2008, Eger, Hungary, vol. 1, pp. 107–121.
6. Аттестационный паспорт программы для ЭВМ «ТВС-М 2007» (версия 1.1). Регистрационный номер паспорта аттестации №540 от 31.05.2022.
7. Аттестационный паспорт программы для ЭВМ «БИПР 2007» (версия 1.1). Регистрационный номер паспорта аттестации №542 от 31.05.2022.
8. Аттестационный паспорт программы для ЭВМ «ПЕРМАК 2007» (версия 2). Регистрационный номер паспорта аттестации №541 от 31.05.2022.
9. Аттестационный паспорт программного средства ТИГР-1.1. Регистрационный номер паспорта аттестации ПС №441 от 17.04.2018.
10. Аттестационный паспорт программы для ЭВМ «NOSTRA»(версия 6.0). Регистрационный номер паспорта аттестации №563 от 27.06.2022.
11. Аттестационный паспорт программного средства ИР 2007 (версия 1.3). Регистрационный номер паспорта аттестации ПС №341 от 23.08.2023.
12. Алексеев Н.И., Большагин С.Н., Гомин Е.А., Городков С.С., Гуревич М.И., Калугин М.А., Кулаков А.С., Марин С.В., Новосельцев А.П., Олейник Д.С., Пряничников А.В., Сухино-Хоменко Е.А., Шкаровский Д.А., Юдкевич М.С. Статус МСУ-5. *Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика ядерных реакторов*. 2011;4:5–23.
13. Майоров Л.В., Юдкевич М.С. Нейтронно-физические константы в расчётах тепловых реакторов. М.: Энергоатомиздат, 1988, 137 с.
14. ENDF-6 Formats Manual, Data Formats and Procedures for the Evaluated Nuclear Data File ENDF/B-VI and ENDF/B-VII, BNL-90365-2009, edited by M.W. Herman and A. Trkov (June 2009), revised by M.W. Herman, A. Trkov and D.A. Brown (Dec. 2011).

15. Рубин И.Е. Метод вероятностей пропускания в одномерной цилиндрической геометрии. *Известия АН БССР. Серия физико-энергетических наук.* 1983;2:25–31.

16. Theoretical Investigations of the Physical Properties of WWER-Type Uranium-Water Lattices, v. 2, Akademiai Kiado, Budapest, 1994.

Поступила в редакцию 14.03.2026

После доработки 20.03.2026

Принята к опубликованию 23.03.2026

Авторы

Калугин Михаил Александрович, заместитель руководителя комплекса по научной работе, д.т.н.,

E-mail: Kalugin_MA@nrcki.ru

Лазаренко Александр Петрович, начальник отдела разработки комплексов программ,

E-mail: Lazarenko_AP@nrcki.ru

Лизоркин Михаил Петрович, руководитель отделения физики ВВЭР, д.т.н.,

E-mail: Lizorkin_MP@nrcki.ru

Семченков Юрий Михайлович, руководитель направления по атомной энергетике,

E-mail: Semchenkov_YM@nrcki.ru

Шкаровский Денис Александрович, начальник отдела реперных расчетов ядерных реакторов, к.ф.-м.н.,

E-mail: Shkarovskiy_DA@nrcki.ru

UDC 621.039.51

Constant Support for Calculations of Thermal Neutron Reactors of the VVER Type

Kalugin M.A., Lazarenko A.P., Lizorkin M.P., Semchenkov Yu.M., Shkarovsky D.A.

NRC «Kurchatov Institute»,

1 Kurchatov Sq., 123182 Moscow, Russia

Abstract

The article discusses the constant support for neutron-physics calculations of VVER reactors, for which National Research Center “Kurchatov Institute” serves as the scientific supervisor. It is shown that the functions of the scientific supervisor are implemented using certified software packages (KASKAD 2007, Hortitsa-M, etc.), which employ a two-level system for constant preparation. The key role is played by the spectral code TVS-M, which has been developed at NRC “Kurchatov Institute” for over 30 years. It is based on the RT physical model, utilizing the BNAB (epithermal region), LIPAR (resonance parameters), and ТЕРКОН (thermal region) libraries. The program ensures high calculation speed (1-2 seconds per fuel assembly state) and the required accuracy. In conclusion, the necessity of a sectoral program “Nuclear Data” is substantiated to ensure national sovereignty. It is required to host evaluated nuclear data files and processing codes in open Russian repositories, as well as to ensure their continuous development, which is critically important for the design of advanced reactors.

Keywords: VVER, neutron-physics calculation, nuclear constants, TVS-M code, nuclear data libraries.

For citation: Kalugin M.A., Lazarenko A.P., Lizorkin M.P., Semchenkov Yu.M., Shkarovsky D.A. Constant Support for Calculations of Thermal Neutron Reactors of the VVER Type. *Izvestiya vuzov. Yadernaya Energetika*. 2026;1:6–15. DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2026.1.01> (in Russian).

References

1. Semchenkov Yu.M. Scientific Supervision in the Developing of Nuclear Energy Based on the VVER Reactor Designs. *“Problems of Atomic Science and Engineering. Series: Physics of Nuclear Reactors”*. 2023;1:9–23. URL: <https://nrcki.ru/files/pdf/VANT-2023-01.pdf> (accessed Mar. 15, 2026) (in Russian).
2. Kalugin M.A., Semchenkov Yu.M. Software Package for VVER Safety Analysis. In Proc. of the 32nd All-Russian Scientific and Technical Conference “Neutron-Physical Problems of Nuclear Energy” (“Neutronika-2024”). May 28–31, 2024, Obninsk. URL: https://www.ippe.ru/images/science_info/conference/neutron2024/presentation/pl-4.pdf (accessed Mar. 15, 2026) (in Russian).
3. Skorokhodov D.N., Milto N.V., Kalinushkin A.E., Semchenkov Yu.M., Lipin N.V., Kurchenkov A.Yu. Program Hortitsa-M. Stability of Solution of the Reconstruction Equation to Perturbation of Input Data. *“Problems of Atomic Science and Engineering. Series: Physics of Nuclear Reactors”*. 2020;5:30–42. URL: <https://nrcki.ru/files/pdf/VANT-F-5-2020-1.pdf> (accessed Mar. 15, 2026) (in Russian).
4. Certification Passport of the Software Tool ATHLET/BIPR-VVER (Version 1.0). Registration Number of the Certification Passport No. 455 dated October 24, 2018 (in Russian).
5. Bolobov P.A., Lazarenko A.P., Tomilov M.Ju. Development of the Code Package KASKAD for Calculations of VVERs. In Proc. of the 18th Symposium of AER, October 6–10, 2008, Eger, Hungary, vol. 1, pp. 107-121.
6. Certification Passport for the Computer Program “TVS-M 2007” (Version 1.1). Registration Number of the Certification Passport No. 540 dated May 31, 2022 (in Russian).
7. Certification Passport for the Computer Program “BIPR 2007” (Version 1.1). Registration Number of the Certification Passport No. 542 dated May 31, 2022 (in Russian).
8. Certification Passport for the Computer Program “PERMAK 2007” (Version 2). Registration Number of the Certification Passport No. 541 dated May 31, 2022 (in Russian).
9. Certification Passport of the Software Tool TIGR-1.1. Registration Number of the Software Certification Passport No. 441 dated April 17, 2018 (in Russian).
10. Certification Passport for the Computer Program “NOSTRA” (Version 6.0). Registration Number of the Certification Passport No. 563 dated June 27, 2022 (in Russian).
11. Certification Passport of the Software Tool IR 2007 (Version 1.3). Registration Number of the Software Certification Passport No. 341 dated August 23, 2023 (in Russian).
12. Alekseev N.I., Bolshagin S.N., Gomin E.A., Gorodkov S.S., Gurevich M.I., Kalugin M.A., Kulakov A.S., Marin S.V., Novoseltsev A.P., Oleynik D.S., Pryanichnikov A.V., Sukhino-Khomenko E.A., Shkarovsky D.A., Yudkevich M.S. Status of MCU-5. *“Problems of Atomic Science and Engineering. Series: Physics of Nuclear Reactors”*. 2011;4:5–23 (in Russian).
13. Mayorov L.V., Yudkevich M.S. Neutron-Physical Constants in Thermal Reactor Calculations. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1988, 137 p. (in Russian).
14. ENDF-6 Formats Manual, Data Formats and Procedures for the Evaluated Nuclear Data File ENDF/B-VI and ENDF/B-VII, BNL-90365-2009, edited by M.W. Herman and A. Trkov (June 2009), revised by M.W. Herman, A. Trkov and D.A. Brown (Dec. 2011).

15. Rubin I.E. The Transmission Probability Method in One-Dimensional Cylindrical Geometry. *Proceedings of the Academy of Sciences of the BSSR. Series of Physical and Energy Sciences*. 1983;2:25–31.

16. Theoretical Investigations of the Physical Properties of WWER-Type Uranium-Water Lattices, v. 2, Akademiai Kiado, Budapest, 1994.

Authors

Mikhail A. Kalugin, Deputy Head of the complex for scientific work, Dr. Sci. (Engineering),

E-mail: Kalugin_MA@nrcki.ru

Alexander P. Lazarenko, Head of the Software Development Department,

E-mail: Lazarenko_AP@nrcki.ru

Mikhail P. Lizorkin, Head of the VVER Physics Division, Dr. Sci. (Engineering),

E-mail: Lizorkin_MP@nrcki.ru

Yuri M. Semchenkov, Head of the Nuclear Energy Division,

E-mail: Semchenkov_YM@nrcki.ru

Denis A. Shkarovsky, Head of department, Cand. Sci. (Phys.-Math.),

E-mail: Shkarovskiy_DA@nrcki.ru