

Задачи МИФ

Задача №1 от представителей АО НИФХИ им. Карпова

При эксплуатации АЭС и ИЯУ образуются различные радиоактивные вещества, которые выбрасываются в атмосферу. Наибольший вклад (более 50%) в активность таких выбросов вносят радиоактивные благородные газы (РБГ), например, ^{133}Xe , ^{135}Xe и ^{85}Kr . Рассмотрите способы снижения активности РБГ или их комбинации и предложите наиболее эффективный.

Задача №2 от представителей НПО «Тайфун»

Метод конечных разностей позволяет получать решения дифференциальных уравнений в виде некоторых одно- или многомерных массивов. Для уменьшения погрешности аппроксимации и возможного преодоления численной неустойчивости могут быть использованы численные фильтры, сглаживающие осцилляции решения.

Дана начально-краевая задача, описывающая одномерное движение вязкой несжимаемой жидкости

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} = \nu \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$$

$$u(0, t) = a, u(1, t) = b, u(x, 0) = U_0(x)$$

Здесь ν, a, b – постоянные.

Рассмотрим фильтр, преобразующий компоненты u_i некоторого одномерного массива:

$$\bar{u}_i = u_i + \frac{1}{2} s (u_{i+1} - 2u_i + u_{i-1}), 0 \leq s \leq 1$$

Выполнить следующие пункты:

- 1) Написать программу для численного решения данной задачи методом конечных разностей. Получить решение с использованием указанного фильтра (варьируя значение параметра s) и без его использования.
- 2) Получить аналитическое решение данной задачи при $U_0(x) = 0$. Сравнить с ним численные решения, полученные в 1-ом пункте для того же $U_0(x)$.
- 3) Варьируя значение параметра s в ходе численных экспериментов, исследовать влияние фильтра на устойчивость численного решения.
- 4) Предложить возможные модификации фильтра, улучшающие его свойства.

Задача №3 от представителей НПО «Тайфун»

Многие эволюционные дифференциальные уравнения, используемые в задачах математической физики, имеют вид:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = Lu + Nu(1)$$

где L и N – дифференциальные операторы с частными производными. При этом оператор L является линейным и выбирается так, что уравнение:

$$\frac{\partial u^i}{\partial t} = Lu^i(2)$$

при некоторых начальных и граничных условиях может быть решено аналитически. Оператор N при этом, вообще говоря, нелинейный.

Для повышения точности решения задачи для уравнения (1) предполагается следующий численно-аналитический подход. Решение представляется в виде:

$$u = u^i + u'$$

где u^i – решение задачи (2), которое может быть получено аналитически (при тех же условиях), u' – решение задачи с оператором N :

$$\frac{\partial u'}{\partial t} = Nu'$$

Выполнить следующие пункты:

- 1) Написать программу для реализации применения описанного численно-аналитического подхода к решению задачи Коши, описывающей динамику жидкости со свободной поверхностью

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + g \frac{\partial h}{\partial x} = 0 \quad \frac{\partial h}{\partial t} + u \frac{\partial h}{\partial x} + (h_0 + h) \frac{\partial u}{\partial x} = 0$$

$$h(x, 0) = \cos(x)u(x, 0) = \sqrt{\frac{g}{h_0}} h(x, 0)g, h_0 = const$$

- 2) Получить численное решение данной задачи методом конечных разностей. Сравнить это решение с численно-аналитическим решением, полученным в предыдущем пункте.
- 3) Предложить возможные общие (не зависящие от конкретных операторов L, N в задаче (1)) оценки сходимости, аппроксимации и устойчивости описанного численно-аналитического метода.

Задача №4 из кейс чемпионата АО «ГНЦ РФ — ФЭИ»

2022

Использование торий — уранового ядерного топлива в реакторе типа ВВЭР — 1000

Разработка режима работы реактора типа ВВЭР 1000 с топливом U233 в ториевой матрице и сопоставление с традиционным режимом на основе обогащенного природного урана.

Требуется:

- создать модель тепловыделяющей сборки в программном комплексе, осуществляющим расчеты методом Монте-Карло;
- сделать расчет различных видов топлива, подобрать обогащение;
- определить изменения изотопного состава;
- провести анализ полученных результатов.

Результат

- разработана модель ТВС ВВЭР-1000;
- проведены расчеты ЭКР, состава выгруженного топлива, одногрупповых сечений взаимодействия нейтронов с изотопами тория, урана, плутония и малых актинидов;
- проведен сопоставительный анализ полученные данные с традиционным режимом работы.

Задача №5 от представителей ИАТЭ НИЯУ МИФИ Пеленгация

Точное позиционирование управляемых электронных устройств в пространстве является актуальной задачей в современном мире. Для выполнения исследовательской задачи предлагаем прибегнуть к спортивной радиопеленгации. Необходимо составить систему из двух автономных радиоуправляемых машин, с алгоритмом поиска передатчика каждой из машин. Характеристики предлагаемой площадки для эксперимента:

1. Площадка движения роботов размером 4x5 м.
2. Габариты машин не более чем 15x15x15 м.
3. Машины могут как передвигаться по площадке, так и летать в её границах.
4. Скорость машин ограничена 0.5км/ч.
5. Количество передатчиков – 2.

Для победы необходимо касание каждой из машин, каждого передатчика, чем быстрее и оптимальнее будет построено определение в пространстве, тем лучше механизм поиска. Определить наилучший механизм при условии, что роботы могут общаться только между собой.

При решении задачи, может быть, как поставлен эксперимент, так и представлен пример функционирующего кода для описания движения роботов с подробным пояснением.

Задача №6 Оптимизация стержневого витога ТВЭЛа РУ АС ММ

В настоящее время мировые ядерные поставщики электрической энергии совместно с академическими структурами проводят НИОКР, направленные на создание атомных станций малой мощности (АС ММ, в иностранной литературе - SMR's (Small Modular Reactors)). Одним из центральных элементов конструкции реакторной установки (РУ) АС ММ, требующих проработки, являются тепловыделяющие элементы (ТВЭЛы). Разработка ТВЭЛов с повышенным ресурсом эксплуатации, высокой загрузкой ядерного топлива и маневренностью при переходных режимах является актуальной задачей при создании проектов автономных (необслуживаемых) РУ АС ММ, поскольку эти характеристики напрямую связаны с высокой экономической эффективностью и конкурентоспособностью [1].

Одним из наиболее эффективных способов достижения цели является создание металлических закрученных ТВЭЛов с топливными композициями на основе урана или сплавами на его основе обогащением менее 20 % по изотопу ^{235}U [2]. Максимальные температуры ТВЭЛов должны быть относительно низкими (до 350 - 400 °С) для обеспечения пределов безопасной эксплуатации РУ АС ММ и снижения интенсивности массообмена. Первый из них обеспечивается высокой теплопроводностью компонентов ТВЭЛов. Второе условие накладывает ограничение из-за твердофазной диффузии компонентов топлива в оболочку и интерметаллических переходов урана, которые приводят к перегреву топлива.

Значительный успех достигнут при использовании ТВЭЛА крестообразного профиля, который уже используется в российском исследовательском реакторе СМ-3 более 50 лет. Козлов А.В. предложил метод оптимизации поперечного сечения крестообразного ТВЭЛА за счет варьирования радиусов выпуклостей и впадин [3]. Однако это исследование ограничено лишь 4-х лопастной формой профиля. НИОКР корпорации Лайтбридж сосредоточены на разработке металлического ТВЭЛА с U-Zr сплавом треугольного и крестообразного поперечного сечений [4]. Сведения о принципе выбора размеров поперечного сечения ТВЭЛА в открытом доступе отсутствуют. Российскими учеными также рассмотрены подходы к созданию оптимального стержневого ТВЭЛА с различной формой профиля (крест, треугольник, «бубновый туз»), однако решения получены лишь для конкретных вариантов и наполнены эмпирическими параметрами [5].

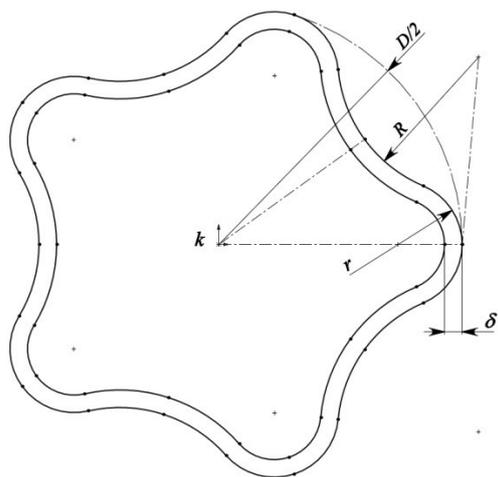


Рисунок – Схема поперечного сечения пятилопастного твэла

Предложите метод оптимизации закрученных стержневых твэлов сложной формы с точки зрения геометрии и тепловых параметров. В первом приближении примите, что параметры теплоносителя на наружной поверхности оболочки для всех вариантов конструкции твэла АС ММ идентичны. Исходными данными для разработки конструкции являются диаметр описанной окружности (D), количество лопастей (k), радиусы скруглений (r) и впадин (R), толщина оболочки (δ). Помимо анализа геометрических параметров твэла,

рассмотрите различные материалы топливной композиции (диоксид, дисилицид, мононитрид, карбид и карбонитрид урана – UO_2 , U_3Si_2 , UN , UC , $U_{0,9}Zr_{0,1}(CN)_{0,5}$ соответственно) и оболочки (циркониевые сплавы, нержавеющие стали).

[1] Daniel T. Ingersoll Mario D. Carelli. Handbook of Small Modular Nuclear Reactors 1st Edition. Woodhead Publishing, 2014

[2] J. Malone, A. Totemeier N.Shapiro, S. Vaidyanathan. Lightbridge Corporation's Advanced Metallic Fuel For Light Water Reactors. Nuclear Technology, v.180, Dec. 2012

[3] Козлов А.В. Разработка усовершенствованного дисперсионного твэла для высокопоточного реактора СМ. Дисс. на соиск. уч. ст. к.т.н. Москва, 2016 г. – 140 с. (in Russian)

[4] J. Malone, A. Totemeier, N. Shapiro, S. Vaidyanathan. Lightbridge Corporation's advanced metallic fuel for light water reactors. Nuclear Technology. v. 180. Dec.2012

[5] Федосеев В.Е., Цыканов В.А., Старков В.А. Совершенствование конструкции крестообразного твэла для повышения его теплотехнических характеристик. Журн. Атомная энергия, т.98, вып.4, 2005.

Задача №7 Моделирование теплового и НДС состояний инновационного твэла ВВЭР-1000

В нормальных условиях эксплуатации (НУЭ) стержневой инновационный твэл легководного реактора ВВЭР-1000 с топливным сердечником из волокон урана в матрице из сплава Э110 омывается турбулентным потоком воды. Волокна одинакового диаметра равномерно распределяются в топливной матрице. При аварии с потерей теплоносителя (ЛОСА) для предотвращения деградиационных процессов и выхода наработанных радиоактивных продуктов деления в активную зону подается

вода из системы аварийного охлаждения зоны (САОЗ), назначение которой – обеспечение необходимого теплоотвода для компенсации мощности остаточного энерговыделения и пароциркониевой реакции.

Исходные параметры геометрии и работы твэла соответствуют наиболее нагруженному твэлу реактора ВВЭР-1000. Количество волокон выбирается таким образом, чтобы ураноемкость предложенного твэла соответствовала твэлу ВВЭР-1000. Обогащение урана изотопом ^{235}U – 5 %. Диаметр волокон может быть варьируем от 30 до 180 мкм.

Концевыми элементами твэла (газосборник, компенсационная пружина, тоцевые концевики) пренебречь.

1. Предложите подход для моделирования эксплуатационных параметров твэла при НУЭ и аварии ЛОСА.
2. Предложите подход для снижения взаимодействия элементов твэла с окислительными средами.
3. Рассмотрите гетерогенную структуру топливного сердечника твэла и оцените условия, при которых приемлемо проводить замещение на гомогенную структуру.
4. Каким образом будут изменяться характеристики твэла с различной формой топливных частиц (эллипсы, правильные многоугольники)?
5. Оцените тепловые параметры инновационного твэла при НУЭ (максимальную температуру сердечника, тепловой поток на поверхности оболочки)

Задача №8 от представителей ИАТЭ НИЯУ МИФИ

В состав аппаратуры контроля нейтронного потока реактора ВВЭР-1000 входит 64 канала нейтронных измерений (КНИ), каждый из которых состоит из 7 детекторов прямого заряда (ДПЗ), распределённых равномерно по высоте активной зоны (АЗ). Таким образом, состояние АЗ в терминах нейтронного потока описывается матрицей 64×7 . Известно, что при снижении размерности с помощью метода главных компонент, каждая из них может быть интерпретирована как одна из характеристик реактора. Например, первая (наибольшая) описывает мощность установки. Остальные – неравномерность распределения поля по высоте и распределение нейтронного потока по высотным уровням. Необходимо определить такую конфигурацию параметров (возможно меньшего их количества), которая бы позволяла однозначно определять факт ввода ОР СУЗ и его расположение (номер).

