



# *Школа-семинар* *«Основы использования OpenFOAM, SALOME и ParaView»*

## **ОБЗОР СИСТЕМНОГО ОКРУЖЕНИЯ**

*М.В. Крапошин (НИЦ Курчатовский институт)*

*О.И. Самоваров (Институт системного программирования РАН)*

*С.В. Стрижак (ГОУ ВПО МГТУ им. Баумана)*



## ВАЖНЫЕ ЭТАПЫ В РАБОТЕ

- ОС Linux
- Linux команды
- Настройка окружения
- Структура пакета
- Формирование примера
- Редактирование файлов
- Проверка задачи
- Работа с хабом





# OpenFOAM (Field Operation and Manipulation)



## Открытое «ядро» и доступность кода

- Установка на LINUX (RHEL, SUSE, OpenSuse, Debian, Ubuntu, CentOS, CAELinux)
- Использование возможностей объектно-ориентированного программирования на C++;
- В программном коде используется базовая единица: класс.
- Основные исследуемые объекты: расчетная область, преобразования в тензорной и линейной алгебре, решатели, математические операции для УРЧП (дискретизация, дифференцирование, интегрирование, интерполяция);
- Представление уравнений МСС с помощью естественного языка программирования;
- Решение уравнений эллиптического, параболического, гиперболического типа;
- Разбиение кода на небольшие самостоятельные единицы;
- Совместимость с доступными открытыми кодами и компиляторами (gcc, python);
- Возможность разработки собственных модулей (граничные условия, библиотеки модели среды, решатели, утилиты).
- Около 1 миллиона строк исходного кода



# Файловая система в Linux.

## Основные принципы иерархии файлов.

Важные директории:

- Домашние каталоги: /root, /home/username
- Пользовательские программы: /bin, /usr/bin, /usr/local/bin
- Системные программы: /sbin, /usr/sbin, /usr/local/sbin
- Точки монтирования: /media, /mnt
- Конфигурационные файлы: /etc
- Временные файлы: /tmp
- Ядро и загрузчик: /boot
- Серверные данные: /var, /srv
- Системная информация: /proc, /sys
- Разделяемые библиотеки: /lib, /usr/lib, /usr/local/lib



## Команды интерпретатора в Linux (I)

### БАЗОВЫЕ КОМАНДЫ ДЛЯ РАБОТЫ С ФАЙЛАМИ

**ls** – просмотр директории

**ls -al** – formatted listing with hidden files

**cd *dir*** - change directory to *dir*

**cd** – change to home

**pwd** – show current directory

**mkdir *dir*** – создание директории *dir*

**rm *file*** – удаление файла *file*

**rm -r *dir*** – delete directory *dir*

**rm -f *file*** – force remove *file*

**rm -rf *dir*** – force remove directory *dir* \*

**cp *file1 file2*** – copy *file1* to *file2*

**cp -r *dir1 dir2*** – copy *dir1* to *dir2*; create *dir2* if it doesn't exist

**mv *file1 file2*** – rename or move *file1* to *file2* if *file2* is an existing directory, moves *file1* into directory *file2*

**ln -s *file link*** – create symbolic link *link* to *file*

**touch *file*** – создать пустой файл

**cat > *file*** – places standard input into *file*

**more *file*** – просмотр файла

**head *file*** – output the first 10 lines of *file*

**tail *file*** – вывод последних 10 строк файла

**tail -f *file*** – output the contents of *file* as it grows, starting with the last 10 lines





## Команды интерпретатора в Linux (II)

### КОМАНДЫ ДЛЯ СБОРА ИНФОРМАЦИИ О СИСТЕМЕ И СИСТЕМНОМ ОКРУЖЕНИИ

**date** – show the current date and time

**cal** – show this month's calendar

**uptime** – show current uptime

**w** – display who is online

**whoami** – who you are logged in as

**finger *user*** – display information about *user*

**uname -a** – show kernel information

**cat /proc/cpuinfo** – cpu information

**cat /proc/meminfo** – memory information

**man *command*** – show the manual for *command*

**df** – show disk usage

**du** – show directory space usage

**free** – show memory and swap usage

**whereis *app*** – show possible locations of *app*

**which *app*** – show which *app* will be run by default





## Команды интерпретатора в Linux (III)

### КОМАНДЫ УПРАВЛЕНИЯ ЗАДАЧАМИ (ПРОЦЕССАМИ)

**ps** – display your currently active processes

**top** – display all running processes

**kill *pid*** – kill process id *pid*

**killall *proc*** – kill all processes named *proc* \*

**bg** – lists stopped or background jobs; resume a stopped job in the background

**fg** – brings the most recent job to foreground

**fg *n*** – brings job *n* to the foreground

### КОМАНДЫ УПРАВЛЕНИЯ ДОСТУПА К ФАЙЛАМ

**chmod *octal file*** – change the permissions of *file* to *octal*, which can be found separately for user, group, and world by adding:

- 4 – read (r)
- 2 – write (w)
- 1 – execute (x)

Examples:

**chmod 777** – read, write, execute for all

**chmod 755** – rwx for owner, rx for group and world





## Команды интерпретатора в Linux (IV)

### КОМАНДЫ ДЛЯ РАБОТЫ С СЕТЬЮ

**ping *host*** – ping *host* and output results

**whois *domain*** – get whois information for *domain*

**dig *domain*** – get DNS information for *domain*

**dig -x *host*** – reverse lookup *host*

**wget *file*** – download *file*

**wget -c *file*** – continue a stopped download

### УСТАНОВКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Установка из исходного кода

**./configure**

**make**

**make install**

**Allwmake**

Установка из бинарных файлов

**dpkg -i *pkg.deb*** – install a package (Debian)

**rpm -Uvh *pkg.rpm*** – install a package (RPM)







## Команды интерпретатора в Linux (IV)

### УДАЛЕННЫЙ ДОСТУП ЧЕРЕЗ SSH

**ssh *user@host*** – connect to *host* as *user*

**ssh -p *port user@host*** – connect to *host* on port *port* as *user*

**ssh-copy-id *user@host*** – add your key to *host* for *user* to enable a keyed or passwordless login

### ПОИСК ИНФОРМАЦИИ

**grep *pattern files*** – search for *pattern* in *files*

**grep -r *pattern dir*** – search recursively for *pattern* in *dir*

***command* | grep *pattern*** – search for *pattern* in the output of *command*

**locate *file*** – find all instances of *file*

### КОРОТКИЕ КЛАВИШИ

**Ctrl+C** – halts the current command

**Ctrl+Z** – stops the current command, resume with

**fg** in the foreground or **bg** in the background

**Ctrl+D** – log out of current session, similar to **exit**

**Ctrl+W** – erases one word in the current line

**Ctrl+U** – erases the whole line

**Ctrl+R** – type to bring up a recent command

**!!** - repeats the last command

**exit** – log out of current session





## Команды интерпретатора в Linux (V)

### РАБОТА С АРХИВАМИ

**`tar cf file.tar files`** – create a tar named *file.tar* containing *files*

**`tar xf file.tar`** – extract the files from *file.tar*

**`tar czf file.tar.gz files`** – create a tar with Gzip compression

**`tar xzf file.tar.gz`** – extract a tar using Gzip

**`tar cjf file.tar.bz2`** – create a tar with Bzip2 compression

**`tar xjf file.tar.bz2`** – extract a tar using Bzip2

**`gzip file`** – compresses *file* and renames it to *file.gz*

**`gzip -d file.gz`** – decompresses *file.gz* back to *file*





## УСТАНОВКА OPENFOAM

```
$cd OpenFOAM/  
$tar xzf OpenFOAM-1.6.General.gtgz  
$tar xzf OpenFOAM-1.6.linux64GccDPOpt.gtgz  
$tar xzf ThirdParty-1.6.General.gtgz  
$tar xzf ThirdParty-1.6.linux64Gcc.gtgz
```

Настройка окружения:

```
[user1@WorkStation ~]$ cat .bashrc  
# .bashrc  
# Source global definitions  
if [ -f /etc/bashrc ];  
then  
    . /etc/bashrcfi  
# User specific aliases and functions  
export FOAM_INST_DIR=/home/user1/OpenFOAM  
foamDotFile=$FOAM_INST_DIR/OpenFOAM-1.6/etc/bashrc  
if  
[ -f $foamDotFile ]; then  
    . $foamDotFile
```



## УСТАНОВКА OPENFOAM

```
[cfd1@master ~]$ foamInstallationTest
```

```
Executing /home/cfd1/OpenFOAM/OpenFOAM-1.6/bin/foamInstallationTest:
```

```
Checking basic setup...
```

```
-----  
Shell:      bash
```

```
Host:       master.bmstu.ru
```

```
OS:         Linux version 2.6.18-92.el5xen  
-----
```

```
Checking main OpenFOAM env variables...
```

```
-----  
Environment_variable Set_to_file_or_directory Valid Crit  
-----  
$WM_PROJECT_INST_DIR /home/cfd1/OpenFOAM yes yes  
$WM_PROJECT_USER_DIR /home/cfd1/OpenFOAM/cfd1-1.6 no no  
$WM_THIRD_PARTY_DIR /home/cfd1/OpenFOAM/ThirdParty-1.6 yes yes  
-----
```

```
Checking the OpenFOAM env variables set on the PATH...
```

```
-----  
Environment_variable Set_to_file_or_directory Valid Path Crit  
-----  
$WM_PROJECT_DIR /home/cfd1/OpenFOAM/OpenFOAM-1.6 yes yes yes  
$FOAM_APPBIN ...1.6/applications/bin/linux64GccDPOpt yes yes yes  
$FOAM_SITE_APPBIN ...penFOAM/site/1.6/bin/linux64GccDPOpt no no  
$FOAM_USER_APPBIN ...1.6/applications/bin/linux64GccDPOpt no no  
$WM_DIR /home/cfd1/OpenFOAM/OpenFOAM-1.6/wmake yes yes yes  
-----
```



# ПЕРЕМЕННЫЕ ОКРУЖЕНИЯ OPENFOAM

## Important Environment Variables (важные переменные окружения)

**\$WM\_PROJECT\_DIR** – path to the OpenFOAM installation

**\$WM\_PROJECT\_USER\_DIR** – OpenFOAM user directory

**\$FOAM\_TUTORIALS** – OpenFOAM tutorials

**\$FOAM\_SRC** – source-tree of OpenFOAM libraries

**\$FOAM\_APP** – source-tree of OpenFOAM applications

**\$FOAM\_APPBIN** – directory with the applications

**\$FOAM\_USER\_APPBIN** – directory with the applications created by the user

**\$FOAM\_LIBBIN** – directory with the libraries provided by OpenFOAM

**\$FOAM\_USER\_LIBBIN** – directory with the libraries created by the user

**\$FOAM\_RUN** – directory where the user can put his/her cases

## Important Shell-Aliases (важные команды)

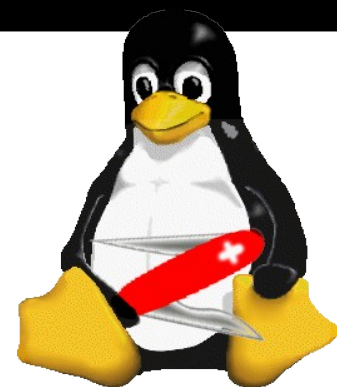
**run** – *cd* to \$FOAM\_RUN

**src** – *cd* to \$FOAM\_SRC

**app** – *cd* to \$FOAM\_APP

**util** – *cd* to \$FOAM\_APP/utilities

**sol** – *cd* to \$FOAM\_APP/solvers



## СТРУКТУРА OPENFOAM (I)

- \* applications: исходные и исполняемые файлы
  - Solvers
  - Utilities
- \* bin: базовые исполняемые скрипты
- \* doc: pdf и Doxygen файлы
  - Doxygen
  - Guides-a4
- \* lib - откомпилированные библиотеки
- \* etc — служебные скрипты
- \* src — исходные файлы
- \* test — тестовые файлы
- \* tutorials — примеры
- \* Wmakes — утилиты для компиляции



## **СТРУКТУРА OPENFOAM (II)**

[sergei.strijhak@frontend.unicluster.ru:/lustre/unicluster/opt/OpenFOAM/1.6/Open](https://sergei.strijhak@frontend.unicluster.ru:/lustre/unicluster/opt/OpenFOAM/1.6/Open)

FOAM/OpenFOAM-1.6\$ ll

total 140

```
-rwxr-xr-x 1 root root 366 Apr 7 19:36 Allwmake
drwxr-xr-x 6 root root 4096 Apr 7 19:27 applications
drwxr-xr-x 4 root root 4096 Apr 7 19:27 bin
-rw-r-xr-x 1 root root 17994 Apr 7 19:36 COPYING
drwxr-xr-x 5 root root 4096 Apr 7 19:36 doc
drwxr-xr-x 4 root root 4096 Apr 7 19:36 etc
drwxr-xr-x 3 root root 4096 Apr 7 19:36 lib
drwxr-xr-x 3 root root 4096 Apr 7 19:37 openfoam-1.6
-rw-r-xr-x 1 root root 8813 Apr 7 19:36 README
-rw-r-xr-x 1 root root 15311 Apr 7 19:36 README.html
-rw-r-xr-x 1 root root 18461 Apr 7 19:36 ReleaseNotes-1.6
-rw-r-xr-x 1 root root 32656 Apr 7 19:37 ReleaseNotes-1.6.html
drwxr-xr-x 28 root root 4096 Apr 7 19:37 src
drwxr-xr-x 15 root root 4096 Apr 7 19:38 tutorials
drwxr-xr-x 6 root root 4096 Apr 7 19:38 wmake
```



## СТРУКТУРА OPENFOAM (III)

[sergei.strijhak@frontend.uniclust.ru:/lustre/uniclust/opt/OpenFOAM/1.7/](http://sergei.strijhak@frontend.uniclust.ru:/lustre/uniclust/opt/OpenFOAM/1.7/)

OpenFOAM-1.7.1\$ ll

total 92

```
-rwxr-x--- 1 1002 1001 721 Jun 21 2010 Allwmake
drwxr-xr-x 6 root root 4096 Apr 12 18:56 applications
drwxr-xr-x 4 root root 4096 Apr 12 15:39 bin
-rw-r----- 1 1002 1001 35627 Jun 16 2010 COPYING
drwxr-xr-x 6 root root 4096 Apr 12 15:38 doc
drwxr-xr-x 4 root root 4096 Apr 12 21:40 etc
drwxr-xr-x 3 root root 4096 Apr 12 16:33 lib
-rw-r----- 1 1002 1001 5820 Aug 24 2010 README.html
-rw-r----- 1 1002 1001 1871 Aug 25 2010 ReleaseNotes-1.7.1
-rw-r----- 1 1002 1001 5829 Aug 25 2010 ReleaseNotes-1.7.1.html
drwxr-xr-x 30 root root 4096 Apr 12 15:38 src
drwxr-xr-x 15 root root 4096 Apr 12 15:39 tutorials
drwxr-xr-x 6 root root 4096 Apr 12 16:33 wmake
```





## СТРУКТУРА OPENFOAM (IV)

```
sergei.strijhak@frontend.uniclust.ru:/lustre/uniclust/opt/OpenFOAM/1.6/OpenF  
OAM/OpenFOAM-1.6/applications/solvers$ ll
```

```
total 48
```

```
drwxr-xr-x  5 root root 4096 Apr  7 19:27 basic
```

```
drwxr-xr-x 10 root root 4096 Apr  7 19:27 combustion
```

```
drwxr-xr-x 12 root root 4096 Apr  7 19:27 compressible
```

```
drwxr-xr-x  4 root root 4096 Apr  7 19:27 discreteMethods
```

```
drwxr-xr-x  3 root root 4096 Apr  7 19:27 DNS
```

```
drwxr-xr-x  4 root root 4096 Apr  7 19:27 electromagnetics
```

```
drwxr-xr-x  3 root root 4096 Apr  7 19:27 financial
```

```
drwxr-xr-x  8 root root 4096 Apr  7 19:27 heatTransfer
```

```
drwxr-xr-x 11 root root 4096 Apr  7 19:27 incompressible
```

```
drwxr-xr-x  6 root root 4096 Apr  7 19:27 lagrangian
```

```
drwxr-xr-x 13 root root 4096 Apr  7 19:27 multiphase
```

```
drwxr-xr-x  4 root root 4096 Apr  7 19:27 stressAnalysis
```



## СТРУКТУРА OPENFOAM (V)

```
sergei.strijhak@frontend.uniclust.ru:/lustre/uniclust/opt/OpenFOAM/1.6/OpenF  
OAM/OpenFOAM-1.6/applications/utilities$ ll
```

```
total 32
```

```
drwxr-xr-x 6 root root 4096 Apr 7 19:27 errorEstimation
```

```
drwxr-xr-x 6 root root 4096 Apr 7 19:27 mesh
```

```
drwxr-xr-x 7 root root 4096 Apr 7 19:27 miscellaneous
```

```
drwxr-xr-x 6 root root 4096 Apr 7 19:27 parallelProcessing
```

```
drwxr-xr-x 14 root root 4096 Apr 7 19:27 postProcessing
```

```
drwxr-xr-x 12 root root 4096 Apr 7 19:27 preProcessing
```

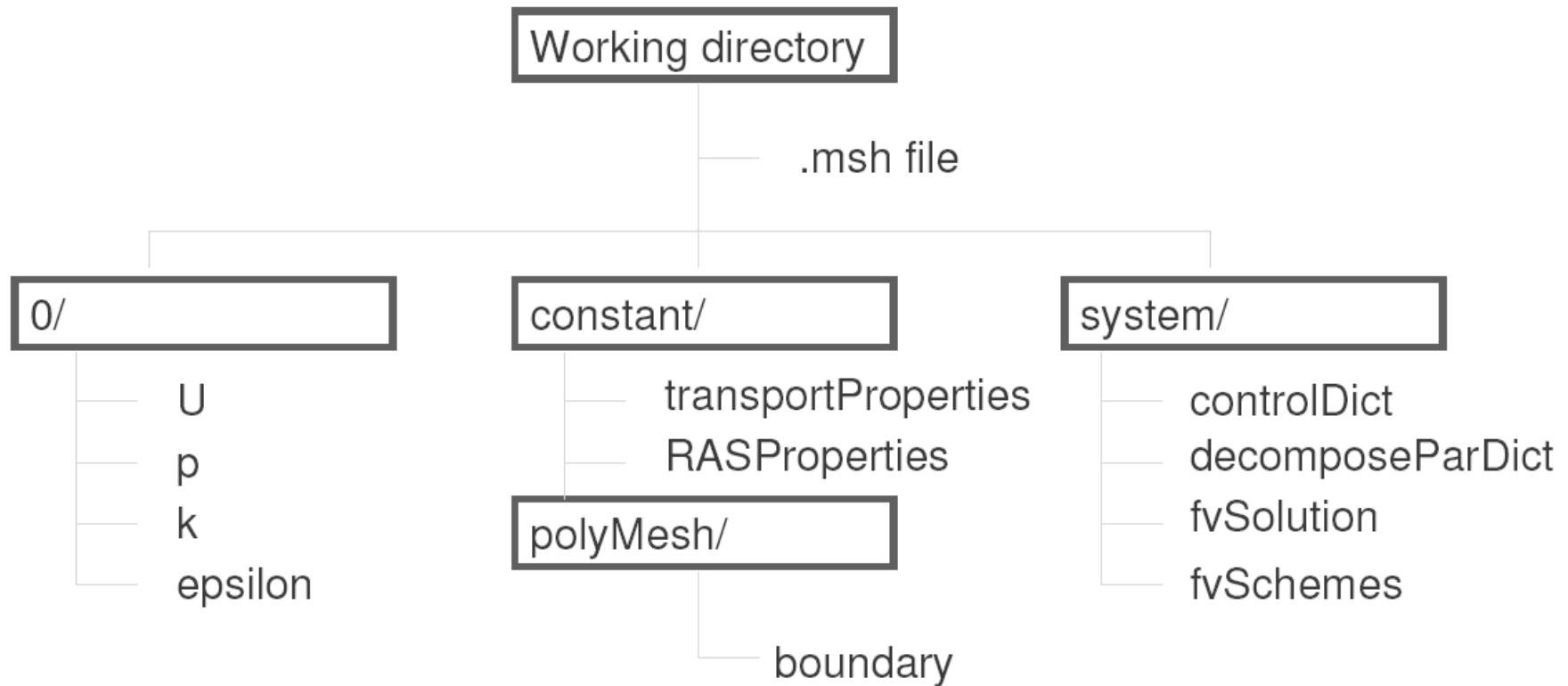
```
drwxr-xr-x 26 root root 4096 Apr 7 19:27 surface
```

```
drwxr-xr-x 7 root root 4096 Apr 7 19:27 thermophysical
```



# СТРУКТУРА КАТАЛОГА ЗАДАЧИ OPENFOAM

## Work Structure, simpleFoam





**case** – relative or absolute path to the case

**Basic Case Structure** (Базовая структура примера)

**case/** – the case directory

+ **0/** – содержит начальные и граничные условия

+ **constant/** – constant data (данные и константы)

+ **polyMesh/** – содержит данные сетки

+ **transportProperties** – вязкость

+ **system/** – run-time control / numerics

+ **controlDict** – run-time control (параметры для контроля задачи)

+ **fvSchemes** – numerical schemes (расчетные схемы)

+ **fvSolution** – решатели для СЛАУ

**case/0/** – contains for each variable a file defining the initial and boundary conditions. May also contain initial and boundary conditions for a moving grid.

**case/constant/polyMesh/** – contains the grid data for a non-moving grid. The files are: boundary, faces, neighbour, owner, points.

**case/constant/transportProperties** – defines the viscosity (also for non-Newtonian fluids)

**case/system/controlDict** – sets start-/endtime, time-step size, output control etc. Also allows to load general “plugins” and apply “function-objects” to compute forces acting on a surface.

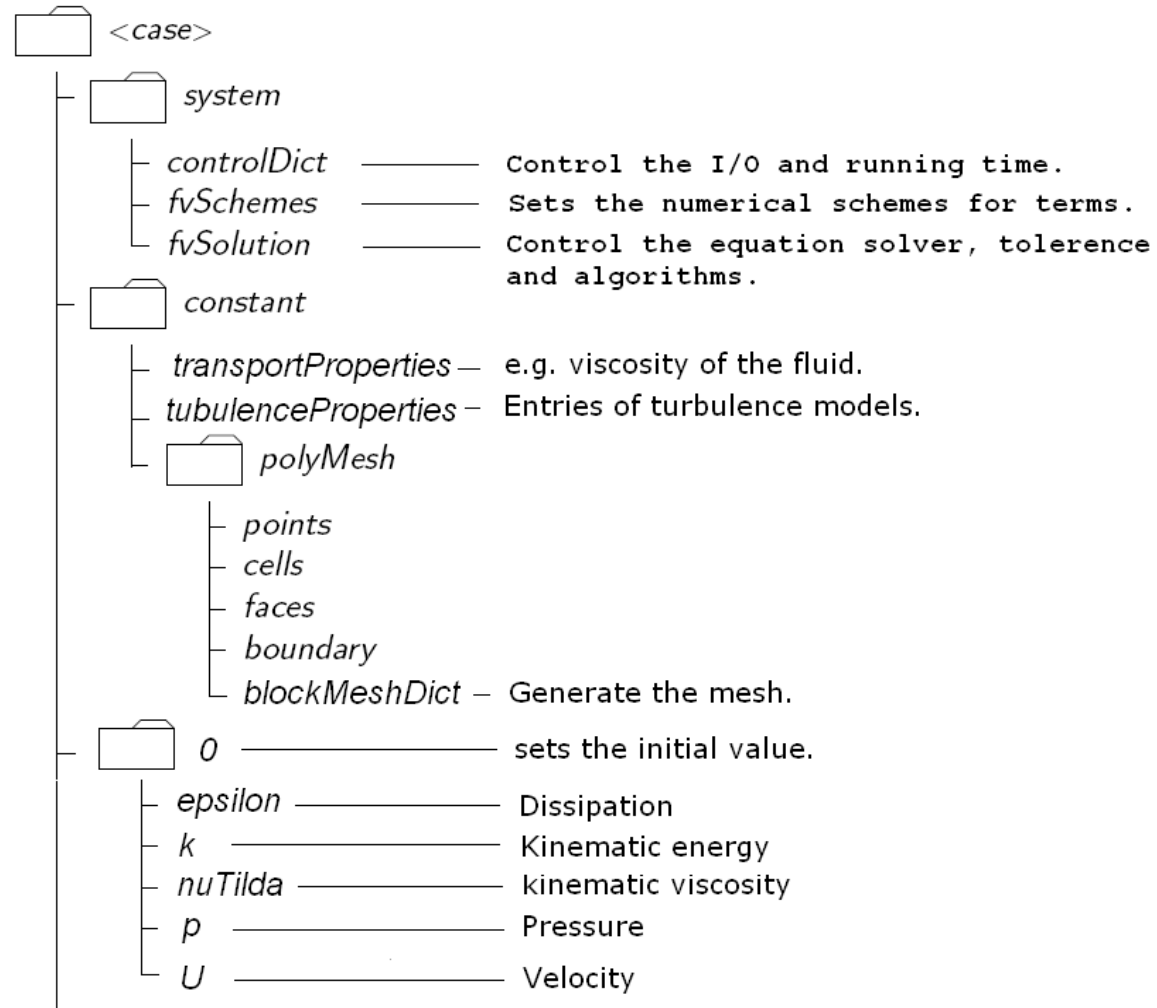
**case/system/fvSchemes** – defines the numerical schemes to be used for each differential operator

**case/system/fvSolution** – selects the solvers to be used for the linear equation systems for each variable which is solved for using an implicit scheme.

## НЕКОТОРЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ



# ПРИМЕР СТРУКТУРЫ КАТАЛОГА ЗАДАЧИ OPENFOAM





## ПОДГОТОВКА ЗАДАЧИ

```
FoamFile
{
  version      2.0;
  format       ascii;
  class        dictionary;
  location     "system";
  object       controlDict;
}
// *****

application    icoFoam;
startFrom      startTime;
startTime      0;
stopAt         endTime;
endTime        5;
deltaT         0.005;
writeControl    timeStep;
writeInterval   100;
purgeWrite     0;
writeFormat     ascii;
writePrecision  6;
writeCompression uncompressed;
timeFormat      general;
timePrecision   6;
runTimeModifiable yes;
```



©TSAIMEDIEN



## СХЕМЫ ДИСКРЕТИЗАЦИИ — system/fvSchemes

### ddtSchemes

```
{ default      steadyState; }
```

### gradSchemes

```
{ default      Gauss linear;  grad(p)      Gauss linear;  grad(U)      Gauss linear;}
```

### divSchemes

```
{ default      Gauss upwind;  div((nuEff*dev(grad(U).T()))) Gauss linear;}
```

### laplacianSchemes

```
{ default      Gauss linear corrected;  laplacian(DnuTildaEff,nuTilda) Gauss linear corrected;}
```

### interpolationSchemes

```
{ default      linear;  interpolate(U) upwind phi;}
```

```
snGradSchemes { default      corrected;}
```

```
fluxRequired  { default      no;  p      ;}
```



## МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ СЛАУ — system/fvSolutions

solvers

p

{

```
solver      PCG;  
preconditioner DIC;  
tolerance    1e-06;  
relTol       0.01;
```

}

U

{

```
solver      PBiCG;  
preconditioner DILU;  
tolerance    1e-05;  
relTol       0.1;
```

}







## ПРЕДСТАВЛЕНИЕ РАСЧЕТНОЙ СЕТКИ В OPENFOAM

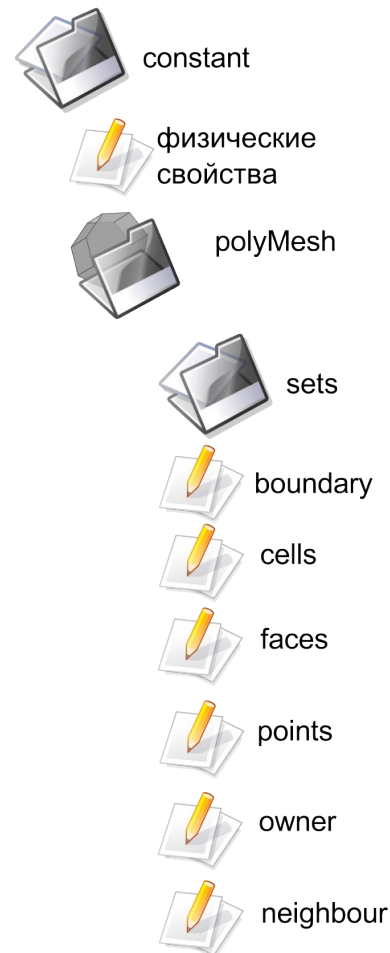
Расчетная сетка в OpenFOAM представлена следующими файлами (содержатся в каталоге `constant/polyMesh`):

1. `points` — список координат узлов, образующих сетку
2. `faces` — список граней, образующих контрольные объёмы расчетной сетки
3. `owners` — список граней принадлежащих контрольным объёмам
4. `neighbours` — список граней, являющихся соседними по отношению к контрольным объёмам
5. `boundary` — описание физических типов граничных условий

Типы сеток, передаваемых в OpenFOAM следует разделить на два класса:

1. Блочные сетки, определяемые внутренним форматом OpenFOAM (файл `blockMeshDict`)
2. Неструктурированные сетки, сгенерированные средствами сторонних продуктов

Перед тем, как осуществить инициализацию расчетной области, необходимо, чтобы каталоги `0`, `constant`, `constant/polyMesh` и `system` (с файлам `fvSolution`, `fvSchemes` и `controlDict`) уже существовали — эти каталоги с их первоначальным содержанием можно взять из любой тестовой задачи OpenFOAM.





## СТРУКТУРА ФАЙЛОВ ИСХОДНОГО КОДА РЕШАТЕЛЯ OPENFOAM

**appName/** – the directory with the source code  
+ **appName.C** – the main program  
+ **createFields.H** – declarations and initializations of all fields  
+ **Make/** – compilation instructions  
+ **files** – list of source/output files  
+ **options** – compilation options

**appName/appName.C** – the actual solver code  
**appName/createFields.H** – declares all the field variables and initializes them by (usually) reading the initial conditions from a file.

**appName/Make/files** – names all the source (.C) files, one file per line. The last line should read **EXE=\$(FOAM\_USER\_APPBIN)/appName** to specify the name and location of the output file.

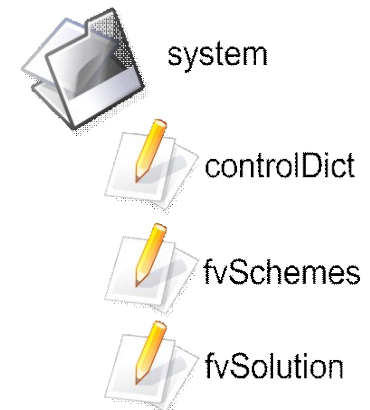
**appName/Make/options** – specifies directories to search for include files and libraries to link the solver against. The former are specified in the variable **EXE\_INCS**, the latter in **EXE\_LIBS**. Lines have to be continued using the \ character



## ПОДГОТОВКА К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ В OPENFOAM

Создание директории для расчетов

```
[cfd1@master ~]$ mkdir -p /home/cfd1/OpenFOAM/${USER}-  
${WM_PROJECT_VERSION}/run  
[cfd1@master OpenFOAM]$ ll  
total 12  
drwxr-xr-x 3 cfd1 sm 3 4096 Dec 18 12:28 cfd1-1.6  
drwxr-xr-x 10 cfd1 sm 3 4096 Dec 17 17:46 OpenFOAM-1.6  
drwxr-xr-x 13 cfd1 sm 3 4096 Dec 17 17:47 ThirdParty-1.6
```



Общий порядок для любого кейса:

```
$ blockMesh - подготовка сетки  
$ checkMesh - проверка сетки  
$ icoFoam (pisoFoam, sonicFoam) - запуск решателя  
$ foamToVTK - трансляция результатов в формат VTK  
$ ./paraview - запуск пост-процессора Paraview
```



## ЛИТЕРАТУРА

- 1) Марк.Г. Сабел Практическое руководство по Red Hat Linux. Изд. дом 'Вильямс', 2005. - 1072 с.
- 2) Немец Э., Снайдер Г.,Хейн Т. Руководство администратора Linux, 2 издание. ООО 'И.Д. Вильямс', 2009. – 1072 с
- 3) Гергель В.П. Теория и практика параллельных вычислений. – ИНТУИТ, Бином. Лаборатория знаний, 2007.
- 4) К.Ю.Богачев Основы параллельного программирования. Бином.2010. – 342 с.
- 5) Лупин С.А., Посыпкин М.А. Технология параллельного программирования. – М.: ИД Форум. 2008. – 208 с.
- 6) Страуструп Б. Язык программирования C++. 2008
- 7) Язык программирования СИ++. Курс лекций. Учебное пособие. / Фридман А.Л. / 2009. – 264 с.
- 8) Шилдт Г. С++ для начинающих. Пер с англ. М.: Эком Паблишерз. 2007.- 640 с.