

<https://doi.org/10.52676/1729-7885-2023-3-63-71>

УДК 519.876.5

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛО-ПРОЧНОСТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТОПЛИВНЫХ И КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ОБЛУЧАТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА В ПРОГРАММЕ ANSYS

Е. А. Кабылкаков*, А. С. Сураев

Филиал «Институт атомной энергии» РГП НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

*E-mail для контактов: kabdylkakov@nnc.kz

В работе проведен сопряженный термо-прочностной анализ для модели экспериментального устройства (ЭУ) ID-7. Расчет проведен с использованием связей программ Ansys Fluent и Static Structural в среде ANSYS Workbench через метод Fluid-Structure-Interaction (FSI). Расчет теплового состояния ЭУ проведен с учетом результатов нейтронно-физических расчетов, с применением пользовательской функции UDF (User Defined Function) программы Ansys Fluent. По результатам нестационарного расчета получены значения температуры, которые меняются по времени и по высоте ЭУ. По результатам теплофизического расчета проведен прочностной расчет в программе Static Structure. Получены распределения величины термического расширения и механического расширения (von-Mises) в элементах ЭУ.

Ключевые слова: безопасность, внутриреакторные эксперименты, Ansys Fluent, междисциплинарный анализ, термические нагрузки.

ВВЕДЕНИЕ

При проведении анализа безопасности реакторных экспериментов в Филиале ИАЭ РГП НЯЦ РК используется лицензионное программное обеспечение Ansys [1]. Данный комплекс программ предназначен для выполнения большого числа инженерных расчетов, в том числе для теплофизического и гидравлического анализа систем [2–5], а также для решения задач аэродинамики и моделирования химических реакций [6–10].

Во время реакторных экспериментов температура топливных материалов ЭУ может достигать значения нескольких тысяч градусов Кельвина [11–12]. При данных температурах образуется расплав топлива, который взаимодействует с конструкционными материалами ЭУ. Для обеспечения экспериментов необходимо разрабатывать расчетные методы, которые позволяют проводить моделирование данных процессов.

Во время реакторного эксперимента температурное поле в ЭУ неоднородно. Температура меняется по координатам и времени, в зависимости от диаграммы мощности реактора и свойств самого ЭУ. Поэтому проверку материалов и конструкций на термомеханические нагрузки следует осуществлять методом математического моделирования, поскольку данный метод позволяет точно определить распределения температуры, проводить расчеты с различными начальными и граничными условиями.

Расчетное обоснование безопасности реакторных экспериментов выполняется, в основном, с использованием программы Ansys Fluent и заключается в моделировании тепло-гидравлического состояния экспериментальных устройств (ЭУ) во время реакторных испытаний. Решатель данной программы не предназначен для решения задач, связанных с расчетом прочности материалов, конструкций и т.д.

Для решения подобных задач в программном пакете Ansys используется программа Static Structure. Это программный модуль для решения широкого спектра задач механики деформируемого твердого тела с учетом нелинейных свойств материалов, пластичности и контактного взаимодействия, в том числе задач линейной/нелинейной динамики, теплообмена, акустики, а также выполнения различных междисциплинарных расчетов.

Для проверки материалов и конструкций на термомеханические нагрузки необходимо разработать методику расчета в программе Static Structure, которая позволит учитывать результаты расчета тепло-гидравлического состояния ЭУ в программе Ansys Fluent. Поскольку прочностные свойства материалов меняются в зависимости от температуры.

Для примера можно привести работу [13], где между программами Ansys Fluent и Static Structural проводится междисциплинарный расчет. В первой программе проводится расчет теплового состояния графитового блока, результаты которого экспортируются в программу Static Structural, где проводится расчет прочностных свойств.

Цель данной работы заключается в моделировании термомеханических нагрузок, возникающих в экспериментальном устройстве (ЭУ) во время реакторного эксперимента с помощью программного пакета Ansys.

Задачи исследований:

1. Построить геометрическую и расчетную модель типового ЭУ;
2. Выполнить расчет теплового состояния ЭУ в программе Ansys Fluent;
3. Выполнить структурный анализ ЭУ в программе Static Structural с учетом результатов теплового расчета.

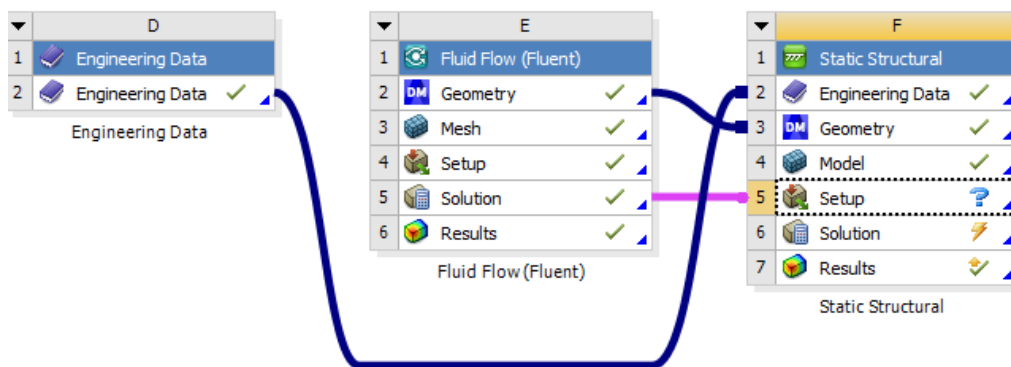


Рисунок 1. Схема реализации FSI метода в ANSYS Workbench

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ РАСЧЕТА

Метод Fluid-Structure-Interaction

Программа Ansys Mechanical имеет функциональную возможность задавать термические нагрузки на материалы и конструкции, но поскольку во время реакторных экспериментов ЭУ охлаждаются теплоносителем и необходимо осуществить моделирования движения жидкостей и газов, что решатель программы Static Structure не может. Поэтому моделирования теплогидравлического состояния ЭУ следует осуществлять в программе Ansys Fluent.

При проведении совместного теплового и структурного анализа необходимо осуществить загрузку результатов расчета в программе Ansys Fluent в программу Static Structure. Для решения данной задачи необходимо применить функциональную возможность *Fluid-Structure-Interaction*.

Fluid-Structure-Interaction (FSI) – метод междисциплинарного анализа, с помощью которого моделируется деформация конструкции на основе нагрузок, возникающих при обтекании конструктивных элементов потоком жидкости или газа. При использовании метода FSI могут быть переданы не только газодинамические, но и термические нагрузки. При этом учитываются механические и температурные деформации исследуемой конструкции. Схема взаимодействия модулей Fluent Flow и Static Structural в окне Workbench показана на рисунке 1. Данные модули включают в себя построения геометрической и расчетной моделей, настройка условий расчетов для решателей Ansys Fluent и Static Structure.

При использовании FSI метода значения температуры и давления, полученные в результате расчетов в программе Ansys Fluent передаются в модуль Static Structural для выполнения структурного анализа. Программный модуль Static Structural предназначен для выполнения стационарного структурного анализа. В данном модуле имеется возможность анализировать стационарные механические процессы с различными конструкциями. Имеется возможность задавать все виды механических граничных условий: давление, сила, ускорение, трение и т.д.

Построение геометрической и расчетной модели ЭУ

Для проведения численных расчетов в программном пакете Ansys осуществляется построение геометрической модели объекта исследования. Из данной геометрической модели генерируется конечно-объемная расчетная модель (сетка), которая далее загружается в соответствующий решатель (Ansys Mechanical, Ansys Fluent, Ansys Explicit и т.д.).

Геометрическая модель ЭУ строится на основании чертежно-технической документации. Для построения геометрических моделей в данной работе использовалась программа Design Modeler. Основой для построения модели послужила конструкция ЭУ ID-7.

ЭУ ID-7 предназначается для исследований заключительной стадии тяжелой аварии реактора на быстрых нейтронах, направленных на исключение возможности формирования повторно-критической конфигурации расплавленного топлива, а также на определение условий, обеспечивающих удержание расплава внутри корпуса реактора [14]. На рисунке 2 представлено поперечное сечение геометрической модели ЭУ.

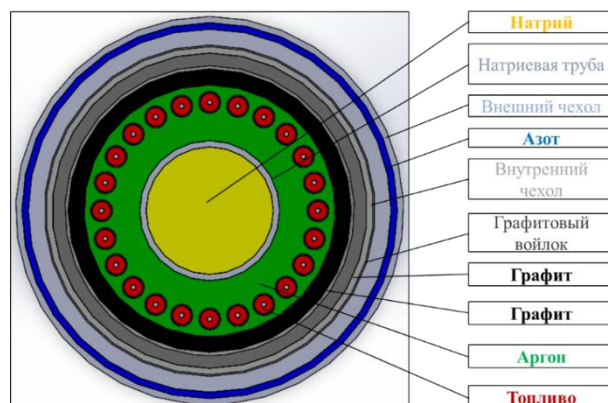
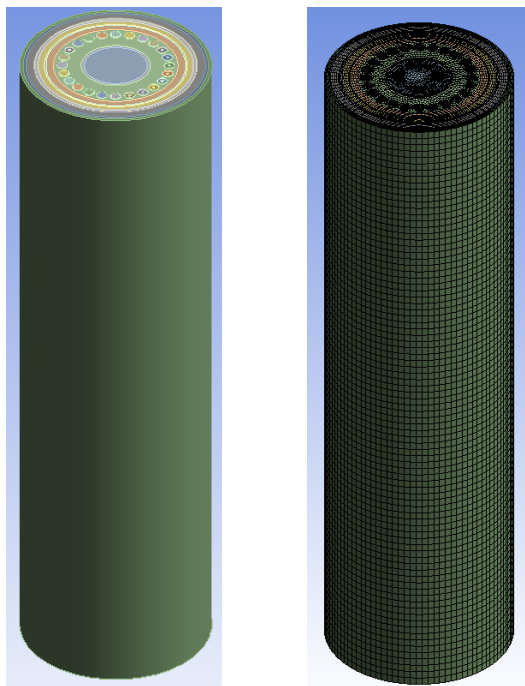


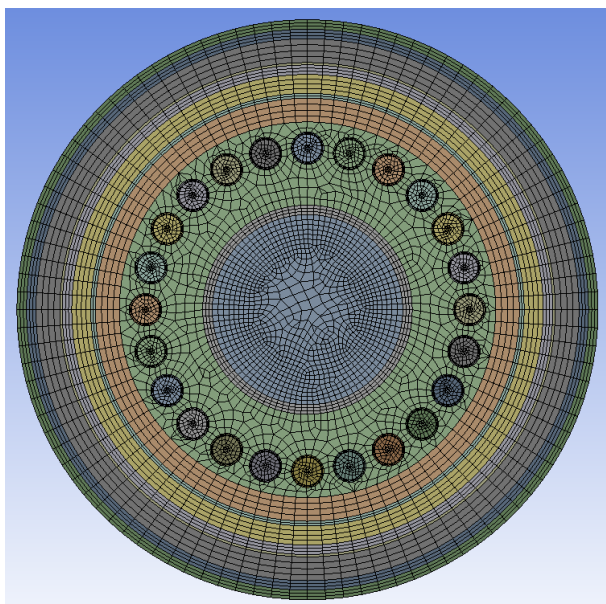
Рисунок 2. Поперечное сечение ЭУ

Во время эксперимента образуется расплав ТВС, который по внутренней стальной трубе перемещается в ловушку расплава. Во время эксперимента топ-

ливо очень быстро достигает температуры плавления, в результате которого в конструкционных материалах могут образоваться градиенты температуры, вызывающие механические напряжения.



а) трехмерная геометрическая модель ЭУ б) трехмерная расчетная модель ЭУ



в) поперечное сечение расчетной модели ЭУ

Рисунок 3. Конечно-объемная расчетная модель ЭУ

ЭУ состоит из внутреннего и внешнего корпуса, графитового войлока, углепластика, графитового стакана, ТВС, внутренней натриевой трубы и натрия. ТВС состоит из 24 твэлов, размещенных по кольцу радиусом 34 мм. Высота топливного столба составляет 435 мм. В составе твэлов применены топливные таблетки типа БН-350 из диоксида урана с обогащением 17% по ^{235}U . Общая высота ТВС составляет 466 мм. На рисунке 3а представлена трехмерная геометрическая модель ЭУ. После построения геометрической модели ЭУ была загружена в программный модуль Ansys Meshing, где осуществляется построение конечно-объемной расчетной модели ЭУ (рисунки 3б, 3в). Построенная конечно-объемная расчетная модель ЭУ состоит из 718000 элементов и 683000 узлов.

Постановка задачи

Для расчета теплового состояния ЭУ в программе Ansys Fluent необходимо задать начальные и граничные условия расчета, теплофизические свойства материалов. В устройстве ID-7 охлаждение внутреннего и внешнего корпуса осуществляется азотом, с массовым расходом 200 г/с. Температура азота на входе составляет 300 К. Начальная температура в ЭУ составляет 648 К. Теплофизические свойства материалов заимствованы из источников [15–17].

Для определения энергетических параметров топлива и конструктивных элементов ЭУ с учетом их радиационного разогрева был выполнен ряд нейтронно-физических расчетов реактора и ЭУ в программном комплексе MCNP5 с библиотекой ENDF/B-VII, в процессе которых во внимание принимался разогрев графитовой кладки реактора ИГР и перемещение расплава топлива и конструкционных материалов ЭУ в процессе реализации диаграммы изменения мощности реактора (рисунок 4). Интегральное энерговыделение в реакторе ИГР составило 1398 МДж [14]. По результатам нейтронно-физических расчетов для заданной диаграммы мощности реактора получены значения внутреннего энерговыделения.

По заданным начальным и граничным условиям расчета необходимо провести расчет теплового состояния ЭУ. Получить распределения температуры в объеме ЭУ, определить максимальные значения температуры в элементах ЭУ.

По результатам теплофизического расчета в программе Ansys Fluent провести расчет термомеханических нагрузок в программе Static Structural. Определить распределения термического расширения элементов ЭУ и механического напряжения (по методу von-Mises).

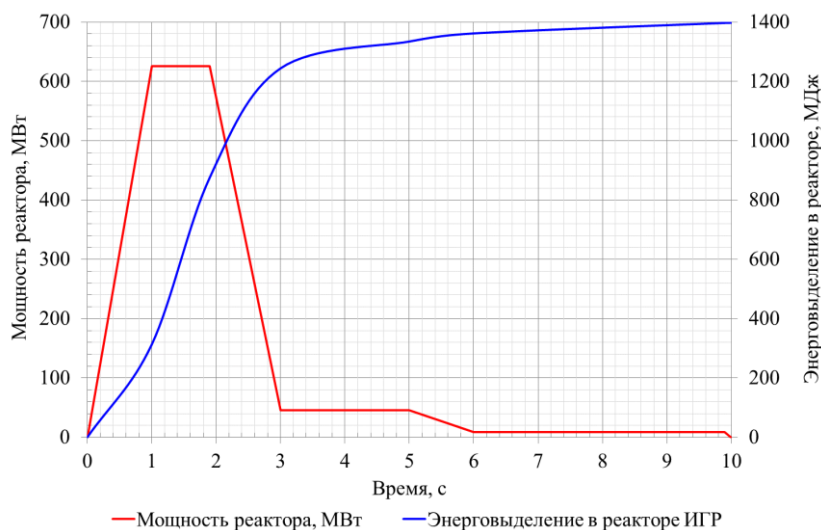


Рисунок 4. Диаграмма изменения мощности реактора ИГР [14]

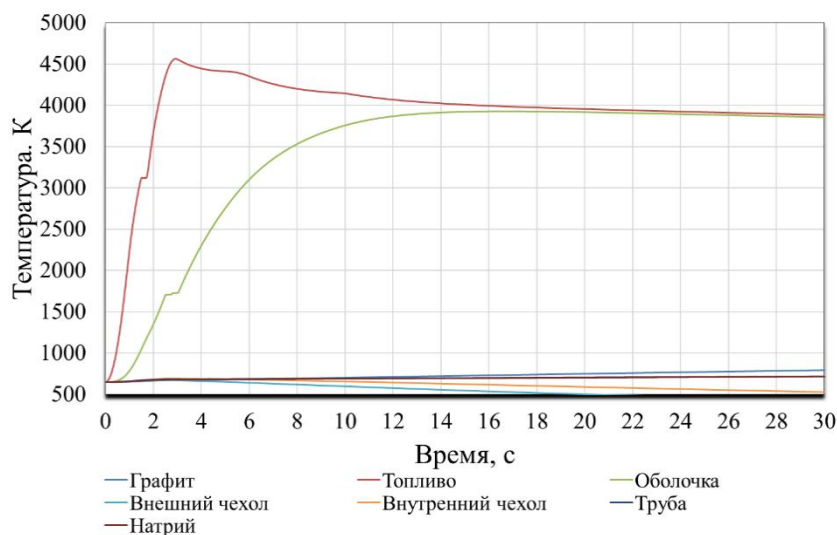


Рисунок 5. Диаграмма изменения максимальной температуры в элементах ЭУ

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА И ОБСУЖДЕНИЯ

Результаты расчета теплового состояния ЭУ в программе Ansys Fluent

Результаты нейтронно-физических расчетов заданы применением пользовательской функции (User Defined Function – UDF). Применение данных функций позволяют задавать значения энерговыведения по определенному распределению в объеме ЭУ. Также, данные функции позволяют задавать энерговыведение по определенной диаграмме, что соответствует условиям реакторного эксперимента.

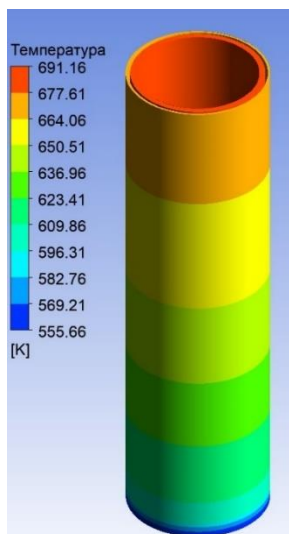
По результатам расчета теплового состояния в программе Ansys Fluent получена диаграмма изменения максимальной температуры элементов ЭУ (рисунок 5). Расчет проводился для промежутка времени от 0 до 30 с.

Температура топлива достигает точки плавления 3173 К при 1,77 с и в дальнейшем увеличивается. Оболочка топлива достигает температуру плавления

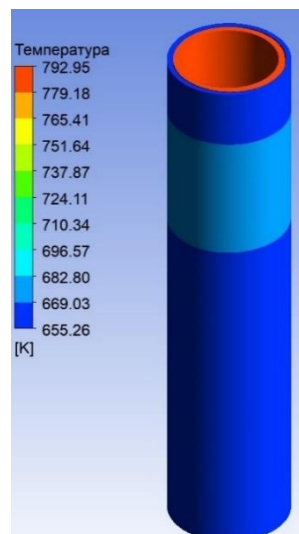
стали 1700 К при 2,5 с. Температура графитового стакана увеличивается до конца расчета и достигает максимального значения 793 К в конце расчета. Внутренний чехол ЭУ достигает максимальной температуры 691 К при 2,85 с, а внешний чехол достигает максимальной температуры 672 К при 2,55 с.

Поскольку температура топлива и его оболочки достигают точки плавления, образуется расплав топлива и его оболочки. Данный расплав взаимодействует с внутренней трубой ЭУ, в котором находится натрий. На рисунке 6 а-б представлены распределения температуры внешнего и внутреннего чехла и графитового стакана ЭУ.

После завершения теплофизических расчетов в программе Ansys Fluent результаты загружаются в программу Static Structural. В дереве проекта программы Static Structural выбирается вкладка *Imported Load*, после чего осуществляется загрузка значений температуры (рисунок 7).

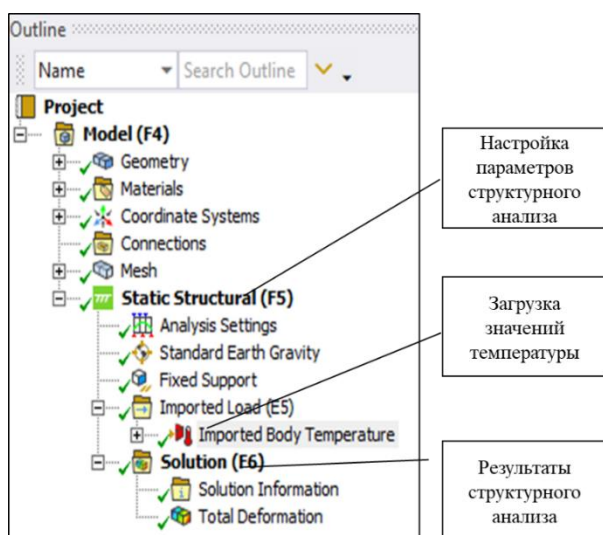


а) распределение температуры внутреннего и внешнего чехла ЭУ при 2,85 с

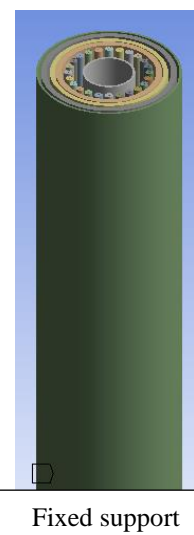


б) распределение температуры графитового стакана ЭУ при 30 с

Рисунок 6. Распределения температуры в элементах ЭУ



а) загрузка результатов теплофизического расчета через дерево проекта программы Static Structural



б) нижняя грань модели закреплена

Рисунок 7. Настройка условий расчета в программе Static Structural

Условия расчета. При проведении расчетов в программе Static Structural необходимо задать места закрепления модели. Согласно конструкторской документации, графитовый стакан, внутренний и внешний стальной чехол крепятся с нижней стороны к силовому корпусу ЭУ, поэтому, в модели, данные элементы имеют жесткое закрепление нижних граней с помощью функции *Fixed Support* (рисунок 8). Также учитывается влияние сил гравитации.

Программный пакет Ansys располагает собственной библиотекой материалов *Engineering Data*. В данной библиотеке свойства материалов задаются в зависимости от температуры. Имеется возможность создавать собственные материалы, и менять свойства

существующих. В ЭУ ID-7 внутренние и наружные чехлы изготовлены из стали марки 12X18H10T, поэтому в модели задаются теплофизические и механические свойства данной марки. Данные по механическим свойствам материалов заимствованы из источников [18–20].

В результате расчетов в программе Static Structural получены значения распределения двух величин:

- термической деформации;
- механического напряжения (von-Mises).

На рисунке 8 представлены распределения термической деформации в элементах ЭУ при 30 с.

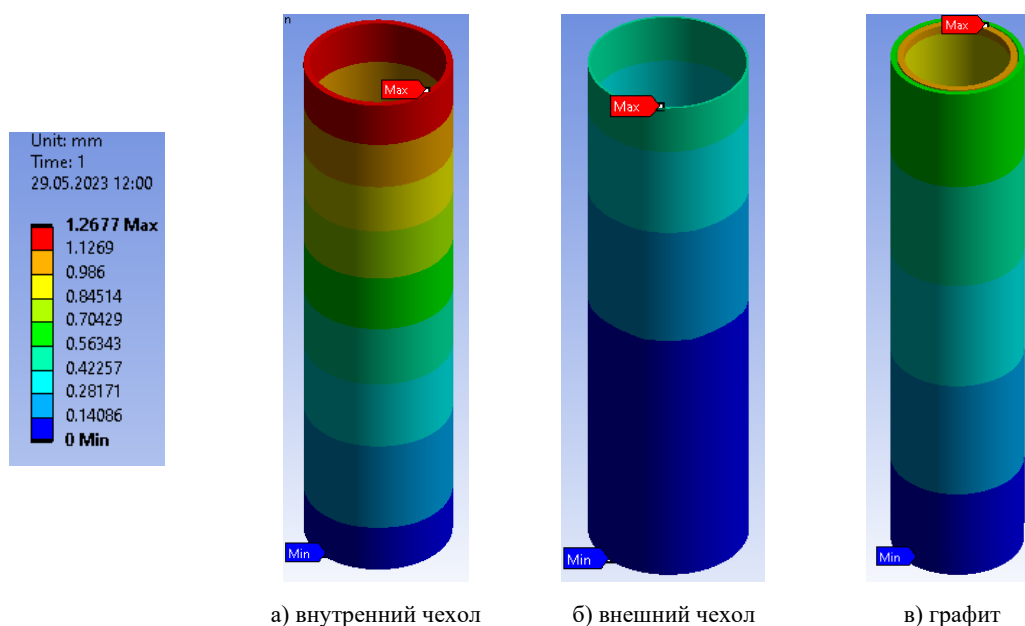


Рисунок 8. Распределения термической деформации в элементах ЭУ (30 с)

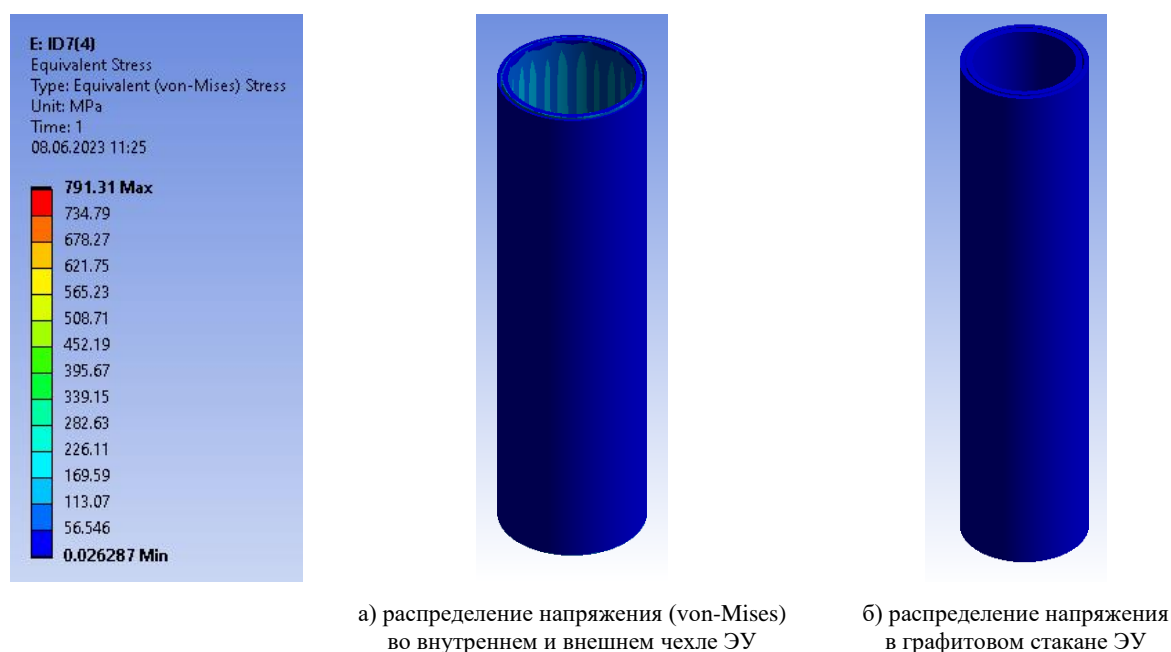


Рисунок 9. Распределения напряжения (von-Mises) в ЭУ (30 с)

Термическая деформация элементов ЭУ происходит в продольном направлении. Во внутреннем чехле ЭУ термическая деформация имеет большее значения относительно деформации в графите и внешнего чехла ЭУ. Во внутреннем чехле ЭУ термическая деформация равна 1,2 мм, в графите 1 мм, во внешнем чехле 0,5 мм. Коэффициент термического расширения стали больше относительно графита ($1,2 \cdot 10^{-5} \text{ C}^{-1}$ и $3,2 \cdot 10^{-6} \text{ C}^{-1}$ при $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$) и во внутреннем чехле ЭУ большая температура относительно внешнего чехла.

По результатам расчета в программе Static Structure получены распределения напряжения по ме-

тоду von-Mises [21–22]. При расчете в программе Static Structure применяется функция Fixed Support, которая обеспечивает неподвижное закрепления нижней грани модели ЭУ (рисунок 10). Вследствие применения данной функции на нижней грани модели ЭУ возникают точечные механические напряжения до 791 МПа, что превышает предел прочности стали 12X18H10T (600–700 МПа при комнатной температуре). В остальном объеме ЭУ напряжения значительно ниже (см. рисунок 9 а-б). Например, среднее напряжение во внутреннем чехле ЭУ – 44 МПа, тогда как во внешнем чехле – 19,75 МПа.

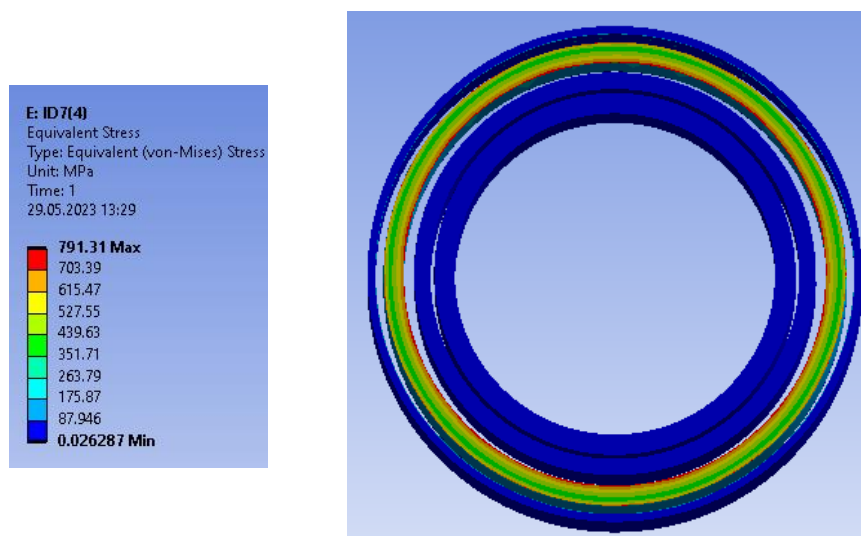


Рисунок 10. Распределения напряжения в нижней грани ЭУ (30 с)

Механическое напряжение в объеме графитового стакана распределено однородно и при 30 с не превышает 56 МПа. Термическое расширение графита происходит в продольных и поперечных направлениях, также воздействует сила тяжести. Поскольку движение графита ограничено в нижней грани, возникающие напряжения являются напряжениями на сжатие и растяжение. Предел прочности при комнатной температуре графита марки R4340, который применяется в устройстве ID-7, на сжатие составляет 90 МПа, на изгиб 45 МПа [23]. Данные по значению прочности графита при более высоких температурах и на растяжение на данный момент отсутствуют.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе на примере ЭУ показано, что с использованием связки программ Ansys Fluent и Static Structural в среде Ansys Workbench имеется возможность проводить сопряженный термо-прочностной анализ экспериментального устройства, предназначенного для реакторных экспериментов. На правильность результатов такого анализа влияют данные о теплофизических и механических свойствах материалов, граничные условия теплового и структурного анализа, а также качество построения сеточной модели.

По результатам расчета получено распределение температуры, оценено линейное термическое расширение элементов и показаны эпюры напряжений (von-Mises) в элементах ЭУ.

Установлено, что при заданной диаграмме энерговыделения в объеме ЭУ и выбранном в качестве примера способе закрепления модели, максимальное линейное расширение в графитовом стакане достигает значения 1 мм в продольном направлении. При этом, среднее напряжение (von-Mises) в графитовом стакане составляет 1,76 МПа.

Установлено, что при заданной диаграмме энерговыделения в объеме ЭУ и выбранном в качестве примера способе закрепления модели, максимальное

линейное расширение во внутреннем чехле составляет 1,2 мм в продольном направлении. Значение среднего напряжения (von-Mises) во внутреннем чехле ЭУ составляет 44 МПа.

Таким образом можно сделать вывод о том, что FSI метод моделирования экспериментальных устройств может быть применен при проведении анализа безопасности реакторных испытаний.

Работа выполнена в рамках научно-технической программы «Развитие атомной энергетики в Республике Казахстан» (BR09158470).

ЛИТЕРАТУРА

1. ANSYS, Inc. Products Release 2021 R1. Academic research Mechanical and CFD.
2. Yadav A. S. et al. CFD analysis of heat transfer performance of ribbed solar air heater // Materials Today: Proceedings. – 2022.
3. Gibreel M., Zhang X., Elmouazen H. Numerical study on enhanced heat transfer and flow characteristics of supercritical hydrogen rocket engine's chamber wall using cylindrical ribs structure // International Journal of Hydrogen Energy. – 2022. – V. 47. – No. 39. – P. 17423–17441.
4. Huang J. et al. Heat transfer analysis of heat pipe cooled device with thermoelectric generator for nuclear power application // Nuclear Engineering and Design. – 2022. – V. 390. – P. 111652.
5. Choudhary T. et al. Computational analysis of a heat transfer characteristic of a wavy and corrugated channel // Materials Today: Proceedings. – 2022. – T. 56. – P. 263–273.
6. Lee J. et al. Vehicle Aerodynamic Drag for Tire Shape Parameters Using Numerical Analysis // International Journal of Automotive Technology. – 2022. – T. 23. – No. 2. – P. 335–344.
7. Basit A., Hidayatullo R. S., Royana M. Aerodynamic analysis and car body optimization of saving energy “WARAK” using software Ansys Fluent R15. 0 // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – IOP Publishing, 2020. – T. 788. – No. 1. – P. 012073.

8. Sakipova S. E., Tanasheva N. K. Modeling aerodynamics of the wind turbine with rotating cylinders // Eurasian Physical Technical Journal. – 2021. – Т. 16. – No. 1 (31). – P. 88–93.
9. Qu Q. et al. Numerical study of aerodynamics of a wing-in-ground-effect craft // Journal of Aircraft. – 2014. – Т. 51. – No. 3. – P. 913–924.
10. Mohan B., Cui X., Chua K. J. Development of chemical reaction kinetics of VOC ozonation // Procedia engineering. – 2017. – Т. 180. – P. 1372–1378.
11. Отчет о научно-исследовательской работе. Анализ результатов эксперимента FD. 2006 г.
12. Отчет о научно-исследовательской работе. Анализ результатов эксперимента ID 4. 2011 г.
13. Surayev A. S. et al. Impact assessment of the IGR graphite block uneven impregnation with uranium on thermal strength properties // Вестник. Серия Физическая (ВКФ). – 2022. – Т. 82. – № 3. – С. 52–59
14. Технический отчет о научно-исследовательской работе. Анализ условий безопасного проведения испытаний экспериментального устройства ID-7, 2020 г.
15. International Atomic Energy Agency. Thermophysical Properties of Materials for Nuclear Engineering: A Tutorial and Collection of Data. – 2008.
16. Haynes W. M. CRC handbook of chemistry and physics, (Internet Version 2011) // Taylor Francis Group: Boca Raton, FL. – 2011.
17. Чиркин, В.С. Теплофизические свойства материалов ядерной техники / В.С. Чиркин. – М.: Атомиздат, 1968. – 121–128, 291–294, 237–239 с.
18. https://metallcheckiy-portal.ru/marki_metallov/stk/12X18H10T
19. <https://areal-metal.ru/spravka/stal-12h18n10t>
20. <https://metal.place.ru/wiki/12kh18n10t/>
21. <https://www.simscale.com/docs/simwiki/fea-finite-element-analysis/what-is-von-mises-stress/>
22. <https://www.continuummechanics.org/vonmisesstress.html>
23. <https://www.sglcarbon.com/pdf/SGL-Datasheet-SIGRAFINE-R4340-EN.pdf>
- application // Nuclear Engineering and Design. – 2022. – V. 390. – P. 111652.
5. Choudhary T. et al. Computational analysis of a heat transfer characteristic of a wavy and corrugated channel // Materials Today: Proceedings. – 2022. – Т. 56. – P. 263–273.
6. Lee J. et al. Vehicle Aerodynamic Drag for Tire Shape Parameters Using Numerical Analysis // International Journal of Automotive Technology. – 2022. – Т. 23. – No. 2. – P. 335–344.
7. Basit A., Hidayatullo R. S., Royana M. Aerodynamic analysis and car body optimization of saving energy “WARAK” using software Ansys Fluent R15. 0 // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – IOP Publishing, 2020. – Т. 788. – No. 1. – P. 012073.
8. Sakipova S. E., Tanasheva N. K. Modeling aerodynamics of the wind turbine with rotating cylinders // Eurasian Physical Technical Journal. – 2021. – Т. 16. – No. 1 (31). – P. 88–93.
9. Qu Q. et al. Numerical study of aerodynamics of a wing-in-ground-effect craft // Journal of Aircraft. – 2014. – Т. 51. – No. 3. – P. 913–924.
10. Mohan B., Cui X., Chua K. J. Development of chemical reaction kinetics of VOC ozonation // Procedia engineering. – 2017. – Т. 180. – P. 1372–1378.
11. Отчет о научно-исследовательской работе. Анализ результатов эксперимента FD. 2006 г.
12. Отчет о научно-исследовательской работе. Анализ результатов эксперимента ID 4. 2011 г.
13. Surayev A. S. et al. Impact assessment of the IGR graphite block uneven impregnation with uranium on thermal strength properties // Vestnik. Seriya Fizicheskaya (VKF). – 2022. – Т. 82. – No. 3. – P. 52–59
14. Tekhnicheskii otchet o nauchno-issledovatel'skoy rabote. Analiz usloviy bezopasnogo provedeniya ispytaniy eksperimental'nogo ustroystva ID-7, 2020 g.
15. International Atomic Energy Agency. Thermophysical Properties of Materials for Nuclear Engineering: A Tutorial and Collection of Data. – 2008.
16. Haynes W. M. CRC handbook of chemistry and physics, (Internet Version 2011) // Taylor Francis Group: Boca Raton, FL. – 2011.
17. Chirkin, V.S. Teplofizicheskie svoystva materialov yadernoy tekhniki / V.S. Chirkin. – Moscow: Atomizdat, 1968. – 121–128, 291–294, 237–239 p.
18. https://metallcheckiy-portal.ru/marki_metallov/stk/12X18H10T
19. <https://areal-metal.ru/spravka/stal-12h18n10t>
20. <https://metal.place.ru/wiki/12kh18n10t/>
21. <https://www.simscale.com/docs/simwiki/fea-finite-element-analysis/what-is-von-mises-stress/>
22. <https://www.continuummechanics.org/vonmisesstress.html>
23. <https://www.sglcarbon.com/pdf/SGL-Datasheet-SIGRAFINE-R4340-EN.pdf>

REFERENCES

**ANSYS БАҒДАРЛАМАСЫНДА СӘУЛЕЛЕНДІРГІШ ҚҰРЫЛҒЫЛАРДАҒЫ КОНСТРУКЦИЯЛЫҚ
ЖӘНЕ ОТЫНДЫҚ МАТЕРИАЛДАРДЫҢ ЖЫЛУ-БЕРІКТІК ӘРЕКЕТТЕСУІН МОДЕЛЬДЕУ**

Е. А. Қабдылқақов*, А. С. Сураев

ҚР ҰЯО РМК «Атом энергиясы институты» филиалы, Курчатов, Қазақстан

**Байланыс үшін E-mail: kabdylkakov@nnc.kz*

Жұмыста эксперименталдық құрылғы (ЭҚ) ID-7 моделі үшін жылулық және механикалық есептеулер жүргізілді. Есептеу Fluid-Structure-Interaction (FSI) әдісі арқылы Ansys Workbench ортасында Ansys Fluent және Static Structural бағдарламаларының қолдану арқылы жүзеге асырылады. ЭҚ-ның жылу күйін есептеу Ansys Fluent бағдарламасының UDF (User Defined Function) функциясымен және нейтрондық-физикалық есептеулердің нәтижелерін ескере отырып жүргізілді. Стационарлық емес есептеу нәтижелері бойынша температура мәндері алынды. Температура мәндері уақыт және ЭҚ көлемі бойынша өзгеріске ұшырайды. Термофизикалық есептеу нәтижелері бойынша Static Structure бағдарламасында беріктік есебі жүргізілді. ЭҚ элементтеріндегі жылулық кеңею және механикалық кеңею (von-Mises) шамасының мәндерінің таралуы алынды.

Түйін сөздер: қауіпсіздік, реакторлік эксперименттер, Ansys Fluent, пәнаралық талдау, жылулық жүктемелер.

**MODELING OF HEAT-STRENGTH INTERACTION OF FUEL AND STRUCTURAL MATERIALS
OF AN IRRADIATING DEVICE IN THE ANSYS SOFTWARE**

Y. A. Kabdylkakov*, A. S. Suraev

RSE NNC RK Branch “Institute of Atomic Energy”, Kurchatov, Kazakhstan

**E-mail for contacts: kabdylkakov@nnc.kz*

In the work, a conjugate thermo-strength analysis was carried out for the ID-7 experimental device (ED) model. The calculation was carried out using bundles of Ansys Fluent and Static Structural programs in the Ansys Workbench environment using the Fluid-Structure-Interaction (FSI) method. The calculation of the thermal state of the ED was carried out taking into account the results of neutron-physical calculations, using the user function UDF (User Defined Function) of the Ansys Fluent program. According to the results of the non-stationary calculation, the temperature values are obtained, which vary in time and in the height of the ED. Based on the results of the thermophysical calculation, a strength calculation was carried out in the Static Structure program. Distributions of the magnitude of thermal expansion and mechanical expansion (von-Mises) in the elements of the ED are obtained.

Keywords: safety, in-reactor experiments, Ansys Fluent, interdisciplinary analysis, thermal loads.