

Форма «Т». Титульный лист заявки в Российский научный фонд

Конкурс 2019 года «Проведение инициативных исследований молодыми учеными» Президентской программы исследовательских проектов, реализуемых ведущими учеными, в том числе молодыми учеными

<p>Название проекта Разработка вычислительных алгоритмов и программного обеспечения для решения задач переноса нейтронов в ядерном реакторе на базе новых математических моделей SP3 приближения</p>	<p>Номер проекта</p> <p>19-71-00008</p> 	
	<p>Отрасль знания: 01</p>	
	<p>Основной код классификатора: 01-217 Дополнительные коды классификатора: 01-718</p>	
	<p>Код ГРНТИ 27.35.47</p>	
<p>Фамилия, имя, отчество (при наличии) руководителя проекта: Васильев Александр Олегович</p>	<p>Контактные телефон и e-mail руководителя проекта: +79241734045, haska87@gmail.com</p>	
<p>Полное и сокращенное наименование организации, через которую должно осуществляться финансирование проекта: федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова" СВФУ, ФГАОУ ВО Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова</p>		
<p>Объем финансирования проекта на первый год реализации проекта: 1500 тыс. руб.</p>	<p>Год начала проекта: 2019</p>	<p>Дата окончания проекта: 30 июня 2021 г.</p>
<p>Гарантирую, что при подготовке заявки не были нарушены авторские и иные права третьих лиц и/или имеется согласие правообладателей на представление в Фонд материалов и их использование Фондом для проведения экспертизы и для обнародования (в виде аннотаций заявок).</p>		
<p>Подпись руководителя проекта _____/А.О. Васильев/</p> <p>Подпись руководителя организации*</p> <p><small>* Либо уполномоченного представителя, действующего на основании доверенности или распорядительного документа. В случае подписания формы уполномоченным представителем организации (в т.ч. - руководителем филиала) к печатному экземпляру заявки <u>прилагается копия распорядительного документа или доверенности</u>, заверенная печатью организации. Непредставление копии распорядительного документа или доверенности в случае подписания формы уполномоченным представителем организации, а также отсутствие расшифровки подписи, является основанием недопуска заявки к конкурсу.</small></p> <p>_____/_____</p> <p>Печать (при наличии) организации</p>		<p>Дата регистрации заявки 07.03.2019 г.</p>

Форма 1. Сведения о проекте

1.1. Название проекта

на русском языке

Разработка вычислительных алгоритмов и программного обеспечения для решения задач переноса нейтронов в ядерном реакторе на базе новых математических моделей SP3 приближения

на английском языке

Development of computational algorithms and software for solving problems of neutron transport in a nuclear reactor based on new mathematical models of the SP3 approximation

Направление из Стратегии НТР РФ

H1 Переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам, новым материалам и способам конструирования, создание систем обработки больших объемов данных, машинного обучения и искусственного интеллекта

Обоснование соответствия тематики проекта направлению из Стратегии НТР РФ: необходимо кратко сформулировать научную проблему (проблемы) и конкретные задачи в рамках выбранного направления, решению которых будет посвящен проект, обосновать соответствие проекта направлению

В данном проекте будет разработано современное и универсальное программное обеспечение для моделирования процессов переноса нейтронов в ядерном реакторе на базе новых математических моделей SP3 приближения с использованием метода конечных элементов и свободного программного обеспечения.

1.2. Приоритетное направление развития науки, технологий и техники в Российской Федерации, критическая технология

Указывается согласно перечню (Указ Президента Российской Федерации от 7 июля 2011 года №899) в случае, если тематика проекта может быть отнесена к одному из приоритетных направлений, а также может внести вклад в развитие критических технологий Российской Федерации.

8. Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика.

9. Технологии атомной энергетики, ядерного топливного цикла, безопасного обращения с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом.

1.3. Ключевые слова (приводится не более 15 терминов)

на русском языке

вычислительные алгоритмы, перенос нейтронов, SP3 приближение, мультимасштабные вычисления, метод конечных элементов, свободное программное обеспечение, параллельные вычисления.

на английском языке

computational algorithms, neutron transport, SP3 approximation, multiscale calculations, finite element method, free software, parallel computations.

1.4. Аннотация проекта (объемом не более 2 стр.; в том числе кратко – актуальность решения указанной выше научной проблемы и научная новизна)

Данная информация может быть опубликована на сайте Фонда в информационно-телекоммуникационной сети «Интернет».

на русском языке

При разработке программного обеспечения для расчетных комплексов нового поколения, охватывающих широкий спектр физических процессов, происходящих в реакторной установке, необходимо использовать современные вычислительные технологии. Сюда входят численные схемы, алгоритмы решения, построение сеток, возможность параллельных вычислений на высокопроизводительных вычислительных системах, использование систем визуализации входных данных и результатов расчетов. Конечной целью разработки современных расчетных комплексов является повышение точности расчетов различных режимов реакторных установок, включая процедуры обоснования их надежности и безопасности.

Ставится задача разработки вычислительных алгоритмов решения стационарных и нестационарных краевых задач переноса нейтронов в SP3 приближении методом конечных элементов с учетом гетерогенной структуры активной зоны реактора.

на английском языке

When developing software for computational complexes of a new generation, covering a wide range of physical processes occurring in a reactor plant, it is necessary to use modern computing technologies. This includes numerical schemes, solution algorithms, the construction of grids, the possibility of parallel computing on high-performance computing systems, the use of visualisation systems for input data and calculation results. The goal of the development of modern computational complexes is to improve the accuracy of calculations for various modes of reactor installations, including procedures for justifying their reliability and safety.

The goal is the development of numerical algorithms for stationary and non-stationary boundary value problems in neutron transport SP3 approximation by finite element method with the heterogeneous structure of the reactor core.

1.5. Ожидаемые результаты и их значимость (указываются результаты, их научная и общественная значимость (соответствие предполагаемых результатов мировому уровню исследований, возможность практического использования предполагаемых результатов проекта в экономике и социальной сфере))

Данная информация может быть опубликована на сайте Фонда в информационно-телекоммуникационной сети «Интернет».

на русском языке

В рамках универсальной расчетной платформы разрабатываемый нейтронно-физический код должен отвечать современным требованиям, предъявляемым кодам нового поколения. Это обеспечение заданной точности результатов, использование современных высокопроизводительных расчетных алгоритмов и численных методов, кроссплатформенность и др.

Разрабатываемый нейтронно-физический код базируется на использовании метода конечных элементов и транспортного SP3 приближения. В отличие от традиционных конечно-разностных схем большинства современных кодов данного класса, повысить точность расчета можно как сгущением сетки, так и повышением порядка конечного элемента. По сравнению с диффузионным подходом, этот метод позволяет улучшить результаты решения уравнения переноса без значительного изменения в алгоритмах математических моделей существующих диффузионных кодов.

Подобный нейтронно-физический код является составной частью интегральных программных комплексов, разрабатываемых для анализа безопасности различных режимов работы реакторной установки: при нормальных условиях эксплуатации, при нарушении нормальных условий эксплуатации, а также в аварийных ситуациях в сочетании с различными отказами технологического оборудования.

на английском языке

As part of the universal computational platform, the developed neutron-physical code must comply with modern requirements for new generation codes. These requirements include ensuring the given accuracy of results, the use of modern high-performance computational algorithms and numerical methods, cross-platform software, etc.

The developed neutron-physical code is based on the use of the finite element method and the transport SP3 approximation. Unlike the traditional finite-difference schemes of most modern codes of this class, the calculation accuracy can be improved both by grid thickening of grids and increasing of the order of finite elements. Compared to the diffusion approach, this method allows us to improve the results of solving the transport equation without a significant change in the algorithms of mathematical models of existing diffusion codes.

Such a neutron-physical code is an integral part of integrated software systems developed for analysing the safety of various operating modes of a reactor plant: under normal operating conditions, in violation of normal operating conditions, and also in emergency situations in combination with various process equipment failures.

1.6. Планируемый объем финансирования проекта Фондом по годам (указывается в тыс. рублей):

по 30 июня 2020 г. – **1500** тыс. рублей,

с 1 июля 2020 г. по 30 июня 2021 г. - **1500** тыс. рублей.

Несоответствие планируемого объема финансирования проекта (в том числе отсутствие информации в соответствующих полях формы) требованиям пункта 10 конкурсной документации является основанием недопуска заявки к конкурсу.

1.7. Руководитель проекта по результатам проекта в ходе его реализации предполагает опубликовать в рецензируемых российских и зарубежных научных изданиях не менее

Приводятся данные за весь период выполнения проекта. Уменьшение количества публикаций (в том числе отсутствие информации в соответствующих полях формы) по сравнению с порогом, установленным в п. 15.2 конкурсной документации является основанием недопуска заявки к конкурсу.

2 публикаций,

из них

2 в изданиях, индексируемых в базах данных «Сеть науки» (Web of Science Core Collection) или «Скопус» (Scopus).

Информация о научных изданиях, в которых планируется опубликовать результаты проекта, в том числе следует указать в каких базах индексируются данные издания - «Сеть науки» (Web of Science Core Collection), «Скопус» (Scopus), РИНЦ, иные базы, а также указать тип публикации - статья, обзор, тезисы, монография, иной тип. Статьи в Annals of Nuclear Energy (WoS, Scopus), Progress in Nuclear Energy (WoS, Scopus), Математическое моделирование (Scopus), Матзаметки СВФУ (Scopus).

Иные способы обнародования результатов выполнения проекта

Международные научные конференции

1.8. Реализация проекта сопряжена со сменой места работы руководителя проекта и его переездом из

в

Заполняется в случае переезда в иной субъект Российской Федерации, не граничащий с субъектом Российской Федерации, в котором расположено место (места) работы и/или жительства руководителя проекта на момент объявления конкурса.

1.9. Планируемое участие руководителя проекта в международных коллаборациях (проектах) (при наличии).

Руководитель проекта подтверждает, что

- руководитель проекта и все члены научного коллектива (при наличии) удовлетворяют пунктам 4, 6 конкурсной документации;
- на весь период реализации проекта он будет состоять в трудовых отношениях с организацией, при этом трудовой договор не будет договором о дистанционной работе;
- при обнародовании результатов любой научной работы, выполненной в рамках поддержанного Фондом проекта, он и его научный коллектив (при наличии) будут указывать на получение финансовой поддержки от Фонда и организацию, а также согласны с опубликованием Фондом аннотации и ожидаемых результатов поддержанного проекта, соответствующих отчетов о выполнении проекта, в том числе в информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»;
- помимо гранта Фонда проект не будет иметь других источников финансирования в течение всего периода практической реализации проекта с использованием гранта Фонда;
- проект не является аналогичным по содержанию проекту, одновременно поданному на конкурсы научных фондов и иных организаций;
- проект не содержит сведений, составляющих государственную тайну или относимых к охраняемой в соответствии с законодательством Российской Федерации иной информации ограниченного доступа;
- в установленные сроки будут представляться в Фонд ежегодные отчеты о выполнении проекта и о целевом использовании средств гранта.

Подпись руководителя проекта _____/А.О. Васильев/

Форма 2. Сведения о руководителе

2.1. Фамилия, имя, отчество (при наличии)

на русском языке

Васильев Александр Олегович

на английском языке фамилия и инициалы

Vasilev A.O.

WoS ResearcherID (при наличии)

Можно получить, зарегистрировавшись по адресу www.ResearcherID.com.

P-5729-2017

Scopus AuthorID (при наличии)

Scopus AuthorID формируется в базе данных Scopus автоматически при появлении у автора хотя бы одной статьи в данной базе. AuthorID указан в авторском профиле, который становится доступен, если при поиске автора в базе данных Scopus (Author Search) в результатах поиска нажать на фамилию автора.

57191279904

2.2. Дата рождения (указывается цифрами – число, месяц, год)

Несоответствие возраста руководителя проекта (в том числе отсутствие информации в соответствующих полях формы) требованиям пункта 4 конкурсной документации является основанием недопуска заявки к конкурсу.

26.04.1987

2.3. Гражданство

РОССИЯ

2.4. Ученая степень, год присуждения

Несоответствие ученой степени (в том числе отсутствие информации в соответствующих полях формы) требованиям пункта 4 конкурсной документации является основанием недопуска заявки к конкурсу.

В случае наличия нескольких ученых степеней, указывается та из них, которая наиболее соответствует тематике проекта.

Кандидат физико-математических наук, 2018

2.5. Награды и премии за научную деятельность, членство в ведущих научных сообществах (при наличии), участие в редколлегиях ведущих рецензируемых научных изданий (при наличии), участие в оргкомитетах или программных комитетах известных международных конференций, иной опыт организации международных мероприятий

Стипендия президента РФ 2018

2.6. Основное место работы на момент подачи заявки – должность, полное наименование организации (сокращенное наименование организации)

Руководитель проекта может на момент подачи заявки не являться работником организации, но, в случае победы в конкурсе, должен заключить с ней трудовой договор. В случае, если руководитель проекта не является гражданином Российской Федерации, организацией должны быть выполнены все процедуры, предусмотренные законодательством Российской Федерации при трудоустройстве иностранных граждан.

научный сотрудник, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова" (СВФУ, ФГАОУ ВО Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Республика Саха (Якутия))

Субъекты Российской Федерации (страна), в которых расположено место (места) работы и/или жительства руководителя проекта:

Заполняется в случае переезда в иной субъект Российской Федерации, не граничащий с субъектом Российской Федерации, в котором расположено место (места) работы и/или жительства руководителя проекта на момент объявления конкурса, или при переезде в Российскую Федерацию.

2.7. Область научных интересов – ключевые слова (приводится не более 15 ключевых слов)

на русском языке

Уравнения переноса нейтронов, многогрупповое приближение, спектральные задачи, многомасштабные методы, метод конечных элементов, выбор шага по времени, молекулярная динамика, метод монте-карло

на английском языке

Neutron transfer equations, multigroup diffusion approximation, spectral problem, multiscale methods, finite element method, time step selection, molecular dynamics, Monte Carlo method

2.8. Область научных интересов – коды по классификатору Фонда

01-206 01-218 01-718 01-412 01-217

2.9. Перечень публикаций руководителя проекта, опубликованных в период с 1 января 2014 года до даты подачи заявки, подтверждающий выполнение условия пункта 9 конкурсной документации

Достаточно привести ссылки на публикации в количестве, равном установленному в конкурсной документации порогу. Несоответствие количества публикаций (в том числе отсутствие информации в соответствующих полях формы), приводимое в перечне и/или численно в строке ниже, требованиям пункта 9 конкурсной документации является основанием недопуска заявки к конкурсу в соответствии с подпунктом «е» пункта 20 конкурсной документации.

на английском языке

1. Avvakumov A. V., Strizhov V. F., Vabishchevich P. N., Vasilev A. O. State change modal method for numerical simulation of dynamic processes in a nuclear reactor //Progress in Nuclear Energy. – 2018. – Vol. 106. – P. 240-261.
2. Vabishchevich P., Vasilev A. Algorithm of time step evaluation for numerical solution of boundary value problem for parabolic equations //AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing, 2018. – Vol. 2025. – №. 1. – P. 100010.
3. Avvakumov A. V., Strizhov V. F., Vabishchevich P. N., Vasilev A. O. Automatic Time Step Selection for Numerical Solution of Neutron Diffusion Problems //International Conference on Finite Difference Methods. – Springer, Cham, 2018. – P. 145-152.
4. Avvakumov A. V., Strizhov V. F., Vabishchevich P. N., Vasilev A. O. Modelling dynamic processes in a nuclear reactor by state change modal method // Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing. – 2017. – Vol. 937. – №. 1. – P. 012003.
5. Avvakumov A. V., Strizhov V. F., Vabishchevich P. N., Vasilev A. O. Solution of the 3D Neutron Diffusion Benchmark by FEM //International Conference on Large-Scale Scientific Computing. – Springer, Cham. – 2017. – P. 435-442.
6. Vabishchevich P.N., Vasil'ev A.O. Time step selection for the numerical solution of boundary value problems for parabolic equations // Computational Mathematics and Mathematical Physics. – 2017. – Vol. 57. – P. 843-853.
7. A. V. Avvakumov, P. N. Vabishchevich, A. O. Vasilev, V. F. Strizhev. Numerical modeling of neutron diffusion non-stationary problems //Matematicheskoe Modelirovanie. – 2017. – Vol. 29. – №. 7. – P. 44-62.
8. Avvakumov A. V., Strizhov V. F., Vabishchevich P. N., Vasilev A. O. Spectral properties of dynamic processes in a nuclear reactor // Annals of Nuclear Energy. – 2017. – Vol. 99. – P. 68-79.
9. Avvakumov A. V., Strizhov V. F., Vabishchevich P. N., Vasilev A. O. Solution of the Neutronics Code Dynamic Benchmark by Finite Element Method // AIP Conference Proceedings / AIP Publishing. – Vol. 1773. – 2016. – P. 110003.
10. Avvakumov A. V., Strizhov V. F., Vabishchevich P. N., Vasilev A. O. Algorithms for Numerical Simulation of Non-stationary Neutron Diffusion Problems // International Conference on Numerical Analysis and Its Applications, Springer. – 2016. – Vol. 10187. – P. 212-219.

Для русскоязычных названий сведения приводятся на русском языке и в переводе на английский язык. При этом должно быть понятно, что речь идет об одном и том же документе (например, добавляйте слово «перевод»).

Перечень содержит 10 публикаций в изданиях, индексируемых в Web of Science Core Collection, Scopus.

Перечень содержит 2 публикации в изданиях, входящих в первый квартиль (Q1) по импакт-фактору JCR Science Edition или JCR Social Sciences Edition, по SJR.

Принадлежность издания к Q1 определяется по базе данных <http://www.scimagojr.com/>.

2.10. Основные научные результаты руководителя проекта за период с 1 января 2014 года (результаты должны подтверждаться сведениями из заявки, например - публикациями)

на русском языке

Рассмотрены различные спектральные задачи, которые характеризуют динамическое нейтронное поле ядерного реактора. В рамках многогруппового диффузионного приближения была рассмотрена стандартная lambda-спектральная задача, которая связана с определением эффективного коэффициента размножения. Значительно более информативной при рассмотрении динамических процессов является alpha-спектральная задача. С фундаментальным собственным значением alpha и соответствующей ей собственной функцией можно связать динамику реактора на

асимптотической стадии при больших временах. Реализована и решена δ -спектральная задача, которая связана с самосопряженной частью оператора поглощения-производства нейтронов. Решение этой задачи позволяет получить априорную оценку для динамики нейтронного поля. Получены действительные и комплексные собственные значения в λ - и α -спектральных задачах (численно наблюдается впервые). Установлена хорошая делимость собственных значений в α -спектральной задаче.

Avvakumov A. V., Strizhov V. F., Vabishchevich P. N., Vasilev A. O. Spectral properties of dynamic processes in a nuclear reactor // Annals of Nuclear Energy. – 2017. – Vol. 99. – P. 68-79. (<https://doi.org/10.1016/j.anucene.2016.09.021>)

Проведено исследование разностных схем для моделирования динамического нейтронного поля ядерного реактора на асимптотической стадии при больших временах – регулярный режим. Наблюдается хорошая сходимость нестационарной задачи при уменьшении шага по времени для чисто неявной схемы. Явно-неявная схема сходится намного хуже, чем чисто неявная схема. Схема Кранка-Николсон хоть и имеет второй порядок аппроксимации, практически непригодна для моделирования регулярного режима ядерного реактора.

A. V. Avvakumov, P. N. Vabishchevich, A. O. Vasilev, V. F. Strizhev. Numerical modeling of neutron diffusion non-stationary problems // Matematicheskoe Modelirovanie. – 2017. – Vol. 29. – №. 7. – P. 44-62.

Разработан алгоритм выбора шага по времени при приближенном решении краевых задач для параболических уравнений. Основной особенностью алгоритма является: выбор прогнозного шага по времени происходит на основе анализа решения по явной схеме; численное решение нестационарной задачи находится с помощью безусловно устойчивой неявной схемы, с которой связаны основные вычислительные затраты.

Vabishchevich P.N., Vasil'ev A.O. Time step selection for the numerical solution of boundary value problems for parabolic equations // Computational Mathematics and Mathematical Physics. – 2017. – Vol. 57. – P. 843-853. (<https://doi.org/10.1134/S0965542517020142>)

Avvakumov A. V., Strizhov V. F., Vabishchevich P. N., Vasilev A. O. Automatic Time Step Selection for Numerical Solution of Neutron Diffusion Problems // International Conference on Finite Difference Methods. – Springer, Cham, 2018. – P. 145-152.

Рассмотрена проблема моделирования динамических процессов в ядерном реакторе на основе многогрупповых уравнений диффузии нейтронов с учетом запаздывающих нейтронов.

Используется модальное приближение, когда приближенное решение раскладывается по небольшому набору доминантных собственных функций α -спектральной задачи. Численное моделирование процессов проводится на основе последовательной смены состояний реактора, которые характеризуются набором постоянных многогруппового описания нейтронного поля. В разработанном SCM методе выделяется фаза быстрого перехода к приближенному решению в виде набора доминантных мод. На медленной фазе динамики реактора решение строится на основе эволюции доминантных мод. Вычислительная реализация SCM метода базируется на основе предварительно рассчитанных (оффлайн вычисления) собственных значений и собственных функций α -спектральной задачи. Быстрое выделение доминантных мод и расчет нейтронного поля реактора на отдельные моменты времени проводится на основе онлайн вычислений.

Avvakumov A. V., Strizhov V. F., Vabishchevich P. N., Vasilev A. O. State change modal method for numerical simulation of dynamic processes in a nuclear reactor // Progress in Nuclear Energy. – 2018. – Vol. 106. – P. 240-261. (<https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2018.02.027>)

Avvakumov A. V., Strizhov V. F., Vabishchevich P. N., Vasilev A. O. Modelling dynamic processes in a nuclear reactor by state change modal method // Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing. – 2017. – Vol. 937. – №. 1. – P. 012003.

на английском языке

The spectral problems that may characterize the dynamic neutron field of nuclear reactor are considered. Within the multi-group diffusion approximation, the standard Lambda Modes spectral problem which is related to the definition of k -effective of the reactor core is considered. The Alpha Modes spectral problem is much more informative for considering the dynamic processes. We can relate the dynamics of the reactor at asymptotic stage at long times to fundamental α -eigenvalue and α -eigenfunction. A new spectral problem (Delta Modes spectral problem) is formulated, which is connected to self-adjoint part of operator of neutron absorption-generation. Solution of this problem allows making an a priori estimate for neutron field dynamics. The first real and complex eigenvalues and eigenfunctions in the Lambda and Alpha Modes spectral problem are got. A good separability of the eigenvalues in the Alpha Modes spectral problem is identified.

Avvakumov A. V., Strizhov V. F., Vabishchevich P. N., Vasilev A. O. Spectral properties of dynamic processes in a nuclear reactor // Annals of Nuclear Energy. – 2017. – Vol. 99. – P. 68-79. (<https://doi.org/10.1016/j.anucene.2016.09.021>)

We conducted a study of various difference schemes for modelling the dynamic neutron field of a nuclear reactor at the asymptotic stage at long times – the regular mode. There is a good convergence of the nonstationary problem with a decrease in the time step for a purely implicit scheme. An explicit implicit scheme converges much worse than a purely implicit scheme. Although the Crank-Nicholson scheme has a second approximation order, but it is practically unsuitable for simulating the regular mode of a nuclear reactor.

A. V. Avvakumov, P. N. Vabishchevich, A. O. Vasilev, V. F. Strizhev. Numerical modeling of neutron diffusion non-stationary problems // *Matematicheskoe Modelirovanie*. – 2017. – Vol. 29. – №. 7. – P. 44-62.

The algorithm of automatic time step evaluation for solving the boundary value problem for parabolic equations is proposed. The solution is obtained using complete stable implicit schemes, and the time step is evaluated using of the explicit scheme solution.

Vabishchevich P.N., Vasil'ev A.O. Time step selection for the numerical solution of boundary value problems for parabolic equations // *Computational Mathematics and Mathematical Physics*. – 2017. – Vol. 57. – P. 843-853.

(<https://doi.org/10.1134/S0965542517020142>)

Avvakumov A. V., Strizhov V. F., Vabishchevich P. N., Vasilev A. O. Automatic Time Step Selection for Numerical Solution of Neutron Diffusion Problems // *International Conference on Finite Difference Methods*. – Springer, Cham, 2018. – P. 145-152.

The problem of simulation of reactor dynamic processes is considered on the basis of multigroup neutron diffusion equations accounting for delayed neutrons. The modal approximation is used: an approximate solution is represented as an expansion on limited number of dominant eigenfunctions of the alpha-eigenvalue spectral problem. Numerical simulation of reactor non-stationary processes is carried out on the basis of a successive change in the states of the reactor. These states are characterized by a set of constant parameters to describe the multigroup neutron flux behavior.

The state change modal method was developed. The phase, which described fast transition to the approximate solution, is selected as a set of dominant modes. At a slow phase of the reactor dynamics, the solution is based on the evolution of dominant modes.

Avvakumov A. V., Strizhov V. F., Vabishchevich P. N., Vasilev A. O. State change modal method for numerical simulation of dynamic processes in a nuclear reactor // *Progress in Nuclear Energy*. – 2018. – Vol. 106. – P. 240-261.

(<https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2018.02.027>)

Avvakumov A. V., Strizhov V. F., Vabishchevich P. N., Vasilev A. O. Modelling dynamic processes in a nuclear reactor by state change modal method // *Journal of Physics: Conference Series*. – IOP Publishing. – 2017. – Vol. 937. – №. 1. – P. 012003.

**2.11. Общее число публикаций руководителя проекта за период с 1 января 2014 года, 16, из них:
12 - опубликовано в изданиях, индексируемых в Web of Science Core Collection или Scopus.**

2.12. Дополнительный список публикаций руководителя проекта с 1 января 2014 года (монографии, результаты интеллектуальной деятельности, имеющие правовую охрану, публикации в ведущих рецензируемых научных изданиях, публикации в изданиях, индексируемых в системах цитирования Web of Science Core Collection, Scopus, приводится не более 10 публикаций, при наличии публикации в информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» указывается ссылка на нее (обязательно для публикаций в индексируемых изданиях), указывается, при наличии, импакт-фактор научного издания (по JCR Science Edition, JCR Social Sciences Edition или SJR))

на английском языке

1. A. Vasilyev, M. Antonov, A. Popinako, T. Naumenkova. MD simulation of dynamics and transport in 5-HT₃ receptor // *The Febs Journal*. 2015. – Vol. 282. – P. 402-402. (SJR = 2.06)

2. Antonov M. Y., Popinako A. V., Prokopiev G. A., Vasilyev A. O. Numerical Modelling of Ion Transport in 5-HT₃ Serotonin Receptor Using Molecular Dynamics // *International Conference on Numerical Analysis and Its Applications*. – Springer, Cham, 2016. – C. 195-202. (SJR = 0.29)

Пункт не является обязательным к заполнению. Могут приводиться публикации, свидетельствующие о научной квалификации и достижениях руководителя проекта, за исключением публикаций, указанных в п. 2.9 настоящей формы.

2.13. Опыт выполнения научных проектов (указываются наименования фондов (организаций), форма участия, номера, названия проектов и сроки выполнения за последние 5 лет)

РФФИ. 14-01-00785 А. Вычислительные алгоритмы расщепления и прикладное программное обеспечение для решения задач термомеханики и фильтрационной консолидации на высокопроизводительных компьютерах параллельной архитектуры. 31.12.2016

РФФИ. 15-31-20856 мол_а_вед. Разработка математических моделей, вычислительных алгоритмов и программного обеспечения для решения нестационарных нелинейных задач термомеханики на высокопроизводительных вычислительных системах. 31.01.2017

РФФИ. 16-08-01215 А. Разработка вычислительных алгоритмов и прикладного программного обеспечения многомерных гетерогенных нейтронно-физических расчетов на базе конечно-элементных методов и свободного программного обеспечения инженерных и научных вычислений. 31.12.2018

РФФИ. 18-41-140005 р_а. Моделирование транспорта газа через органические наноструктуры методами молекулярного моделирования. 28.02.2019

Мегагрант правительства РФ. N 14.Y26.31.0013. Многомасштабные модели пониженного порядка. 31.12.2019

РФФИ. 18-31-00315 мол_а. Разработка вычислительных алгоритмов и программного обеспечения для численного решения задач диффузии нейтронов. 19.03.2019

В том числе проектов, финансируемых РНФ (при наличии):

2.14. Планируемое участие в научных проектах (в любом качестве) в 2019 году

Общее количество – 2, из них:

руководство – 1, участие в качестве исполнителя – 1,

а именно:

руководство - РФФИ 18-31-00315 мол_а. Разработка вычислительных алгоритмов и программного обеспечения для численного решения задач диффузии нейтронов;

участие - Мегагрант правительства РФ. N 14.Y26.31.0013. Многомасштабные модели пониженного порядка.

(указываются в том числе грантодатели или заказчики проектов и источник финансирования, например – государственное задание учредителя, гранты РФФИ, ФПИ, РНФ, иных фондов или иных организаций, государственный контракт (заказчик, программа), иной хозяйственный договор, иные гранты и субсидии).

2.15. Доля рабочего времени, которую планируется выделить на руководство данным проектом в случае победы в конкурсе Фонда -

50 процентов.

Имеется в виду – от полной занятости в рамках трудовых или гражданско-правовых правоотношений, т.е. занятость в свободное от основной работы время также должна учитываться.

2.16. Предполагаемая форма трудовых отношений с организацией, через которую будет осуществляться финансирование

В соответствии с пунктом 8 конкурсной документации трудовой договор с руководителем проекта не может быть договором о дистанционной работе.

Организация будет являться основным местом работы (характер работы – не дистанционный): да;

Трудовой договор по совместительству (характер работы – не дистанционный): нет.

2.17. Опыт образовательной деятельности за последние 5 лет (информация о руководстве аспирантами, адъюнктами, интернами, ординаторами, разработке и чтении новых образовательных курсов в российских и зарубежных вузах)

Руководство аспирантами на научно-исследовательской кафедре Вычислительные технологии Института математики и информатики Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова

2.18. Почтовый адрес

677000, Республика Саха (Якутия), г. Якутск, ул. Билибина д. 13, кв. 44

2.19. Контактный телефон

+79241734045

2.20. Электронный адрес (E-mail)

haska87@gmail.com

2.21. Файлы с дополнительной информацией (резюме, другая дополнительная информация, которая, по мнению руководителя проекта, может быть полезна для принятия решения о целесообразности финансирования данного проекта)

В формате pdf, до 3 Мб.

на русском языке

на английском языке

Файл (en), скачать

С условиями конкурса Фонда (в том числе, с пунктами 6, 8 и 10 конкурсной документации) ознакомлен и согласен.
Подтверждаю свое участие в проекте.

Фамилия, имя и отчество	Васильев Александр Олегович
Данные документа, удостоверяющего личность** (серия, номер, сведения о дате и органе выдачи)	<div style="border-bottom: 1px solid black; height: 15px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="border-bottom: 1px solid black; height: 15px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="border-bottom: 1px solid black; height: 15px; margin-bottom: 5px;"></div> <p style="color: red; font-size: small;">Внимание! Данное поле заполняется вручную в печатном экземпляре заявки. Заполнение обязательно!</p>
Адрес проживания	677000, Республика Саха (Якутия), г. Якутск, ул. Билибина д. 13, кв. 44
Оператор персональных данных	Российский научный фонд

Я выражаю согласие*** на обработку указанным выше оператором персональных данных, внесенных в настоящую форму мною лично.

Обработка Российским научным фондом (адрес: г. Москва, ул. Солянка, д. 12-14, строение 3) указанных выше персональных данных может осуществляться **посредством** их сбора, систематизации, накопления, хранения, уточнения, использования, блокирования, распространения на официальном сайте Российского научного фонда, передачи и уничтожения **с целью** проведения экспертизы заявок на конкурсы, проводимые Российским научным фондом, экспертизы проектов и программ, финансируемых Российским научным фондом, подготовки аналитических материалов по конкурсам, долговременного сохранения документированной информации об участниках программ, получивших финансирование Российского научного фонда, общедоступного раскрытия информации о руководителях программ и проектов, финансируемых Российским научным фондом. Указанная обработка моих данных может осуществляться в течение 75 лет со дня заполнения настоящей формы в печатной форме. Хранение настоящей формы может быть поручено ООО «РАЙСВОЛФ» (107150, Москва, ул. Бойцовая, д. 22), оказывающему Российскому научному фонду услуги архивного хранения документов. Настоящее согласие может быть отозвано посредством направления на указанный выше адрес оператора персональных данных заявления с требованием о прекращении обработки персональных данных. Заявление должно содержать номер документа, удостоверяющего личность субъекта персональных данных; сведения о дате выдачи указанного документа и выдавшем его органе, а также собственноручную подпись субъекта персональных данных.

** Непредставление данных документа, удостоверяющего личность, является основанием недопуска заявки к конкурсу.

*** Заполнение является обязательным в соответствии с требованиями Федерального закона от 27 июля 2006 г. №152-ФЗ «О персональных данных».

Подпись руководителя проекта _____/А.О. Васильев/

Дата подписания «___» _____ 2019 г.

Форма 3. Сведения об организации

собираются автоматически на основе регистрационных данных организации, через которую будет осуществляться финансирование ("Форма Т")

3.1. Полное наименование *(приводится в соответствии с регистрационными документами)*

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова"

3.2. Сокращенное наименование

СВФУ, ФГАОУ ВО Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова

3.3. Наименование на английском языке

M.K.Ammosov North-Eastern Federal University

3.4. Организационно-правовая форма *(указывается по ОКОПФ)*

Федеральные государственные автономные учреждения

3.5. Форма собственности *(указывается по ОКФС)*

Федеральная собственность

3.6. Ведомственная принадлежность

Министерство образования и науки РФ

3.7. ИНН, КПП, ОГРН, ОКТМО

1435037142, 143501001, 1021401044587, 98701000

3.8. Адрес

677000, Республика Саха(Якутия), г.Якутск, ул.Белинского, д 58

3.9. Фактический адрес

677000, Республика Саха(Якутия), г.Якутск, ул.Белинского, д 58

3.10. Субъект Российской Федерации

Республика Саха (Якутия)

3.11. Должность, фамилия, имя, отчество *(при наличии) руководителя организации*

ректор, Михайлова Евгения Исаевна

3.12. Контактный телефон

+74112352090

3.13. Электронный адрес *(E-mail)*

rector@s-vfu.ru

Руководитель организации подтверждает, что:

- ознакомлен с условиями конкурса Фонда и согласен на финансирование проекта, в случае его поддержки, через организацию;
- согласен с пунктами 8, 13, 32, 34, 35 конкурсной документации, иными условиями конкурса;
- подтверждает сведения о руководителе проекта, изложенные в данной заявке;
В том числе сведения о дате рождения, ученой степени, о субъектах Российской Федерации, в которых расположено место (места) работы и/или жительства руководителя проекта.
- организация исполняет обязательства по уплате налогов в бюджеты всех уровней и обязательных платежей в государственные внебюджетные фонды, платежеспособна, не находится в процессе ликвидации, не признана несостоятельной (банкротом), на ее имущество не наложен арест и ее экономическая деятельность не приостановлена;
- в случае признания заявки победителем организация берет на себя следующие обязательства:
 - заключить с руководителем проекта трудовой (срочный трудовой) договор (трудовой договор с руководителем проекта не может быть договором о дистанционной работе);
Если таковой не заключен ранее. В случае, если руководитель проекта не является гражданином Российской Федерации, организацией должны быть выполнены все процедуры, предусмотренные законодательством Российской Федерации при трудоустройстве иностранных

граждан.

- по поручению руководителя проекта выплачивать руководителю проекта и научному коллективу (при наличии) вознаграждение за выполнение работ по проекту;
- ежегодно в установленные сроки представлять отчет о целевом использовании гранта Российского научного фонда.

Руководитель организации гарантирует предоставление руководителю проекта и научному коллективу (при наличии) помещения, обеспечение доступа к имеющейся экспериментальной базе для осуществления научного исследования.

Подпись руководителя организации (уполномоченного представителя, действующего на основании доверенности или распорядительного документа), **печать** (при ее наличии) **организации**

В случае подписания формы уполномоченным представителем организации (в т.ч. – руководителем филиала) к печатному экземпляру заявки прилагается копия распорядительного документа или доверенности, заверенная печатью организации.

_____/_____
М.П.

Форма 4. Содержание проекта

4.1. Научная проблема, на решение которой направлен проект

на русском языке

- Разработка вычислительных алгоритмов для численного решения стационарных и нестационарных задач переноса нейтронов, базирующихся на упрощенном методе сферических гармоник третьего порядка (SP3);
- Решение двумерных и трехмерных задач переноса нейтронов с учетом гетерогенной структуры активной зоны методом конечных элементов: задачи на собственные значения (лямбда- и альфа-задачи);
- Разработка алгоритмов построения нерегулярных расчетных сеток для моделирования пространственных гетерогенных эффектов с помощью имеющихся в открытом доступе генераторов сеток;
- Создание прикладного программного обеспечения с использованием свободного программного обеспечения, ориентированных на современные вычислительные системы с поддержкой параллельных вычислений.

на английском языке

- Development of computational algorithms for the numerical solution of stationary and non-stationary neutron transport problems, based on the simplified method of spherical third-order harmonics (SP3);
- Solving of two-dimensional and three-dimensional problems of neutron transport, which take into account the heterogeneous structure of the active zone, by the finite element method: eigenvalue problems (lambda and alpha problems);
- Development of algorithms for the construction of irregular computational grids for modelling spatial heterogeneous effects using free mesh generators;
- Creation of application software using free software for modern computing systems with parallel computing support.

4.2. Научная значимость и актуальность решения обозначенной проблемы

на русском языке

При разработке программного обеспечения для расчетных комплексов нового поколения, охватывающих широкий спектр физических процессов, происходящих в реакторной установке, необходимо использовать современные вычислительные технологии. Сюда входят численные схемы, алгоритмы решения, построение сеток, возможность параллельных вычислений на высокопроизводительных вычислительных системах, использование систем визуализации входных данных и результатов расчетов. Конечной целью разработки современных расчетных комплексов является повышение точности расчетов различных режимов реакторных установок, включая процедуры обоснования их надежности и безопасности.

В рамках проектов РФФИ 16-08-01215 "Разработка вычислительных алгоритмов и прикладного программного обеспечения многомерных гетерогенных нейтронно-физических расчетов на базе конечно-элементных методов и свободного программного обеспечения инженерных и научных вычислений" и РФФИ 18-31-00315 "Разработка вычислительных алгоритмов и программного обеспечения для численного решения задач диффузии нейтронов" создана расчетная платформа для решения краевых задач переноса нейтронов в диффузионном приближении на базе свободного программного обеспечения инженерных и научных вычислений, ориентированных на современные вычислительные системы параллельной архитектуры.

Ставится задача разработки вычислительных алгоритмов решения стационарных и нестационарных краевых задач переноса нейтронов в SP3 приближении методом конечных элементов с учетом гетерогенной структуры активной зоны реактора.

на английском языке

When developing software for computational complexes of a new generation, covering a wide range of physical processes occurring in a reactor plant, it is necessary to use modern computing technologies. This includes numerical schemes, solution algorithms, the construction of grids, the possibility of parallel computing on high-performance computing systems, the use of visualisation systems for input data and calculation results. The goal of the development of modern computational complexes is to improve the accuracy of calculations for various modes of reactor unit, including procedures for justifying their reliability and safety.

Within the frameworks of the RFBR project 16-08-01215 "Development of numerical algorithms and applied software for multidimensional heterogeneous neutronic calculations based on finite-element methods and free software for engineering and scientific calculations" and RFBR project 18-31-00315 "Development of computational algorithms and software for numerical solution of neutron diffusion problems", a computational platform was created to solve boundary problems of

neutron transport in the diffusion approximation based on free software for engineering and scientific computing, focused on modern computing systems of parallel architecture.

The goal is the development of numerical algorithms for stationary and non-stationary boundary value problems in neutron transport SP3 approximation by finite element method with the heterogeneous structure of the reactor core.

4.3. Конкретная задача (задачи) в рамках проблемы, на решение которой направлен проект, ее масштаб и комплексность

на русском языке

Разработка вычислительных алгоритмов и прикладного программного обеспечения для численного решения задач переноса нейтронов в активной зоне реактора с учетом ее гетерогенной структуры с использованием SP3 приближения (не диффузионного приближения) и метода конечных элементов.

на английском языке

Development of computational algorithms and application software for the numerical solution of neutron transport problems in the reactor core, taking into account its heterogeneous structure using the SP3 approximation (not the diffusion approximation) and the finite element method.

4.4. Научная новизна исследований, обоснование достижимости решения поставленной задачи (задач) и возможности получения запланированных результатов

на русском языке

В разработанной универсальной расчетной платформе для инженерного нейтронно-физического кода рассматривалось уравнение переноса нейтронов в диффузионном групповом приближении. На настоящем этапе проводится расширение функциональных возможностей кода за счет использования не диффузионных моделей. В качестве альтернативы рассматривается SP3-приближение, как одно из направлений отхода от практики диффузионных расчетов.

Суть данного метода заключается в том, что для описания угловой зависимости в уравнении переноса нейтронов, используется разложение потока нейтронов по сферическим гармоникам в упрощенном виде. Для расчета трехмерных задач такой подход позволяет уменьшить число неизвестных в уравнениях по сравнению с полным P3 приближением и, кроме того, получить уравнения, схожие по форме с уравнениями диффузионного типа. Здесь SP3-приближение можно рассматривать как улучшенное диффузионное приближение.

В рамках данного проекта по разработке расчетной платформы предполагается учитывать последние достижения по разработке различных моделей упрощенного PN метода, а также современный уровень численных методов и алгоритмов. Ставится задача обеспечения улучшенной точности нейтронно-физических расчетов по сравнению с диффузионным приближением при сохранении быстродействия расчетных алгоритмов. Работы будут проводиться с учетом современных технологий программирования на базе объектно-ориентированного подхода с использованием свободного программного обеспечения на многопроцессорных вычислительных системах. Свободное ПО позволяет использовать мультиязычный интерфейс (C++, Python и др.), обладает большей надёжностью и адаптировано для использования современных компьютерных технологий.

на английском языке

In the developed universal computational platform for an engineering neutron-physical code, the neutron transport equation in the diffusion group approximation was considered. At the present stage, the functionality of the code is expanded through the use of non-diffusion models. As an alternative, the SP3 approximation is considered as one of the directions to depart from the standard practice of diffusion calculations.

The essence of this method is the fact that the decomposition of the neutron flux into spherical harmonics is used in a simplified form to describe the angular dependence in the neutron transport equation. For the calculation of three-dimensional problems, this approach allows us to reduce the number of unknowns in the equations as compared to the full P3 approximation and, in addition, to obtain equations similar to diffusion-type equations. Here, the SP3 approximation can be considered as an improvement of diffusion approximation.

Within the framework of this project the development of a computational platform is supposed to take into account the latest achievements in the development of various models of the simplified PN method, as well as the modern level of numerical methods and algorithms. The goal is to provide improved accuracy of neutron-physical calculations compared to the diffusion approximation while maintaining the speed of the computational algorithms. The work will be carried out taking into account modern programming technologies based on an object-oriented approach using free software on

multiprocessor computing systems. Free software allows us to use a multilingual interface (C ++, Python, etc.) and has greater reliability and is adapted for the use of modern computer technology.

4.5. Современное состояние исследований по данной проблеме, основные направления исследований в мировой науке и научные конкуренты

на русском языке

В современных отечественных расчетных комплексах используются математические модели, которые зачастую не соответствуют современным требованиям вычислительной эффективности расчетных программ. Существующие программы разработаны, как правило, под один тип реакторных установок, а используемые в этих кодах подходы и приближения, как правило, заложены в саму структуру алгоритмов. Это определенный тип геометрии, фиксированная расчетная сетка, ограничение на число энергетических групп, использование специфических форматов библиотек данных и т.д. В результате, имеется множество разнородных кодов с ограниченным набором возможностей.

Подавляющее большинство инженерных нейтронно-физических кодов предназначены для решения уравнения переноса нейтронов в диффузионном групповом приближении (с числом групп от двух до двух-трех десятков) с использованием конечно-разностных аппроксимаций. В результате конечно-разностной аппроксимации уравнений для плотности нейтронного потока формируется система линейных алгебраических уравнений (СЛАУ), которая решается с использованием итерационных процедур. Во многих нейтронно-физических кодах используются морально устаревшие итерационные методы, которые плохо распараллеливаются. Кроме того, большинство кодов имеют дело с собственной расчетной сеткой, использование которой другими кодами практически исключено. Обычно сетки имеют регулярную в плане структуру, хотя по высоте сетка может быть не регулярной, однако ее структура остается постоянной по всему расчетному объему, т.е. возможность локального сгущения сетки по высоте, например, в пределах отдельной ТВС, не допускается.

За последние 10-15 лет за рубежом наметилась тенденция включения в состав инженерных кодов математических моделей повышенной сложности, в частности, базирующихся на SP3 приближении. Этот метод находит широкое применение в области нейтронно-физических расчётов ядерных реакторов. По сравнению с диффузионным подходом, этот метод позволяет улучшить результаты решения уравнения переноса без значительного изменения в алгоритмах математических моделей существующих диффузионных кодов, что привлекает многих разработчиков нейтронно-физических кодов. Наибольший эффект можно ожидать для детальных расчётов активной зоны ядерных реакторов в многогрупповом потвзльном приближении (учет гетерогенных эффектов на уровне тепловыделяющей сборки).

Например, в кодах PARCS (США), DYN3D (Германия), SCOPE2 (Япония) и др. имеются подобные модели в сочетании с различными нодальными подходами. Более того, имеются примеры включения данных кодов в состав разработанных расчетных платформ нейтронно-физического расчета. Например, код DYN3D включен в состав платформы NURESIM (D.G. Cacuci, et al. NURESIM: A European Platform for Nuclear Reactor Simulation. FISA Conference on the 6th Framework Euratom Research Program, European Commission, Luxembourg, 2006).

Планируемые работы по разработке математических моделей, базирующихся на SP3 приближении, в рамках универсальной расчетной платформы нейтронно-физического кода соответствуют мировому уровню исследований в данной области.

на английском языке

In modern domestic computational complexes, mathematical models are used, which often do not meet the modern requirements of computational efficiency of programs. Existing programs are developed, as a rule, for one type of reactor units, and the approaches and approximations used in these codes are embedded in the structure of algorithms. These are a specific type of geometry, a fixed computational grid, a limit on the number of energy groups, the use of specific data library formats, etc. As a result, there are many disparate codes with a limited set of features.

The overwhelming majority of engineering neutron-physical codes are intended for solving the neutron transport equation in the diffusion group approximation (with the number of groups from two to three dozen) using finite-difference approximations. As a result of the finite-difference approximation of the equations for the neutron flux density, a system of linear algebraic equations (SLAE) is formed, that is solved using iterative procedures. Many neutron-physical codes use obsolete iterative methods that are poorly parallelised. In addition, most codes deal with their own computational grid, the use of which by other codes is practically excluded. The grids usually have a regular structure in terms of, although the grid may not be regular in height, but its structure remains constant over the entire calculated volume, i.e. the possibility of local thickening of the grid in height, for example, within a separate fuel assembly, is not allowed.

Over the past 10-15 years, there has been a tendency abroad to include in the engineering codes mathematical models of

increased complexity, in particular, based on the SP3 approximation. This method is widely used in the field of neutron-physical calculations of nuclear reactors. Compared to the diffusion approach, this method allows to improve the results of solving the transport equation without a significant change in the algorithms of mathematical models of existing diffusion codes, which attracts many developers of neutron-physical codes. The greatest effect can be expected for detailed calculations of the core of nuclear reactors in a multi-group fuel elements approximation (taking into account heterogeneous effects at the level of the fuel assembly).

For example, in the codes PARCS (USA), DYN3D (Germany), SCOPE2 (Japan), etc. there are similar models in combination with various nodal approaches. Moreover, there are examples of the inclusion of these codes into the composition of the developed calculation platforms for neutron-physical calculation. For example, the DYN3D code is included on the NURESIM platform (D.G. Cacuci, et al. NURESIM: A European Platform for Nuclear Reactor Simulation. Euratom Research Program, European Commission, Luxembourg 2006).

Planned work on the development of mathematical models based on the SP3 approximation, within the framework of the universal computational platform of a neutron physical code, corresponds to the world level of research in this field.

4.6. Предлагаемые методы и подходы, общий план работы на весь срок выполнения проекта и ожидаемые результаты (объемом не менее 2 стр.; в том числе указываются ожидаемые конкретные результаты по годам; общий план дается с разбивкой по годам)

на русском языке

В разработанной универсальной расчетной платформе для инженерного нейтронно-физического кода рассматривалось уравнение переноса нейтронов в диффузионном групповом приближении. На настоящем этапе проводится расширение функциональных возможностей кода за счет использования не диффузионных моделей. В качестве альтернативы рассматривается SP3-приближение, как одно из направлений отхода от практики диффузионных расчетов.

Важно отметить, что за рубежом в последние годы упрощенный PN метод находит широкое применение в области нейтронно-физических расчетов ядерных реакторов. По сравнению с диффузионным подходом, этот метод позволяет улучшить результаты решения уравнения переноса без значительного изменения в алгоритмах математических моделей существующих диффузионных кодов, что привлекает многих разработчиков нейтронно-физических кодов. Наибольший эффект можно ожидать для детальных расчетов активной зоны ядерных реакторов в многогрупповом потвзльном приближении (учет гетерогенных эффектов на уровне тепловыделяющей сборки).

В рамках данного проекта по разработке расчетной платформы предполагается учитывать последние достижения по разработке различных моделей упрощенного PN метода, а также современный уровень численных методов и алгоритмов. Ставится задача обеспечения улучшенной точности нейтронно-физических расчетов по сравнению с диффузионным приближением при сохранении быстродействия расчетных алгоритмов. Работы будут проводиться с учетом современных технологий программирования на базе объектно-ориентированного подхода с использованием свободного программного обеспечения на многопроцессорных вычислительных системах. Свободное ПО позволяет использовать мультиязычный интерфейс (C++, Python и др.), обладает большей надёжностью и адаптировано для использования современных компьютерных технологий.

Как и на предыдущем этапе работ по разработке универсальной расчетной платформы, базовая геометрическая модель исследуемого объекта базируется на традиционном подходе, когда активная зона РУ рассматривается как набор призм, имитирующих сборку ТВС. На основе этого подхода будут разработаны дополнительные модели, учитывающие гетерогенную структуру активной зоны с различной степенью детализации. В рамках расчетной платформы используются произвольные расчетные сетки, сгенерированные в стандартном формате. Расчетная сетка может формироваться независимо (вне нейтронно-физического кода) с помощью внешних генераторов сеток. Данный подход позволяет построить и протестировать расчетную сетку необходимой сложности и подробности.

Разработка нейтронно-физических моделей базируется на использовании метода конечных элементов (МКЭ). В отличие от традиционных конечно-разностных схем большинства современных кодов данного класса, в этом случае отпадает необходимость в дополнительных методах повышения точности конечно-разностного расчета (например, используя нодальные методы), поскольку повысить точность расчета можно как сгущением сетки, так и повышением порядка КЭ. Кроме того, облегчается работа с использованием расчетных сеток (с помощью имеющихся в открытом доступе генераторов сеток).

В качестве универсальной расчетной платформы нейтронно-физического кода нового поколения используется свободное ПО, которое включает следующие компоненты:

- генераторы сеточных объектов (например, Gmsh);
- вычислительный пакет FEniCS как инструмент для решения многомерных краевых задач, описываемых

дифференциальными уравнениями в частных производных, методом конечных элементов;

- решатели СЛАУ на основе пакета высокопроизводительной линейной алгебры, поддерживающей параллельные вычисления, например, PETSc;
- система пост-процессорной обработки и визуализации, поддерживающая формат VTK с использованием пакетов 2D и 3D графики, например, пакет ParaView.

Нейтронно-физический код должен обеспечивать расчет определенного набора функционалов. Основные типы задач нейтронно-физического кода:

- задачи на собственные значения (лямбда- и альфа-задачи),
- нестационарная задача с произвольным числом групп запаздывающих нейтронов.

Решением стационарного уравнения (задачи на собственные значения лямбда) является трехмерное распределение групповых потоков нейтронов (собственная функция) и собственное значение, обратная величина которого является эффективным коэффициентом размножения нейтронов. Стационарное уравнение используется во многих нейтронно-физических задачах (определение «критических» параметров активной зоны, расчет эффективности систем регулирования, анализ эффектов реактивности, расчет начального состояния реактора, расчет медленных процессов и т.д.). Решение задачи на собственное значение альфа необходимо, в основном, для анализа асимптотического поведения нейтронного потока для некритического состояния РУ.

Нестационарное уравнение переноса нейтронов является основным и обеспечивает расчет распределения групповых потоков нейтронов с учетом изменения физических (перемещение органов регулирования и др.) и теплогидравлических характеристик активной зоны в ходе переходного процесса.

На основе полученного решения рассчитываются различные функционалы активной зоны:

- мощность активной зоны, включая нейтронную мощность (за счет деления ядер) и остаточное тепловыделение (за счет продуктов деления, актиноидов и т.д.);
- реактивность реактора с учетом эффектов обратных связей по температуре топлива, плотности теплоносителя и т.д.;
- эффективность органов регулирования;
- распределение энерговыделения по объему активной зоны.

Расчёты вышеперечисленных параметров являются одними из приоритетных задач при определении проектных пределов РУ различных технологий и для обоснования безопасности АЭС. Остальные функционалы могут рассчитываться как опции в зависимости от типа РУ. То же самое относится к моделированию специфических устройств, например, систем безопасности, которые могут существенно различаться для разных типов РУ.

Область применения кода - моделирование нейтронно-физических процессов в активной зоне РУ.

Код может использоваться научно-техническим и конструкторским персоналом для:

- расчетного обоснования конструкторских решений;
- расчетного обоснования безопасности РУ;
- проведения поверочных расчетов динамики РУ;
- подготовки к проведению и анализа результатов экспериментов.

Прикладное программное обеспечение разрабатывается на основе использования компонент и библиотек свободного программного обеспечения научных исследований и включает препроцессор (подготовка входных данных), процессор (вычислительное ядро) и постпроцессор (визуализация и обработка расчетных данных).

Уровень планируемых научных исследований соответствует мировому.

на английском языке

In the developed universal calculation platform for an engineering neutron-physical code, the neutron transport equation in the diffusion group approximation was considered. At the present stage, the functionality of the code is expanded through the use of non-diffusion models. As an alternative, the SP3 approximation is considered as one of the directions for departing from the practice of diffusion calculations.

It is important to note that in recent years abroad, the simplified PN method is widely used in the field of neutron-physical calculations of nuclear reactors. Compared to the diffusion approach, this method allows to improve the results of solving the transport equation without a significant change in algorithms of mathematical models of existing diffusion codes, which attracts many developers of neutron-physical codes. The greatest effect can be expected for detailed calculations of the core of nuclear reactors in the multi-group fuel elements approximation (taking into account heterogeneous effects at the level of the fuel assembly).

Within the framework of this project the development of a computational platform is supposed to take into account the latest achievements in the development of various models of the simplified PN method, as well as the modern level of numerical methods and algorithms. The goal is to provide improved accuracy of neutron-physical calculations compared to the diffusion approximation while maintaining the speed of the computational algorithms. The work will be carried out

taking into account modern programming technologies based on an object-oriented approach using free software on multiprocessor computing systems. Free software allows us to use a multilingual interface (C ++, Python, etc.), has greater reliability and is adapted for the use of modern computer technology.

As in the previous stage of work on the development of a universal calculation platform, the basic geometric model of the object under study is based on the traditional approach, when the core of the reactor unit (RU) is considered as a set of prisms that mimic the assembly of a fuel assembly. Based on this approach, additional models will be developed that take into account the heterogeneous structure of the core with varying degrees of detail. Within the framework of the calculation platform, arbitrary computational grids generated in a standard format are used. The computational grid can be formed independently (outside the neutron-physical code) using external mesh generators. This approach allows us to build and test the computational grid of the required complexity and details.

The development of neutron-physical models is based on the use of the finite element method (FEM). Unlike traditional finite-difference schemes of most modern codes of this class, in this case, there is no need for additional methods to improve the accuracy of finite-difference calculations (for example, using nodal methods), since the calculation accuracy can be improved by thickening the grid. In addition, work is facilitated using computational grids (using publicly available mesh generators).

As a universal calculation platform for the neutron-physical code of the new generation, free software is used, which includes the following components:

- generators of grid objects (for example, Gmsh);
- FEniCS computational package as a tool for solving multidimensional boundary-value problems described by partial differential equations using the finite element method;
- SLAE solvers based on a package of high-performance linear algebra supporting parallel computing, for example, PETSc;
- A post-processing and visualisation system that supports VTK format using 2D and 3D graphics packages, for example, ParaView.

The neutron-physical code must ensure the calculation of a certain set of functionals. The main types of tasks neutron-physical code:

- eigenvalue problems (lambda and alpha problems),
- non-stationary problem with an arbitrary number of delayed neutrons groups.

The solution of the stationary equation (eigenvalue problem for lambda) is a three-dimensional distribution of group neutron fluxes (an eigenfunction) and an eigenvalue, the inverse of which is the effective neutron multiplication factor. The stationary equation is used in many neutron-physical problems (determining the “critical” parameters of the core, calculating the effectiveness of control systems, analysing the effects of reactivity, calculating the starting state of the reactor, calculating slow processes, etc.). The solution of the problem on the eigenvalue of alpha is necessary, mainly, for the analysis of the asymptotic behavior of the neutron flux for the noncritical state of the reactor facility.

The non-stationary neutron transport equation is basic and provides for the calculation of the distribution of group neutron fluxes taking into account changes in physical (displacement of regulatory bodies, etc.) and thermal-hydraulic characteristics of the core during the transition process.

Based on the solution obtained, various core functionals are calculated:

- core power, including neutron power (due to nuclear fission) and residual heat release (due to fission products, actinides, etc.);
- reactor reactivity taking into account feedback effects on fuel temperature, coolant density, etc. ;
- effectiveness of regulatory authorities;
- distribution of energy release by volume of the core.

Calculations of the above parameters are among the priorities in determining the design limits of various technologies and to justify the safety of nuclear power plants. The remaining functionals can be calculated as options depending on the RU type. The same applies to the simulation of specific devices, for example, security systems, which can vary significantly for different types of RU.

The code scope is modelling of neutron-physical processes in the active zone of RU.

The code can be used by scientific, technical and design personnel to:

- design basis for design decisions;
- calculated safety justification of RU;
- carrying out calibration calculations of RU dynamics;
- preparation for carrying out and the analysis of results of experiments.

Application software is developed based on the use of components and libraries of free software research and includes a preprocessor (preparation of input data), a processor (computational core), and a post-processor (visualisation and processing of calculated data).

The level of planned research corresponds to the world.

4.7. Имеющийся у руководителя проекта научный задел по проекту, наличие опыта совместной реализации проектов
(указываются полученные ранее результаты, разработанные программы и методы)

Руководитель проекта имеет опыт в разработке вычислительных алгоритмов и создании прикладного программного обеспечения, в частности, разработке вычислительных алгоритмов для численного решения задач диффузии нейтронов.

Принимал участие в следующих проектах где имела разработка прикладного программного обеспечения:

- РФФИ. 14-01-00785 А. Вычислительные алгоритмы расщепления и прикладное программное обеспечение для решения задач термомеханики и фильтрационной консолидации на высокопроизводительных компьютерах параллельной архитектуры;
- РФФИ. 15-31-20856 мол_а_вед. Разработка математических моделей, вычислительных алгоритмов и программного обеспечения для решения нестационарных нелинейных задач термомеханики на высокопроизводительных вычислительных системах;
- РФФИ. 16-08-01215 "Разработка вычислительных алгоритмов и прикладного программного обеспечения многомерных гетерогенных нейтронно-физических расчетов на базе конечно-элементных методов и свободного программного обеспечения инженерных и научных вычислений";
- РФФИ. 18-31-00315 мол_а "Разработка вычислительных алгоритмов и программного обеспечения для численного решения задач диффузии нейтронов".

Имеется свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ №2016615005 "Программа для компьютерного моделирования нейтронного потока" от 13.05.2016.

4.8. Перечень оборудования, материалов, информационных и других ресурсов, имеющихся у руководителя проекта для выполнения проекта
(в том числе – описывается необходимость их использования для реализации проекта)

Решение поставленных задач требует больших трудозатрат и материального обеспечения. На данный момент эти требования можно считать удовлетворенными: на базе СВФУ организована специальная международная научно-исследовательская лаборатория, лаборатория располагает достаточным количеством рабочих мест, оборудованных стационарными персональными компьютерами, имеется доступ к обширной библиотеке статей, монографий и электронных материалов по тематике проекта. Вследствие высокой трудоемкости решаемых задач необходимо использование высокопроизводительных вычислительных систем. Лаборатория располагает персональным доступом к суперкомпьютеру "Ариан Кузьмин", который до сих пор является одним из самых мощных на Дальнем Востоке России и вполне может обеспечить нужды проекта.

4.9. План работы на первый год выполнения проекта
(в том числе указываются запланированные командировки (экспедиции) по проекту)
на русском языке

На первом этапе работы будут проведены следующие работы:

1. Разработка и отладка программного модуля для проведения многогрупповых стационарных нейтронно-физических расчетов в SP3 приближении (число групп – произвольное).
2. Разработка вычислительных алгоритмов и прикладного программного обеспечения для нестационарной модели нейтронно-физического расчета в двухгрупповом и многогрупповом SP3 приближении.
3. Тестирование нейтронно-физического расчетного кода на различных тестовых и бенчмарк задачах и сопоставление полученных результатов с «эталонными» расчетами (расчеты по другим транспортным кодам, включая коды метода Монте-Карло). Анализ результатов для различных расчетных параметров (число конечных элементов на ТВС и порядок пробных функций).

Планируется минимум одна командировка Якутск-Москва-Якутск.

на английском языке

At the first stage of the project the following works will be carried out:

1. Development and debugging of a software module for carrying out multi-group stationary neutron-physical calculations in the SP3 approximation (the number of groups is arbitrary).
2. Development of computational algorithms and application software for the non-stationary model of neutron-physical calculation in the two-group and multi-group SP3 approximation.

3. Testing the neutron-physical calculation code on various test and benchmark problems and comparing the results obtained with the “reference” solution (solutions for other transport codes, including Monte Carlo method codes). Analysis of the results for various calculated parameters (the number of finite elements on the fuel assembly and the order of test functions). Planned at least one trip Yakutsk-Moscow-Yakutsk.

4.10. Ожидаемые в конце первого года конкретные научные результаты *(форма изложения должна дать возможность провести экспертизу результатов и оценить степень выполнения заявленного в проекте плана работы)*
на русском языке

К концу первого года выполнения проекта должны быть выполнены следующие этапы работы:

1. Должен быть разработан и отлажен программный модуль для проведения многогрупповых стационарных нейтронно-физических расчётов (число групп – произвольное);
2. Должна быть разработана нестационарная модель нейтронно-физического расчёта в двухгрупповом и многогрупповом приближении;
3. Должно быть проведено тестирование нейтронно-физического расчётного кода на различных тестовых и бенчмарк задачах и сопоставление полученных результатов с «эталонными» расчетами (расчеты по другим транспортным кодам, включая коды метода Монте-Карло).

Будет проведен анализ результатов для различных расчетных параметров (число конечных элементов на ТВС и порядок пробных функций).

на английском языке

By the end of the first year of the project, the following work steps should be completed:

1. Software module should be developed and debugged for carrying out multi-group stationary neutron-physical calculations (the number of groups is arbitrary);
2. Non-stationary model of neutron-physical calculation in the two-group and multi-group approximation should be developed;
3. Neutron-physical calculation code should be tested on various test and benchmark problems and a comparison of the results obtained with the “reference” solution (solutions for other transport codes, including Monte Carlo method codes). Results will be analysed for various calculated parameters (the number of finite elements on the fuel assembly and the order of test functions).

4.11. Перечень планируемых к приобретению руководителем проекта за счет гранта Фонда оборудования, материалов, информационных и других ресурсов для выполнения проекта *(в том числе – описывается необходимость их использования для реализации проекта)*

В данном проекте планируется привлечение аспирантов. Планируется приобретение ноутбуков для аспирантов на общую сумму 200 тысяч рублей.

4.12. Файл с дополнительной информацией 1

С графиками, фотографиями, рисунками и иной информацией о содержании проекта. Один файл в формате pdf, до 3 Мб.

Текст в файлах с дополнительной информацией должен приводиться на русском языке. Перевод на английский язык требуется в том случае, если руководитель проекта оценивает данную информацию существенной для эксперта.

4.13. Файл с дополнительной информацией 2 *(если информации, приведенной в файле 1 окажется недостаточно)*

С графиками, фотографиями, рисунками и иной информацией о содержании проекта. Один файл в формате pdf, до 3 Мб.

Подпись руководителя проекта _____/А.О. Васильев/

Форма 5. Запрашиваемое финансирование на первый год реализации проекта

5.1. Планируемые расходы по проекту

№ п.п.	Направления расходования гранта	Сумма расходов (тыс.руб.)
	ВСЕГО	1500
	Вознаграждение руководителя проекта и членов научного коллектива (при наличии) (с учетом страховых взносов во внебюджетные фонды, без лиц категории «вспомогательный персонал»)	1000
	Вознаграждение лиц категории «вспомогательный персонал» (с учетом страховых взносов во внебюджетные фонды)	0
1	Итого вознаграждение (с учетом страховых взносов во внебюджетные фонды)	1000
2	Оплата научно-исследовательских работ сторонних организаций, направленных на выполнение научного проекта (не более 15 процентов от суммы гранта)	0
3	Расходы на приобретение оборудования и иного имущества, необходимых для проведения научного исследования (включая обучение работников, монтажные, пуско-наладочные и ремонтные**** работы) **** Не связанные с осуществлением текущей деятельности организации.	200
4	Расходы на приобретение материалов и комплектующих для проведения научного исследования	0
5	Иные расходы для целей выполнения проекта (в том числе расходы на компенсацию за наем (поднаем) жилого помещения)	150
6	Накладные расходы организации (не более 10 процентов от суммы гранта)	150

5.2. Расшифровка планируемых расходов

№ п.п.	Направления расходования гранта, расшифровка
1	Итого вознаграждение (с учетом страховых взносов во внебюджетные фонды) (указывается сумма вознаграждения (включая руководителя и иных исполнителей, привлекаемых к выполнению работ по проекту), включая установленные законодательством Российской Федерации гарантии, отчисления по страховым взносам на обязательное пенсионное страхование, на обязательное медицинское страхование, на обязательное социальное страхование на случай временной нетрудоспособности и в связи с материнством, на обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний) 1000 тысяч рублей
2	Оплата научно-исследовательских работ сторонних организаций, направленных на выполнение научного проекта (приводится перечень планируемых договоров (счетов) со сторонними организациями с указанием предмета и суммы каждого договора)
3	Расходы на приобретение оборудования и иного имущества, необходимых для проведения научного исследования (представляется перечень планируемых к закупке оборудования и иного имущества, необходимых для проведения научного исследования (в соответствии с п. 4.11 формы 4)) Приобретение ноутбуков для аспирантов на общую сумму 200 тысяч рублей
4	Расходы на приобретение материалов и комплектующих для проведения научного исследования (представляется расшифровка запланированных материалов и комплектующих (в соответствии с п. 4.11 формы 4))
5	Иные расходы для целей выполнения проекта (приводятся иные затраты на цели выполнения проекта, в том числе на командировки, оплату услуг связи, транспортных услуг, расходы <u>не</u> <u>расшифровываются</u>) Командировки общей стоимостью 150 тысяч рублей.

Подпись руководителя проекта _____/А.О. Васильев/

Подпись руководителя организации (уполномоченного представителя, действующего на основании доверенности или распорядительного документа), **печать** (при ее наличии) **организации**.

В случае подписания формы уполномоченным представителем организации (в т.ч. – руководителем филиала) к печатному экземпляру заявки прилагается копия распорядительного документа или доверенности, заверенная печатью организации.

_____/_____

М.П.