

<https://doi.org/10.52676/1729-7885-2022-3-55-63>  
УДК 519.876.5

## ПРИМЕНЕНИЕ ТЕКСТОВОГО ИНТЕРФЕЙСА ПРОГРАММЫ ANSYS FLUENT ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТИПОВОГО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО УСТРОЙСТВА

Е.А. Кабдылкаков, А.С. Сураев, Р.А. Иркимбеков

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

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

Работа посвящена разработке журнала текстовых команд программы ANSYS FLUENT. Несмотря на то, что данная программа имеет хорошо развитый и интуитивно понятный графический интерфейс, журналы команд позволяют проводить настройки решателя, оптимизируя процесс расчетного обоснования безопасности реакторных экспериментов, проводимых в Филиале «Институт атомной энергии» РГП «Национальный ядерный центр РК» (Филиал ИАЭ РГП НЯЦ РК). Журнал команд позволяет сохранить настройки решателя программы ANSYS FLUENT в виде программного кода в отдельном файле, который в последующем можно будет редактировать и использовать для других расчетов. Также это позволит улучшить групповую работу сотрудников над одним проектом, облегчить процесс обмена параметрами решателя и оперативно вносить поправки и исправления. В рамках данной работы разработана методика построения журнала команд для моделирования теплофизического состояния экспериментальных устройств в реакторных экспериментах. Разработанная методика апробирована на примере решения теплофизической задачи с типовым ЭУ.

**Ключевые слова:** ANSYS FLUENT, текстовый пользовательский интерфейс, типовое экспериментальное устройство, реакторный эксперимент, журнал команд.

### ВВЕДЕНИЕ

#### Настройка решателя ANSYS FLUENT через графический интерфейс программы

При проведении анализа безопасности реакторных экспериментов в Филиале ИАЭ РГП НЯЦ РК используется лицензионное программное обеспечение ANSYS FLUENT [1]. Данная программа предназначена для выполнения теплофизического и гидравлического анализа систем [2–5], а также для решения задач аэродинамики и моделирования химических реакций [6–10].

Расчетное обоснование безопасности проводимых реакторных экспериментов заключается в моделировании теплофизического состояния экспериментальных устройств (ЭУ).

В рамках моделирования теплофизического состояния ЭУ необходимо решить ряд задач:

1. Построить геометрическую модель ЭУ;
2. Получить конечно-элементную расчетную модель ЭУ;
3. Провести настройку условий расчета;
4. Выполнить расчет;
5. Провести обработку и анализ результатов расчета.

Построение геометрической и конечно-элементной расчетной модели (сетки) ЭУ осуществляется в различных программах пакета ANSYS. После построения сетки данная модель загружается в программу ANSYS FLUENT, где проводится настройка условий расчета и сам расчет. Под настройкой условий расчета подразумевается выбор алгоритма численного решения дифференциального уравнения, задание свойств материалов модели, начальных и гра-

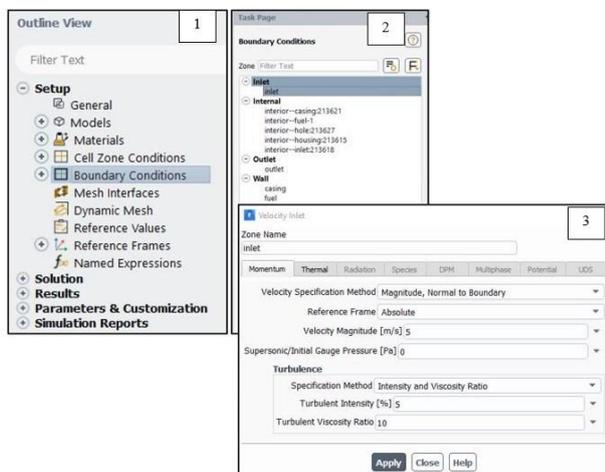
ничных условий, выбор схем дискретизации. После данных операций проводится инициализация расчета и выполняется задание начальных значений рассчитываемых физических величин (температура, давление и т.д.) в объеме ЭУ. Для проведения расчета необходимо указать количество итераций и величину временного шага.

Настройка решателя обычно осуществляется через графический интерфейс программы. При использовании графического интерфейса открывается множество различных окон и вкладок, где вводятся значения различных физических величин и расчетных параметров. Данная методика настройки решателя, несмотря на свою простоту, имеет ряд недостатков. В частности, открытие множества графических окон и ввод множества расчетных параметров является утомительным для пользователя программы, поскольку требуется повторение одних и тех же операций. При увеличении количества внутренних элементов в модели, количество операций увеличивается многократно.

Как правило, расчетное обоснование безопасности реакторных экспериментов требует проведения серии из нескольких расчетов, отличающихся несколькими входными параметрами. В случае проведения такого обоснования группой сотрудников, возникает проблема, связанная с воспроизводством неизменных условий в серии однотипных расчетов. Поэтому, если первоначальная настройка решателя программы была проведена одним сотрудником, то другой будет вынужден воспроизводить те же операции в графическом интерфейсе программы, что является длительным, трудозатратным и неэффективным про-

цессом. При таком подходе существует риск возникновения ошибок, связанных с человеческим фактором.

На рисунке 1 представлен пример настройки граничных условий расчета через графический интерфейс программы ANSYS FLUENT. Для настройки граничных условий в дереве проекта выбирается вкладка *Boundary Conditions*. После выбора данной вкладки открывается список с названиями границ. Каждой границе соответствует собственный ID номер. Для примера выберем границу *Inlet*. После выбора данной границы откроется окно, где устанавливается направление скорости теплоносителя и величина его скорости. Для настройки температуры теплоносителя в данном окне необходимо выбрать вкладку *Thermal*, где указывается значение температуры. Настройка других граничных условий осуществляется аналогично.



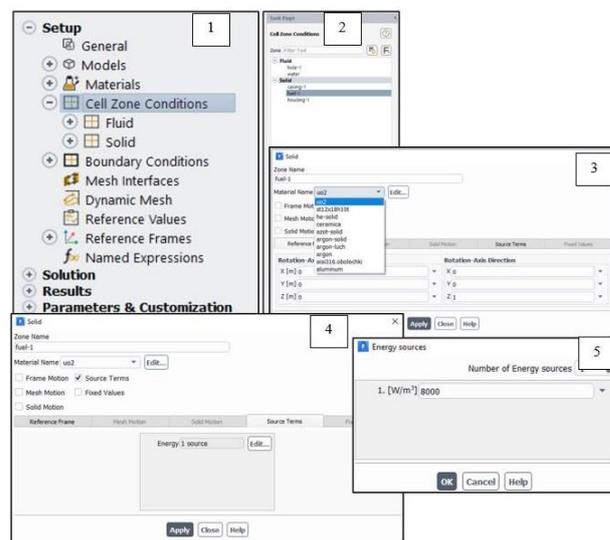
1 – выбор вкладки граничных условий в дереве проекта; 2 – выбор входной границы *inlet*; 3 – настройка параметров входной границы

Рисунок 1. Алгоритм настройки граничных условий расчета через графический интерфейс

Во время проведения эксперимента, под воздействием реакторного излучения, в элементах ЭУ (в топливе, оболочке, конструкционных элементах) происходит выделение тепловой энергии. Поэтому, при моделировании теплового состояния ЭУ в ANSYS FLUENT задается внутреннее энерговыделение. Для настройки внутреннего энерговыделения необходимо выбрать расчетную зону, задать в данной зоне вид материала и количество источников энергии (рисунок 2).

Исходя из вышесказанного, можно прийти к выводу, что настройка решателя программы ANSYS FLUENT через графический интерфейс является длительным процессом. Последовательные переходы между множеством графических окон при настройке решателя сильно замедляют процесс подготовки и проведения серии расчетов, которые часто требуются для обоснования безопасности реакторных экспериментов. По этой причине для автоматизации процес-

са настройки решателя, управления расчетом (регулировки временного шага и количества итераций) и обработки результатов, особенно при групповой работе над проектом, предлагается использовать текстовый интерфейс (*Text command*) программы ANSYS FLUENT.



1 – список зон в дереве проекта; 2 – выбор расчетной зоны *fuel-1*; 3 – назначение материала *UO<sub>2</sub>* для расчетной зоны *fuel-1*; 4 – активация источника внутренней энергии; 5 – задание конкретного значения внутреннего удельного энерговыделения

Рисунок 2. Алгоритм задания энерговыделения в топливе

### Настройка решателя программы ANSYS FLUENT с помощью текстового интерфейса

Текстовый интерфейс ANSYS FLUENT представляет собой текстовые команды (*Text command*), соответствующие различным операциям в программе [11]. Текстовый интерфейс расширяет функциональные возможности программы и позволяет сохранить настройки ее решателя в виде программного кода. Каждому действию в программе соответствует своя текстовая команда.

В программе ANSYS FLUENT имеется два способа ввода текстовых команд:

1. Использование командной строки ANSYS FLUENT (рисунок 3);
2. Использование журнала команд.

Для оптимизации процесса настройки решателя программы ANSYS FLUENT предпочтительнее использовать журнал команд. Журнал команд представляет собой текстовый файл с расширением *«.jou»*, в котором прописываются текстовые команды для настройки решателя. Соответственно, текстовые команды могут быть сохранены в данном файле и при необходимости отредактированы. Используя журнал команд, можно разработать методику настройки решателя, для расчетных обоснований безопасности проводимых реакторных экспериментов.

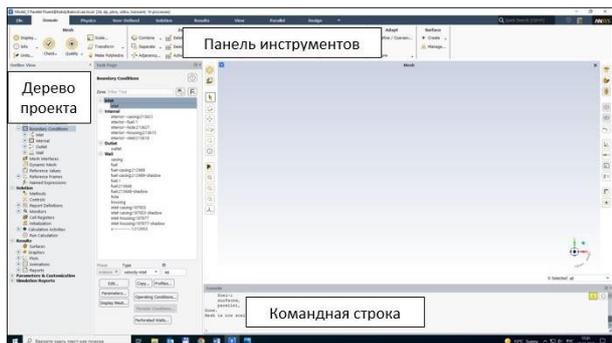


Рисунок 3. Окно программы ANSYS FLUENT

## МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ РАСЧЕТА

### Разработка журнала команд

Для создания журнала команд необходимо создать файл с расширением «.jou». Для чтения журнала команд в окне программы ANSYS FLUENT необходимо выбрать команду *File* → *Read* → *Journal* (рисунок 4).

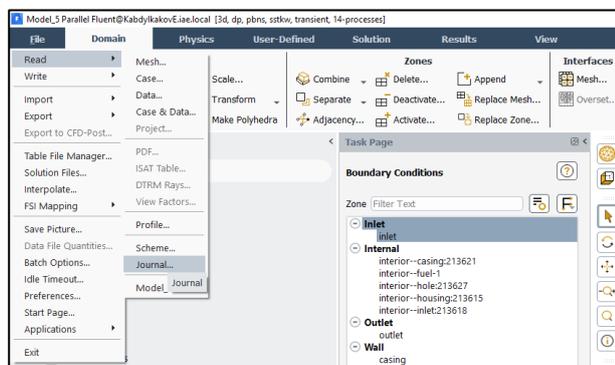


Рисунок 4. Чтение журнала команд

После выполнения данной команды откроется окно, где необходимо выбрать сохранённый журнал. После чтения журнала все содержащиеся в нем текстовые команды будут выполнены. Чтение журнала можно также осуществить через командную строку. Для этого в командной строке необходимо ввести команду *File/Read/FileName.jou*. В разрабатываемом журнале команд должны содержаться основные настройки решателя программы ANSYS FLUENT для решения теплофизической задачи. Основные настройки решателя программы включают в себя:

1. Настройка влияния сил тяготения;
2. Настройка используемых расчетных моделей;
3. Настройка свойств материалов;
4. Настройка начальных и граничных условий;
5. Настройка внутреннего удельного энерговыделения;
6. Настройка схем дискретизации;
7. Инициализация расчета;
8. Настройка временного шага и количества итераций.

На рисунке 5 представлены текстовые команды для учета сил гравитации, включения уравнения энергии, выбора модели турбулентности.

```
1 /define/operating-conditions/gravity yes 0 -9.81 0
2 /define/models/energy yes yes yes
3 /define/models/viscous/k-sst yes
```

Рисунок 5. Командные строки для учета влияния сил гравитации, активации уравнения энергии и выбора модели турбулентности

Значения «0» в первой строке обозначают отсутствие сил тяготения по направлениям OX и OZ и ее действие только по направлению OY. Строка 2 указывает программе на активацию уравнения энергии. Команды «yes» в данной строке обозначают положительный ответ на запросы программы «Enable energy model?» (Использовать модель энергии?), «Compute viscous energy dissipation?» (Рассчитать вязкое рассеяние энергии?), «Include diffusion at inlets?» (Включить диффузию на входе?). Строка 3 отвечает за выбор *k-omega* в качестве расчетной модели турбулентности.

Для большинства расчетов, связанных с обоснованием безопасности реакторных экспериментов, текстовые команды 1–3 (рисунок 5) остаются неизменными. Это связано с тем, что в данных расчетах применяется ряд физических моделей: влияние сил гравитации, наличие источника энергии и турбулентных течений (модель турбулентности *k-omega*). Данные модели остаются неизменными для большинства экспериментов и время от времени уточняются.

Для первоначальной настройки свойств материалов и формирования базы материалов проекта предпочтительней использовать графический интерфейс программы. С его помощью удобно контролировать вводимые значения плотности, теплопроводности, теплоемкости, вязкости материала и прочих свойств, а также задавать нелинейные температурные зависимости этих свойств. После формирования базы материалов ее можно записать в специальный файл, чтобы иметь возможность использовать эти материалы в других проектах. Использование базы данных материалов уменьшает объем затрачиваемого времени на настройку свойств материалов через графический интерфейс программы ANSYS FLUENT. Ручное редактирование этого файла также доступно в любом текстовом редакторе, это может быть необходимо в случае расширения свойств материала или обнаружения неточностей в первоначальной базе материалов.

Внутреннее энерговыделение в топливе задается с использованием пользовательских функций (User Defined Function – UDF). UDF – это программируемая пользователем функция, которую можно загружать с помощью решателя ANSYS FLUENT для расширения возможностей программы [12]. UDF функции записываются в файл и интерпретируются самой программой. Пользовательские функции применяются при решении широкого круга физических задач [13–16]. В работе [17] по анализу безопасности проводимых реакторных экспериментов UDF функции применялись для задания внутреннего энерговыделения в ЭУ.

```

4 /define/user-defined/interpreted-functions/"C:/Users/kabdyllakov/Desktop/Work/NNC_scholarship/Model/Model_2/UDF.c" "cpp" 10000 no
5 /define/boundary-conditions/ velocity-inlet inlet no no yes yes no 0.5 no 0 no 300 no no yes 5 10
6 /define/boundary-conditions/solid/fuel-1 yes uo2 yes 1 no yes toplivo no no no 0 no 0 no 0 no 0 no 0 no 1 no no no
7 /define/boundary-conditions/solid/casing-1 yes aisi316.obolochki no no no no 0 no 0 no 0 no 0 no 0 no 1 no no no
8 /define/boundary-conditions/solid/housing-1 yes st12x18h10t no no no no 0 no 0 no 0 no 0 no 0 no 1 no no no
9 /define/boundary-conditions/fluid/water yes water-liquid no no no 0 no 0 no 0 no 0 no 0 no 0 no 1 no no no no
10 /define/boundary-conditions/fluid/hole-1 no no no no 0 no 0 no 0 no 0 no 0 no 1 no no no no no

```

Рисунок 6. Командные строки для настройки начальных и граничных условий расчета

На рисунке 6 представлены командные строки для интерпретации пользовательской функции, настройки граничных условий, задания вида материалов и внутреннего энерговыделения в расчетной области. Строка 4 на рисунке 6 отвечает за интерпретацию файла, содержащего пользовательские функции (UDF). В данной строке прописывается путь к файлу пользовательской функции и название самого файла.

Строка 5 производит настройку граничного условия типа *velocity-inlet*. Для настройки граничных условий необходимо указать вид граничного условия. К ним относятся: *velocity-inlet* (скорость на входе), *pressure-inlet* (давление на входе), *pressure-outlet* (давление на выходе) и другие. После указания вида граничного условия необходимо указать границу в расчетной модели (грань или ребро), где следует задавать данный вид граничного условия. После выбора границы, выбирается направления вектора скорости, выбор системы отсчета, проводится настройка температуры и турбулентности. Если представить ситуацию, в которой необходимо провести серию расчетов с различными значениями скорости теплоносителя на входе, то, используя журнал команд, достаточно только изменить значение, отвечающее за данную величину. В случае, когда скорость требуется задать в виде функциональной зависимости, необходимо применять пользовательские функции (UDF), так как в журнале команд такой возможности не имеется.

В программе ANSYS FLYUENT модель представляется набором из нескольких расчетных зон (*Cell Zone Conditions*). Для моделей реакторных устройств данными областями обычно являются топливо, оболочка топлива, корпус, теплоноситель и конструкционные элементы. Для данных областей необходимо указать наименование, выбрать тип зоны и материал, и, при необходимости, задать внутреннее удельное энерговыделение. Данным операциями соответствуют строки 6–10 (рисунок 6). Строка 6 задает в качестве материала топлива диоксид урана. Названия материалов в журнале команд должно строго соответствовать названию материала в базе. Также, строка 6 задает энерговыделение в топливе в виде пользовательской функции, которая прописана в UDF файле. При проведении расчетов с различными диаграммами энерговыделения вносить корректировки в журнал команд не нужно. Необходимо лишь внести изменения в существующий UDF файл и снова запустить журнал команд на исполнение.

Названия «*fuel-1*», «*casing-1*», «*hole-1*», «*housing-1*», «*water*» являются названиями расчетных областей, заданных пользователем. Данные названия соот-

ветствуют топливу, оболочке топлива, центральному отверстию в топливе, корпусу ЭУ и теплоносителю. Названия расчетным областям задаются при построении расчетной модели (при построении сетки). Следует особо отметить, что названия областей в журнале команд должны строго соответствовать названиям, заданными при построении расчетной модели. При несоответствии названий, программа ANSYS FLUENT не выполнит указанную в журнале команду.

После настройки расчетной модели, начальных и граничных условий, свойств материалов необходимо провести настройку методов решения (*Solution Methods*). Настройка методов решения включает в себя выбор методов дискретизация давления, кинетической энергии турбулентности, скорости диссипации, энергии, градиента (рисунок 7). Команды, представленные справа, подбирают схему дискретизации для каждого уравнения, исходя из сходимости решаемой задачи.

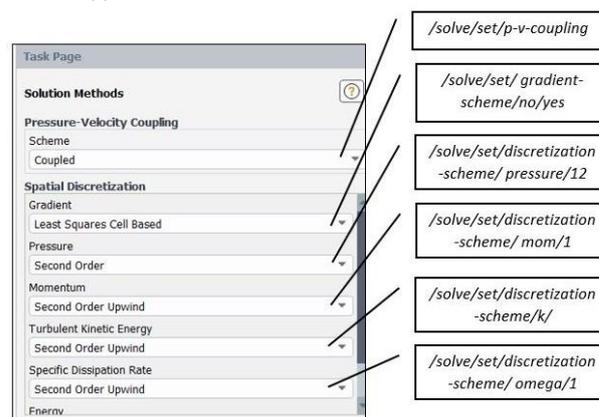


Рисунок 7. Соответствие командных строк и выбираемых схем дискретизации

После настройки методов решения необходимо произвести инициализацию расчета и указать начальные значения температуры. Существует два метода инициализации: гибридная инициализация и стандартная инициализация. Для данной задачи используется гибридная инициализация. На рисунке 8 представлены командные строки для инициализации расчета и задания расчетным зонам начальных значений температуры. Проведение инициализации расчета через журнал команд является очень удобным. Поскольку можно быстро задавать различные начальные значения физических параметров множества расчетных областей. Данная возможность становится «незаменимой» при проведении серии расчетов.

```
18 /solve/initialize/hyb-initialization OK
19 /solve/patch casing-1 () temperature 293
20 /solve/patch fuel-1 () temperature 293
21 /solve/patch hole-1 () temperature 293
22 /solve/patch housing-1 () temperature 293
23 /solve/patch water () temperature 293
24 /file/auto-save/data-frequency 10
25 /solve/set/transient-controls/time-step-size 0.1
26 /solve/set/transient-controls/number-of-time-steps 1500
27 /solve/set/transient-controls/max-iterations-per-time-step 200
```

Рисунок 8. Командные строки для инициализации расчета и задания в расчетных зонах начальных значений температуры

```
1 /define/operating-conditions/gravity yes 0 -9.81 0
2 /define/models/energy yes yes yes
3 /define/models/viscous/k-sst yes
4 /define/user-defined/interpreted-functions/"C:/Users/kabdylkakov/Desktop/Work/NNC_scholarship/Model/Model_2/UDF.c" "cpp" 10000 no
5 /define/boundary-conditions/velocity-inlet inlet no no yes yes no 0.5 no 0 no 300 no no yes 5 10
6 /define/boundary-conditions/solid/fuel-1 yes uo2 yes 1 no yes toplivo no no no 0 no 0 no 0 no 0 no 0 no 1 no no no
7 /define/boundary-conditions/solid/casing-1 yes aisi316.obolochki no no no 0 no 0 no 0 no 0 no 0 no 1 no no no
8 /define/boundary-conditions/solid/housing-1 yes st12x18h10t no no no 0 no 0 no 0 no 0 no 0 no 1 no no no
9 /define/boundary-conditions/fluid/water yes water-liquid no no no 0 no 0 no 0 no 0 no 0 no 1 no no no no
10 /define/boundary-conditions/fluid/hole-1 no no no 0 no 0 no 0 no 0 no 0 no 1 no no no no no
11 /solve/set/p-v-coupling 24
12 /solve/set/gradient-scheme no yes
13 /solve/set/discretization-schem/pressure 12
14 /solve/set/discretization-schem/mom 1
15 /solve/set/discretization-scheme/k 1
16 /solve/set/discretization-scheme/omega 1
17 /solve/set/discretization-scheme/temperature 1
18 /solve/initialize/hyb-initialization OK
19 /solve/patch casing-1 () temperature 293
20 /solve/patch fuel-1 () temperature 293
21 /solve/patch hole-1 () temperature 293
22 /solve/patch housing-1 () temperature 293
23 /solve/patch water () temperature 293
24 /file/auto-save/data-frequency 10
25 /solve/set/transient-controls/time-step-size 0.1
26 /solve/set/transient-controls/number-of-time-steps 1500
27 /solve/set/transient-controls/max-iterations-per-time-step 200
```

Рисунок 9. Полный журнал команд для настройки условий типового теплофизического расчета

После инициализации и задания начальных значений температуры (строки 18–23) необходимо произвести запуск расчета. В случае нестационарного расчета необходимо указать величину временного шага, количество шагов и итераций (строки 25–27). Значения величины временного шага и количество итераций подбирается из условия достижения сходимости решения. Если необходимо провести расчет физического процесса в течении 150 секунд, с временным шагом 0,1 с, и ежесекундно сохранять результаты расчетов, то необходимо установить количество шагов равное 1500, с промежуточным сохранением через 10 шагов. После проведения серии расчетов было подобрано оптимальное количество итераций, равное 200. Строка 24 определяет частоту сохранения промежуточных результатов расчета, строка 25 устанавливает величину шага по времени, следующие две строки задают количество временных шагов и итераций, выполняемых за один шаг.

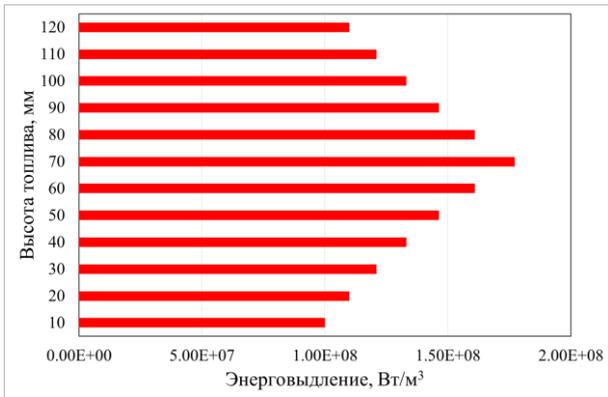
На рисунке 9 представлен весь журнал команд, разработанный для настройки решателя программы ANSYS FLUENT. С целью апробации методики разработанный данный журнал команд будет применен при проведении теплофизического расчета с типовым ЭУ.

### Применение журнала команд при решении теплофизической задачи

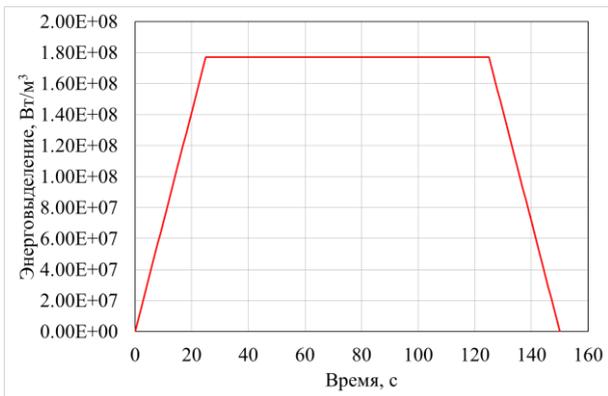
#### Постановка типовой теплофизической задачи

Типовое ЭУ состоит из одного твэла, стального корпуса и охлаждается водяным теплоносителем. Входная скорость теплоносителя постоянна и равна 0,5 м/с. В твэле задается внутреннее энерговыделение согласно диаграмме, представленной на рисунке 10. Энерговыделение меняется как по времени, так и по высоте. Рисунок 10, б показывает изменения температуры в центре топлива на высоте 60 мм. По условию задачи необходимо исследовать динамику изменения распределения температуры в объеме ЭУ в течение 200 с. Начальная температура элементов ЭУ принята 293 К. Теплофизические свойства материалов заимствованы из справочной литературы [18–20].

Геометрическая модель типового ЭУ создана в программе SpaceClaim. В топливном сердечнике имеется центральное отверстие диаметром 1,5 мм. Высота топлива, оболочки топлива и корпуса составляет 121 мм. Расчетная сетка сгенерирована в программе ANSYS FLUENT (рисунок 11).

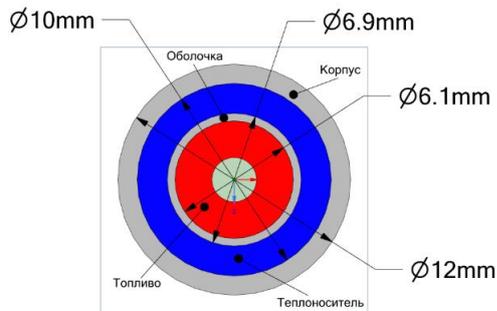


а) распределения энерговыведения по высоте топлива на 125 с

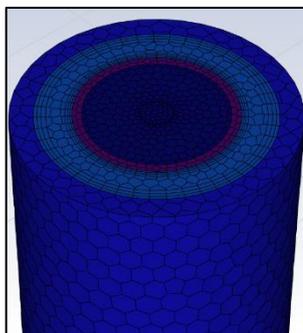


б) диаграмма изменения энерговыведения в центре топлива

Рисунок 10. Энерговыведение в топливе в ЭУ



а) геометрия



б) сеточная модель

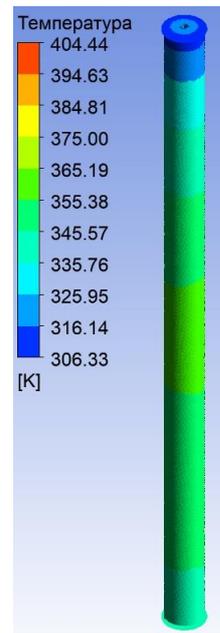
Рисунок 11. Поперечное сечение ЭУ

### Запуск журнала команд

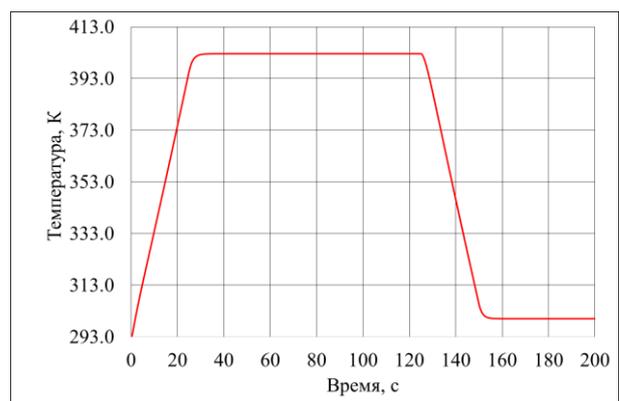
После записи текстовых команд журнал необходимо сохранить. Для чтения журнала в окне программы ANSYS FLUENT нужно выбрать команду *File* → *Read* → *Journal* (рисунок 4). После этого устанавливаются необходимые условия расчета. Для запуска расчета выполняется команда *Calculate*.

### РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате представлена диаграмма распределения температуры по высоте топливного столба (рисунок 12, а). Распределение температуры в объеме топлива соответствует распределению энерговыведения по высоте (рисунок 10, а). Температура в топливе снижается от центра к периферии.



а) распределение температуры по высоте топлива на 130 с



б) диаграмма изменения температуры в центре топлива

Рисунок 12. Результаты теплофизического расчета

На рисунке 12, б представлена диаграмма изменения температуры в центре топлива на высоте 60 мм. Динамика изменения температуры соответствует диаграмме изменения энерговыведения (рисунок 10, б). Рост энерговыведения в начале расчета ве-

дет к увеличению скорости роста температуры. После 5-ой секунды от начала расчета скорость роста температуры замедляется, что связано с большим коэффициентом теплопередачи воды. Снижение энерговыделения после 125 с ведет к снижению температуры топлива. Скорость снижения температуры достигает максимального значения на 132 с. После полного отключения энерговыделения на 150 с, температура в центре топлива продолжает снижаться, что связано с воздействием теплоносителя. После 160 с снижение температуры прекращается, и температура в центре топлива достигает значения 300 К, равной температуре теплоносителя на входе в ЭУ.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Построена расчетная модель типового экспериментального устройства для проведения теплофизического анализа в программе ANSYS FLUENT. Сетка конечных элементов передана в решатель для задания условий расчета.

Разработана методика использования текстовых команд для настройки условий расчета и управления расчетом теплофизической задачи.

Выполнена поэтапная настройка решателя с использованием текстового интерфейса пользователя. Все текстовые команды были протестированы и объединены в один журнал команд, позволяющий проводить подготовку расчета в течение нескольких минут. Данный журнал команд может использоваться в качестве основы при подготовке различных теплофизических задач, решаемых в программе ANSYS FLUENT.

Разработанная методика задания настроек решателя с помощью журнала команд апробирована на примере теплового анализа модели экспериментального устройства, применяемого в реакторных экспериментах.

Применение журнала команд позволяет пользователю программы быстро менять параметры настройки решателя. Данное преимущество становится важным при проведении серии теплофизических расчетов с различными условиями и при групповой работе над одним проектом. Журнал команд позволяет оперативно вникать в условия расчета и вносить в них требуемые изменения с минимальным использованием графического интерфейса программы ANSYS FLUENT.

При решении теплофизических задач в обоснование безопасности реакторных экспериментов большинство настроек решателя, такие как, расчетные физические модели, материалы, схемы дискретизации, коэффициенты релаксации и некоторые граничные условия сохраняются, а изменению подлежат только некоторые параметры, связанные с изменением режимов испытаний, например, энерговыделение. Это в свою очередь позволяет утверждать, что разработанный журнал команд в некоторой степени является «универсальным», то есть, даже начинающий пользователь программы ANSYS FLUENT может

применить разработанный журнал команд для проведения теплофизических расчетов различных реакторных устройств. Результаты, полученные в ходе выполнения данной работы, могут использоваться для оптимизации процесса расчетного анализа безопасности реакторных экспериментов.

*Данные исследования финансировались Министерством энергетики Республики Казахстан в рамках научно-технической программы «Развитие атомной энергетики в Республике Казахстан» (ИРН – 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. – V. 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. – V. 23. – No. 2. – P. 335–344.
7. Basit A., Hidayatuloh 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. – V. 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. – V. 16. – No. 1 (31). – P. 88–93.
9. Sakipova S. E., Tanasheva N. K. Modeling aerodynamics of the wind turbine with rotating cylinders //Eurasian Physical Technical Journal. – 2021. – V. 16. – No. 1 (31). – P. 88–93.
10. Mohan B., Cui X., Chua K. J. Development of chemical reaction kinetics of VOC ozonation // Procedia engineering. – 2017. – V. 180. – P. 1372–1378.
11. ANSYS FLUENT Text Command List Release 2021 // Command List. – 2020
12. Manual U. D. F. ANSYS FLUENT Release 2021 // Theory Guide. – 2020.
13. Ye F. et al. Implementation for model of adsorptive hydrogen storage using UDF in fluent // Physics Procedia. – 2012. – V. 24. – P. 793–800.
14. Rybdylova O. et al. A model for droplet heating and its implementation into ANSYS Fluent //International Communications in Heat and Mass Transfer. – 2016. – V. 76. – P. 265–270.

15. Zakaria M. S. et al. Computational simulation of boil-off gas formation inside liquefied natural gas tank using evaporation model in ANSYS fluent // *Applied Mechanics and Materials*. – Trans Tech Publications Ltd, 2013. – V. 393. – P. 839–844.
16. Shoen G. V. et al. Development and testing of a numerical simulation method for thermally nonequilibrium dissociating flows in ANSYS Fluent // *Thermophysics and Aeromechanics*. – 2016. – V. 23. – No. 2. – P. 151–163.
17. Сулейменов Н. А., Мухамедов Н. Е., Котов В. М. Влияние радиационного разогрева конструкционных материалов экспериментального устройства с конвертером нейтронов на их температурный режим // *Вестник НЯЦ РК*. – 2020. – № 4. – С. 61–68.
18. International Atomic Energy Agency. *Thermophysical Properties of Materials for Nuclear Engineering: A Tutorial and Collection of Data*. – 2008.
19. Haynes W. M. *CRC handbook of chemistry and physics, (Internet Version 2011)* // Taylor Francis Group: Boca Raton, FL. – 2011.
20. Чиркин, В.С. Теплофизические свойства материалов ядерной техники / В.С. Чиркин. – М.: Атомиздат, 1968. – 121–128, 291–294, 237–239 с.
7. Basit A., Hidayatulloh 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. – V. 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. – V. 16. – No. 1 (31). – P. 88–93.
9. Sakipova S. E., Tanasheva N. K. Modeling aerodynamics of the wind turbine with rotating cylinders // *Eurasian Physical Technical Journal*. – 2021. – V. 16. – No. 1 (31). – P. 88–93.
10. Mohan B., Cui X., Chua K. J. Development of chemical reaction kinetics of VOC ozonation // *Procedia engineering*. – 2017. – V. 180. – P. 1372–1378.
11. ANSYS FLUENT Text Command List Release 2021 // *Command List*. – 2020
12. Manual U. D. F. ANSYS FLUENT Release 2021 // *Theory Guide*. – 2020.
13. Ye F. et al. Implementation for model of adsorptive hydrogen storage using UDF in fluent // *Physics Procedia*. – 2012. – V. 24. – P. 793–800.
14. Rybdylova O. et al. A model for droplet heating and its implementation into ANSYS Fluent // *International Communications in Heat and Mass Transfer*. – 2016. – V. 76. – P. 265–270.
15. Zakaria M. S. et al. Computational simulation of boil-off gas formation inside liquefied natural gas tank using evaporation model in ANSYS fluent // *Applied Mechanics and Materials*. – Trans Tech Publications Ltd, 2013. – V. 393. – P. 839–844.
16. Shoen G. V. et al. Development and testing of a numerical simulation method for thermally nonequilibrium dissociating flows in ANSYS Fluent // *Thermophysics and Aeromechanics*. – 2016. – V. 23. – No. 2. – P. 151–163.
17. Suleymenov N. A., Mukhamedov N. E., Kotov V. M. Effect of radiation heating of construction materials of an experimental device with a neutron converter on their temperature regime // *NNC RK Bulletin*. – 2020. – No. 4. – P. 61–68. (In Russian).
18. International Atomic Energy Agency. *Thermophysical Properties of Materials for Nuclear Engineering: A Tutorial and Collection of Data*. – 2008.
19. Haynes W. M. *CRC handbook of chemistry and physics, (Internet Version 2011)* // Taylor Francis Group: Boca Raton, FL. – 2011.
20. Chirkin, V.S. *Teplofizicheskie svoystva materialov yadernoy tekhniki* / V.S. Chirkin. – Moscow: Atomizdat, 1968. – 121–128, 291–294, 237–239 p.

#### REFERENCES

## ЭКСПЕРИМЕНТТЫҚ ҚҰРЫЛҒЫНЫҢ ТЕРМОФИЗИКАЛЫҚ КҮЙІН МОДЕЛЬДЕУ ҮШІН ANSYS FLUENT БАҒДАРЛАМАСЫ МӘТІНДІК ИНТЕРФЕЙСІН ҚОЛДАНУ

Е.А. Қабдылқақов, А.С. Сураев, Р.А. Иркимбеков

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

Жұмыс ANSYS FLUENT бағдарламасының мәтіндік командалар журналын әзірлеуге арналған. Бұл бағдарламаның жақсы дамыған және интуициялық түсінікті графикалық интерфейсі бар екеніне қарамастан, командалар журналдары «ҚР Ұлттық ядролық орталығы» РМК «Атом энергиясы институты» филиалында (ҚР ҰЯО РМК АЭИ филиалы) жүргізілетін реакторлық эксперименттердің қауіпсіздігін есептік негіздеу процесін оңтайландырып, шешкіштің теңшеуін жүргізуге мүмкіндік береді. Командалар журналы ANSYS FLUENT бағдарламасының шешкіш теңшеуін бағдарламалық код ретінде бөлек файлда сақтауға мүмкіндік береді, оны кейіннен өңдеуге және басқа есептеулер үшін пайдалануға болады. Сондай-ақ, бұл бір жобадағы әріптестердің топтық жұмысын жақсартуға, шешушінің параметрлерімен алмасу процесін жеңілдетуге және жедел түзетулер мен жөндеулер енгізуге мүмкіндік береді. Осы жұмыс шеңберінде реакторлық эксперименттерде эксперименттік құрылғылардың жылу-физикалық жағдайын модельдеу үшін командалар журналын құру әдістемесі әзірленді. Өзірленген әдіс типтік ЭҚ-мен термофизикалық есепті шешу мысалында сыналды.

*Түйін сөздер:* ANSYS FLUENT, мәтіндік пайдаланушы интерфейсi, типтік эксперименттік құрылғы, реакторлық эксперимент, командалар журналы.

## APPLICATION OF THE TEXT INTERFACE OF THE ANSYS FLUENT PROGRAM FOR SIMULATION OF THE THERMOPHYSICAL STATE OF A TYPICAL EXPERIMENTAL DEVICE

Ye.A. Kabylykakov, A.S. Suraev, R.A. Irkimbekov

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

The paper is dedicated to development of log of the ANSYS FLUENT program text commands. Although this program has well-developed and easy-to use graphical interface, command logs allow to conduct the configurations of the solver, optimizing the process of calculation justification safety of reactor experiments conducted at the “Institute of Atomic Energy” Branch of the RSE “National Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan” (IAE Branch RSE NNC RK). Command logs allows to control the command to save the ANSYS FLUENT program solver as code in a separate file, which can later be used for other calculations. Command log allows to save settings the ANSYS FLUENT program solver as program code in a separate file, which can later be redacted and used for other calculations. Also, this would enable improving the group work of employees above one project, facilitate the exchange process of solver parameters and promptly make amendments and corrections. In the framework of this work, a technique for constructing a command log was developed for modeling thermophysical state of experimental devices in reactor experiments. The developed technique was tested on the example of solving a thermophysical task with a typical ED.

*Keywords:* ANSYS FLUENT, text user interface, typical experimental device, reactor experiment, command log.