

# FSI примеры

---

## Ключевые слова

FSI, совместный расчет FlowVision и Abaqus, взаимодействие движущегося или деформируемого тела с внутренним или внешним потоком жидкости

## Рассматриваемые примеры

1. Моделирование поведения клапана, препятствующего потоку жидкости со связкой FlowVision-Abaqus
2. Моделирование поведения двух клапанов, препятствующих потоку жидкости со связкой FlowVision-Abaqus

## Введение

Fluid-structure interaction (FSI) – это взаимодействие движущегося или деформируемого тела с внутренним или внешним потоком жидкости. Данный вид анализа является важным фактором в разработке инженерных систем и при решении задач в области авиастроения, двигателей, мостов и т.д.

Проблемы взаимодействия конструкции с потоком зачастую слишком сложны для аналитического анализа, и эти задачи анализируются экспериментальным путем или численным моделированием. При численном моделировании FSI-задач выделяют два подхода:

- Монолитный подход (Уравнения, отвечающие за поток и за деформации решаются одновременно с одного солвера).
- Совместное моделирование (Уравнения потоков и деформации рассчитываются отдельными программами).

Одной из особенностей FlowVision является реализация совместного расчета со сторонними программами, а текущая версия MP Менеджера позволяет выполнять FSI-расчеты с программным пакетом Abaqus.

MP Менеджер FlowVision предназначен для:

- задания настроек совместного запуска FlowVision-Abaqus, причем все настройки сохраняются в файл MpmConnector.cfg в серверной папке проекта FlowVision (файл либо создается автоматически, либо, если файл уже существует, будут отображены настройки файла выбранного проекта в MP Менеджере)
- запуска солвера FlowVision
- запуска Abaqus (с помощью модуль FlowVision MPM-Agent)

При наличии файла настроек MpmConnector.cfg в серверной папке проекта FlowVision, запуск солвера FV и Abaqus возможен без MP Менеджера (запуск осуществляется через Терминал FlowVision или командную строку с параметрами, указанными в MpmConnector.cfg).

Сообщаем Вам, что для корректного запуска совместного расчета требуется ручная модификация файлов Abaqus и FlowVision. Без данных модификаций связь между программами невозможна. Процесс ручной модификации файлов описан в пунктах 1.5.1-1.5.2 и 2.5.1-2.5.2.

## Пример 1. Моделирование поведения клапана, препятствующего потоку жидкости при совместном расчете FlowVision-Abaqus

### 1.1. Постановка задачи



В потоке жидкости установлен клапан, препятствующий ее движению. С помощью совместного расчета в Abaqus и FlowVision моделируется поведение клапана и параметры потока жидкости во взаимодействии друг на друга.

#### Входные параметры

Скорость	$V = 10$	$[м\ с^{-1}]$
<b>Параметры жидкости:</b>		
Плотность	$\rho = 1000$	$[кг\ м^{-3}]$
Вязкость	$\mu = 0.001$	$[кг\ м^{-1}\ с^{-1}]$
<b>Параметры клапана</b>		
Плотность	$\rho = 3500$	$[кг\ м^{-3}]$
Модуль Юнга	$E = 3 \times 10^9$	$[Па]$
Коэффициент Пуассона	$\nu = 0.3$	

### 1.2. Файлы

Проект FlowVision: Valve\_Channel

Проект Abaqus : Valve\_std.inp

Геометрическая модель трубы: Valve\_Channel.wrl

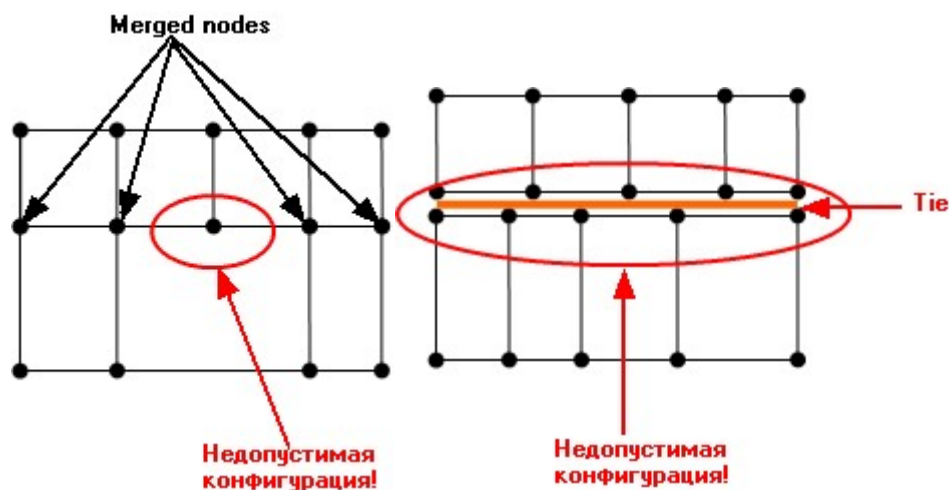
### 1.3. Требования к модели в Abaqus.

Для данного примера используется уже готовая в Abaqus модель. Если вы хотите самостоятельно создать модель в Abaqus, вы можете воспользоваться **мануалом** в приложении к данному примеру.

**Важным моментом** создания модели в Abaqus является добавление поверхности обмена с помощью GUI Abaqus.

При совместном расчете к модели, созданной Abq, **возникают следующие требования:**

1. Детали модели, участвующие в связанной задаче, должны моделироваться объемными либо плоскими элементами.
2. В модели должны быть определены поверхности обмена (интерфейсные области типа SURFACE) для связанного расчета.
3. Поверхность обмена должна быть:
  - 3.1. Замкнутой;
  - 3.2. Созданной на сплошной сетке. Сетка не должна иметь «Двойных» узлов, модифицированных элементов и не должна содержать поверхность двух сеток, соединенных TIE-контактом (Рис. 12).



### 1.4. Создание проекта во FlowVision

#### 1.4.1. Вещества, Фазы, Модель

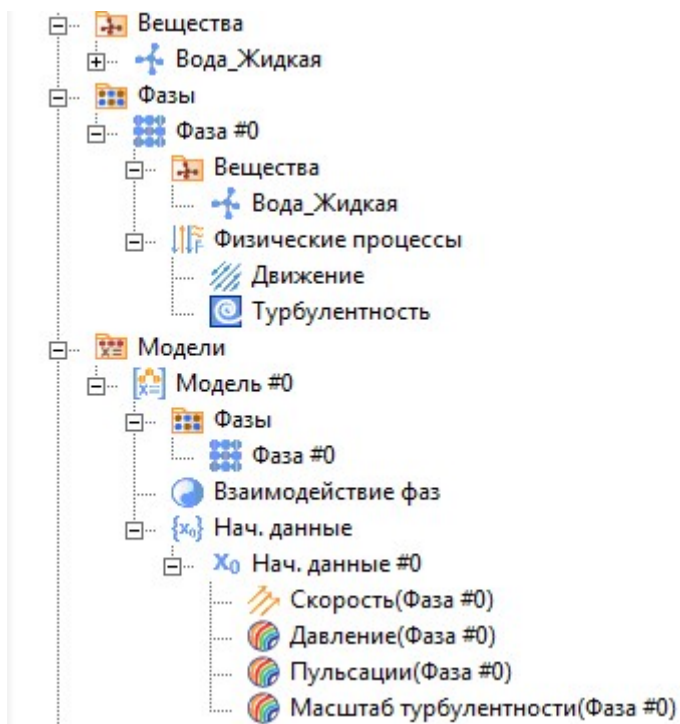
Создайте Вещество - в расчете будет моделироваться вода как вещество, загруженное из стандартной базы веществ (агрегатное состояние – жидкое).

Необходимо создать одну Фазу:

- Фаза: Сплошная
  - Вещество:
    - Вода
  - Физические процессы:

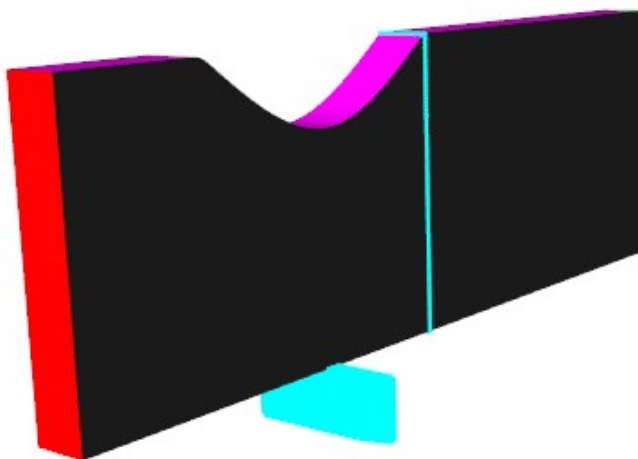
- Движение: Ньютоновская жидкость
- Турбулентность: KES

Создайте Модель и добавьте в нее созданную Фазу. Перейдите в Начальные данные и задайте значение скорости относительно оси X = 10 м/с. Назначьте созданную модель Подобласти.



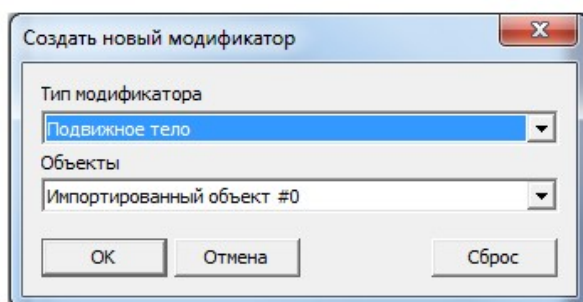
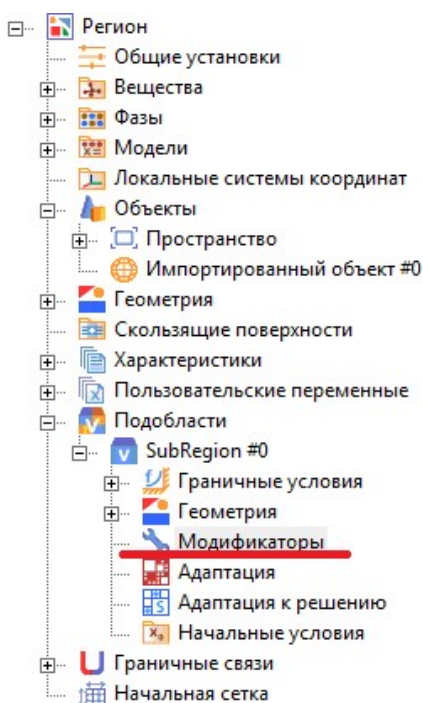
### 1.4.2.Импортированный клапан

Клапан вставляется в проект как отдельный геометрический объект, на котором устанавливается модификатор подвижного тела. Для этого в папке **Объекты** создайте новый объект **Импортированный объект**. Выберите файл valve\_std.inp (Важно, что все файлы, импортируемые из Abq во FlowVision в качестве подвижного тела, должны иметь формат .inp).



При импорте объекта из Abq во FV могут возникнуть с масштабом или ориентацией в пространстве загружаемой геометрии по отношению к другим геометрическим объектам проекта FV. Так при вставке импортированного объекта клапана можно наблюдать, что он требует смещения и поворота для размещения его в проточной части трубы. Важно учесть, что при совместном расчете, масштабирование, перемещение и вращение объекта необходимо задавать в свойствах модификатора «Подвижное тело» заданного на данном импортированном объекте. В этом случае, ко всем последующим заменам геометрии, пришедших из Abaqus, будут автоматически применены заданные масштаб, перемещение и вращение.

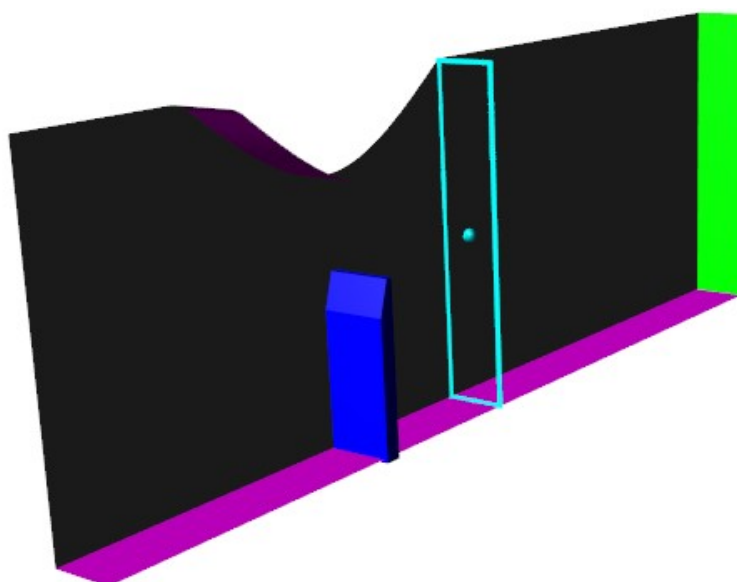
Создайте модификатор Подвижного тела на Импортированном объекте. Для этого перейдите в **Подобласти=>Подобласть#0** и нажмите правой кнопкой мыши на **Модификаторы**. В контекстном меню выберите пункт **Создать**. Выберите **Тип модификатора => Подвижное тело** и **Объект => Импортированный объект#0**.



В окне свойств созданного модификатора подвижного тела задайте его начальное положение клапана указав следующие параметры (перемещение по оси X и Z и поворот вокруг оси X)???:

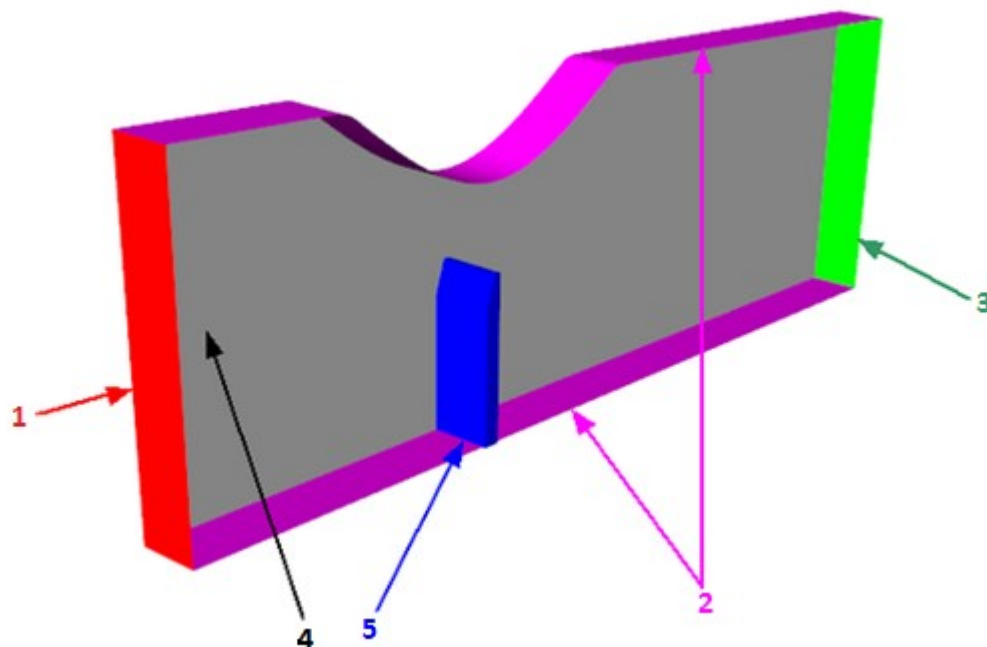
- Начальное положение => Опорная точка =>  $X = 0, Y = -0.001, Z = -0.009$
- Начальное положение => Ось Y =>  $X = 0, Y = 0, Z = -1$

Нажмите **Применить**, после нажмите  (**Поместить в начальное положение**).



Важно отметить, что внешние размеры объекта клапана выходят наружу геометрической поверхности проточной части трубы. Это требования к геометрии FlowVision для корректного построения расчетной сетки: недопустимо использование совпадающих поверхностей Региона и подвижного тела, поверхности могут иметь гарантированный зазор между собой или гарантированное перекрытие.

### 1.4.3. Граничные условия



Граница 1

Тип

Переменные

Скорость (Фаза #0)

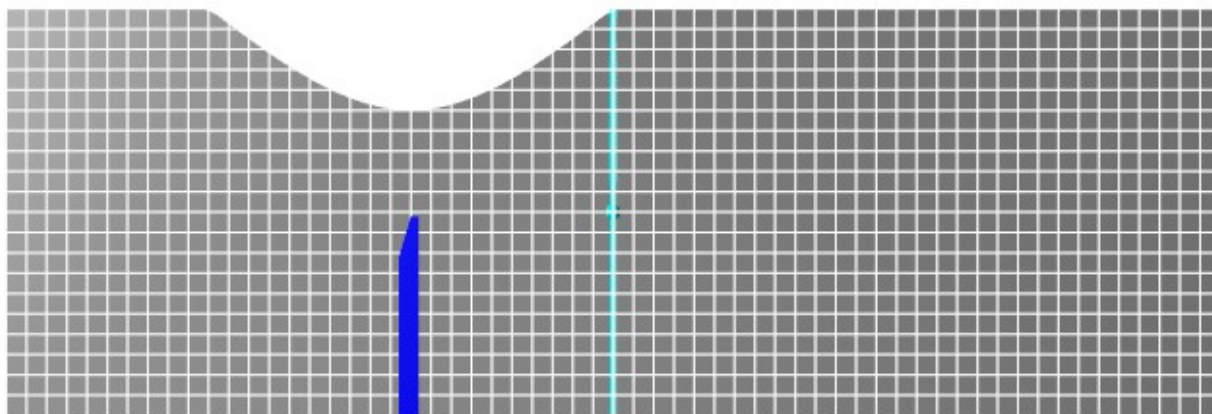
= Вход/Выход

= Нормальная массовая скорость

	<b>Значение</b>	<b>= 10000</b>	<b>[кг м<sup>-2</sup> с<sup>-1</sup>]</b>
	<b>ТурбЭнергия (Фаза #0)</b>	<b>= Пульсации</b>	
	<b>Значение</b>	<b>= 0</b>	
	<b>ТурбДиссипация (Фаза #0)</b>	<b>= Масштаб турбулентности</b>	
	<b>Значение</b>	<b>= 0</b>	<b>[м]</b>
<b>Цвет</b>		<b>= Красный</b>	
<b>Граница 2</b>			
<b>Тип</b>		<b>= Стенка</b>	
<b>Переменные</b>			
	<b>Скорость (Фаза #0)</b>	<b>= Логарифмический закон</b>	
	<b>ТурбЭнергия (Фаза #0)</b>	<b>= Значение в ячейке рядом со стенкой</b>	
	<b>ТурбДиссипация (Фаза #0)</b>	<b>= Значение в ячейке рядом со стенкой</b>	
<b>Цвет</b>		<b>= Пурпурный</b>	
<b>Граница 3</b>			
<b>Тип</b>		<b>= Свободный выход</b>	
<b>Переменные</b>			
	<b>Скорость (Фаза #0)</b>	<b>= Давление</b>	
	<b>Значение</b>	<b>= 0</b>	<b>[Па]</b>
	<b>ТурбЭнергия (Фаза #0)</b>	<b>= Нулевой градиент</b>	
	<b>ТурбДиссипация (Фаза #0)</b>	<b>= Нулевой градиент</b>	
<b>Цвет</b>		<b>= Зелёный</b>	
<b>Граница 4</b>			
<b>Тип</b>		<b>= Симметрия</b>	
<b>Переменные</b>			
	<b>Скорость (Фаза#0)</b>	<b>= Проскальзывание</b>	
	<b>ТурбЭнергия (Фаза#0)</b>	<b>= Симметрия</b>	
	<b>ТурбДиссипация (Фаза#0)</b>	<b>= Симметрия</b>	
<b>Цвет</b>		<b>Серый</b>	
<b>Граница 5</b>			
<b>Название</b>		<b>=Клапан</b>	
<b>Тип</b>			
<b>Переменные</b>			
	<b>Скорость (Фаза#0)</b>	<b>= Логарифмический закон</b>	
	<b>ТурбЭнергия (Фаза#0)</b>	<b>= Значение энергии в ячейке рядом со стенкой</b>	
	<b>ТурбДиссипация (Фаза#0)</b>	<b>= Значение энергии в ячейке рядом со стенкой</b>	
<b>Цвет</b>		<b>= Синий</b>	

Важно отметить, что для варианта совместного расчета на всей поверхности заменяемого геометрического объекта клапана устанавливается одно граничное условие.

#### 1.4.4. Расчетная сетка



Начальная сетка:

для начальной сетки установите следующие параметры  $nX = 60$ ;  $nY = 1$ ;  $nZ = 20$ .

Адаптация:

Для измельчения расчетной сетки вблизи клапана используется адаптация по поверхности граничного условия. Перейдите в *Подобласти => Подобласть#0=> Граничные условия* и в свойствах граничного условия приложенного к клапану включите адаптацию *с уровнем 4 и слоями ячеек 3*.

При изменении положения клапана будет адаптироваться и область вокруг него, чтобы избежать излишней адаптации вне области расположения клапана, возможно использование элемента адаптации – *Слитие*. В этом случае, ранее адаптированные ячейки восстанавливаются до уровня разбиения, указанного в элементе слития и далее адаптируются только ячейки вокруг клапана.

Для слития ранее проадаптированных ячеек, в папке *Адаптация* создайте *Адаптация#0* со следующими параметрами:

- Объект => Пространство;
- Активность => Да;
- Макс. Уровень => 0;
- Разбить/Слить => Слить;
- Область => В объеме.

#### 1.4.5. Параметры Солвера. Шаг по времени.

Во вкладке *Солвер* в окней свойств элемента *Шаг по времени* задать способ «числом CFL» и задать *конвективный CFL=100*, а *поверхностный CFL=1* (для задач с движением подвижных тел и, в частности FSI расчетов, шаг рекомендуется задавать числом CFL (поверхностный =1 и конвективный =1...100 выбирая исходя их задачи)).



## 1.4.6. Визуализация результатов

Для получения распределения скоростей в трубе создайте слой Векторы на объекте Плоскость со следующими параметрами:

### Переменная

Переменная = Скорость

### Сетка

Размер 1 = 50

Размер 2 = 20

### Раскраска

#### Переменная

Переменная = Скорость

#### Диапазон

Режим = Ручной

Максимум = 35

Минимум = 0

#### Палитра

##### Операции

Нажмите на  (Загрузить палитру из файла), а затем выберите файл heat.fvpal.

Для визуализации распределения давления по поверхности клапана создайте слой Цветовые контуры на импортированном объекте клапана со следующими параметрами:

### Переменная

Переменная = Давление

### Диапазон

Режим = Ручной

Максимум = 1000000

Минимум = -25000

## 1.5. Задание параметров совместного расчета

### 1.5.1. Модификация проекта FlowVision

Для модификации проекта во FlowVision, сохраните проект, закройте, откройте папку с клиентской частью проекта и найдите fvproj-файл любым текстовым редактором. Добавьте следующую строку в файл (после строки <CtrlID>...):

```
<ConnectorID>MpmConnector</ConnectorID>
```

```

1 <?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="no" ?>
2 <FVPROJECT>
3
4 <ProjID>83B260D5-54B3-4F5B-940C-6CEFDB3F0787</ProjID>
5
6 <VersionID>BFD4D97C-867C-407B-9768-FD2666199683</VersionID>
7
8 <SceneID>FA4528C6-FF8D-471A-B5EB-908F3EFDC895</SceneID>
9
10 <CtrlID>F680B182-5C78-4782-8C40-4950D134AC9A</CtrlID>
11
12 <ConnectorID>MpmConnector</ConnectorID>
13
14 <FormatVer>3</FormatVer>
15
16 <Steps>
17 <ITEM>
18 <Number>0</Number>
19 <Iteration>0</Iteration>
20 <Time>0</Time>
21 <Contents>HGBOS</Contents>
22 </ITEM>
23 </Steps>
24
25 </FVPROJECT>

```

Сохраните изменения.

Создайте серверную часть проекта: заново откройте проект в ППП (Пре-ПостПроцессор), авторизуйтесь на Солвер-Агенте и загрузите проект на солвер.

Выгрузите проект с Солвера, завершите работу Солвера и закройте ППП. (Важно, если проект будет загружен на солвер, то нельзя будет запустить совместный расчет, используя MrManager)

## 1.5.2. Модификация проекта Abaqus

**!!!Стоит отметить, что файл input-файл Abaqus уже модифицирован, но настоятельно рекомендуем Вам открыть этот файл и взглянуть на данные строки!!!**

Для модификации проекта в Abaqus перейдите в папку, где расположен проект Abq, откройте Valve\_std.inp любым тестовым редактором и добавьте следующие строки (перед строкой \*End Step):

```

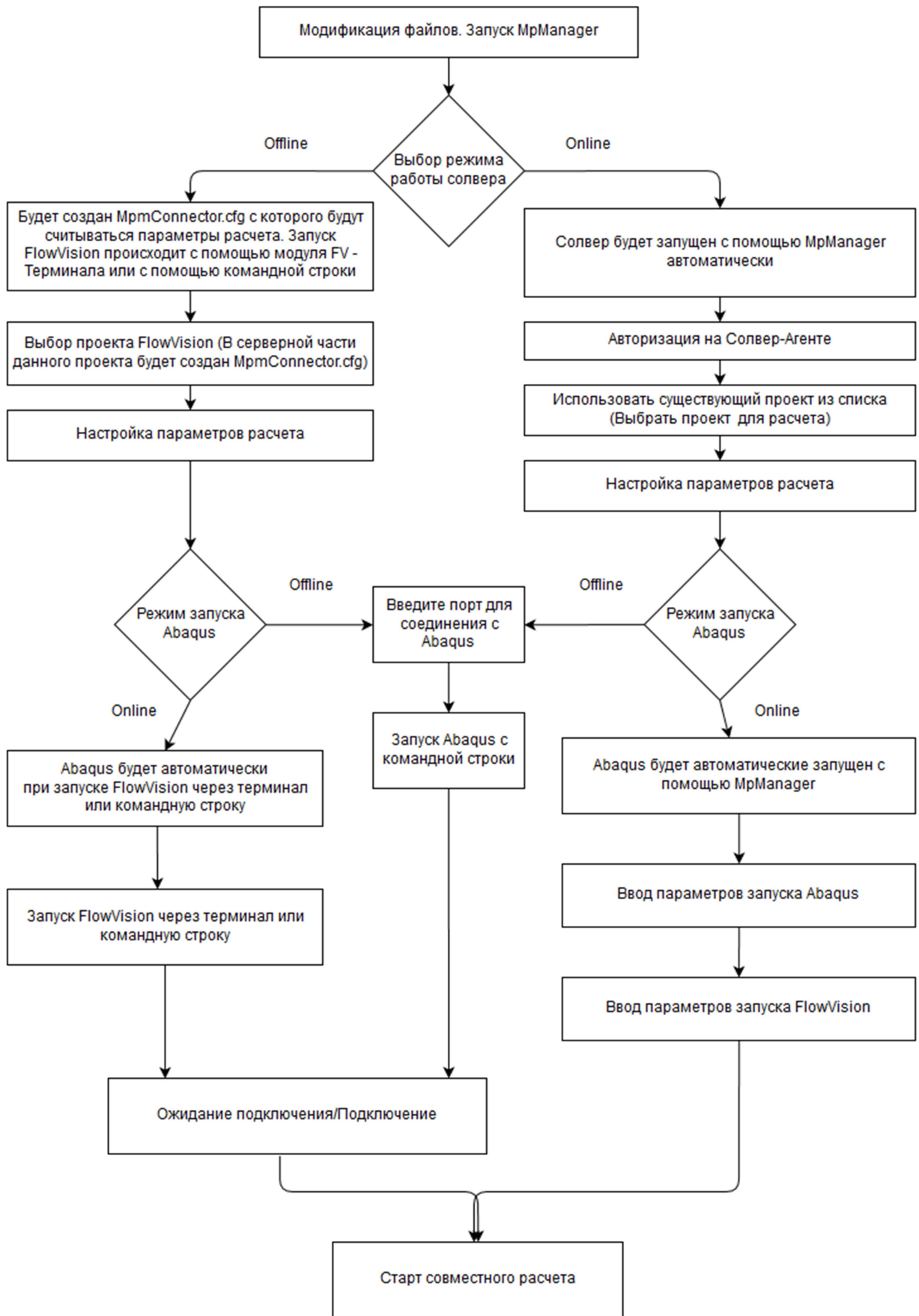
*CO-SIMULATION, PROGRAM=DIRECT, NAME=FV_TEST, CONTROLS=COSIM_CONTROLS
**
*CO-SIMULATION REGION, IMPORT
DC-SURF, CF
**
*CO-SIMULATION REGION, EXPORT
DC-SURF, COORD
**
*CO-SIMULATION CONTROLS, NAME= COSIM_CONTROLS, TIME INCREMENTATION=SUBCYCLE, TIME
MARKS=YES

```

```
3378 *Output, field, variable=PRESELECT
3379 **
3380 ** HISTORY OUTPUT: H-Output-1
3381 **
3382 *Output, history, variable=PRESELECT
3383 *CO-SIMULATION, PROGRAM=DIRECT, NAME=FV_TEST, CONTROLS=COSIM_CONTROLS
3384 **
3385 *CO-SIMULATION REGION, IMPORT
3386 DC-SURF, CF
3387 **
3388 *CO-SIMULATION REGION, EXPORT
3389 DC-SURF, COORD
3390 **
3391 *CO-SIMULATION CONTROLS, NAME= COSIM_CONTROLS, TIME INCREMENTATION=SUBCYCLE, TIME MARKS=YES
3392 *End Step
3393
```

### 1.5.3. Запуск совместного расчета

Совместный расчет FlowVision с Abaqus можно запустить несколькими способами (через MrManager или командную строку)

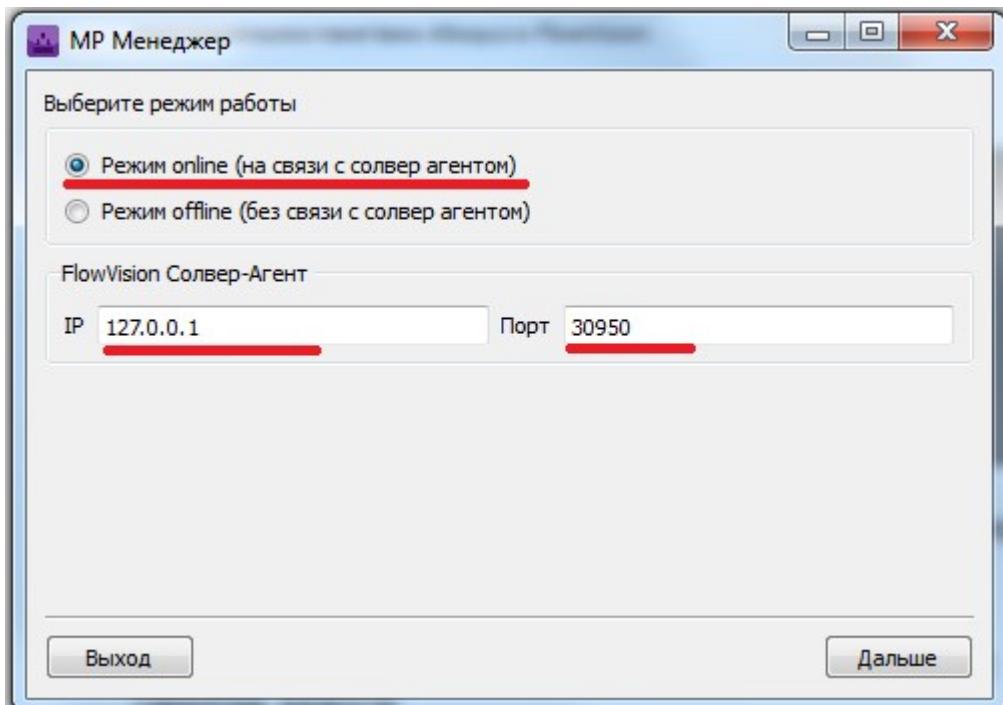


### 1.5.4. Запуск через MpManager

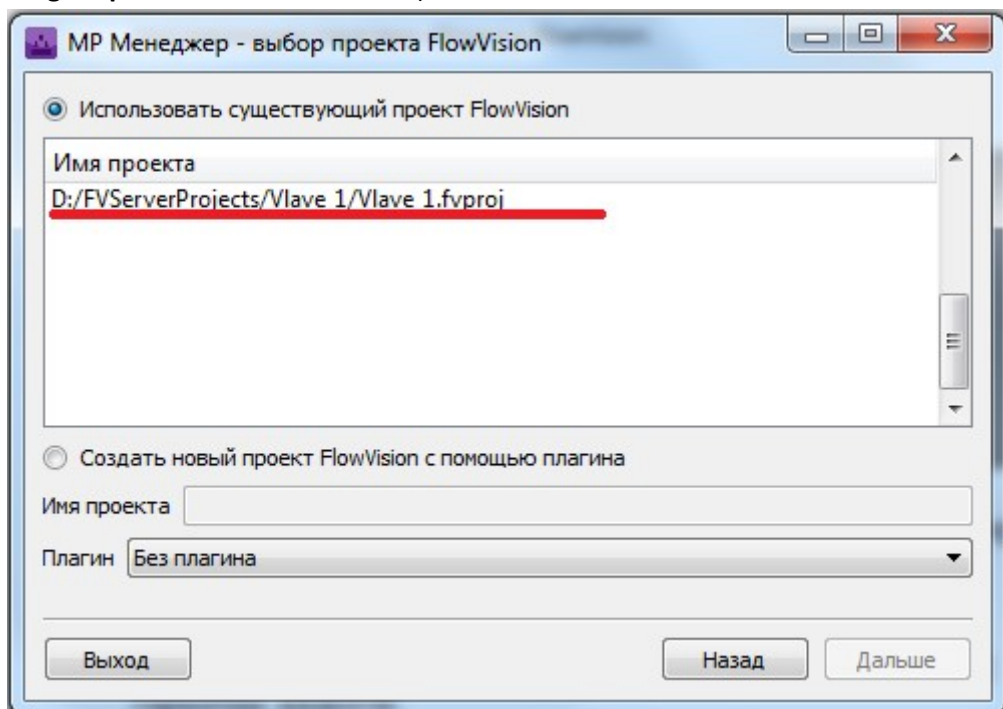
Разберем детальнее запуск Abaqus и FlowVision для совместного расчета через MpManager

Запустите модуль FlowVision – MP Менеджер (MpManager.exe)

- 1) В пункте **Выберите режим работы** ставьте **Онлайн**. (Солвер автоматически запускается после завершения работы с MpManager) В качестве **IP** и **порта** указываете адрес машины, на которой будет производиться расчет во FlowVision (где будет запущен солвер - локальная машина, кластер и тд.). Нажмите **Дальше**. Авторизуйтесь на Солвер-Агенте и нажмите **Ок**.



- 2) Выберите необходимый для запуска на расчет проект и нажмите **Дальше**. (Проект не появится в списке, если он загружен на солвер, выгрузите солвер, после повторного запуска MpManager проект появится в списке)



- 3) Следующим шагом вы задаются параметры совмещенного расчета.

Параметр **Шаг обмена** устанавливает частоту обмена между Abq и FV (**Абсолютный** – обмен будет происходить через определенные промежутки времени, **Шаг FlowVision X** – шаг обмена, выраженный в шагах FlowVision). **Коэффициенты пересчета** позволяют масштабировать

передаваемую нагрузку из FlowVision в Abaqus. Параметры релаксации по нагрузке и температуре позволяют постепенно увеличивать нагрузку, передаваемую из FlowVision. Из-за неточно заданных начальных условий на старте, передача нагрузки будет резкой, что может вызвать развал расчета как во FlowVision, так и в Abaqus. Вариантом решения может быть задание плавного увеличения нагрузки – задание плавного изменения параметров потока во FlowVision, либо плавная передача нагрузок при совместном расчете, где нагрузка задается параметрами релаксации, и можно задать линейный рост нагрузок в течение заданного количества обменов. **R1** – коэффициент, на который умножается нагрузка FlowVision в момент времени **N1** (зачастую **R1** и **N1** принимают равными нулю), **R2** - нагрузка, передаваемая в момент **N2** (**R2=1**, а параметр **N2** выбирается в зависимости от решаемой задачи). Например, если задать  $R1=0$ ,  $N1=0$ ,  $R2=1$ ,  $N2=10$ , то это будет означать, что нагрузка, передаваемая из FlowVision в Abaqus будет возрастать с нуля до расчетного значения в течении 10 шагов обмена. После этого нагрузка передается с коэффициентом 1 на каждом шаге обмена. Пункты **отключения передачи данных** из Abaqus во FlowVision и наоборот используются в конкретных случаях для решения определенных задач. Например, в Abaqus задано тело, которому задан закон движения, во FlowVision решается задача с движением данного тела без передачи нагрузок в Abaqus. (Более подробную информацию о параметрах можно узнать в документации перейдя по ссылке [https://flowvision.ru/webhelp/fvru\\_30905/index.html?mp\\_manager\\_general.htm](https://flowvision.ru/webhelp/fvru_30905/index.html?mp_manager_general.htm)).

Введите следующие параметры расчета

Абсолютный шаг обмена – 0.05

Коэффициенты пересчета – Нагрузка – 1; Температура – 1

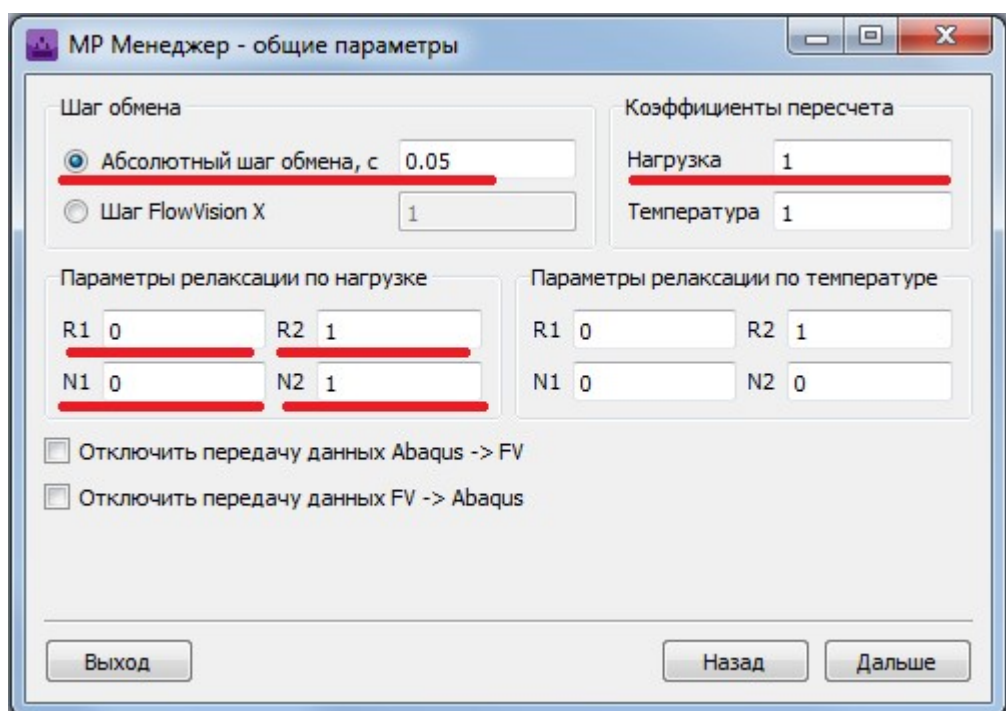
Параметры релаксации по нагрузке

R1=0	R2=1
N1=0	N2=10

Параметры релаксации по температуры

R1=0	R2=1
N1=0	N2=0

Передачу нагрузок из Abq во FV и обратно оставляем включенной.



- 4) В следующем окне поставьте галочку напротив **Run Abaqus Automatically** (Данный параметр позволит вам запустить Abaqus автоматически. При отключении данного параметра, единственным выходом для запуска Abaqus будет запуск через командную строку/терминал/консоль, более подробно данный запуск будет рассмотрен позднее. Важно!!! Для автоматического запуска Abaqus через MP Менеджер должен быть запущен MPM-Agent). Укажите **адрес и порт** до машины, где будет запущен **Abaqus**. В качестве **Abaqus порт** можно указать любое число (точнее в диапазоне от 4000 (первые могут быть заняты системой) до 65000, например, **7777**). Также укажите путь до проекта Abq в **файле проекта** и его имя. Следует отметить, что MpManager позволяет запускать Abaqus с рестарта. Для этого служит строка «**Файл предрасчета**» в котором указывается проект, с которого будет начинаться рестарт. Также можно указать параметры точности и количества ядер. Нажмите **Дальше**.

MP Менеджер - параметры Abaqus

Запуск Abaqus

Запускать Abaqus автоматически

MPM-Агент IP 127.0.0.1

MPM-Агент порт 30952

Прямое соединение

Abaqus IP 127.0.0.1

Abaqus порт 7777

Проект Abaqus

Файл проекта D:\temp\Valve

Параметры double

Режим двойной точности  Количество процессоров

Файл предрасчета

Выход Назад Дальше

- 5) В следующем окне проставьте необходимые параметры для запуска солвера и расчета. Для данной задачи это **Запустить FlowVision солвер и начать расчет проекта, Начать расчет сначала и Подключить Модуль Просмотра результатов** . Нажмите **Дальше**.

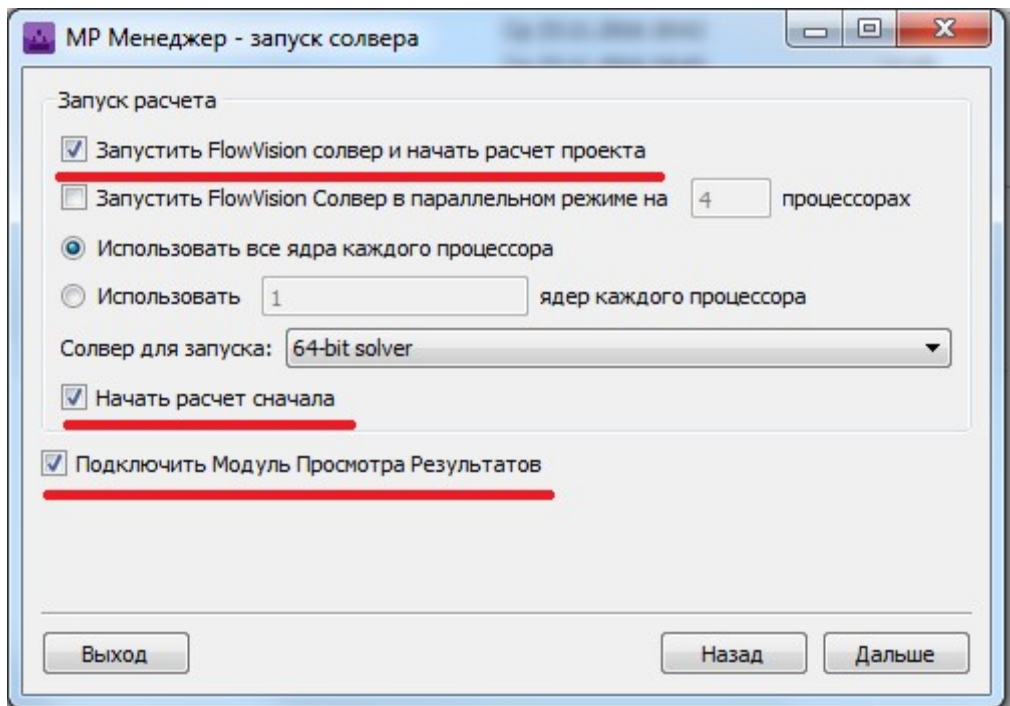


Рис. 29. Настройка запуска FlowVision.

После установки всех параметров, в серверной части проекта FlowVision будет создан файл `MpmConnector.cfg`, с которого будут считываться все параметры расчета, произведен запуск Abaqus и FlowVision, появится окно модуля просмотра результатов, в котором вы можете наблюдать решение задачи на текущем шаге вычислений. Сообщения об успешном соединении будут выведены в log-файл `Abq` (строка **Client connected on port XXXXX**, для Abaqus/Explicit также выводится информация о начальном обмене) или log-файл `FV`, находящийся в солверной части проекта (Необходимо искать строки **MPMD COSIMULATION INITIALIZATION** или **exchange number** в log-файле `FV`).

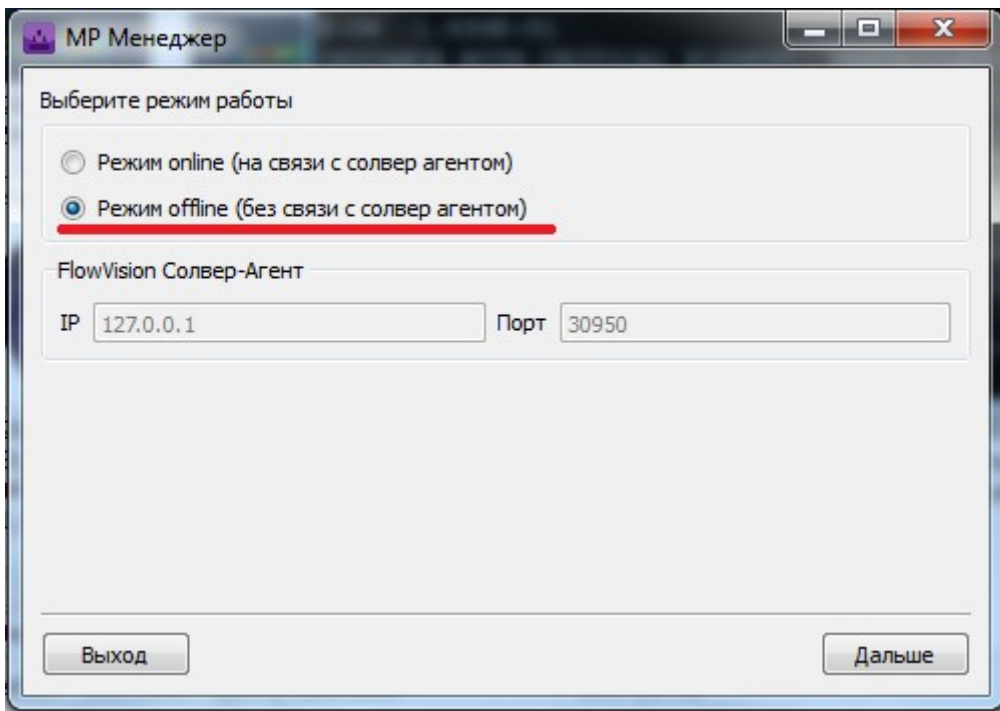
### 5.1.1. Запуск FV через Терминал

Рассмотрим случай запуска проекта FV на расчет через терминал.

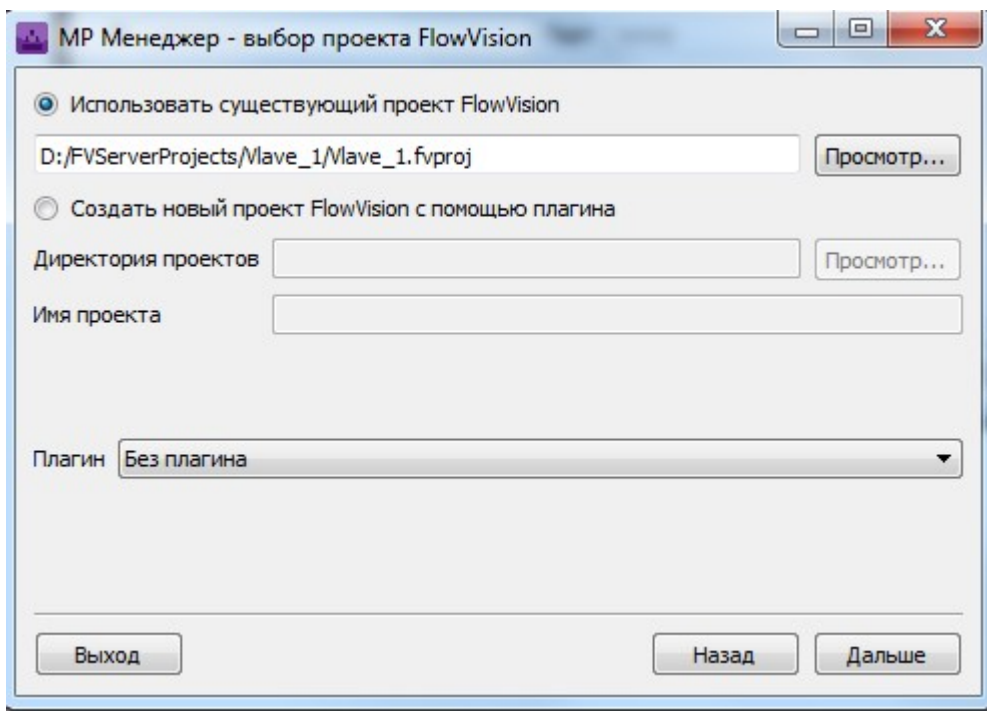
Для начала создадим файл `MpmConnector.cfg` с помощью `MrManager`. При необходимости, данный файл может быть создан и откорректирован вручную в текстовом редакторе.

- 1) Запустите `MrManager`. Выберите режим работы **offline**.

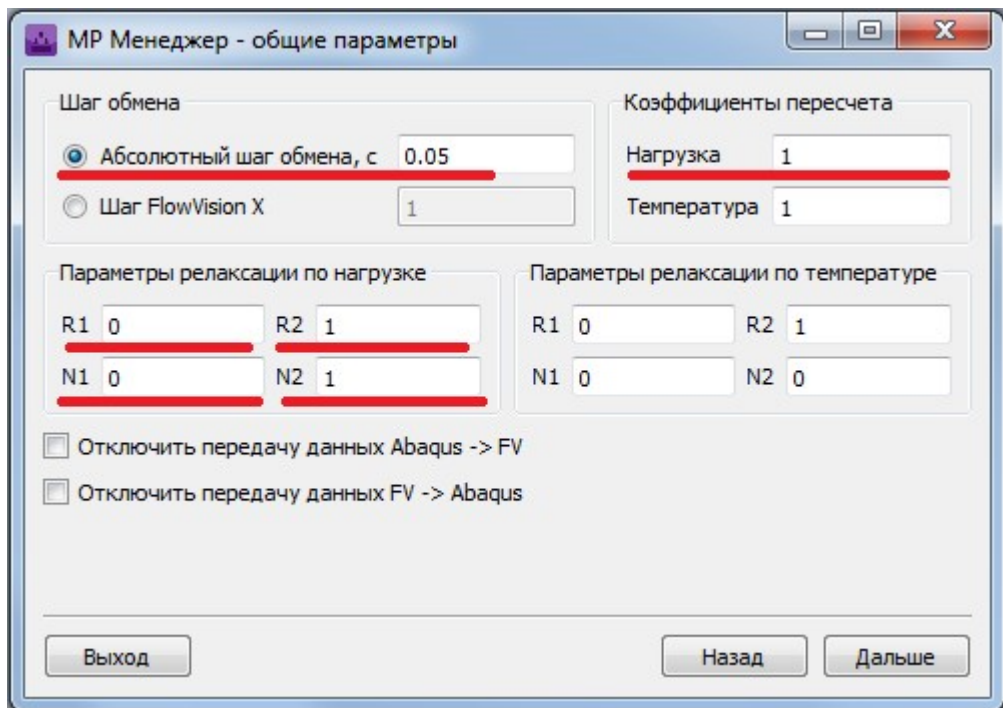




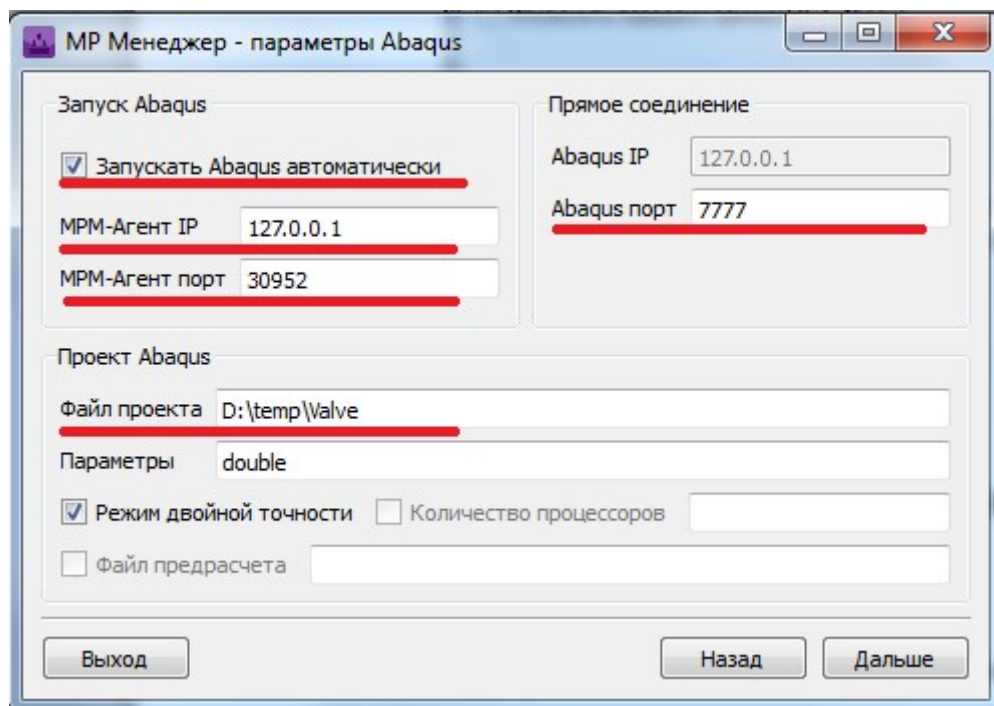
2) Выберите fvproj-файл проекта FlowVision в папке хранения серверных частей проектов.



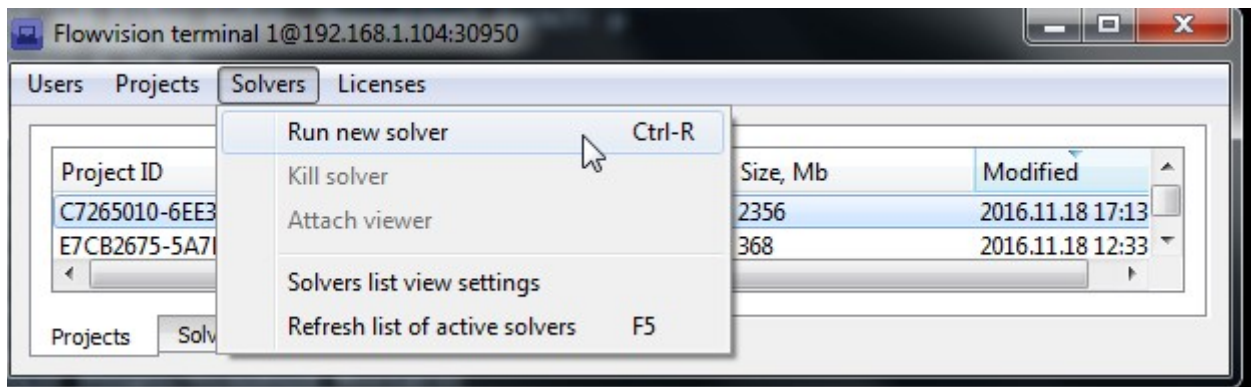
3) Установите те же параметры расчета, как указано выше для запуска через MrManager.



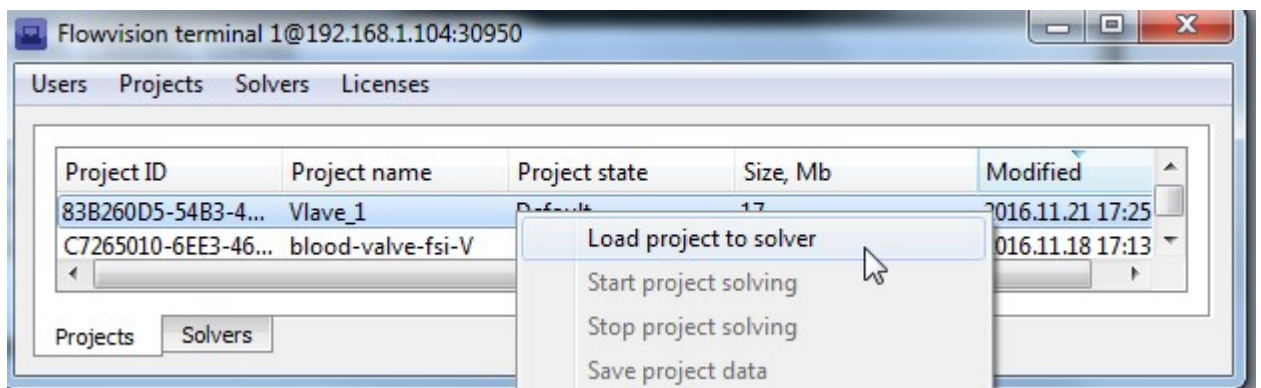
- 4) При выборе **Запустить Abaqus автоматически** в окне параметров Abaqus, FlowVision автоматически будет запускать Abaqus. При запуске Abaqus вручную необходимо указать только адрес машины, на которой будет считаться Abaqus и порт. Нажмите **Дальше**.



- 5) Запустите модуль FlowVision – Терминал. Запустите новый солвер.



Загрузите необходимый вам проект на солвер



Запустите проект на расчет (правой кнопкой мыши на необходимый проек). При установленном автоматическом запуске Abaqus в окне параметров Abaqus начнется совместный расчет.

### 1.5.6. Ручной запуск Abaqus

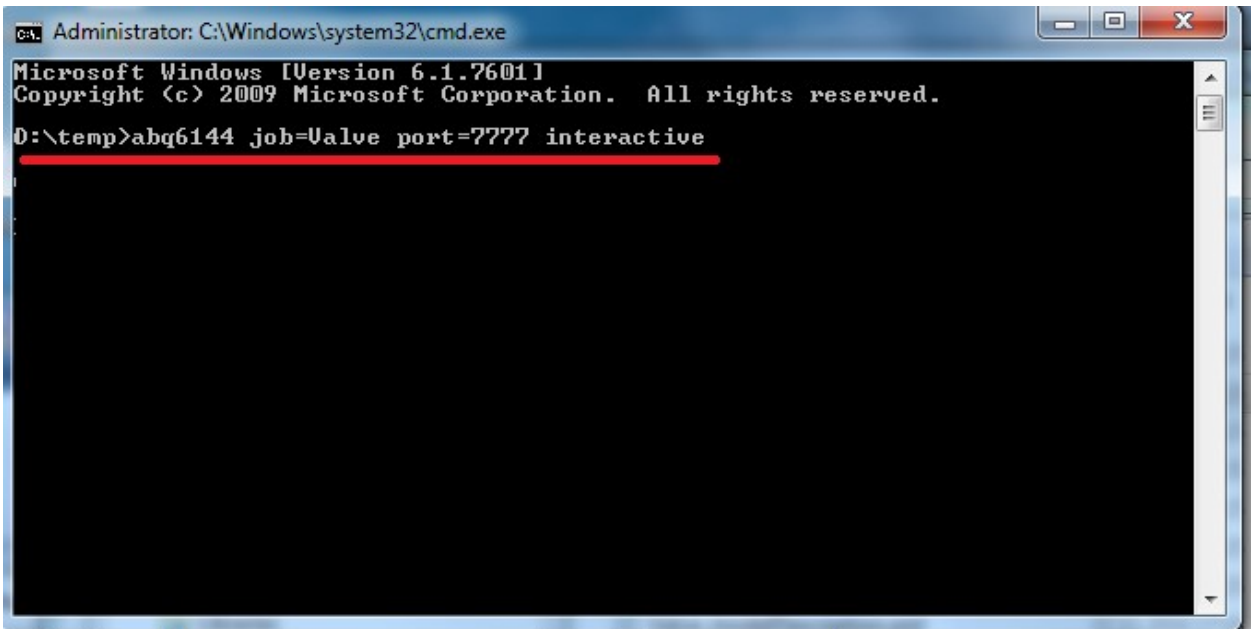
Если вы сняли галочку **Запускать Abaqus автоматически**, то при запуске на счет проекта через Терминал, FlowVision будет ждать соединения с Abaqus (или наоборот, если вы запустили Abaqus раньше FV). Следует отметить, что как и солвер FV, так и солвер Abq способны ждать подключения довольно длительное время от сторонней программы.

Чтобы запустить Abaqus, включите командную строку/терминал/консоль, перейдите в директорию с расположением проекта Abq и введите следующую строку, но со своими параметрами: Введите путь до исполняемого файла Abaqus (иногда достаточно имени исполняемого файла, например Abq6144), параметр job=/Имя проекта/ port=7777 (порт, по которому будет происходить соединение между abq и FV) и interactive (В standard солвере выводит только log-файл в командную строку, в explicit солвере – сначала log, после подключения sta).

В результате должно получиться такая строка:

***Abq6144 job=Valve port=7777 interactive***

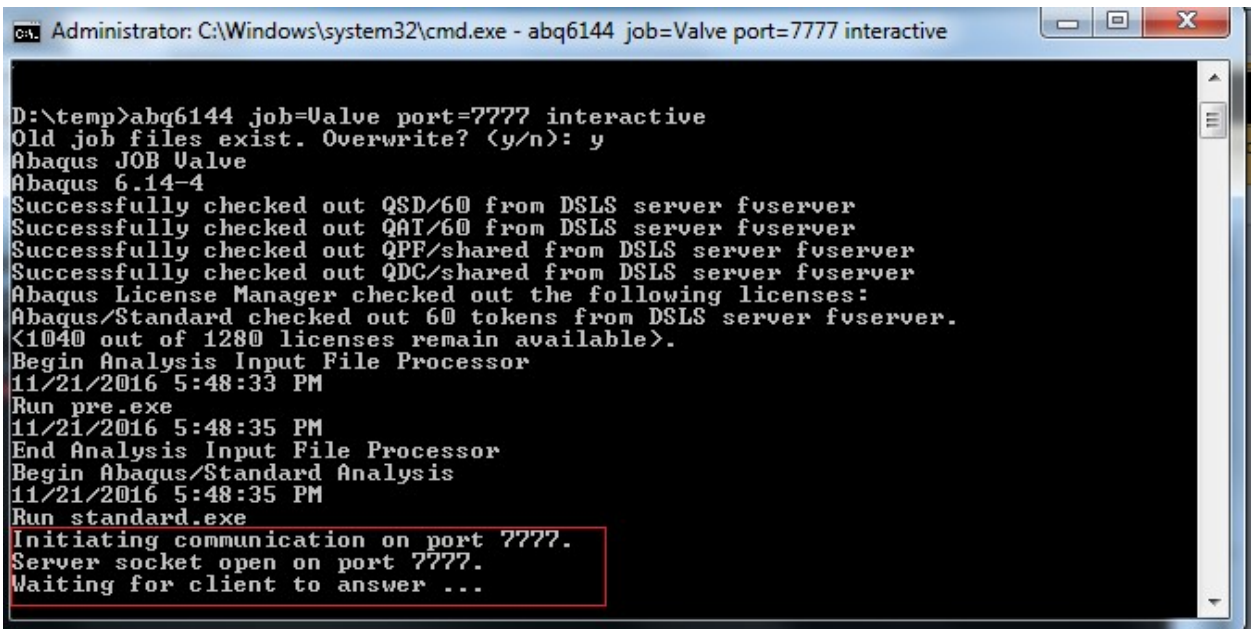
Пример запуска



```
Administrator: C:\Windows\system32\cmd.exe
Microsoft Windows [Version 6.1.7601]
Copyright (c) 2009 Microsoft Corporation. All rights reserved.

D:\temp>abq6144 job=Valve port=7777 interactive
```

Ожидание подключения в Abaqus.



```
Administrator: C:\Windows\system32\cmd.exe - abq6144 job=Valve port=7777 interactive

D:\temp>abq6144 job=Valve port=7777 interactive
Old job files exist. Overwrite? (y/n): y
Abaqus JOB Valve
Abaqus 6.14-4
Successfully checked out QSD/60 from DSLS server fvserver
Successfully checked out QAT/60 from DSLS server fvserver
Successfully checked out QPF/shared from DSLS server fvserver
Successfully checked out QDC/shared from DSLS server fvserver
Abaqus License Manager checked out the following licenses:
Abaqus/Standard checked out 60 tokens from DSLS server fvserver.
<1040 out of 1280 licenses remain available>.
Begin Analysis Input File Processor
11/21/2016 5:48:33 PM
Run pre.exe
11/21/2016 5:48:35 PM
End Analysis Input File Processor
Begin Abaqus/Standard Analysis
11/21/2016 5:48:35 PM
Run standard.exe
Initiating communication on port 7777.
Server socket open on port 7777.
Waiting for client to answer ...
```

### 1.5.7. Контроль запуска и процесса расчета

Вся информация о проекте Abaqus хранится в log-файле (Информация о солвере, статус солвера в текущий момент, соединение с FlowVision, завершение расчета/падение солвера с ошибкой), sta-файле (Информация о текущем состоянии проекта Abaqus), msg-файле. Данные файлы можно найти в той же директории, где был запущен проект Abaqus на расчет.

Во FlowVision Вы также можете получать сведения о текущем состоянии расчета, для этого в Терминале, перейдя во вкладку **Солверы**, нажать правой кнопкой мыши на считающий солвер и выбрать **подключить модуль просмотра результатов**. Автоматически откроется модуль FlowVision – **Модуль просмотра результатов**, где можно наблюдать за шагом по времени, количеством итераций, а также предварительно созданными в проекте графиками критерия останова, характеристиками и слоями.

Также есть возможность получать информацию из sta- и log-файлов FlowVision.

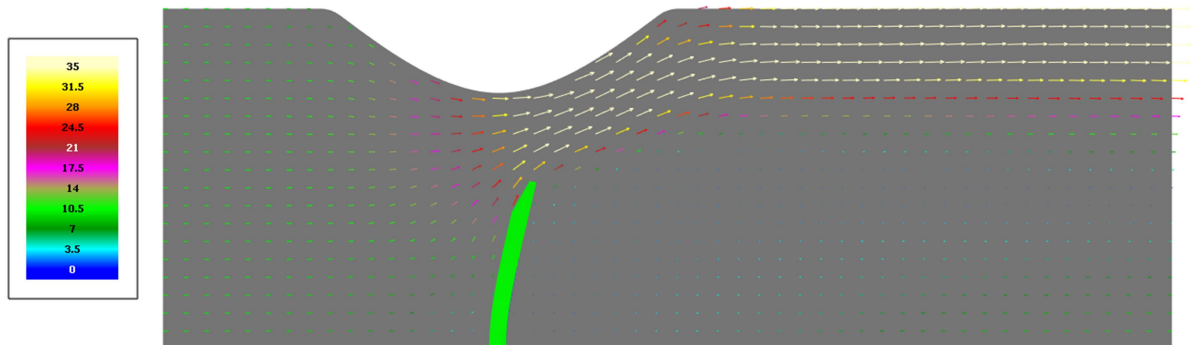
## 1.5.8. Остановка расчета

Произойдет автоматическая остановка расчета при достижении Abaqus установленного лимита по времени - 20с.

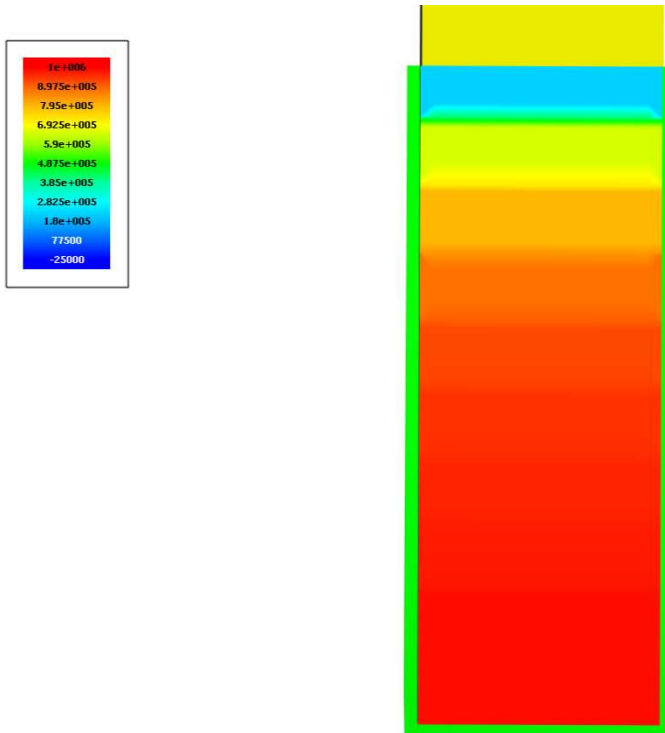
## 1.5.9. Полученные результаты

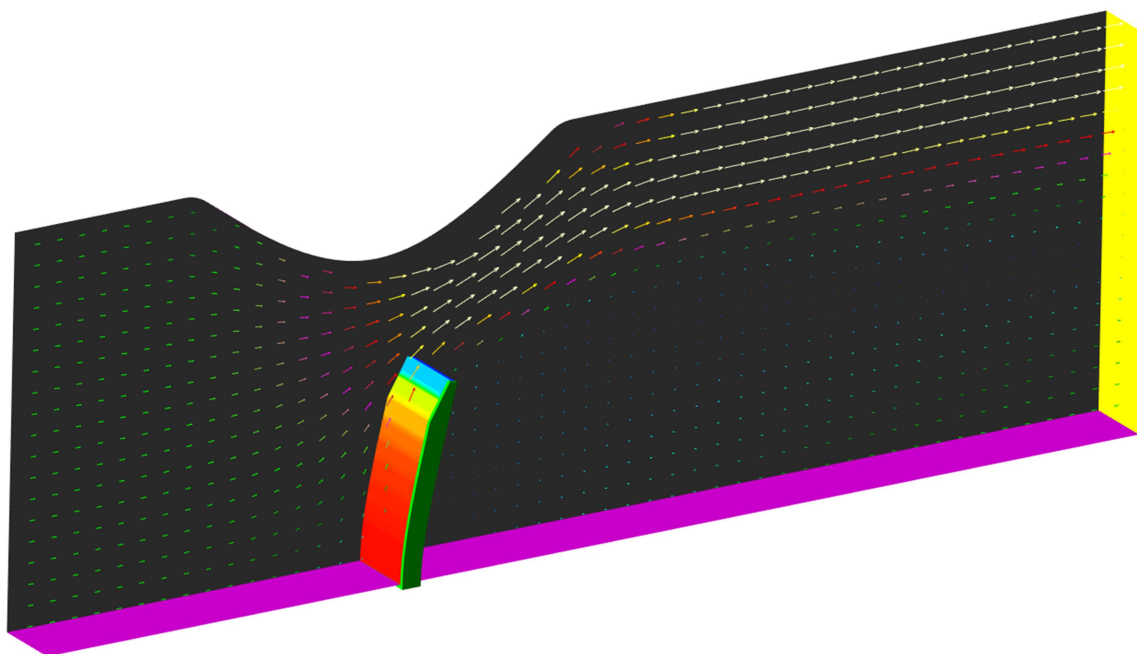
Как в текущий момент (с помощью модуль FlowVision – Модуль просмотра результатов), так и при завершении расчета будет возможен просмотр следующих результатов:

Вектора скоростей на плоскости



Распределение давлений на поверхности клапана





## Пример 2. Моделирование поведения двух клапанов, препятствующих потоку жидкости при совместном расчете FlowVision-Abaqus (Использование двух и более подвижных тел в расчете)

### 2.1. Постановка задачи



В потоке жидкости установлены два клапана, препятствующие ее движению. С помощью совместного расчета в Abaqus и FlowVision моделируется поведение клапанов и параметры потока жидкости во взаимодействии друг на друга.

Задача представляет собой модификацию предыдущей задачи путем добавления второго импортированного объекта – второго клапана.

## 2.2. Файлы

Проект FlowVision: Valve\_Channel

Проект Abaqus : Valve\_stdn\_2.inp

Геометрии клапанов: Valve1.inp, Valve2.inp

Геометрическая модель трубы: Valve\_Channel.wrl

## 2.3. Создание импортированных объектов для FlowVision

Если Вы решили создать проект Abaqus самостоятельно, то просим Вас не создавать второй клапан путем копирования уже созданного клапана, необходимо создать геометрию нового клапана вручную. Геометрия второго клапана будет обладать одинаковыми с первым набором узлов, что приведет импорту только одной геометрии.

Проект Abaqus содержит в себе геометрию двух клапанов, для которых определены различные координаты узлов. На клапанах заданы поверхности обмена DC-SURF1 и DC-SURF2.

!Настоятельно рекомендуем вам самостоятельно создать файлы, содержащие геометрию клапана. В качестве примера, Вы можете использовать файлы **OneValve1.inp** и **OneValve2.inp**!

В input-файле проекта Abaqus содержится информация о геометрии, параметры расчета, шага, контактные пары, нагрузки, периодичность записи результатов и т.д. **Каждый параметр расчета Вы можете модифицировать на свой риск и усмотрение.** Для расчета необходимо лишь создать два новых файла, которые будут содержать в себе геометрии клапанов.

```
*Part, name=VALVE-1
*Node
  1, 0., 0.03999999991, 0.01999999996
  2, 0.000666666666, 0.03999999991, 0.01999999996
  3, 0.001333333332, 0.03999999991, 0.01999999996
  4, 0.002000000009, 0.03999999991, 0.01999999996
  5, 0., 0.03999999991, 0.0184615385
      *      *      *
  1958, -0.001333333332, -0.009999999978, 0.
  1959, 0.000333333333, -0.009999999978, 0.
  1960, 0.002000000009, -0.009999999978, 0.
*Element, type=C3D8R
  1, 57, 58, 62, 61, 1, 2, 6, 5
  2, 58, 59, 63, 62, 2, 3, 7, 6
  3, 59, 60, 64, 63, 3, 4, 8, 7
  4, 61, 62, 66, 65, 5, 6, 10, 9
      *      *      *
  1325, 1954, 1955, 1959, 1958, 1898, 1899, 1903, 1902
  1326, 1955, 1956, 1960, 1959, 1899, 1900, 1904, 1903
*Nset, nset=SET-1, generate
  1, 1960, 1
*Elset, elset=SET-1, generate
  1, 1326, 1
** Section: Section-1-SET-1
*Solid Section, elset=SET-1, material=METAL
,
*End Part
**
*Part, name=VALVE-2
*Node
  1, -0.003000000003, 0.1299999995, 0.01999999996
  2, -0.001333333332, 0.1299999995, 0.01999999996
```

Геометрия первого клапана

Номер узла и его координаты

Тип элементов

Элементы и узлы, формирующие данный элемент

Присвоение характеристик материала данному клапану

Геометрия второго клапана


Геометрия клапана содержит в себе номер узла, а также координаты этого узла в пространстве, тип элементов, элементы, а также узлы, которые формируют конкретный элемент и данные о присвоенной характеристике материала конкретной части модели. Вам необходимо от строк **\*Part, name=VALVE-1** до **\*End Part** скопировать геометрию клапана, создать новый текстовый файл, вставить геометрию клапана в текстовый файл и сохранить как OneValve1.inp. Аналогичную операцию проделайте с геометрией второго клапана, файл сохраните как OneValve2.inp

## 2.4. Создание проекта во FlowVision


Создайте проект, аналогичный предыдущему проекту в данном tutorialе вплоть до создания импортированных объектов.

### 2.4.1.Импортирование объектов во FlowVision

В папке **Объекты** создайте два импортированных объекта. Каждому объекту создайте модификатор подвижного тела. Для первого подвижного тела задайте следующие параметры в окне свойств:

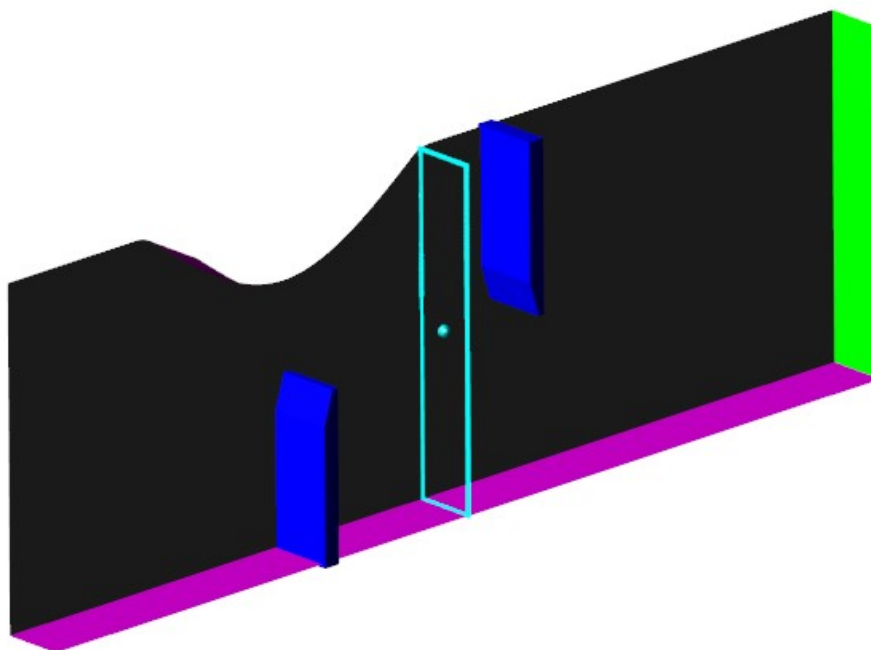
- Начальное положение => Опорная точка =>  $X = 0, Y = -0.001, Z = -0.009$
- Начальное положение => Ось Y =>  $X = 0, Y = 0, Z = -1$
- Нажмите **Применить**, после нажмите  (**Поместить в начальное положение**).

Для второго подвижного тела:

- Начальное положение => Опорная точка =>  $X = 0.07, Y = -0.001, Z = 0.029$
- Начальное положение => Ось Y =>  $X = 0, Y = 0, Z = -1$
- Нажмите **Применить**, после нажмите  (**Поместить в начальное положение**).

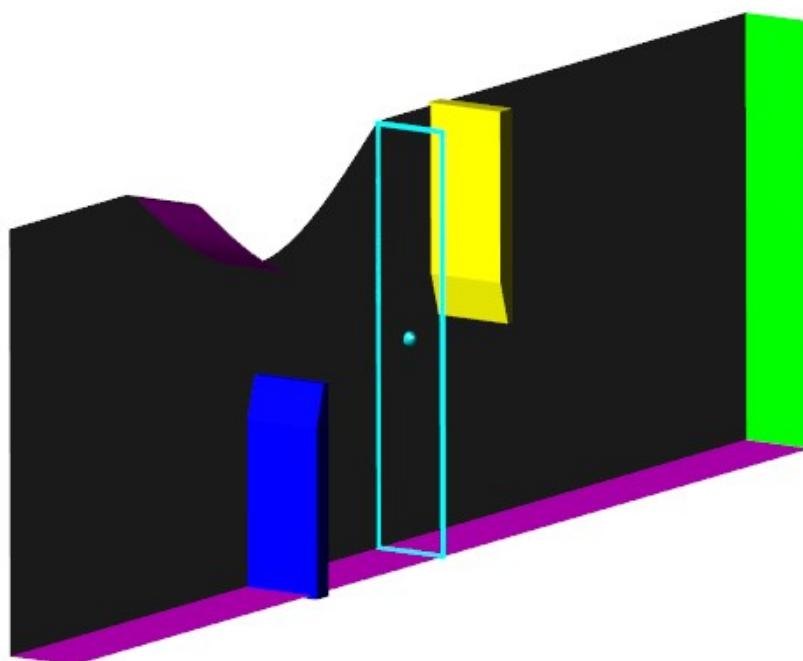


## 2.4.2. Граничные условия



Для трубы и первого клапана используйте те же граничные условия, что и для предыдущего проекта.

Создайте новое граничное условие для второго клапана: скопируйте граничное условие первого клапана, задайте для него другой цвет (например, желтый) и присвойте второму клапану новое граничное условие.



## 2.5. Задание параметров для совместного расчета

### 2.5.1. Модификация проекта Abaqus

Сохраните проект. Выйдите из ППП. Модифицируйте проект Abaqus'a (**TwoValves.inp**) путем добавления строк:

```
*CO-SIMULATION, PROGRAM=DIRECT, NAME=FV_TEST, CONTROLS=COSIM_CONTROLS
**
*CO-SIMULATION REGION, IMPORT
DC-SURF1, CF
DC-SURF2, CF
**
*CO-SIMULATION REGION, EXPORT
DC-SURF1, COORD
DC-SURF2, COORD
**
*CO-SIMULATION CONTROLS, NAME= COSIM_CONTROLS, TIME INCREMENTATION=SUBCYCLE, TIME
MARKS=YES
```

Обратите внимание, что в данном расчете участвуют две поверхности обмена (**DS-SURF1** и **DC-SURF2**). Сохраните и закройте проект.

### 2.5.2. Модификация проекта FlowVision

Перейдите в клиентскую часть проекта FlowVision. Модифицируйте fvproj-файл путем добавления строки (после строки <CtrlID>...):

```
<ConnectorID>MpmConnector</ConnectorID>
```

Сохраните и закройте файл.

Если в FSI-расчете участвуют более одного Подвижного тела, то необходимо внести следующие изменения в fvinp-файле проекта FlowVision:

1. Найдите в проекте fvinp-файл, соответствующий шагу расчета, с которого будет производиться FSI расчет с несколькими Подвижными телами (Для конкретной задачи это нулевой шаг).
2. Откройте fvinp-файл любым текстовым редактором и найдите в нем объекты, которые описывают регионы связи. Поиск выполняйте по подстроке class="CMeshEntity".
3. Распознайте объекты регионов связи в fvinp файле по полям UIName со значениями, соответствующими названиям Подвижных тел в Пре-Постпроцессоре.
4. Для каждого объекта региона связи между словами OBJECT и GUID вставьте текст: FEARegNames="ASSEMBLY\_REG\_NAME", при этом название REG\_NAME должно совпадать с названием региона связи в Abaqus (REG\_NAME для первого тела – **DC-SURF1**, для второго – **DC-SURF2**).

```

<OBJECT FEAREgNames="ASSEMBLY_DC-SURF" GUID="6A0B371F-EC22-4EC4-9014-4090BC0D727E" UIName="Импортированный объект #0" class="CMeshEntity" myid="43">
  <Location>
    <Origin x="0" y="-0.001" z="-0.008999999999999993"/>
    <Ort0 x="1" y="0" z="0"/>
    <Ort1 x="0" y="0" z="-1"/>
    <Ort2 x="-0" y="1" z="0"/>
    <Scale>1</Scale>
  </Location>
  <Source>D:\FlowVision-3.09.05\Tutorial\Samples\Geom\valve_std.inp</Source>
</OBJECT>

<OBJECT FEAREgNames="ASSEMBLY_DC-SURF2" GUID="486597A5-3F1C-4FA6-9172-64B859788AED" UIName="Импортированный объект #1" class="CMeshEntity" myid="53">
  <Location>
    <Origin x="0.074999999999999997" y="0.019" z="-0.090499999999999997"/>
    <Ort0 x="1" y="0" z="0"/>
    <Ort1 x="-0" y="0" z="1"/>
    <Ort2 x="0" y="-1" z="0"/>
    <Scale>1</Scale>
  </Location>
  <Source>D:\temp\Valve1.inp</Source>
</OBJECT>

:/FVINPUT>

```

Если имя региона связи будет указано неверно, то в егг-файле будет записано сообщение следующего типа, указывающее на ошибку в названии региона связи:

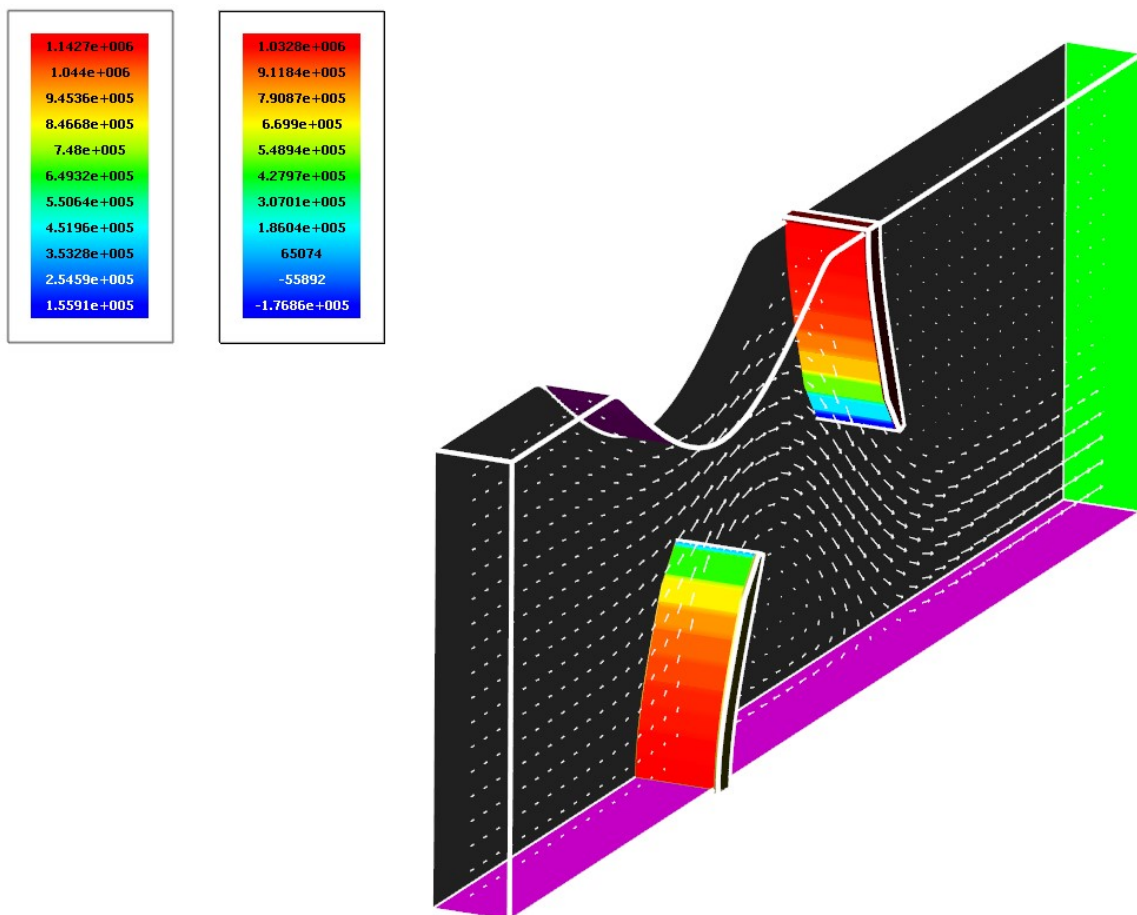
**No FlowVision geometry is linked to Abaqus region "ASSEMBLY\_ DC-SURF1 "!**

Сохраните **fvinp**-файл.

Создайте серверную часть проекта: откройте ППП, загрузите проект, авторизируйтесь на Солвер-агенте, запустите солвер, загрузите проект на солвер, отключитесь от солвера, закройте ППП и переходите к запуску совместного расчета. Запуск совместного расчета подробно описан ранее. Для того, чтобы избежать резкую передачу нагрузки, поставьте параметр **N2=20** в окне общих параметров MrManager.




### 2.5.3. Полученные результаты

Распределение векторов скорости и давление на импортированных объектах.



## Приложение 1. Создание проекта в ABAQUS.

Данный проект создан в версии Abaqus 6.14-4

Создаем геометрическую модель клапана. Для создания геометрической модели нажмем кнопку **Create Part** . В появившемся окне (Рис.1) присвоим детали имя *Valve* и следующие параметры: *Modeling space* => *3D*, *Type* => *Deformable*, *Shape* => *Solid*, *Type* => *Extrusion*. В поле *Approximate size* введем *0.1*. В появившемся рабочем окне с помощью  (*Create Isolated Point*) создадим точки, по которым будет создан контур клапана. Для этого введем следующие координаты:  $[-0.003, -0.01]; [0.002, -0.01]; [0.002, 0.04]; [0, 0.04]; [-0.003, 0.03]$ . Далее с помощью инструмента  (*Create Lines Connected*) обведем полученный контур линиями (Рис.1). Нажмем *Done* (нажать колесо мыши). И еще раз *Done*.

(Важное напоминание: Контур должен быть замкнутым)

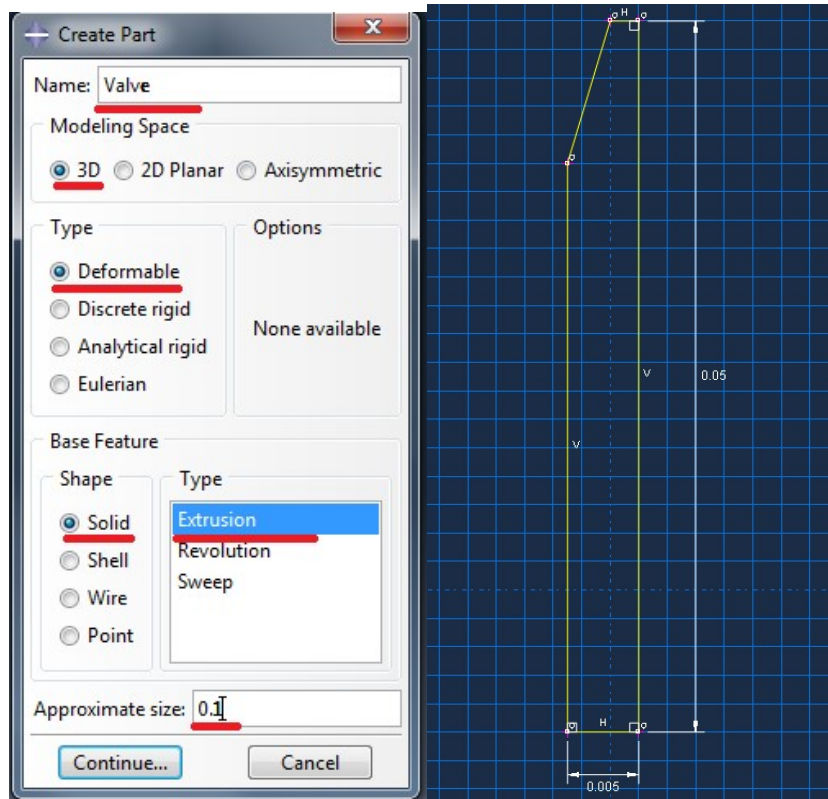


Рис. 1. Построение эскиза детали *Valve*.

Высвобождает окно *Edit Base Extrusion* (Рис.2). В поле *Depth* введем значение *20e-3*. Нажимете *OK*.

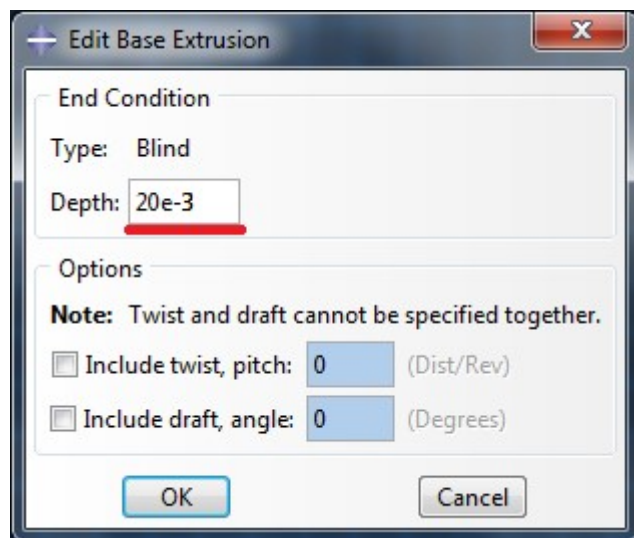



Рис. 2. Создание детали *Valve*.

Перейдем в модуль *Property*. Нажмите  (*Create Material*) для создания нового материала.

В появившемся окне *Edit Material* зададим *имя материала* – *Metal*. Плотность металла задается в окне *General* => *Density* –  $3500 \frac{kg}{m^3}$ . В меню редактора выберем *Mechanical=>Elasticity=>Elastic* и введем значение *модуля Юнга (Young's Module)* –  $3E9 Pa$ , а также коэффициент Пуассона (*Poisson's Ratio*) –  $0.3$  (Рис. 3). Нажимете *OK*.

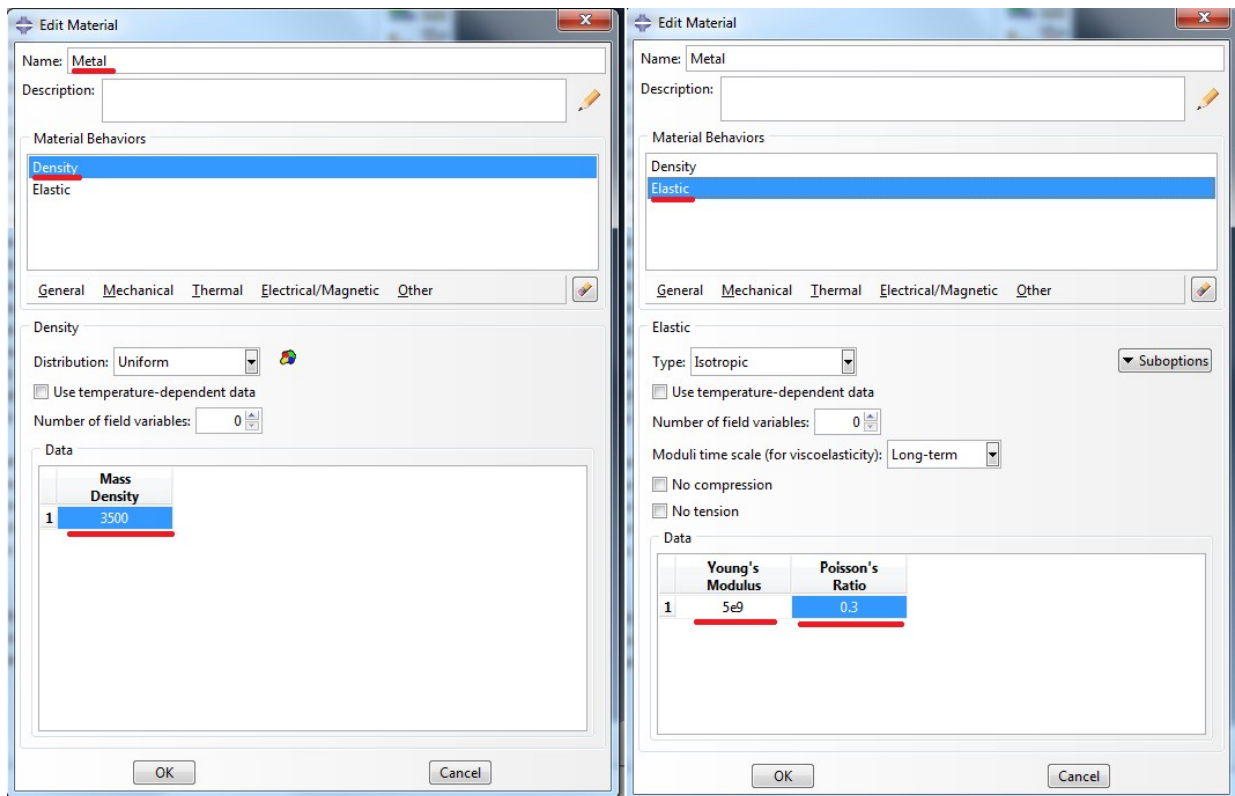



Рис. 3. Создание характеристик материала.

Создадим сечение с характеристикой материала Metal. Откроем диалоговое окно **Create section** (  ). В появившемся окне присвоим сечению **имя Metal**. Выберем **Category=>Solid**, **Type=>Homogeneous** и нажмем **Continue**. В следующем окне редактора сечений необходимо указать материал **Metal**. Нажмите **OK** (Рис. 4).

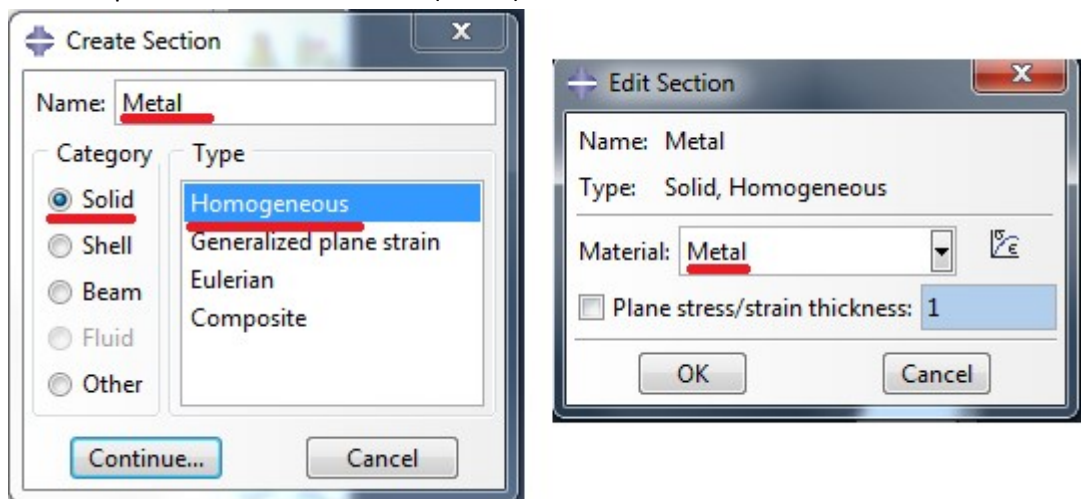



Рис. 4. Создание сечений **Valve**.

Дальше с помощью  (**Assign Section**) присвоим построенное сечение ранее созданной детали. Выделим весь клапан (подсветится красным цветом) и нажмем **Done**. В появившемся окне нажмем **OK** (Рис.5).

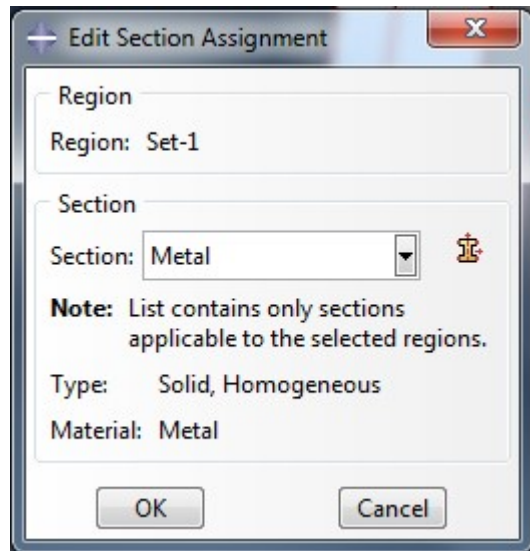



Рис. 5. Присвоение характеристики материала детали **Valve**.

Перейдем к модулю **ASSEMBLY**. Для создания сборочной единицы необходимо нажать на иконку  (**Create Instance**). Появится окно со списком созданных деталей (Рис. 6). Выбираем деталь **Valve**, в разделе **Instance type** указываем **Independent**. В рабочей зоне появится созданная деталь. Нажмем кнопку **OK**.

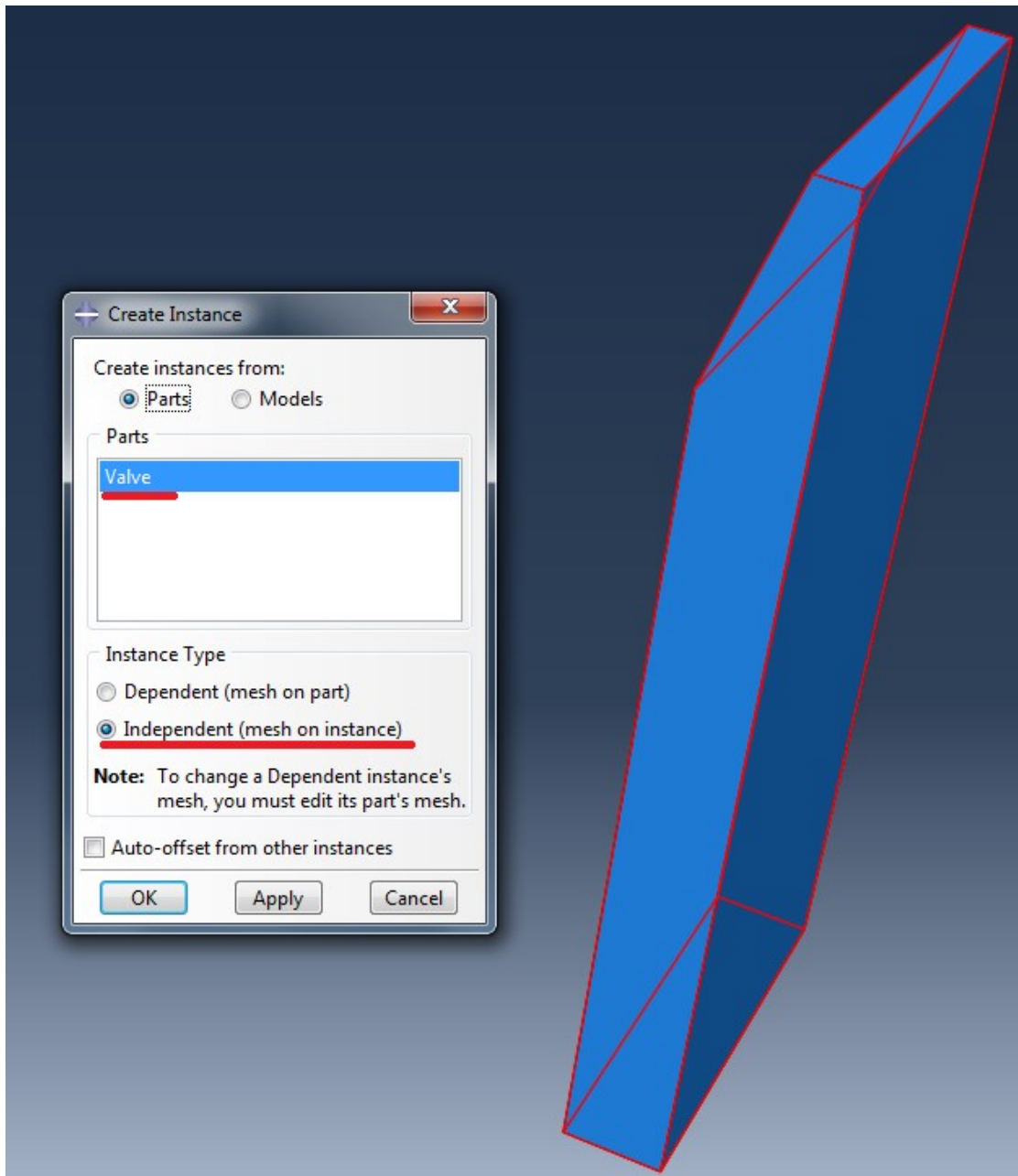



Рис. 6. Создание сборки.

Определение процедуры анализа. Численное моделирование будет состоять из одного этапа – совместный расчет. Перейдем в модуль **Step** Нажмем  (**Create Step**). В окне (Рис. 7) задайте **Name** – **FSI**. Из списка **Procedure Type** выбираем **General**. В следующем списке находим **Dynamic, Implicit**, жмем **Continue**.



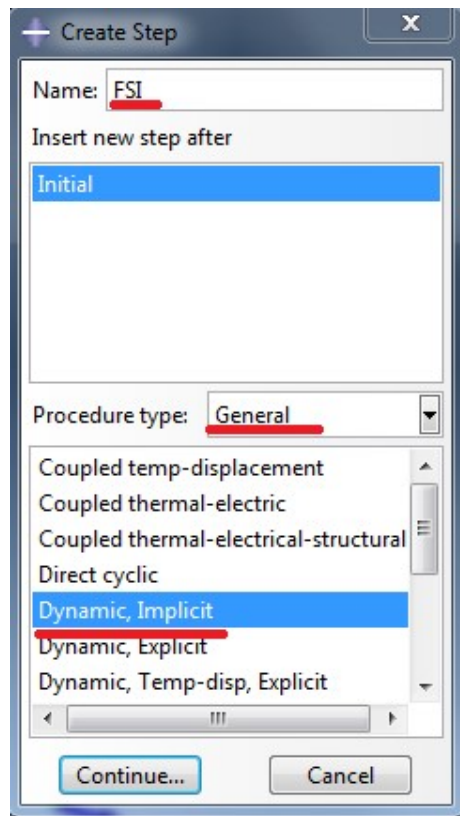


Рис. 7. Определение процедуры анализа. Создание шага **FSI**.

В следующем окне (рис.8) необходимо выставить параметры шага с которым будет проводится данный анализ. В меню **Basic** (Рис. 8) окно **Time Period** укажем число **20**, а также включим **NIgeom**.

В меню **Incrementation** (Рис. 8) зададим значения максимального числа инкрементов, начальный, минимальный а также максимальный инкремент:

- **Maximum numbers of increments – 1E6**
- **Increment size:**
  - **Initial - 0.001**
  - **Minimun – 1E-14**
  - **Maximum - 0.1**

Нажмите **OK**.

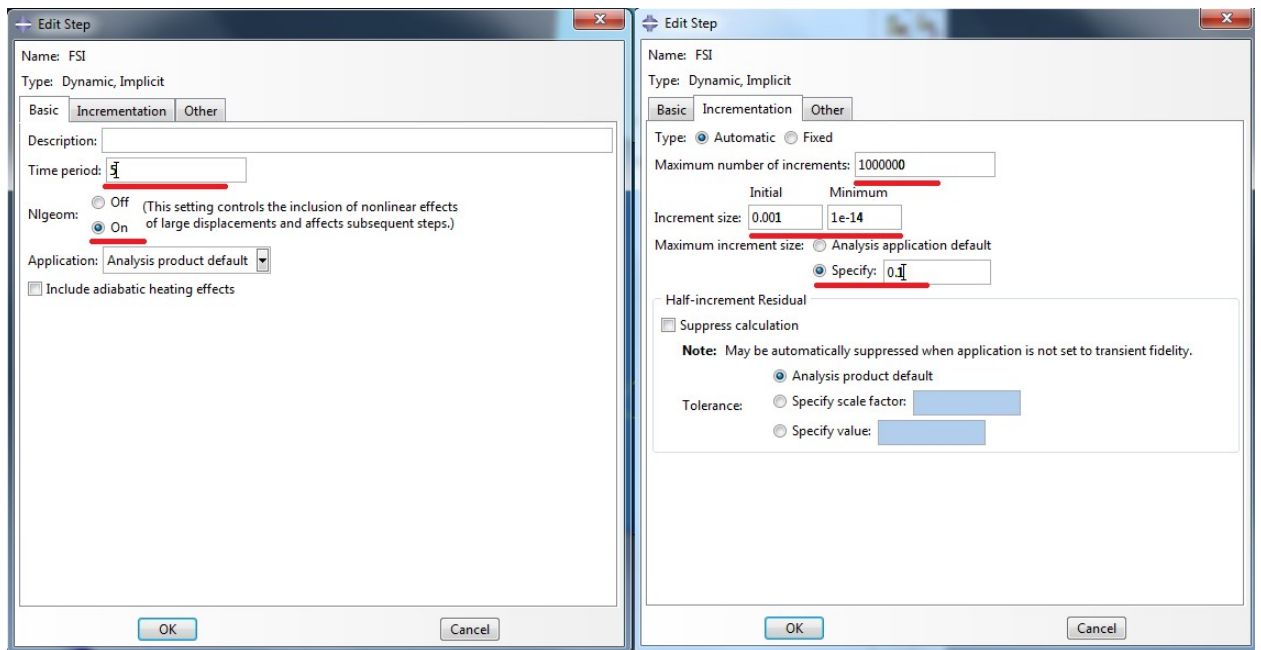




Рис. 8. Определение процедуры анализа. Создание шага **FSI**.

Переходим к модулю **Mesh**. Для создания равномерного распределения элементов по клапану, используйте инструмент  (**Partition Face: Sketch**). Данный инструмент поможет разбить клапан на подобласти, добавив линии в основании скоса. **Выберем поверхность**, как указано на рис. 9, нажмем **Done**, после этого выберем одну из линий, принадлежащую этой плоскости. Перейдем к режиму эскиза. Воспользуемся инструментом  (Create lines connected) и проведем линию в основании скоса. Нажмем **Done**. **Аналогичную операцию проведем с остальными гранями клапана.**

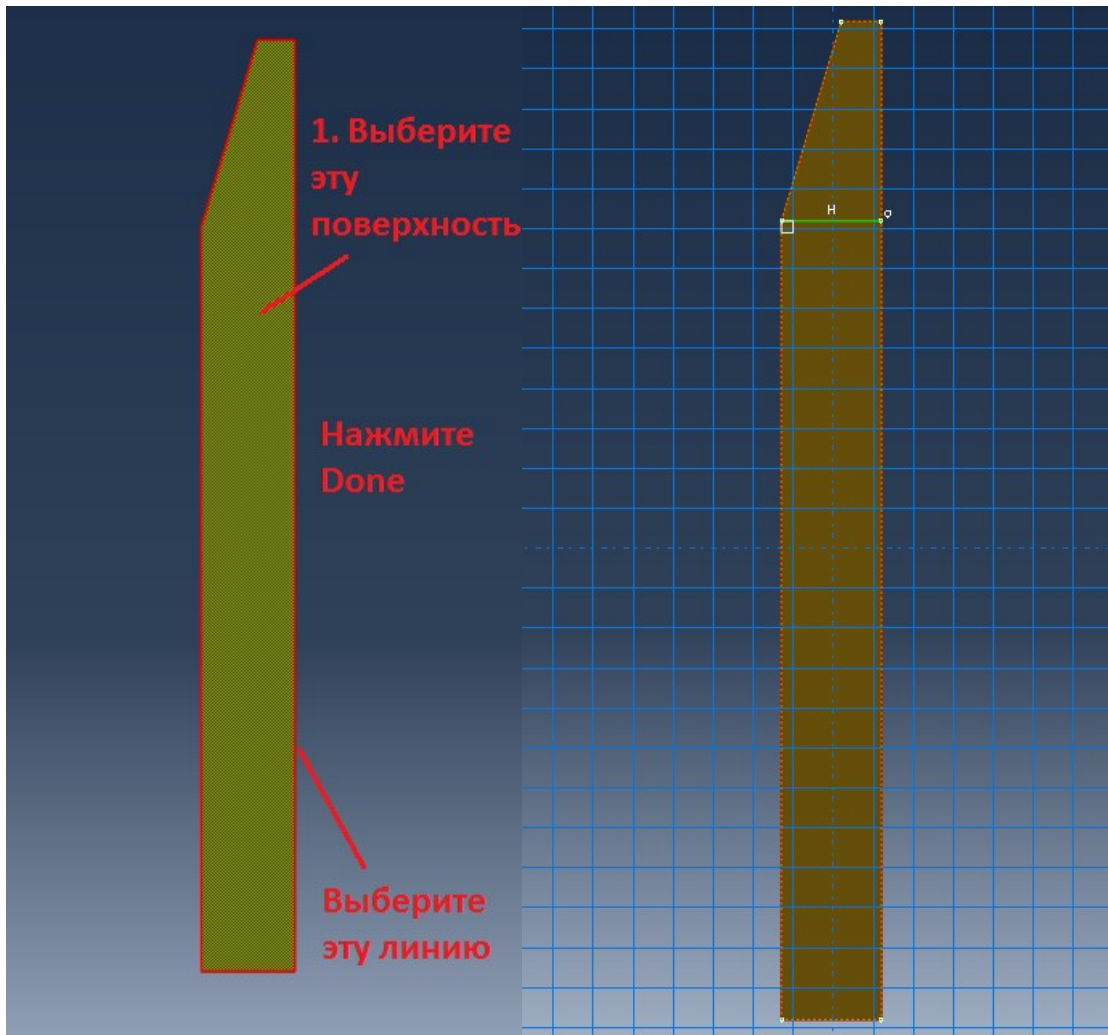




Рис. 9. Разбиение на подобласти.

Воспользовавшись инструментом , (*Seed part Instance*), разобьем клапан на элементы. В появившемся окне (Рис.10) в поле **Approximate global size** введем значение **0.0015**. Нажмем **OK**. Жмем , (*Mesh Part Instance*) для запуска генерации сетки и нажимаем **Yes**.

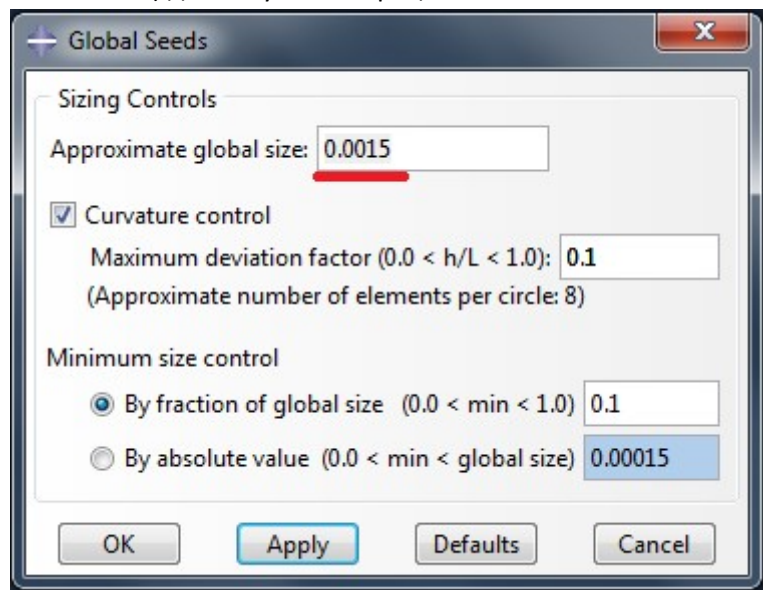


Рис. 10. Определение размера конечных элементов.

Следующим важным шагом в создании модели для совместного расчета является создание **поверхности обмена** между ABAQUS и FV. В ABAQUS моделируются деформации клапана, и производится экспорт координат узлов деформируемой поверхности. Импортируются в ABAQUS нагрузки (CF), рассчитанные в FV.

При совместном расчете к модели, созданной Abq, **возникают следующие требования:**

3. Детали модели, участвующие в связанной задаче, должны моделироваться объемными либо плоскими элементами.
4. В модели должны быть определены поверхности обмена (интерфейсные области типа SURFACE) для связанного расчета.
5. Поверхность обмена должна быть:
  - Замкнутой;
  - Созданной на сплошной сетке. Сетка не должна иметь «Двойных» узлов, модифицированных элементов и не должна содержать поверхность двух сеток, соединенных TIE-контактом (Рис. 12).

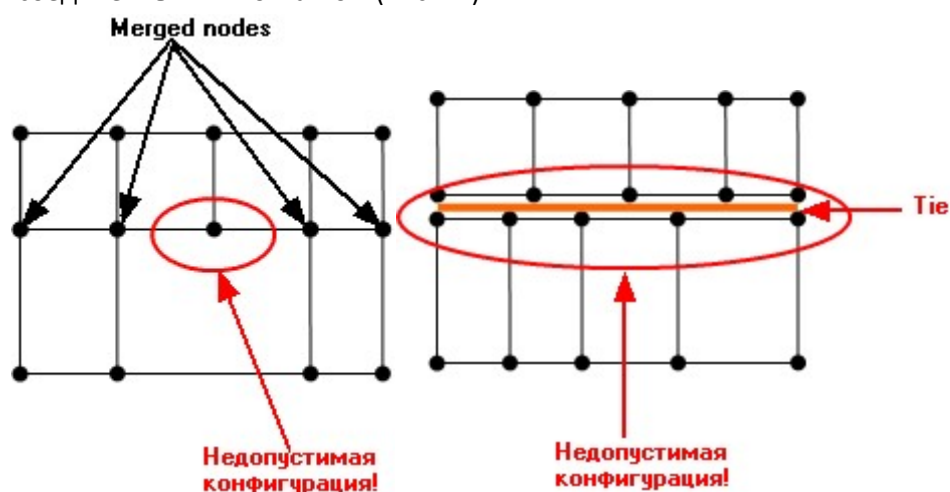


Рис. 12. Требования к модели ABQ по созданию сетки.

В дереве модели перейдем во вкладку **Assembly** и выберем **Surfaces** двойным нажатием.

В появившемся окне (Рис. 12) присвоим данной плоскости **имя DC-SURF1**, в разделе **Type=>Mesh**. Нажмем **Continue** и выделим весь клапан. **Done**.

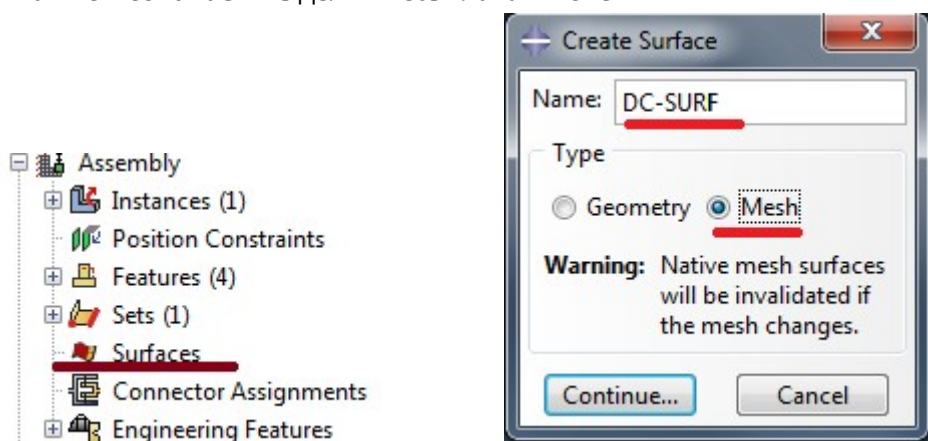



Рис. 12. Создание поверхности обмена.

Перейдем в модуль **Load**. Выбрав  (**Create Boundary condition**) (Рис 13), создадим граничное условие на нижней поверхности клапана со следующими параметрами: **Name=>FIX**, **Step: Initial**, **Category=>Mechanical**, **Types for Selected Step => Symmetry/Antisymmetry/Encastre**. Жмем **Continue**. В рабочем пространстве выбираем нижнюю поверхность клапана, нажимаем **Done**. В очередном окне (Рис.13) необходимо выбрать тип граничного условия для плоскости

клапана. Выбираем **Encastre** ( $U_1=U_2=U_3=UR_1=UR_2=UR_3=0$ ), запрещая перемещения данной плоскости по всем степеням свободы.

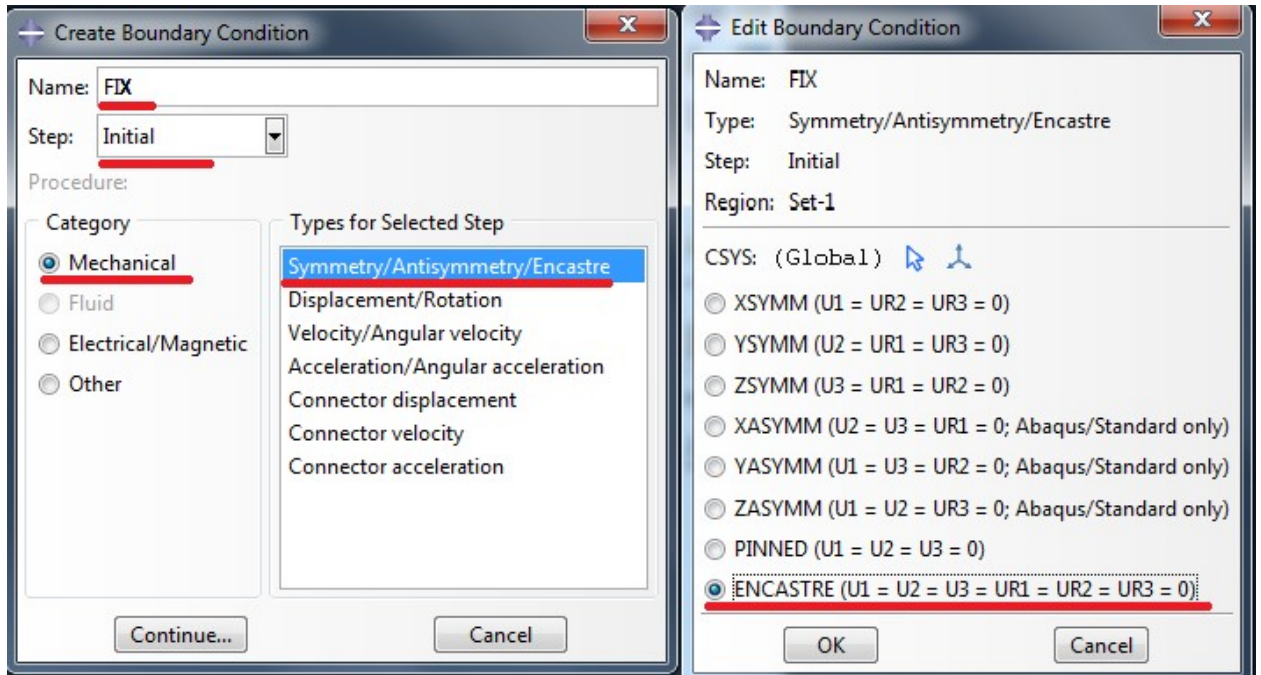


Рис. 13. Создание граничных условий.

Переходим в модуль **Job** и в окне **Job Manager** (  ) (Рис.14) необходимо создать новый анализ.

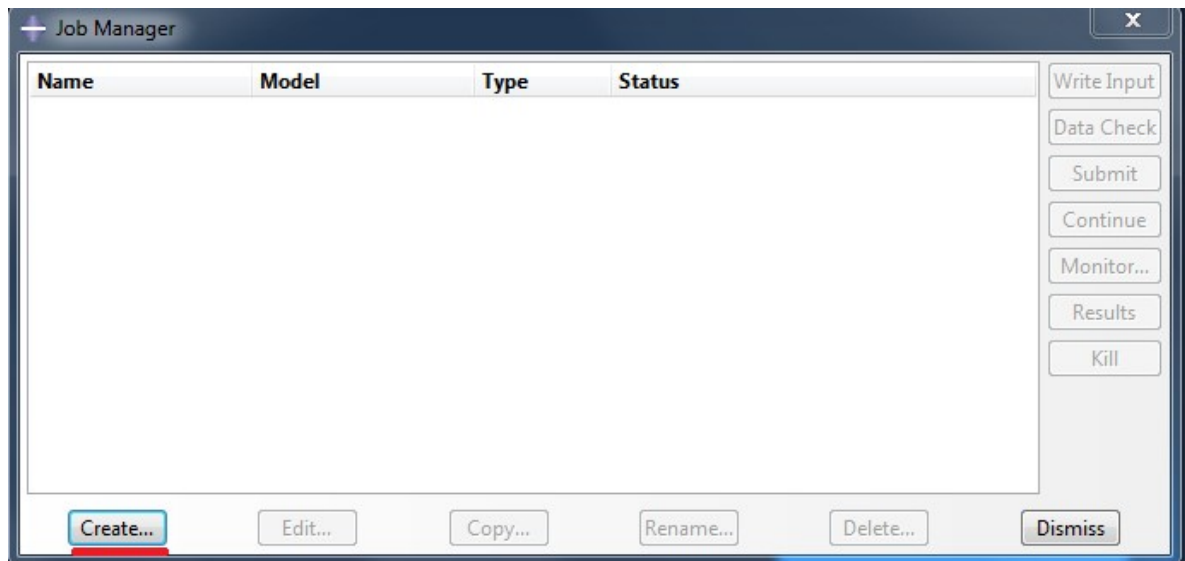


Рис. 14. Job Manager.

Нажмем **Create** и откроем диалоговое окно **Create job** (Рис. 15). Присвоим новому анализу имя **Valve**, нажмем **Continue**. В окне **Edit Job** жмем **Ok** и возвращаемся в уже знакомое окно **Job Manager** (Рис. 16).

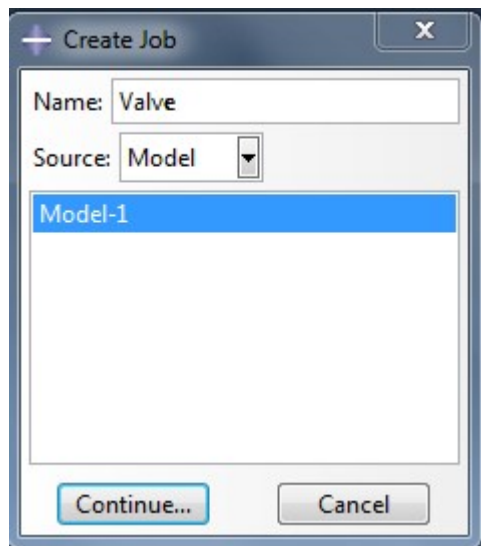


Рис. 15. Создание нового анализа.

Уже в данном окне жмем **Write Input** для создания input-файла, геометрия которого будет импортирована во Flowvision, а также сам файл понадобится для дальнейшего расчета. (Рис. 16)

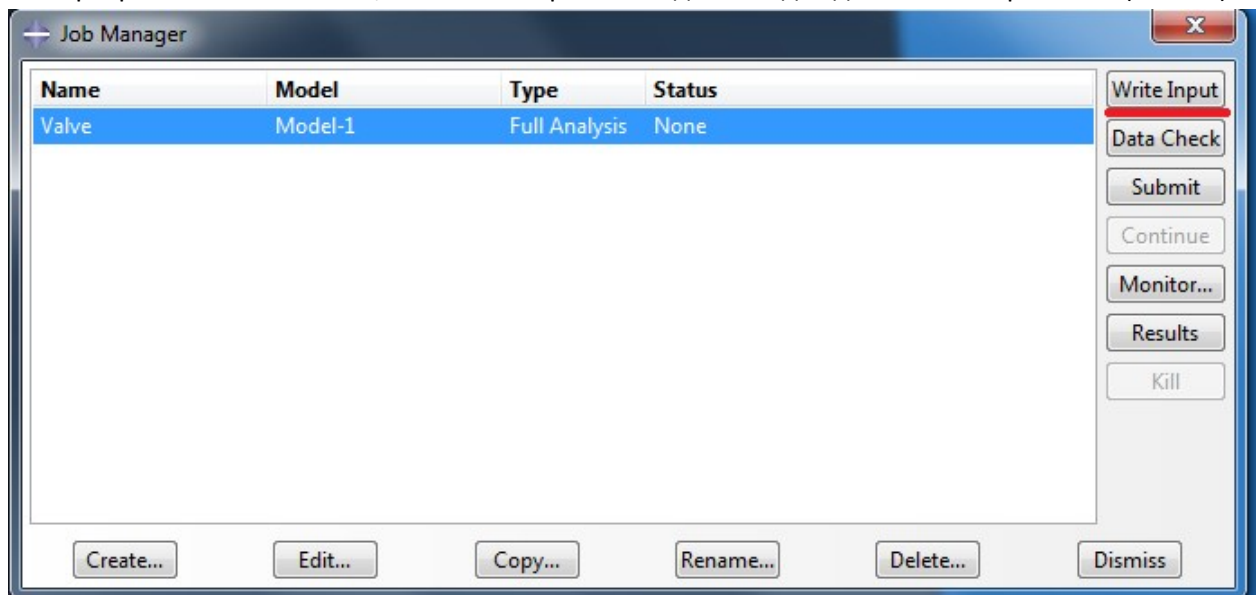


Рис. 16. Job Manager. Создание Input-файла.

Сохраните и закройте проект.

## Приложение 2. Создание второго клапана.

Загрузите проект с клапаном.

В модуле **Part** создайте второй клапан со следующими координатами **(-0.003,0.13); (0.002,0.13); (0.002,0.08); (0,0.08); (-0.003,0.09)**. Повторите весь процесс, описанный при создании первого клапана. В модуле **Assembly** Вы просто добавляете второй клапан в сборку. В качестве имени поверхности обмена для второго клапана введите **DC-SURF2**.

Создайте Input-файл проекта "Valve\_std\_2".

Сохраните и закройте проект.