

Д. И. Читалов, мл. науч. сотр., cdi9@yandex.ru, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Южно-Уральский федеральный научный центр минералогии и геоэкологии Уральского отделения Российской академии наук, г. Миасс, Ильменский заповедник

О разработке модуля для работы с решателем buoyantSimpleFoam и утилитой postProcess платформы OpenFOAM

Настоящая статья обобщает результаты исследования по расширению исходного кода графической оболочки платформы OpenFOAM для обеспечения доступа специалиста к новым возможностям — решателю buoyantSimpleFoam и утилите postProcess в рамках постановки экспериментов по моделированию задач механики сплошных сред. Обоснована актуальность исследования, поставлены цели, сформулированы задачи исследования. Статья содержит описание средств разработки, а также диаграммы, описывающие структуру и логику работы программы. Представлены результаты тестирования приложения применительно к одной из фундаментальных задач механики сплошных сред. Сформулированы выводы по результатам работы и практической ценности исследования.

Ключевые слова: численное моделирование, механика сплошных сред, графический интерфейс пользователя, OpenFOAM, язык программирования Python, открытое программное обеспечение, решатель buoyantSimpleFoam, утилиты postProcess, библиотека PyQt

Введение

В рамках исследования, которое рассматривается в настоящей работе, автором продолжено расширение исходного кода графической оболочки для проведения численного моделирования задач механики сплошных сред (МСС) посредством платформы OpenFOAM [1]. По результатам исследования базовая версия графической оболочки дополнена еще одним компонентом. Это программный модуль, призванный обеспечить доступ специалиста к новым возможностям численного моделирования задач МСС в части их решения и постпроцессинга.

Платформа OpenFOAM считается одним из ведущих программных средств, применяемых отечественными и зарубежными предприятиями сферы тяжелого машиностроения при проектировании продукции. Благодаря данному программному комплексу выявляются особенности взаимодействия изделий с окружающими процессами и оцениваются качественные характеристики изделий. К их числу относятся такие как линейная прочность, жесткость, термопрочность, динамика, аэроупругость, гидроупругость.

У OpenFOAM существуют программы-аналоги, например, комплекс ANSYS [2]. Однако в отличие от OpenFOAM он является коммерческим продуктом. Имея статус свободно распространяемой программной платформы, OpenFOAM практически не уступает по функциональным возможностям комплексу

ANSYS. Перечень решаемых на этой платформе задач расширяется с выходом каждой новой версии. Под расширением понимается внедрение новых программ-решателей, а также утилит пре- и постпроцессинга.

Под программой-решателем (солвером) понимается алгоритм численного моделирования задач определенной области МСС, например, движения сжимаемых и несжимаемых жидкостей с поддержкой различных термодинамических моделей и моделей турбулентности, движения газов, изменения параметров деформируемого твердого тела и т. д. В зависимости от особенностей моделируемой задачи специалист вручную формирует специальную директорию (расчетный случай) и создает в ней необходимые для расчета файлы-словари с параметрами задачи МСС.

Слабым звеном в этом процессе является то обстоятельство, что специалист все этапы численного моделирования, в том числе подготовку служебных файлов расчетного случая, запуск утилит и решателей осуществляет вручную, что требует затрат времени и приводит к появлению ошибок. Решение этого вопроса заключается в разработке графической оболочки, которая представила бы возможность пользователю управлять численным экспериментом посредством оконного интерфейса. Такой подход обеспечил бы экономию времени при подготовке расчетного случая и позволил бы минимизировать вероятность появления ошибок.

Коллективы разработчиков, знакомые с отмеченными выше вопросами, предложили подходы к их решению, а именно создали свои версии программных оболочек для платформы OpenFOAM. Самые известные среди них — Salome [3], Helyx-OS [4], Visual-CFD [5]. Эти программные средства получили широкое распространение. Однако специалисты, прежде всего отечественные, обнаружили в них недостатки, в частности, документация кенным продуктам не полностью описывает функциональные возможности и предоставляетя на английском языке. Кроме того, техническая поддержка обеспечивается на коммерческой основе, а также в ряде случаев для работы с представленными графическими оболочками требуется приобретение лицензии. Таким образом, развитие функциональных возможностей OpenFOAM сохраняет актуальность.

Автором предложен собственный подход к решению задачи, в рамках которого была получена реализация в виде оригинальной графической оболочки. Ее первоначальная версия была представлена в 2016 г. в работе [6]. Впоследствии первоначальная версия была расширена путем создания и интеграции дополнительных программных модулей, отвечающих за этап препроцессинга. Результаты этих исследований изложены в работах [7–9].

В связи с необходимостью применения в численных экспериментах других утилит OpenFOAM, а также необходимостью работы в графической оболочке с новыми программами-решателями, автором предложено дальнейшее расширение возможностей базовой версии графической оболочки в части реализации доступа специалиста к программе-решателю buoyantSimpleFoam и утилите постпроцессинга postProcess.

Назначение решателя buoyantSimpleFoam и утилиты postProcess

Программа buoyantSimpleFoam представляет собой стационарный решатель для плавучего, турбулентного потока сжимаемых жидкостей, в том числе для излучения, вентиляции и теплопередачи. В качестве примера использования данного решателя можно привести расчетный случай, соответствующий задаче расчета передачи теплового потока через структуры [10, 11].

Численный эксперимент на основе решателя buoyantSimpleFoam предусматривает выполнение действий на следующих этапах:

- 1) подготовка структуры расчетного случая, в том числе файла-словаря sample директории system, который для моделируемой задачи определяет параметры выборки данных поля с возможностью указания различных схем интерполяции (файл sample необходим на этапе препроцессинга решения);

- 2) построение расчетной сетки (РС), например, с помощью одной из стандартных утилит платформы OpenFOAM (blockMesh, snappyHexMesh и т. д.);

- 3) запуск процесса численного моделирования задачи МСС посредством решателя buoyantSimpleFoam;

- 4) выполнение постпроцессинга с помощью утилиты postProcess.

Постпроцессинг обеспечивает специалисту возможность анализа результатов после завершения решения задачи МСС. На этапе постпроцессинга осуществляется обработка или выборка данных, записанных в процессе моделирования задачи, получение дополнительных свойств полей.

Если речь в постпроцессинге идет о выборке данных, то требуется подготовка файла-словаря sample, на основе которого осуществляется выборка полученных в ходе эксперимента данных для эффективного исследования получившейся численной модели. Именно sample содержит настройки, определяющие особенности выборки полей численной модели.

Параметры файла sample и возможные их значения приведены в таблице.

Особая роль отводится вспомогательному словарю sets, где специалист может указать тип метода выборки, название выборки, способ записи координат точек, а также другие параметры в зависимости от используемого метода выборки.

Пример заполненного файла-словаря sample для моделируемой задачи МСС buoyantCavity представлен на рис. 1.

```
FoamFile
{
    version      2.0;
    format       ascii;
    class        dictionary;
    location     "system";
    object       sample;
}

// ****
* //

type sets;
libs          ("libsampling.so");
interpolationScheme cellPointFace;

setFormat raw;

sets
(
    y0.1
    {
        type      lineFace;
        axis      x;
        start    (-1 0.218 0);
        end      (1 0.218 0);
    }
    y0.2
    {
        type      lineFace;
        axis      x;
        start    (-1 0.436 0);
        end      (1 0.436 0);
    }
);
fields
(
    T
    U
);
}
```

Рис. 1. Пример файла-словаря sample

Параметры файла-словаря sample

Параметр	Описание	Значения
setFormat	Установить выходной формат	xmgr — данные в формате xmgr; jplot — данные в формате jplot; gnuplot — данные в формате gnuplot; raw — необработанные данные ASCII в столбцах
surfaceFormat	Формат вывода данных о поверхности	null — подавлять вывод; foamFile — отдельный файл точек, граней и значений; dx — скалярный или векторный формат; vtk — формат VTK ascii; aw — x у z-формат; obj — не содержит значений; stl — формат ascii stl, не содержит значений
interpolationScheme	Схема интерполяции данных	cell — использовать значение центра ячейки; константа по ячейкам (по умолчанию); cellPoint — использовать значения центра ячейки и вершины; cellPointFace — использовать центр ячейки, вершину и значения поверхности
fields	Список полей для выборки	Включает наборы sets и surfaces
sets	Местоположения в домене, в которых выполняется линейная выборка полей	uniform — равномерно распределенные точки на линии; face — столкновение с одной точкой на пересечении граней; midPoint — указание по одной точке на ячейку между двумя пересечениями граней; midPointAndFace — комбинации поверхности и midpoint; curve — точки, указанные на кривой, не обязательно на линии; cloud — облако определенных точек; Variант оси: как записать координату точки. Выбор: <ul style="list-style-type: none">• x / y / z: только координаты x / y / z;• xyz: три столбца (для raw);• distance: расстояние от начала линии
surfaces	Местоположения в пределах области, где проводится поверхностная выборка полей	plane — значения на плоскости, определяемой точкой, нормалью; patch — значения на патче

Постановка цели и задач разработки

Объектом настоящего исследования являются программа-решатель buoyantSimpleFoam и утилита postProcess, а также особенности их применения в рамках численного моделирования задач МСС. Автором проанализирована документация OpenFOAM [10, 11], по которой изучен алгоритм подготовки расчетного случая, изучены необходимые служебные файлы-словари и входящие в них параметры. Также выполнена постановка численного эксперимента на основе решателя buoyantSimpleFoam посредством традиционного подхода, когда структура расчетного случая формируется вручную, а также вручную задаются и параметры численной модели.

Цель работы заключается в замене традиционного подхода на использование программного модуля с графическим интерфейсом, который позволит все этапы работы с расчетным случаем выполнять посредством привычного оконного интерфейса, что обеспечит экономию времени специалиста. Также предполагается реализовать механизм валидации для предотвращения указания в файлах-словарях неверных параметров и механизм проверки комплектности директории расчетного случая.

Предполагается реализовать предложенный модуль в виде компонента базовой версии графической

оболочки, т. е. расширить ее исходный код. Так как оболочка функционирует только в привязке к платформе OpenFOAM, настоящее исследование предполагает в том числе расширение исходного кода свободно-распространяемой платформы OpenFOAM. В рамках достижения поставленной цели автором намечен представленный далее перечень задач.

- Разработка программного кода, отвечающего за формирование графической составляющей модуля (интерфейса), в частности, форм редактирования параметров файлов-словарей расчетного случая, например, файла sample, а также элементов управления для запуска решателя buoyantSimpleFoam и утилиты postProcess.

- Подготовка алгоритмов для извлечения параметров, введенных через формы и для записи этих параметров в соответствующие файлы-словари расчетного случая.

- Перенос подготовленных алгоритмов на выбранный язык программирования, включая подключение к системе хранения данных.

- Разработка для форм редактирования файлов-словарей расчетного случая механизма валидации в целях обеспечения корректности вводимых параметров. А также разработка механизма проверки комплектности директории расчетного случая перед запуском решателя buoyantSimpleFoam и утилиты postProcess.

- Тестирование и отладка разработанного программного кода и его интеграция в исходный код базовой версии созданной автором графической оболочки.

Средства разработки

Для разработки программного модуля, как и оригинальной графической оболочки [6], автором определен необходимый стек технологий. Каждая позиция этого стека представляет собой свободно распространяемую технологию, не требующую приобретения лицензии.

- Программно-аппаратная часть модуля. Она отвечает за функционирование внутренней составляющей приложения. Это логика работы программы, т. е. программный код, отвечающий за выполнение приложением своих задач. Принято решение продолжить использование высокогоуровневого языка Python 3 [12, 13], который по рейтингу TIOBE занимает первую позицию в списке наиболее популярных языков программирования [14].

- Клиентская сторона. Это интерфейс для связи пользователя с программно-аппаратной частью приложения. По сути через клиентскую часть специалист

"отдает команды" программе. Возможности клиентской стороны реализованы посредством библиотеки PyQt — популярного инструмента создания пользовательских интерфейсов Python-приложений [15].

- СУБД. Встроенная в виде модуля sqlite3 в стандартную библиотеку Python реляционная СУБД SQLite позволяет сохранять передаваемые через экранные формы параметры в привычном табличном формате [16]. Это простая, при этом полнофункциональная система с минимальными настройками идеально подходит для настольных программных продуктов.

- ORM-библиотека. Благодаря ORM-подходу разработчик избавлен от необходимости взаимодействия с базой данных с помощью языка запросов SQL. Все операции по созданию таблиц, сохранению и получению данных из базы осуществляются посредством привычного Python-синтаксиса. Принято решение продолжить работу с ORM-библиотекой SQLAlchemy [17].

Структура и логика работы модуля

Связь компонентов графической оболочки приведена на рис. 2. На диаграмме представлены файлы с исходным кодом графической составляющей

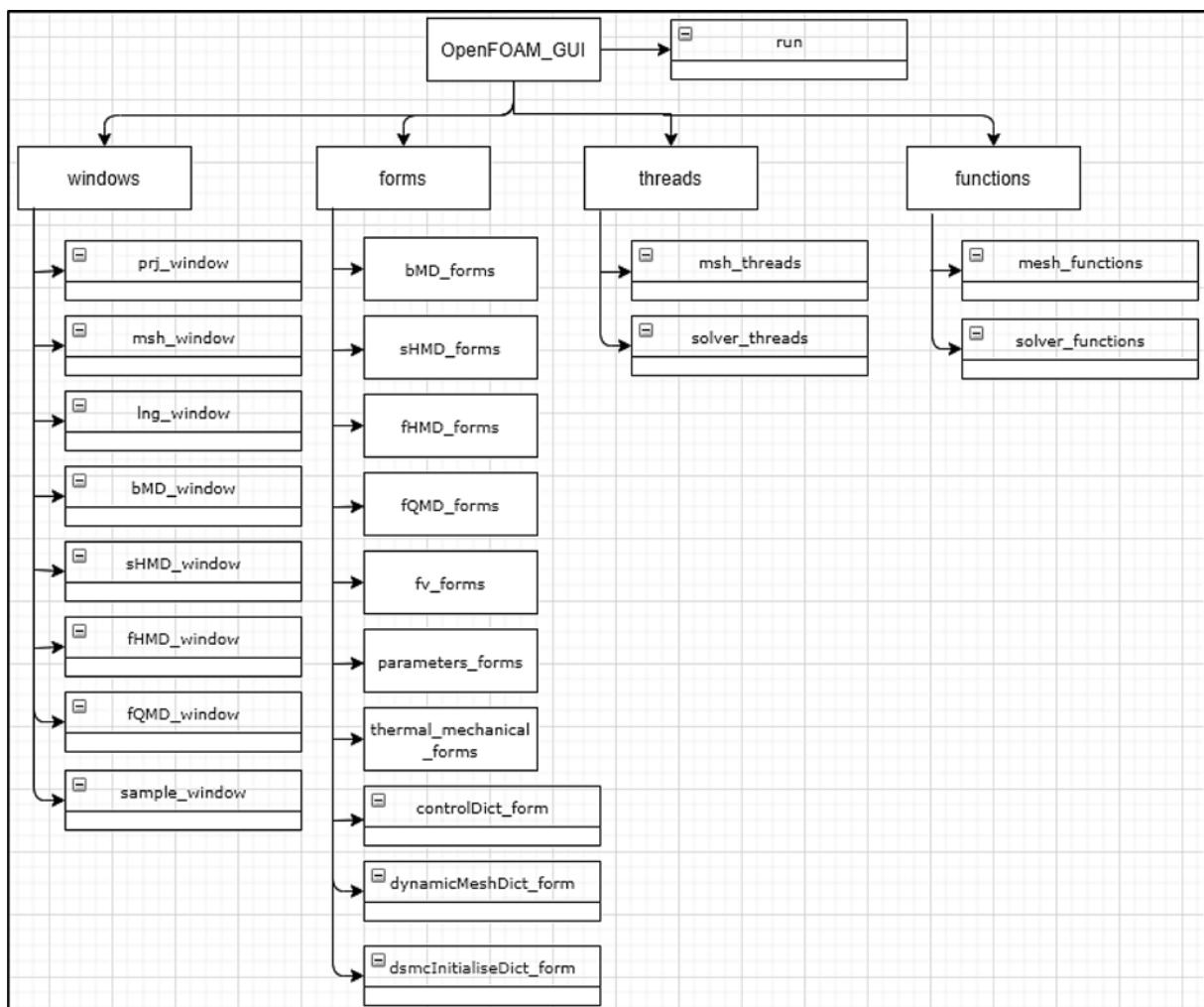


Рис. 2. Структура графической оболочки OpenFOAM_GUI

(экранные формы) приложения, файлы с программным кодом, обеспечивающим отображение интерфейса, и программный кодом, отвечающим за заполнение файлов-словарей расчетного случая и за валидацию вводимых через форму параметров. Структура приложения приведена с учетом интеграции в исходный код графической оболочки компонентов для работы с решателем buoyantSimpleFoam и утилитой postProcess.

Приложение включает следующие структурные блоки:

- директория windows, содержащая файлы-компоненты с исходным кодом, отвечающим за визуализацию экранных форм графической оболочки для указания параметров численной модели;
- директория forms, содержащая файлы с программным кодом основных блоков экранных форм;
- директория threads, содержащая программный код скриптов, обеспечивающих возможность параллельного выполнения задач, решаемых с помощью графической оболочки для OpenFOAM;
- директория functions, содержащая исходный код вспомогательных компонентов графической оболочки;
- файл run.py, обеспечивающий взаимосвязь всех компонентов приложения и визуализацию главного окна.

На рис. 3 представлена диаграмма, описывающая логику работы специалиста с решателем buoyantSimpleFoam и утилитой postProcess.

Представленный в работе программный модуль применяется на этапе решения задачи МСС и на этапе постпроцессинга. Разработчик дополняет директорию расчетного случая необходимыми файлами-словарями с параметрами численной модели. Далее выполняется запуск программы-решателя buoyantSimpleFoam и последующий постпроцессинг с помощью утилиты postProcess. После визуализации результатов численного эксперимента с помощью пакета ParaView [18] специалист может завершить эксперимент или выполнить корректировки и повторить необходимые этапы численного моделирования.

Результаты исследования

В рамках выполненного автором исследования исходный код

базовой версии графической оболочки [6] расширен за счет интеграции программного модуля для работы с решателем buoyantSimpleFoam и утилитой postProcess. Программный модуль может применяться в различных областях промышленности, где требуется численное исследование для плавучего турбулентного потока сжимаемых жидкостей, в том числе излучения, вентиляции и теплопередачи.

Автором выполнена доработка графической составляющей базовой версии приложения путем

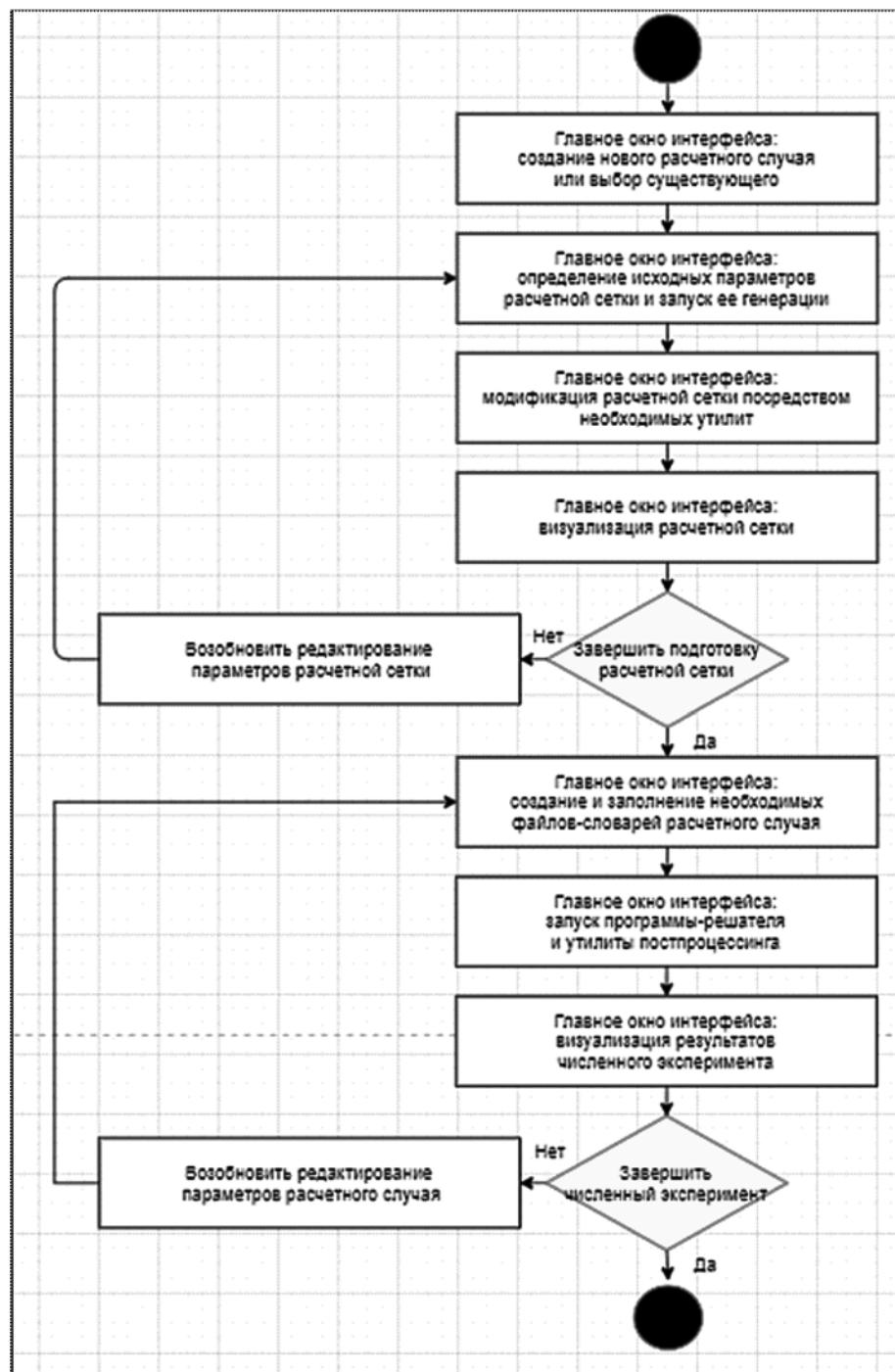


Рис. 3. Логика работы модуля

внедрения в интерфейс дополнительных элементов управления, а также доработка программных скриптов приложения и системы валидации параметров файлов-словарей расчетного случая. За счет программного модуля специалист имеет возможность посредством экранных форм работать с файлами-словарями расчетного случая, в частности, с файлом sample. Также в распоряжении специалиста есть графические элементы управления для запуска необходимой программы-решателя и утилиты постпроцессинга.

Возможности разработанного программного модуля протестированы на примере одной из фундаментальных задач МСС — buoyantCavity, которая соответствует задаче численного моделирования плавучего потока в каверне. Численное решение этой задачи осуществляется посредством решателя buoyantSimpleFoam. Постпроцессинг предусматривает выборку на основе файла-словаря sample полученных в ходе эксперимента данных для эффективного исследования численной модели.

На рис. 4—7 (см. третью и четвертую стороны обложки) представлены результаты численного моделирования указанной задачи МСС с отображением параметров изменения импульса, давления и температуры.

Заключение

Настоящая статья обобщает результаты исследования по расширению исходного кода графической оболочки [6] за счет разработки и интеграции программного модуля, обеспечивающего управление этапами численного эксперимента посредством оконного интерфейса. Речь идет об этапе решения задач МСС с помощью решателя buoyantSimpleFoam и этапе запуска постпроцессинга численного эксперимента с помощью утилиты postProcess.

Автором изучен механизм подготовки необходимых для работы программы-решателя buoyantSimpleFoam и утилиты postProcess служебных файлов-словарей, проанализированы определяемые в них параметры РС и моделируемой задачи МСС. По результатам этой работы модифицирована базовая версия графической оболочки платформы OpenFOAM [19], в которую интегрированы:

- экраные формы для редактирования параметров, определяемых в файлах-словарях расчетного случая при работе с решателем buoyantSimpleFoam;
- экраные формы для настройки параметров постпроцессинга численного решения, определяемых, например, через файл-словарь sample;
- алгоритм визуализации экраных форм для редактирования параметров моделируемой задачи МСС, а также алгоритм записи параметров, введенных через формы в соответствующие таблицы базы данных;

- механизм валидации параметров, определяемых через формы (ввод по маске, проверка типа данных параметров);

- механизм генерации нескольких версий файлов-словарей расчетного случая для обеспечения постановки численного эксперимента применительно к различным условиям среды.

Благодаря возможности работы с программой-решателем buoyantSimpleFoam и утилитой postProcess посредством графической оболочки пользователь может добиться экономии рабочего времени в процессе проведения численного эксперимента, а также избежать ошибок при подготовке расчетного случая и заполнении служебных файлов-словарей. Последнее гарантирует соответствие результатов полученной численной модели реальному объекту или процессу.

Список литературы

1. **OpenFOAM.** The open source CFD toolbox. URL: <https://www.openfoam.com/>
2. **ANSYS.** URL: <https://www.ansys.com/>
3. **Salome.** The Open Source integration Platform for Numerical Simulation. URL: <https://www.salome-platform.org/>
4. **Helyx-OS.** Open-Source GUI for OpenFOAM. URL: <https://engys.com/products/helyx-os>
5. **Visual-CFD.** URL: <https://www.esi-group.com/products/computational-fluid-dynamics>
6. **Читалов Д. И., Меркулов Е. С., Калашников С. Т.** Разработка графического интерфейса пользователя для программного комплекса OpenFOAM. Программная инженерия. 2016. Т. 7, № 12. С. 568–574. DOI: 10.17587/prin.7.568-574.
7. **Читалов Д. И., Калашников С. Т.** Разработка модуля для реализации зеркального отображения расчетных сеток вокруг заданной плоскости в графическом интерфейсе пользователя платформы openfoam // Программная инженерия. 2019. Т. 10, № 7-8. С. 297-304. DOI: 10.17587/prin.10.297-304.
8. **Читалов Д. И.** О разработке модуля для реализации движения и топологического изменения расчетных сеток и его интеграции в графическую оболочку для платформы openfoam // Программная инженерия. 2020. Т. 11, № 2. С. 108–114. DOI: 10.17587/prin.11.108-114.
9. **Читалов Д. И.** Разработка модуля для измельчения ячеек расчетных сеток в нескольких направлениях и его интеграция в gui для программной среды openfoam // Системы и средства информатики. 2020. Т. 30, № 3. С. 133–144. DOI: 10.14357/08696527200312.
10. **OpenFOAM.** User Guide. URL: <http://foam.sourceforge.net/docs/Guides-a4/OpenFOAMUserGuide-A4.pdf>
11. **OpenFOAM.** Tutorial Guide. URL: <http://openfoam.com/documentation/tutorial-guide/index.php>
12. **Python 3.7 documentation.** URL: <https://docs.python.org/3.7/>
13. **Прохоренок Н. А.** Python 3 и PyQt. Разработка приложений. СПб.: БХВ-Петербург, 2012. 704 с.
14. **TIOBE Index.** URL: <http://www.tiobe.com/tiobe-index/>
15. **PyQt5 Reference Guide.** URL: <http://pyqt.sourceforge.net/Docs/PyQt5/>
16. **SQLite.** URL: <https://www.sqlite.org/index.html>
17. **SQLAlchemy.** URL: <https://www.sqlalchemy.org/>
18. **ParaView.** URL: <https://www.paraview.org/>
19. **OpenFOAM GUI.** URL: http://github.com/DmitryChitalov/OpenFOAM_GUI

On the Development of a Module for Working with the buoyantSimpleFoam Solver and the postProcess Utility of the OpenFOAM Platform

D. I. Chitalov, cdi9@yandex.ru, South Urals Federal Research Centre of Mineralogy and Geoecology of the UB RAS, Chelyabinsk Region, Miass, Ilmen reserve, 456317, Russian Federation

Corresponding author:

Chitalov Dmitry I., Junior Researcher, South Urals Federal Research Centre of Mineralogy and Geoecology of the UB RAS, Chelyabinsk Region, Miass, Ilmen reserve, 456317, Russian Federation
E-mail: cdi9@yandex.ru

Received on December 19, 2021

Accepted on December 27, 2021

The paper summarizes the results of research on the development of a software module that expands the source code of the OpenFOAM platform in terms of providing a specialist with access to new possibilities of a numerical experiment in relation to problems of continuum mechanics. The module provides the user with graphical and software tools for working with the buoyantSimpleFoam solver and postProcess utility. This work contains a description of the shortcomings of existing software solutions – analogs, the urgency of the problem under study is formulated. The author has set goals and defined the tasks necessary to achieve them. A description of the operation of the postProcess utility and the buoyantSimpleFoam solver is given, as well as the structure and parameters of the corresponding dictionary files of the design case. The author presents a set of technologies necessary for the implementation of the capabilities of a software module, typing, debugging and testing its program code. The performance of the developed software solution has been tested on the example of one of the fundamental problems of continuum mechanics, and the results of testing are presented. Based on the results of the study, the final conclusions are presented, as well as information on the scientific novelty and potential practical significance of the study.

Keywords: numerical simulation, continuum mechanics, graphical user interface, OpenFOAM, Python, open source software, postProcess utility, buoyantSimpleFoam solver, PyQt

For citation:

Chitalov D. I. On the Development of a Module for Working with the buoyantSimpleFoam Solver and the postProcess Utility of the OpenFOAM Platform, *Programmnaya Ingeneria*, 2022, vol. 13, no. 2, pp. 81–87.

DOI: 10.17587/prin.13.81-87

References

1. **OpenFOAM.** The open source CFD toolbox, available at: <https://www.openfoam.com/>
2. **ANSYS,** available at: <https://www.ansys.com/>
3. **Salome.** The Open Source integration Platform for Numerical Simulation, available at: <https://www.salome-platform.org/>
4. **Helyx-OS.** Open-Source GUI for OpenFOAM, available at: <https://engys.com/products/helyx-os>
5. **Visual-CFD,** available at: <https://www.esi-group.com/products/computational-fluid-dynamics>
6. **Chitalov D. I., Merkulov Ye. S., Kalashnikov S. T.** Development of a Graphical User Interface for the OpenFOAM Toolbox, *Programmnaya Ingeneria*, 2016, vol. 7, no. 12, pp. 568–574. DOI: 10.17587/prin.7.568-574 (in Russian).
7. **Chitalov D. I., Kalashnikov S. T.** Development of a Module for Implementing the Mirroring of Computational Meshes around a Given Plane in the Graphical User Interface of the OpenFOAM Platform, *Programmnaya Ingeneria*, 2019, vol. 10, no. 7–8, pp. 297–304. DOI: 10.17587/prin.10.297-304 (in Russian).
8. **Chitalov D. I.** On the Development of a Module for Implementing Motion and Topological Changes in Computational Meshes and its Integration into the Graphical Shell for the OpenFOAM Platform, *Programmnaya Ingeneria*, 2020, vol. 11, no. 2, pp. 108–114 DOI: 10.17587/prin.11.108-114 (in Russian).
9. **Chitalov D. I.** Development of a module for grinding meshes cells in several directions and its integration into the GUI for the openFoam software environment, *Systems and Means of Informatics*, 2020, vol. 30, no. 3, pp. 133–144. DOI: 10.14357/08696527200312 (in Russian).
10. **OpenFOAM.** User Guide, available at: <http://foam.sourceforge.net/docs/Guides-a4/OpenFOAMUserGuide-A4.pdf>
11. **OpenFOAM.** Tutorial Guide, available at: <http://openfoam.com/documentation/tutorial-guide/index.php>
12. **Python 3.7** documentation, available at: <https://docs.python.org/3.7/>
13. **Prohorenok N. A. Python 3 i PyQt. Razrabotka prilozhenij.** Saint Petersburg, BHV-Peterburg, 2012. 704 p. (in Russian).
14. **TIOBE Index**, available at: <http://www.tiobe.com/tiobe-index/>
15. **PyQt5 Reference Guide**, available at: <http://pyqt.sourceforge.net/Docs/PyQt5/>
16. **SQLite**, available at: <https://www.sqlite.org/index.html>
17. **SQLAlchemy**, available at: <https://www.sqlalchemy.org/>
18. **ParaView**, available at: <https://www.paraview.org/>
19. **OpenFOAM_GUI**, available at: http://github.com/Dmitry-Chitalov/OpenFOAM_GUI

Рисунки к статье Д. И. Читалова
«О РАЗРАБОТКЕ МОДУЛЯ ДЛЯ РАБОТЫ С РЕШАТЕЛЕМ
buoyantSimpleFoam И УТИЛИТОЙ postProcess ПЛАТФОРМЫ OpenFOAM»

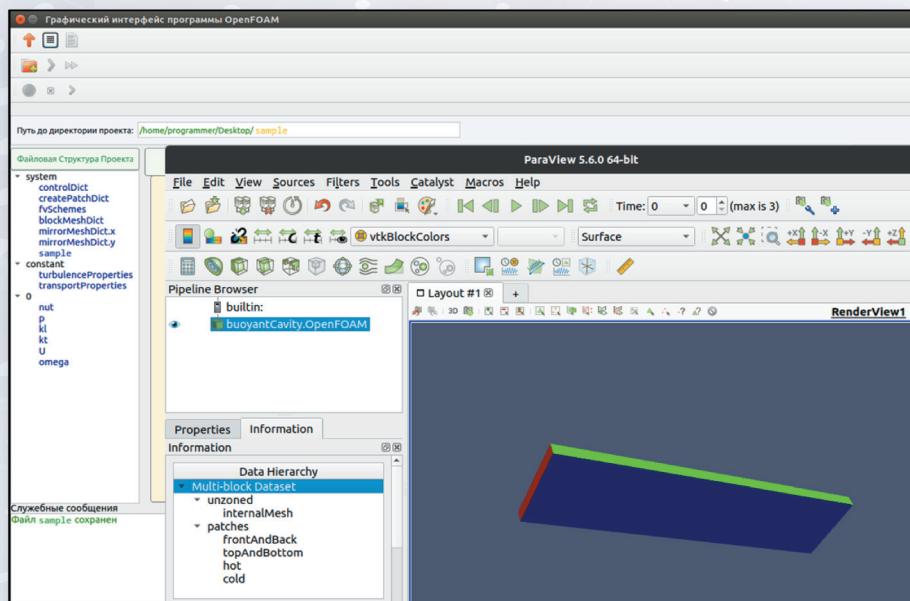


Рис. 4. Результаты генерации расчетной сетки

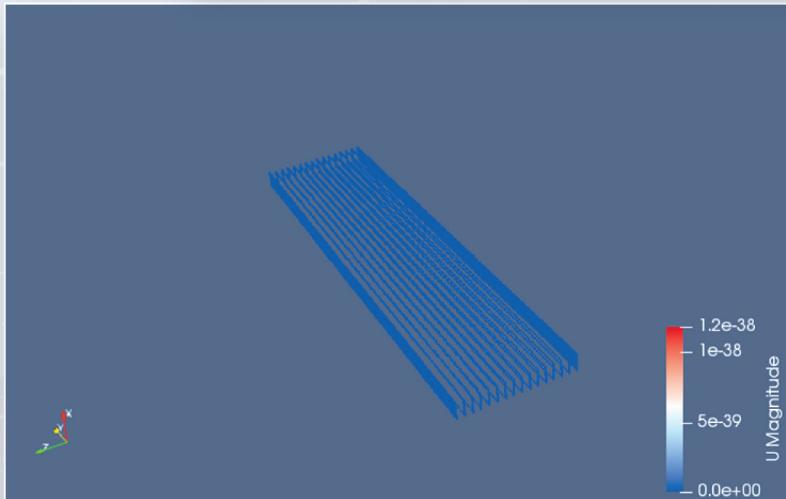


Рис. 5. Параметры изменения импульса

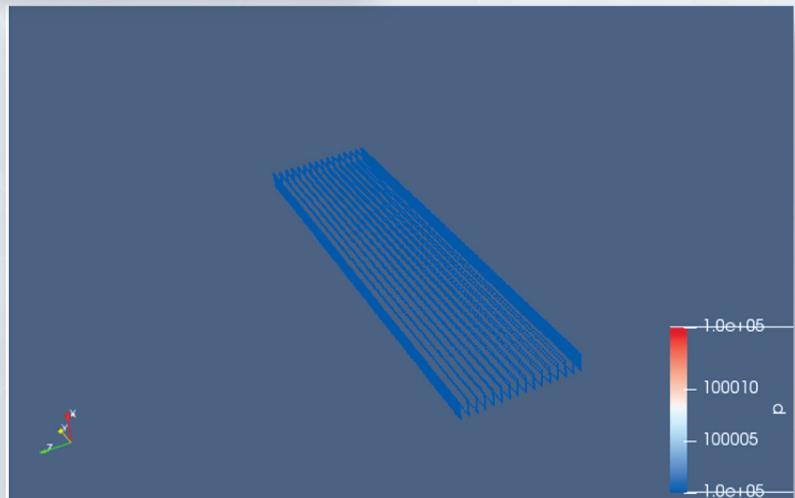


Рис. 6. Параметры изменения давления

Рисунок к статье Д. И. Чигалова

«О РАЗРАБОТКЕ МОДУЛЯ ДЛЯ РАБОТЫ С РЕШАТЕЛЕМ
buoyantSimpleFoam И УТИЛИТОЙ postProcess ПЛАТФОРМЫ OpenFOAM»

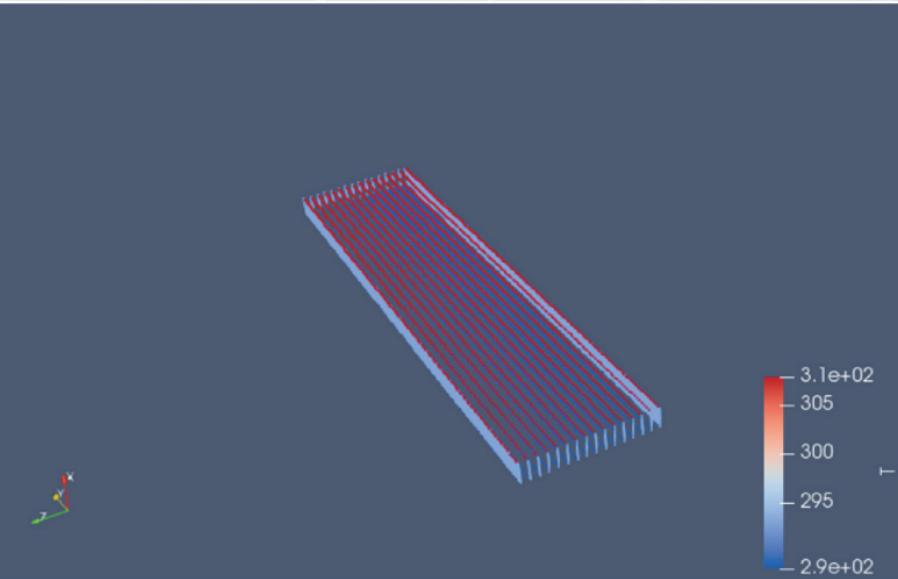


Рис. 7. Параметры изменения температуры