

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Беспалов В.В.

ИНЖЕНЕРНЫЙ АНАЛИЗ ПОТОКОВ ЖИДКОСТИ И ГАЗА В SIEMENS NX

Учебно-методическое пособие
для магистрантов, обучающихся по направлению
13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника

2022

УДК 621.6.07

ББК 31.31

Беспалов В.В. Инженерный анализ потоков жидкости и газа в Siemens NX: учебно-методическое пособие для магистрантов, обучающихся по направлению 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника / В.В. Беспалов. – Томск : Томский политехнический университет, 2022. – 61 с.

В учебно-методическом пособии рассмотрены примеры решения задач по инженерному анализу потоков жидкости и газа в модуле «Расширенная симуляция (Advanced Simulation)» Siemens NX. Пособие содержит пошаговое решение ряда широко распространенных инженерных задач, позволяющее получить конкретные результаты, провести их анализ и визуализацию.

Пособие подготовлено в научно-образовательном центре им. И.Н. Бутакова инженерной школы энергетики и предназначено для студентов магистерской образовательной программы «Тепловые и атомные электрические станции» направления 13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

Учебно-методическое пособие рассмотрено и рекомендовано
к использованию в учебном процессе
«19» мая 2022 года, протокол № 3.

Заведующий кафедрой – руководитель
научно-образовательного центра
И.Н. Бутакова на правах кафедры

Заворин А.С.

Рецензенты

Доктор физико-математических наук, профессор,
заведующий научно-исследовательской лабораторией
моделирования процессов конвективного
тепломассопереноса ММФ ТГУ

Шеремет М.А.

Кандидат технических наук, доцент, директор
ООО «Инженерный центр «Теплоуниверсал»

Лебедев Б.В.

ВВЕДЕНИЕ

В рамках дисциплины «Использование вычислительных комплексов в решении прикладных задач» магистерской образовательной программы «Тепловые и атомные электрические станции» направления 13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» студенты получают необходимые компетенции использования программного комплекса Siemens NX. Выбор этого программного обеспечения обусловлен требованиями основных индустриальных партнеров – работодателей. Изучаемое ПО широко используется в проектных организациях крупнейших компаний. Ниже приведены только некоторые из них.

- ОАО «Силовые машины» – проектирование тепловых, атомных и гидроэлектростанций, турбинного и другого оборудования. В ряде Российских вузов, в том числе и в ТПУ, работают студенческие конструкторские бюро, позволяющие вовлекать студентов в реальную работу предприятия.
- АО «АЭМ-технологии» (АО «Атомэнергомаш», ГК «Росатом») – проектирование оборудования.
- ОКБ «Аэрокосмические системы» – разработка бортового оборудования.
- ООО «Уральские локомотивы» – проектирование скоростных электропоездов.
- ОАО «КАМАЗ» – проектирование автомобилей.
- АО «Волгабурмаш» – проектирование бурового инструмента для нефтяной, газовой, горнорудной и строительной отраслей.

ПО Siemens NX является мировым лидером по автоматизации управления жизненным циклом продукции (PLM – Product Lifecycle Management). Непосредственно проектирование (CAD) и инженерные расчеты (CAE) являются частью PLM процесса.

Проектирование геометрии деталей и сборок является базовой частью изучения данной дисциплины. В широком доступе имеется достаточное количество литературы [1, 2] и учебно-методического материала [3, 4] по рассматриваемому программному продукту, в том числе от производителя [5]. На первоначальном этапе необходимо освоить интерфейс программного модуля «**Моделирование**» и выполнить предлагаемые упражнения. Предполагается, что студент уже имеет необходимый набор компетенций и навыков по созданию геометрии, приобретенных в ходе выполнения заданий по моделированию деталей и сборок.

В настоящем учебно-методическом пособии рассмотрены задачи по инженерному анализу потоков жидкости и газа в модуле «**Расширенная симуляция** (Advanced Simulation)» Siemens NX. Под созданием геометрии здесь подразумевается непосредственное создание области течения среды (жидкости или газа) в модуле NX «**Моделирование**». Более продвинутые способы создания области течения среды в сборках узлов и деталей оборудования будут рассматриваться в рамках других дисциплин магистерской образовательной программы.

NX Advanced Simulation является полнофункциональной программной системой для выполнения различных инженерных расчетов в области прочности и динамики изделий, теплопередачи, термодинамики, анализа аэродинамических характеристик, гидро- и газодинамики внутренних и внешних потоков с широкими возможностями визуализации результатов моделирования.

Издано достаточно подробное описание этого модуля [6], а также практические пособия для работы [7,8]. В этой литературе основное внимание уделено механическим и прочностным расчетам, однако совершенно недостаточно задач на тепломассоперенос и гидро-газодинамику. В свободном доступе сети интернет также чувствуется недостаток практических рекомендаций по проведению подобных расчетов. Предлагаемое учебно-методическое пособие содержит пошаговое решение ряда широко распространенных инженерных задач, позволяющее получить конкретные результаты, провести их анализ и визуализацию. Решение первой задачи описано наиболее подробно для знакомства с основными приемами расчета и визуализации результатов. Последующие задачи содержат методические рекомендации их решения с учетом ранее изученного материала, акцент сделан на особенности построения конкретной модели и дополнительные инструменты анализа. Каждая задача содержит несколько вариантов постановки для самостоятельного ее решения студентами с целью закрепления навыков проведения исследований и работы с программным продуктом.

Задача 1

Моделирование сложного теплообмена в пространственной модели камеры смешения.

Постановка задачи

Рассмотреть стационарное турбулентное неизотермическое перемешивание вязких несжимаемых жидкостей (воздух) в камере смешения. Геометрическая постановка задачи представлена на рис. 1.1.

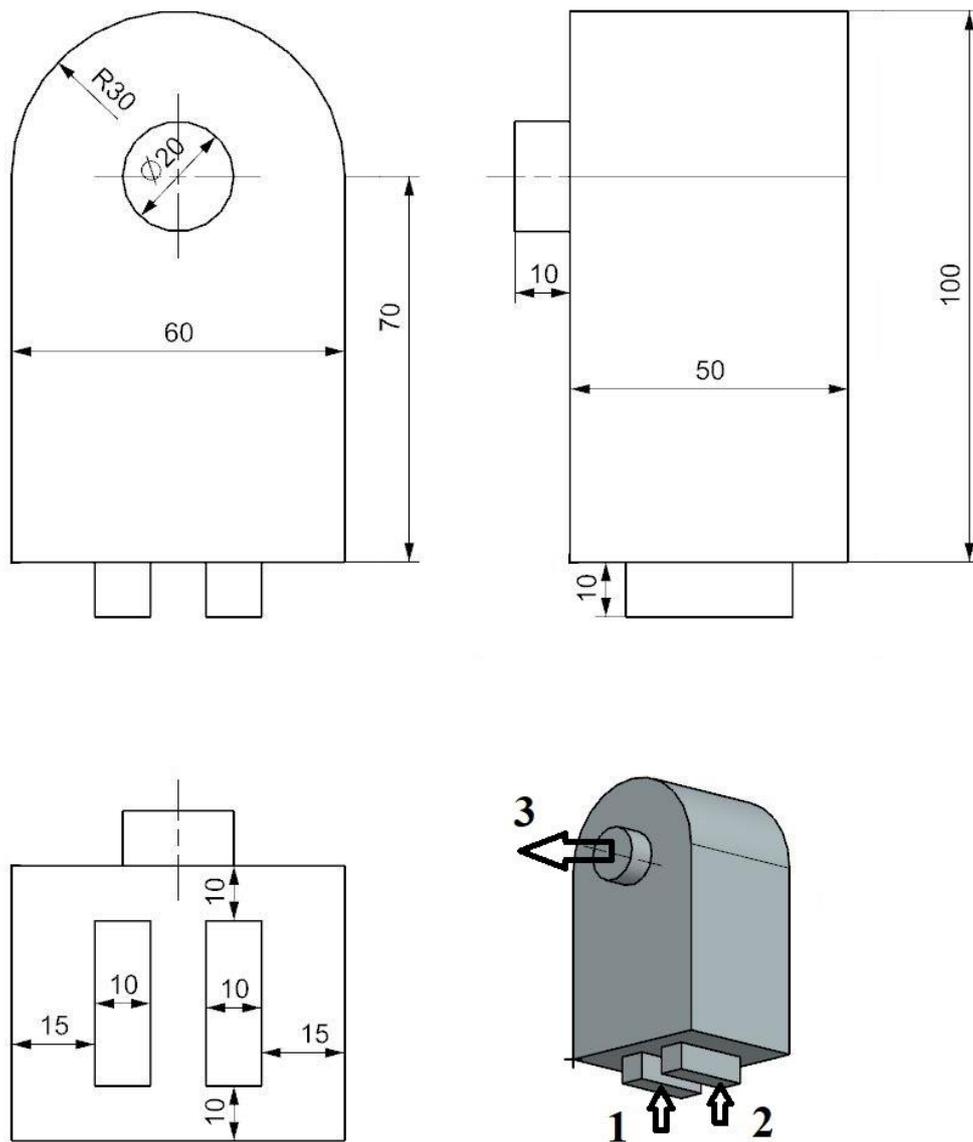


Рис. 1.1. Геометрическая постановка задачи 1

На прямоугольных устройствах подачи среды 1 и 2 задано равномерное распределение скорости $V_1 = 3,4$ м/с, $V_2 = 2,1$ м/с и температуры потоков $T_1 = 293$ К, $T_2 = 343$ К. Все стенки являются адиабатическими. На выходе 3 использовать граничное условие – *outflow* (открытие). Учесть влияние силы тяжести.

Провести расчет и анализ результатов. Сделать необходимые выводы. Отобразить:

- векторные поля скорости в средних сечениях камеры;
- контурные поля скорости и температуры в средних сечениях камеры;
- движение пузырьков в температурной цветовой шкале по линиям потока.

Методические указания к решению

1. Создайте геометрию среды камеры смещения согласно рисунку (рис. 1.1) в программном модуле «**Моделирование**». Стройте модель в правильной ориентации, направление оси *Z* указывает вверх. Проконтролируйте, чтобы это было единое тело. Сохраните модель в отдельной папке.

2. Перейдите в оболочку программного модуля (рис. 1.2) «**Расширенная симуляция**». Закладка панели инструментов «**Файл**» – Пункт «**Расширенная симуляция**».

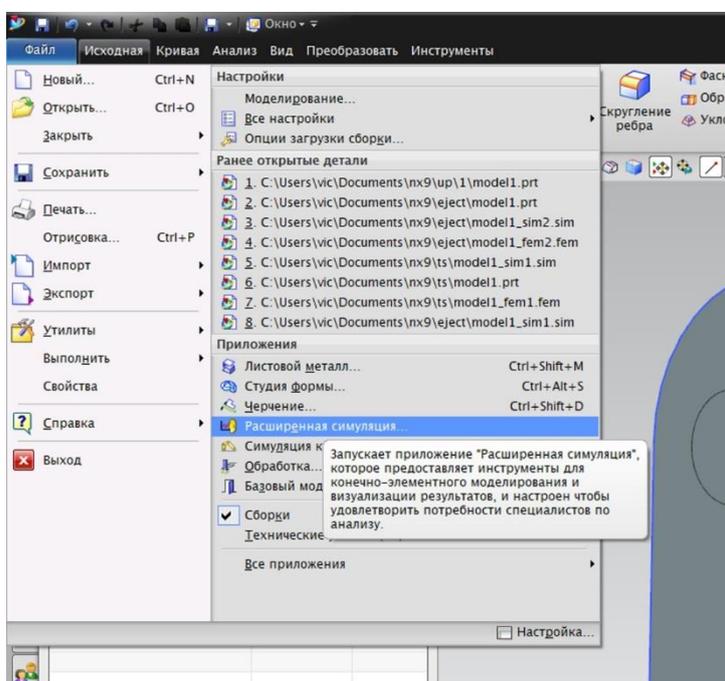


Рис. 1.2. Переход к Расширенной симуляции

3. Создайте конечно-элементную модель и симуляцию. Закладка панели инструментов «Исходная» – «Новая КЭ модель и симуляция» (рис. 1.3).
4. В открывшемся окне настроек «Новая КЭ модель и симуляция» выберите «Решатель» – «NX THERMAL / FLOW», «Тип анализа» – «Coupled Thermal-Flow». Тут больше ничего менять не нужно, нажмите «Ок» (рис. 1.3).

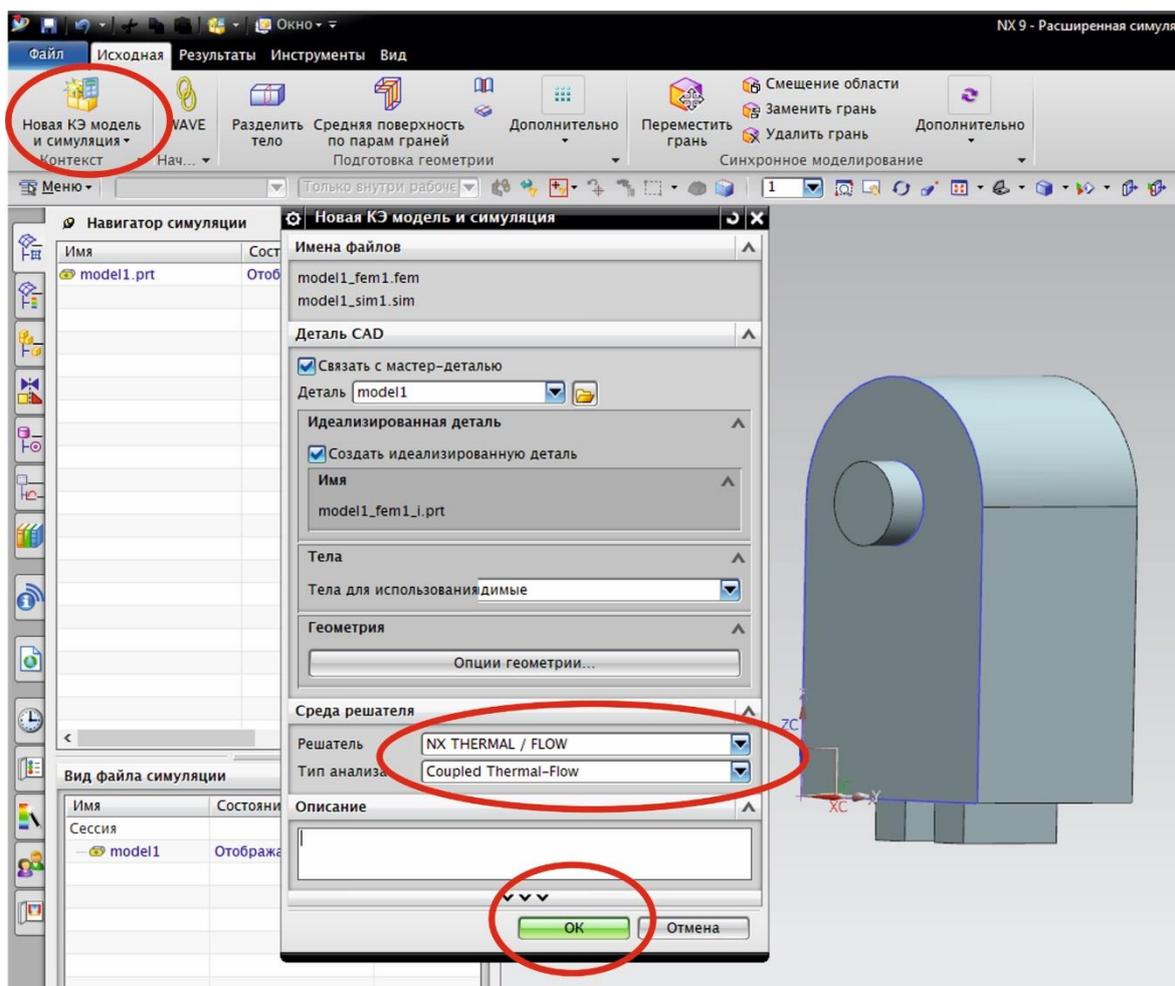


Рис. 1.3. Создание новой КЭ модели

5. В открывшемся окне настроек «Решение» выберите «Решатель» – «NX THERMAL / FLOW», «Тип анализа» – «Coupled Thermal-Flow», «Тип решения» – «Advanced Thermal-Flow» (рис. 1.4). Проверьте направление силы тяжести (указано желтой стрелкой на вашей модели) и поменяйте при необходимости. Больше ничего менять не нужно, нажмите «Ок».

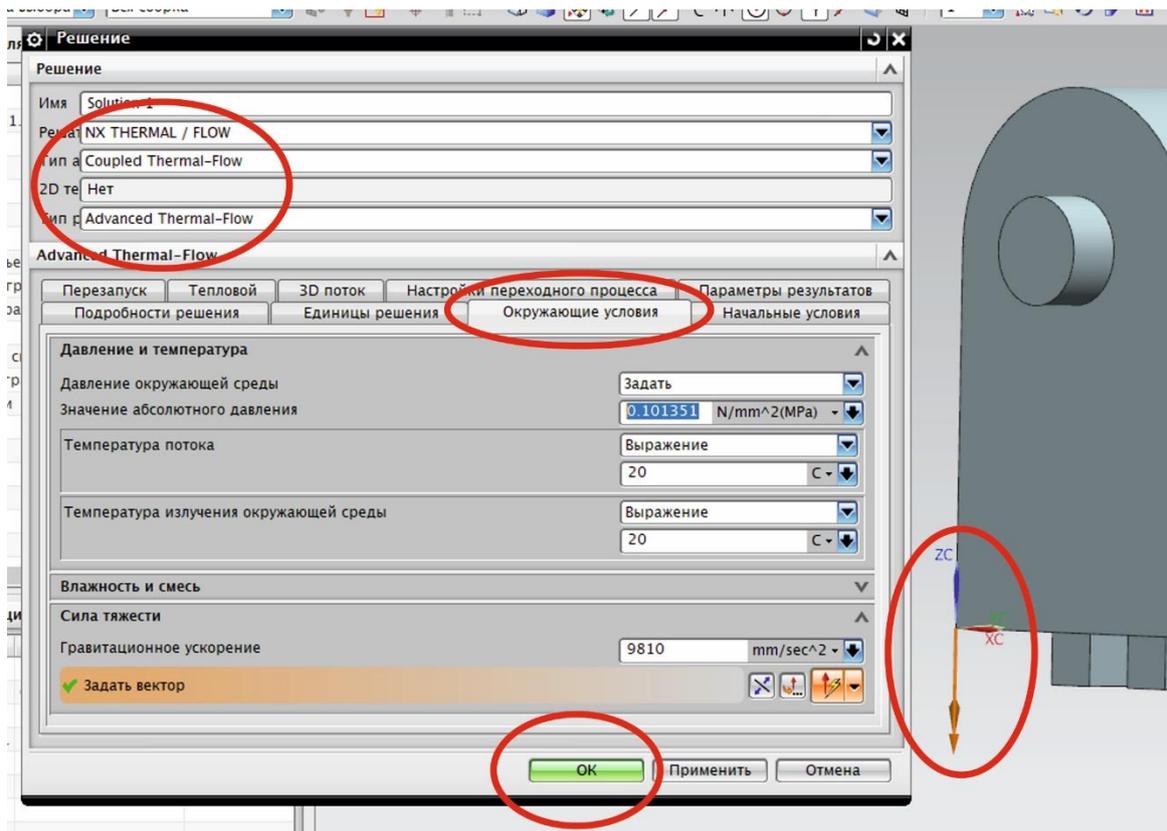


Рис. 1.4. Окно настроек решения

6. Проконтролируйте в окне «**Вид файла симуляции**», что сформировались все необходимые файлы: мастер-модель (*prt*), идеализированная модель (*prt*), сеточная модель (*fem*) и симуляция (*sim*). Активной сейчас является сеточная модель (выделено синим цветом).

7. Постройте тетраэдральную сетку. Закладка панели инструментов «**Исходная**» – «**3D четырехгранный**». В открывшемся окне настроек «**3D тетраэдральная сетка**» выберите в качестве тела всю вашу модель. В свойствах элемента укажите тип «**TET4**» или «**TET10**» (с дополнительными точками расчета на серединах ребер тетраэдра). Задайте размер элемента (рис. 1.5). Предварительно можно посмотреть рекомендуемый размер нажав кнопку «**Автоматический размер элемента**» справа от размера и скорректировать или принять это значение. Имейте в виду, чем меньше этот размер, тем более подробная сетка и большее время расчета. Больше можно ничего не менять, нажмите «**Ок**».

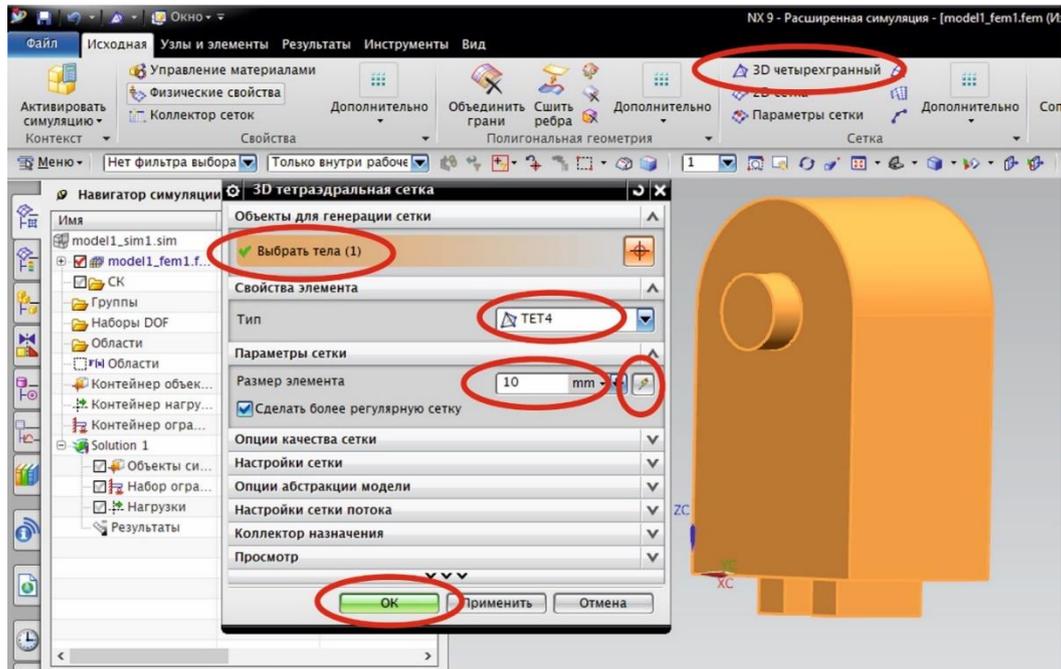


Рис. 1.5. Окно настроек тетраэдральной сетки

Дождитесь конца построения сетки. Построенную сетку можно удалить или изменить ее параметры. Сетка находится в дереве окна «**Навигатор симуляции**» – «**модель_fem1.fem**» – «**3D Коллекторы**» – «**Solid1**» – «**3D mesh**» (рис. 1.6). Постарайтесь построить оптимальную сетку для приемлемого качества получаемых результатов.

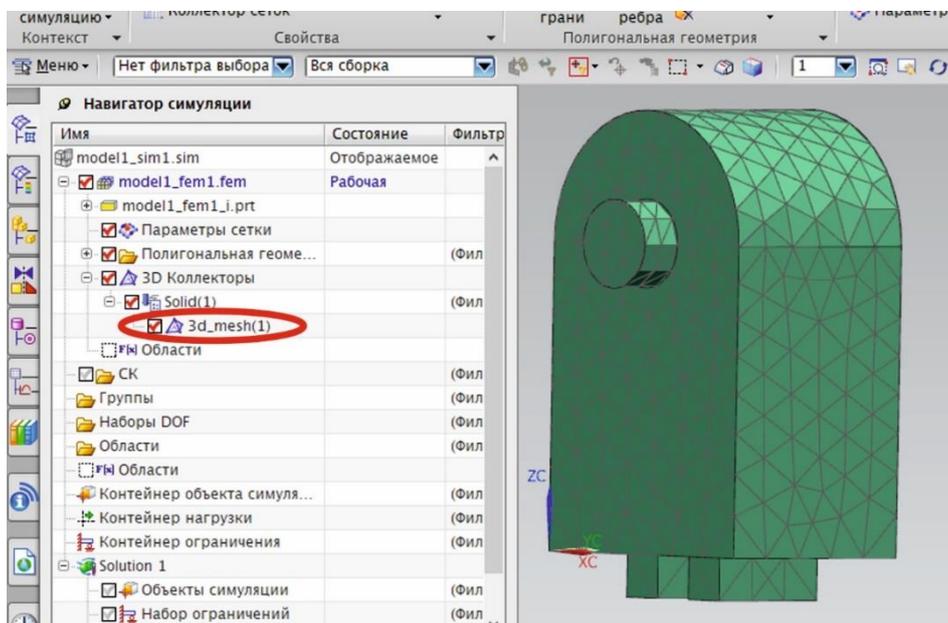


Рис. 1.6. Результат построения сетки

8. Задайте материал для построенной сетки. Закладка панели инструментов «Исходная» – «Дополнительно (группа Свойства)» – «Назначить материалы». В открывшемся окне настроек «Назначить материалы» выберите в качестве тела всю вашу сетку (рис. 1.7). В Библиотеке материалов выберите воздух «Air_Temp-dependent_Gas» и нажмите «Ок».

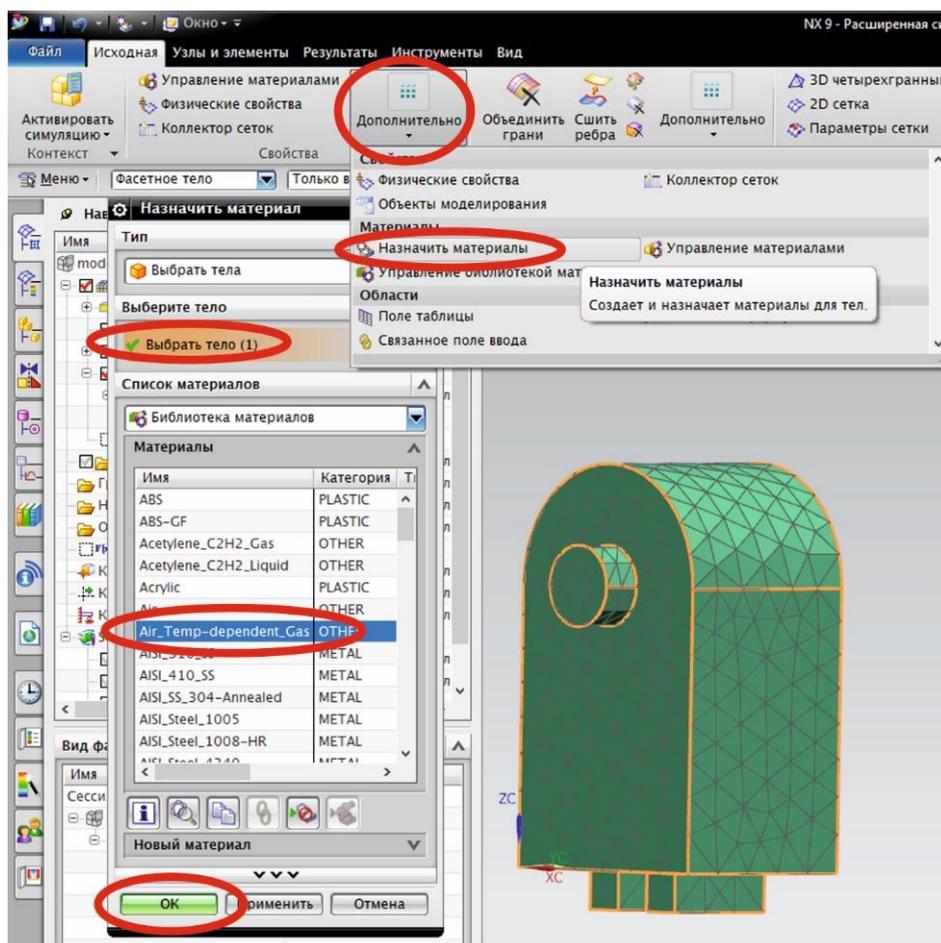


Рис. 1.7. Назначение материала

9. Можно переходить к симуляции. Закладка панели инструментов «Исходная» – «Активировать симуляцию» или двойной клик по файлу симуляции (sim) в окне «Вид файла симуляции».

Задание граничных условий. По умолчанию граничным условием всех граней является адиабатическая поверхность. Это граничное условие 2 рода: тепловой поток через поверхность равен нулю. Таким образом нужно задать граничные условия только для двух входных и выходного потока воздуха.

10. Задайте граничные условия первого входящего потока (рис. 1.8). Залка панель инструментов «Исходная» – «Тип объекта симуляции» – «Граничные условия потока». В открывшемся окне настроек «Граничные условия потока» выберите тип «Входной поток», выберите грань куда входит поток 1 в качестве области «Выбрать объект». В группе «Величина» задайте скорость потока V_1 в м/с. Единицы измерения нужно перевести в соответствующий вид.

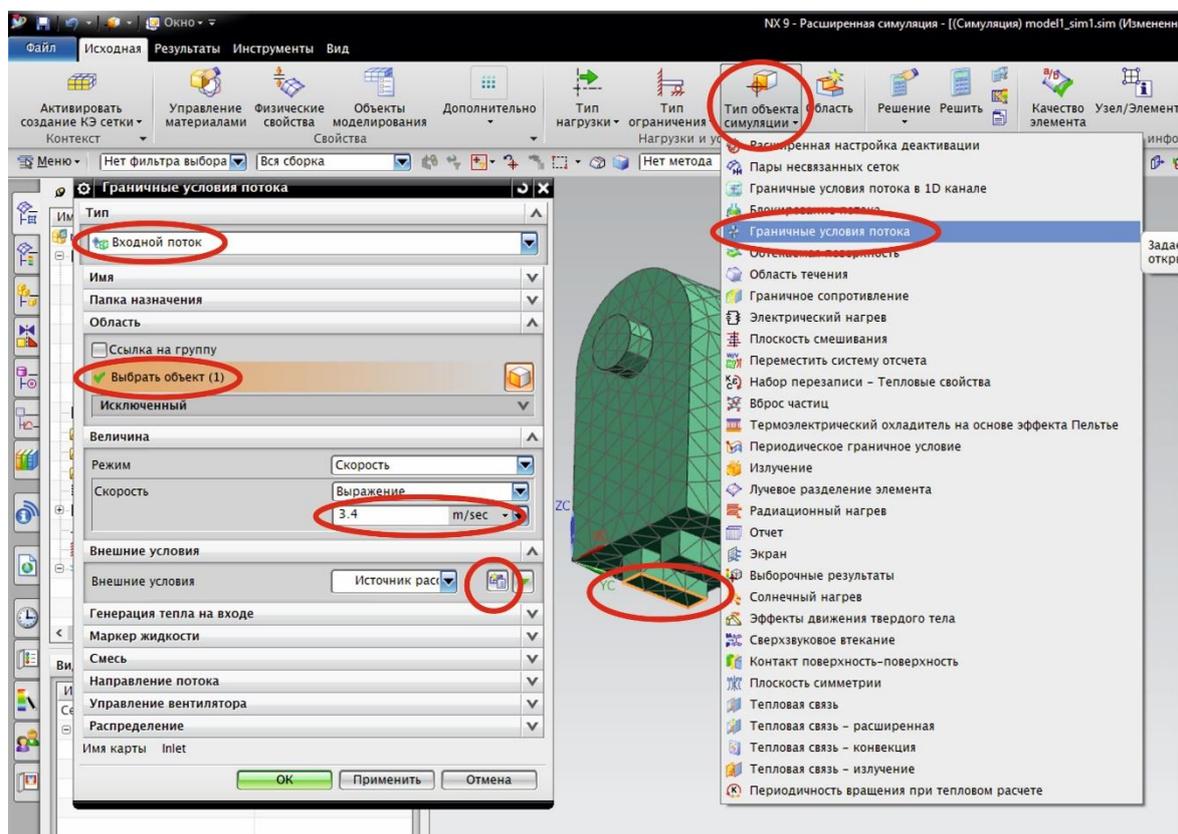


Рис. 1.8. Задание граничных условий входного потока

Температура потока задается при помощи определения внешних условий. Нажмите в группе «Внешние условия» кнопку справа «Создание объекта моделирования» (рис. 1.8). В появившемся окне «External Conditions 1» установите свойство «Температура и влажность» – «Задать». Задайте значение температуры первого потока T_1 в нужной размерности (рис. 1.9). Влажность не задана. Нажмите «Ок».

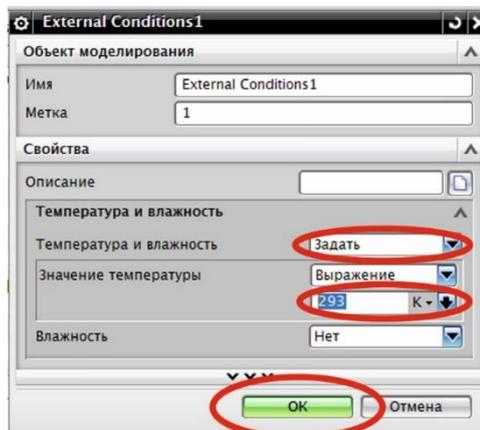


Рис. 1.9. Внешние условия

Таким образом определены внешние условия первого потока «*External Conditions 1*». Нажмите «*Ок*». Входящий поток отобразится стрелками к грани. Аналогично задайте граничные условия второго входящего потока со скоростью V_2 и внешними условиями «*External Conditions 2*» с температурой T_2 .

11. Задайте граничные условия для выходного потока. Закладка панели инструментов «*Исходная*» – «*Тип объекта симуляции*» – «*Граничные условия потока*». В открывшемся окне настроек «*Граничные условия потока*» выберите тип «*Открытие*» и выберите грань откуда выходит поток (рис. 1.10). Нажмите «*Ок*». Открытая грань будет помечена квадратиками.

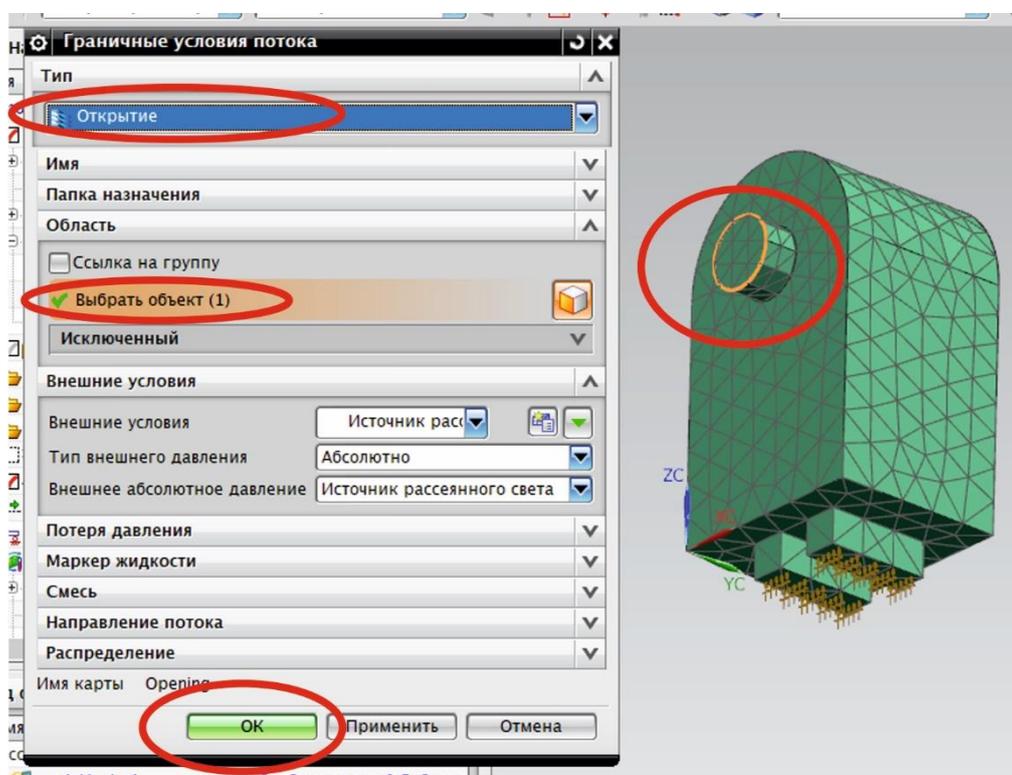


Рис. 1.10. Задание граничных условий выходного потока

Все определенные вами граничные условия находятся в дереве окна «*Навигатор симуляции*» – «*Контейнер объекта симуляции*» (рис. 1.11). Настройки каждого граничного условия можно изменить, вызвав знакомое окно двойным щелчком по соответствующему пункту дерева или по отображению соответствующего граничного условия на модели симуляции.

Постановка задачи закончена. Можно переходить к расчету.

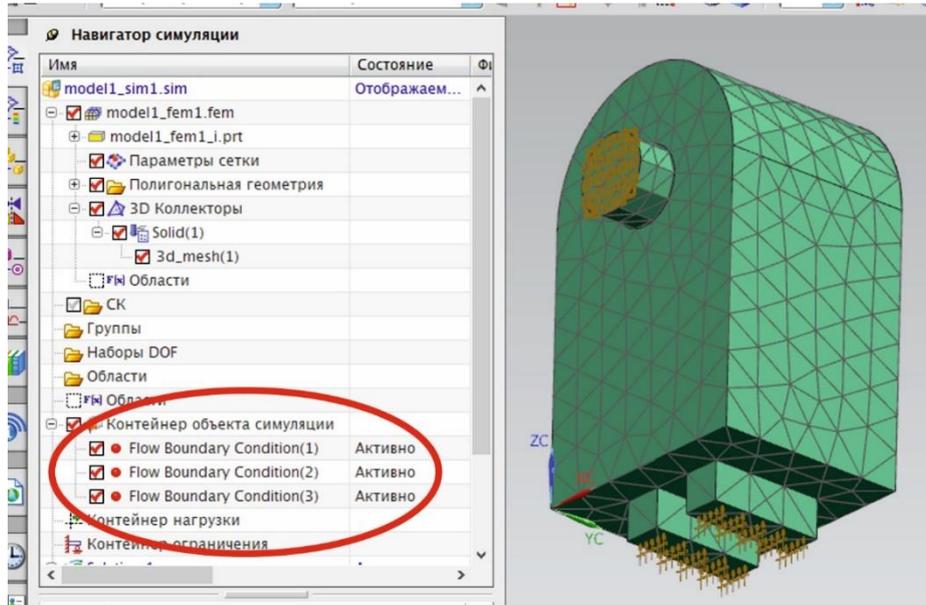


Рис. 1.11. Отображение граничных условий

12. Запустите расчет. Закладка панели инструментов «Исходная» – «Решить». Нажмите «Ок» в появившемся окне «Решить» (рис. 1.12).

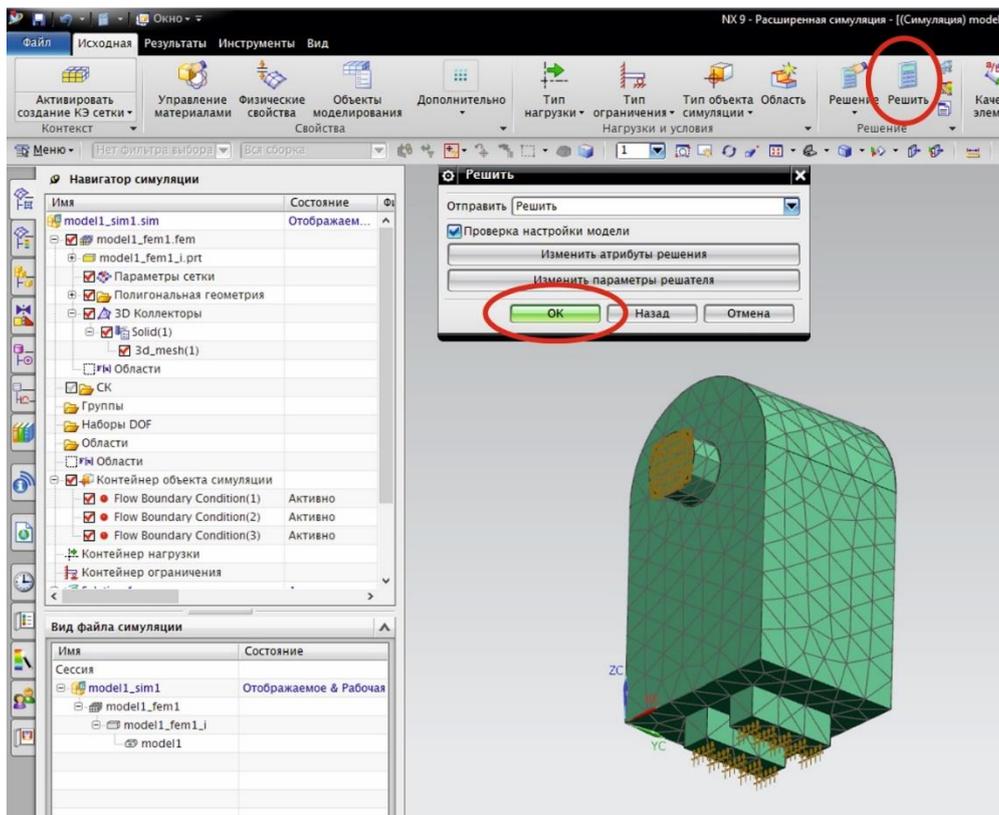


Рис. 1.12. Запуск расчета задачи

Во время процесса откроется несколько окон (рис. 1.13): «**Информация**» с отчетом об ошибках в постановке задачи; «**Solution Monitor** (монитор решения)», где можно при длительном процессе расчета отслеживать сходимость процесса с помощью графиков нажав кнопку «**Graph**».

13. По окончании расчета появится окно «**Review Results**» где нужно нажать кнопку «**Yes**». После чего закройте все окна, в окне «**Мониторинг анализа**» нажмите «**Отмена**» (рис. 1.13).

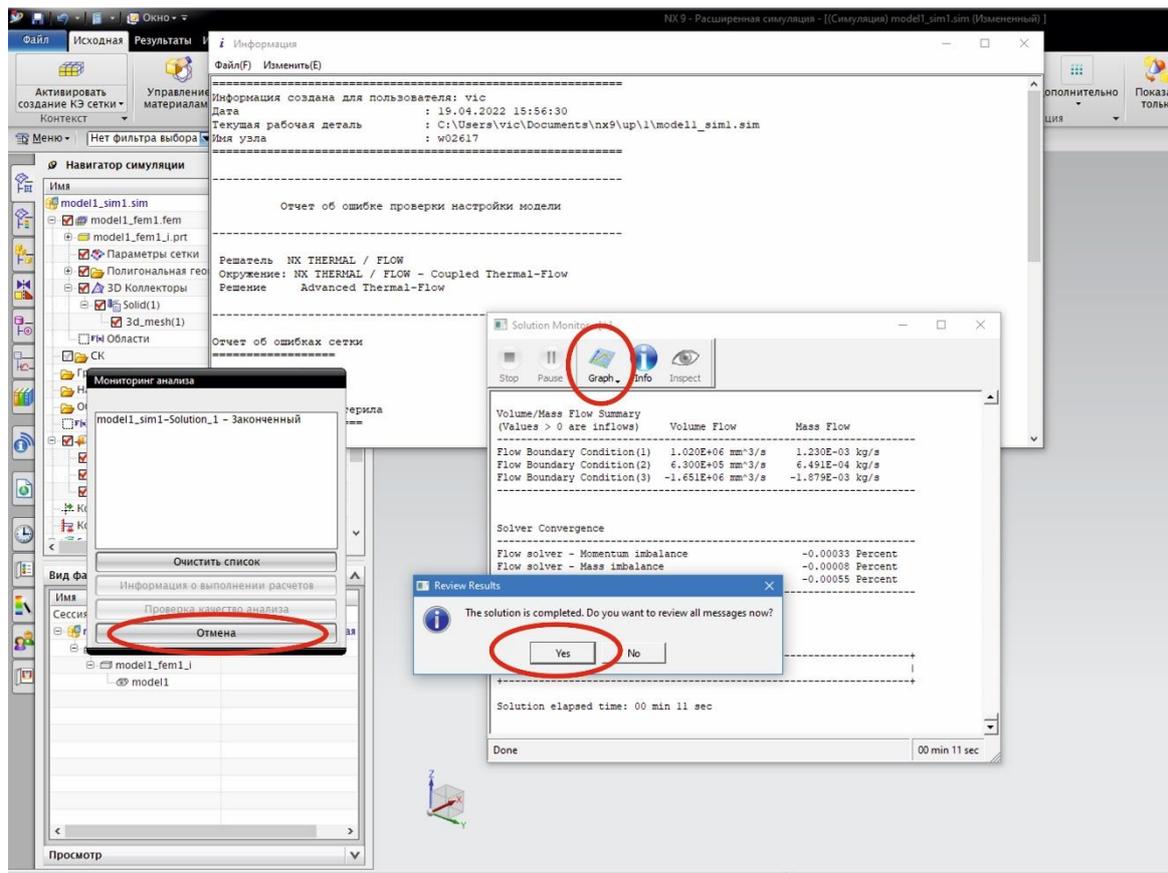


Рис. 1.13. Успешное завершение расчета

В случае успешного завершения расчета в дереве – «**Solution 1**» появится пункт «**Результаты**» (рис. 1.14).

14. Откройте просмотр результатов двойным щелчком на этом пункте или выбрав вторую боковую вкладку окна «**Навигатор симуляции**». Отобразится окно «**Навигатор постпроцессора**» (рис. 1.15).

Просмотр, анализ и визуализация результатов расчета. Переходим к формированию ответов на конкретно заданные вопросы в поставке задачи.

15. Сделайте двойной щелчок на пункте «Скорость» окна «Навигатор постпроцессора» (рис. 1.15). Будет отображен результат расчета скоростей. С помощью инструмента «Определить значение» можно просматривать результат в любом узле или элементе сетки.

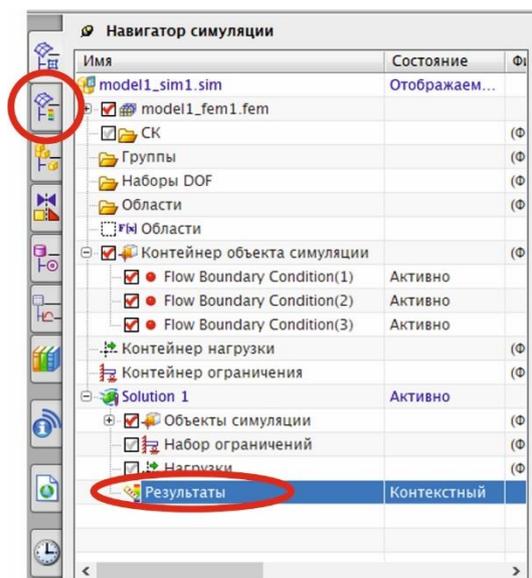


Рис. 1.14. Просмотр результатов

Для настройки визуализации результатов нажмите кнопку «Изменить вид постпроцессора» или двойной щелчок на пункте «Post View 1» окна «Навигатор постпроцессора» (рис. 1.15).

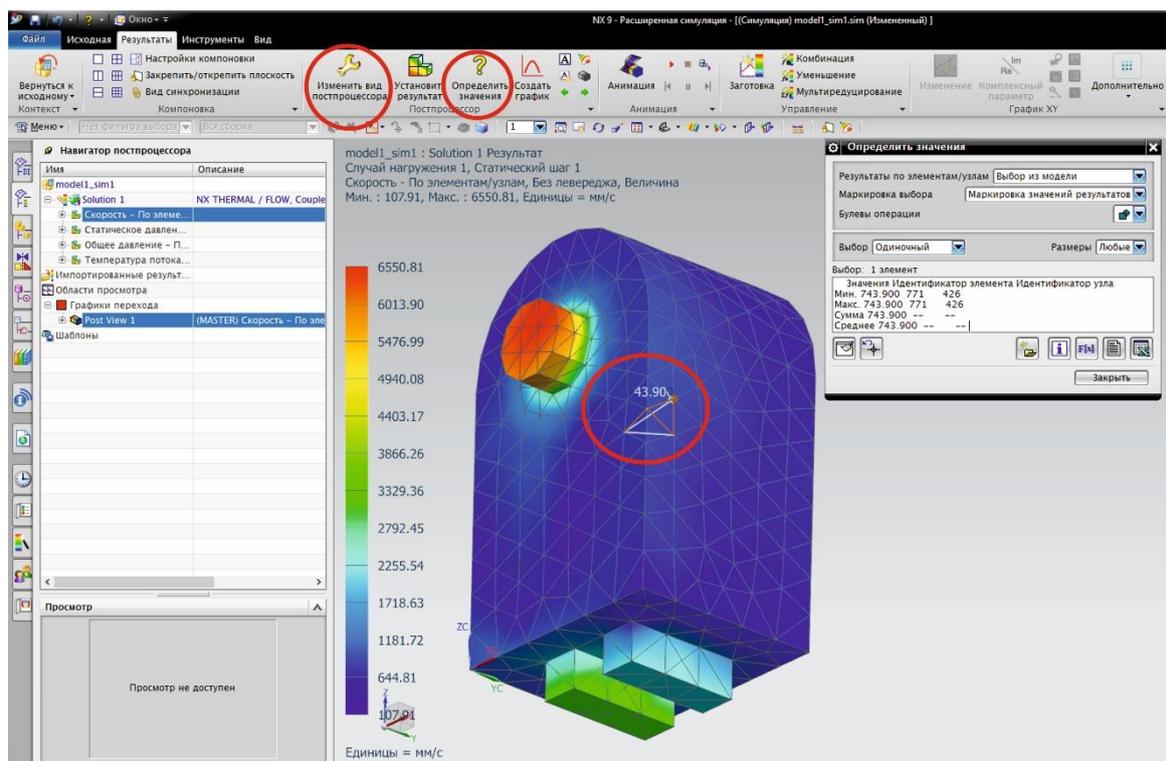


Рис. 1.15. Навигатор постпроцессора

Откроется окно «*Вид постпроцессора*» (рис. 1.16). Установите пункт «*Показать на*» в режим «*Секущая плоскость*» и нажмите кнопку «*Опции*». В окне «*Секущая плоскость*» выберите нужную ориентацию плоскости и Сторону отсечения – «*Положительный*» или «*Отрицательный*» (рис. 1.16). Положение секущей плоскости регулируется при помощи бегунка. Сечение отобразится после нажатия кнопки «*Применить*» или «*Ок*».

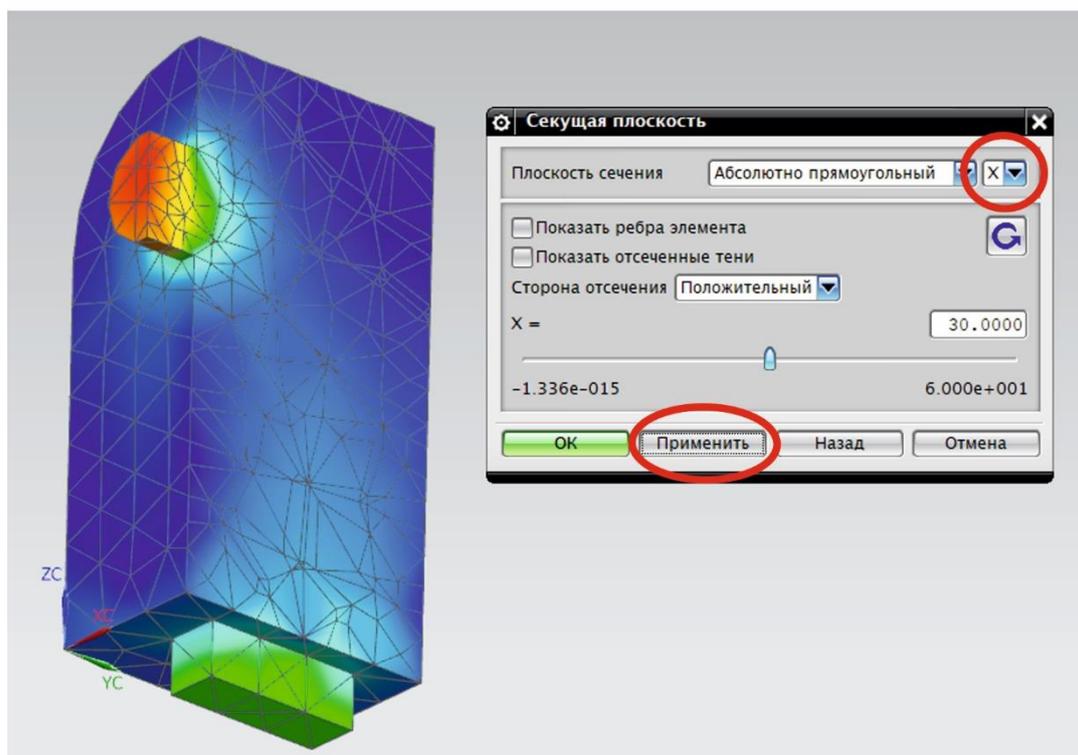
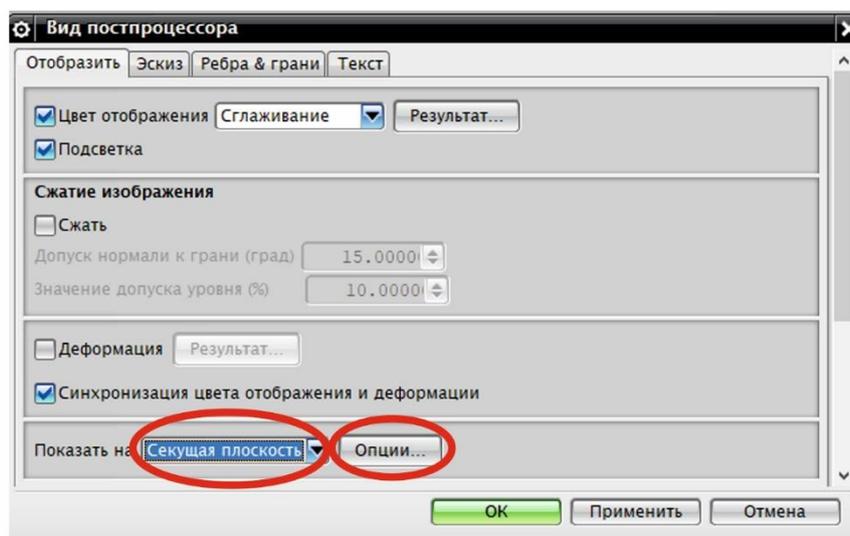


Рис. 1.16. Окна «*Вид постпроцессора*» и «*Секущая плоскость*».

16. Для отображения векторных полей скорости в средних сечениях камеры выполните следующие действия. В окне «**Вид постпроцессора**» поменяйте пункт «**Сглаживание**» на «**Стрелки**». В окне «**Секущая плоскость**» выберите нужную ориентацию плоскости и установите Сторону отсечения – «**Оба**», чтобы получить вид только самой плоскости. Закройте окна кнопками «**Ок**» (рис. 1.17).

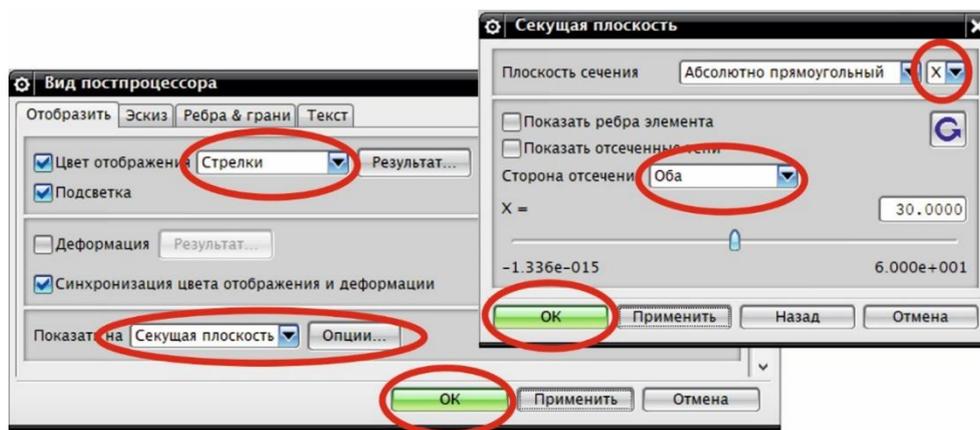


Рис. 1.17. Настройка отображения скоростей стрелками в плоскости

Изменить величину стрелок можно в окне «**Отрисовка**» нажав кнопку «**Результат...**» в окне «**Вид постпроцессора**» (рис. 1.18). Увеличьте при необходимости процентный размер стрелки. Здесь же можно поменять отображаемые единицы измерения, например, на м/с.

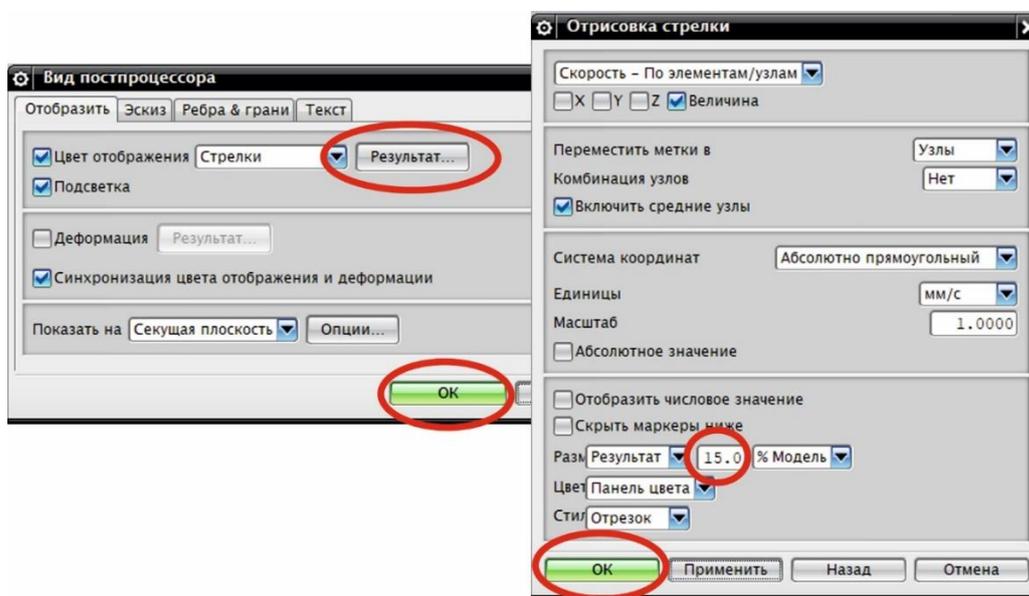


Рис. 1.18. Настройка размера стрелок и отображаемых единиц измерения

Отобразите результат для двух срединных сечений по разным направлениям плоскостей, проделав описанные действия дважды. Результат показан на рис. 1.19.

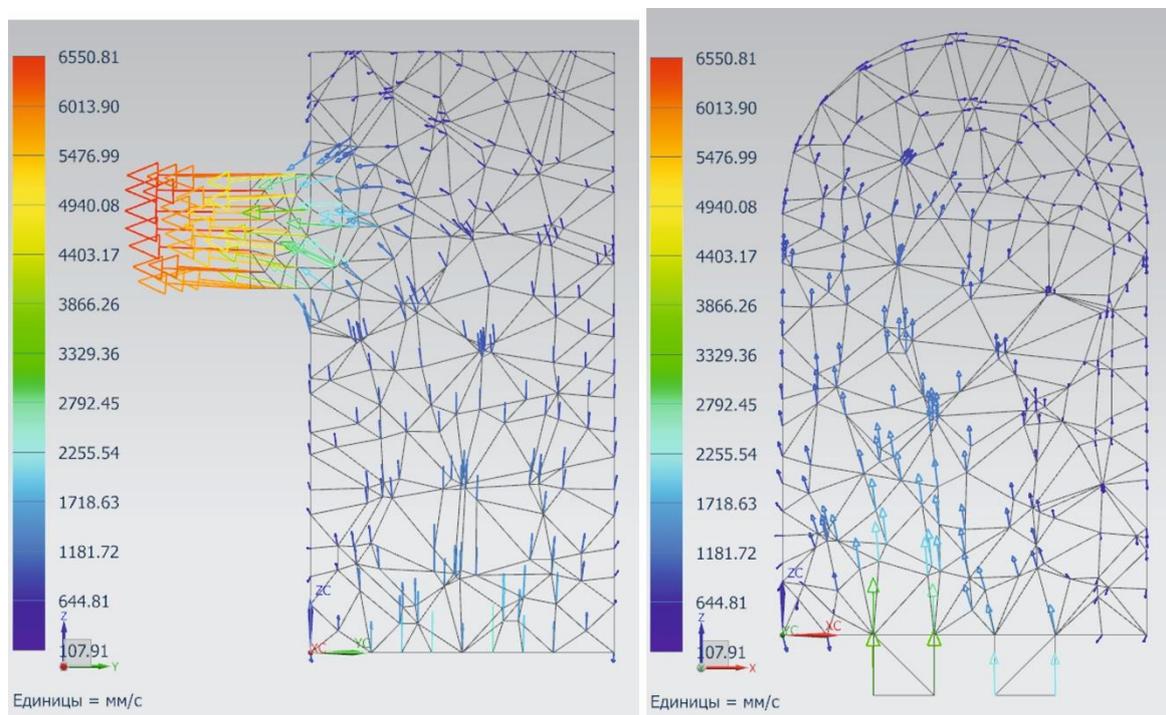


Рис. 1.19. Векторные поля скорости в средних сечениях камеры

17. Для отображения контурных полей скорости в средних сечениях камеры выполните следующие действия. В окне «**Вид постпроцессора**» поменяйте пункт «**Стрелки**» на «**ISO-линия**» (рис. 1.17). В окне «**Секущая плоскость**» выберите нужную ориентацию плоскости и установите Сторону отсечения – «**Оба**». Закройте окна кнопками «**Ок**». Прделайте операции для обоих средних сечений камеры. Результат показан на рис. 1.20.

18. Для отображения контурных полей температуры в средних сечениях камеры сделайте двойной щелчок на пункте «**Температура потока**» окна «**Навигатор постпроцессора**». Будет отображен результат расчета температуры. В постановке задачи температуры заданы в градусах Кельвина, поэтому следует поменять отображаемые единицы измерения в окне «**Отрисовка**» нажав кнопку «**Результат...**» в окне «**Вид постпроцессора**». Если настройка ISO-линий и Секущей плоскости остались прежними с прошлого шага, то сразу получаем готовый результат для одной плоскости. Поменяйте настройки для другой плоскости и получите второй результат (рис. 1.21).

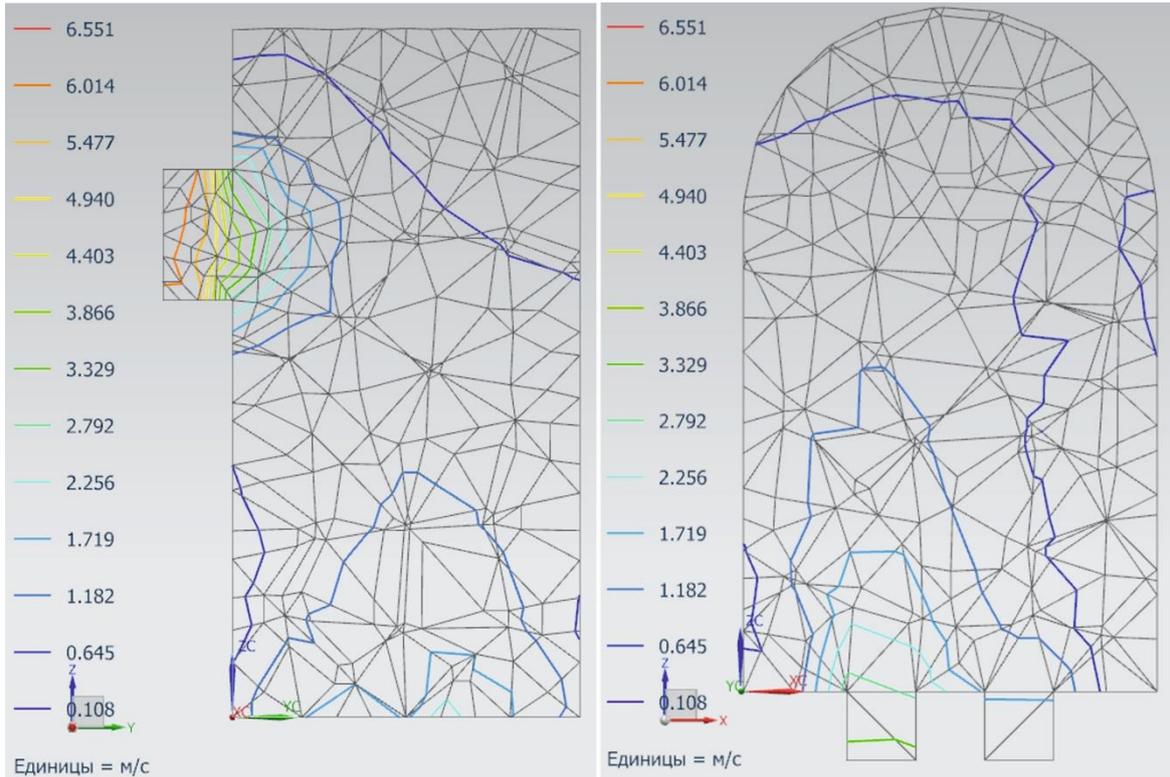


Рис. 1.20. Контурные поля скорости в средних сечениях камеры

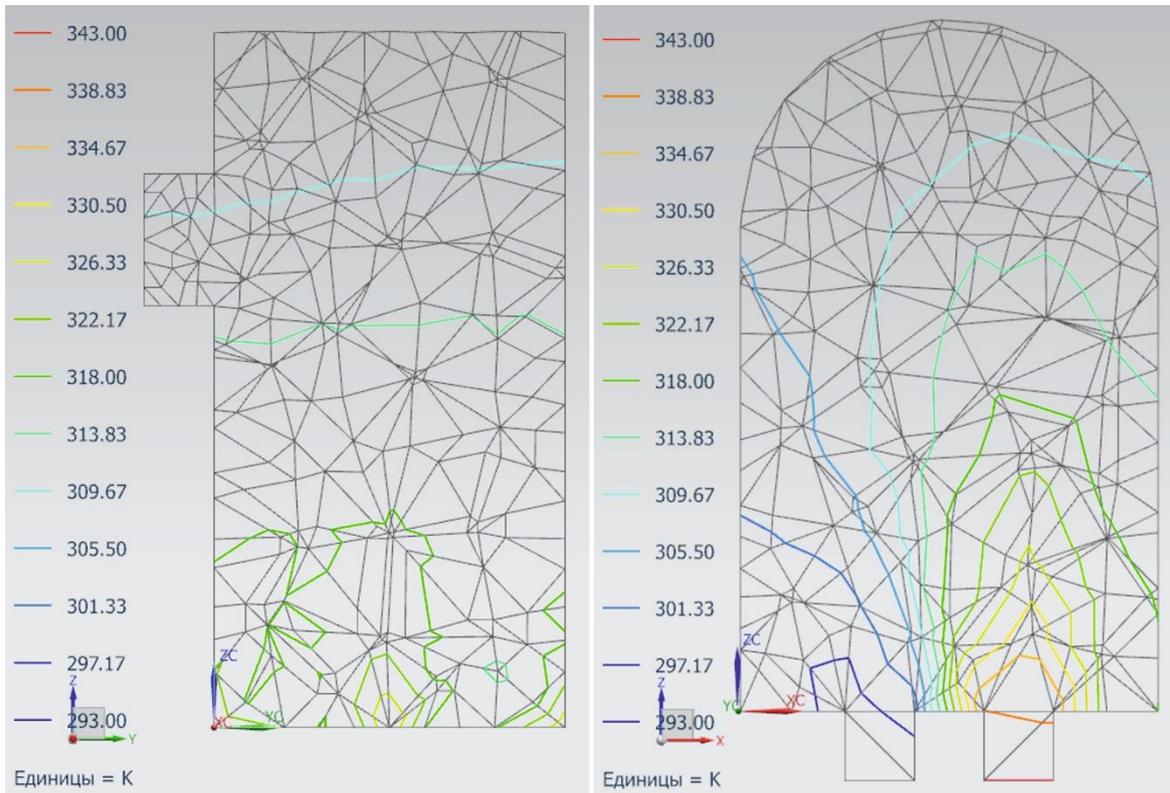


Рис. 1.21. Контурные поля скорости в средних сечениях камеры

19. Для визуализации движения пузырьков в температурной цветовой шкале по линиям потока выполните следующие действия. Сделайте двойной щелчок на пункте «Скорость» окна «Навигатор постпроцессора». Линии потока строятся только по скорости. В окне «Вид постпроцессора» установите пункт «Показать на» в режим «Объем» и нажмите кнопку «Применить». В этом же окне поменяйте пункт «ISO-линия» на «Линии потока» и нажмите кнопку «Опции». В окне «Параметры линий потока» (рис. 1.22) нажмите кнопку «Создать».

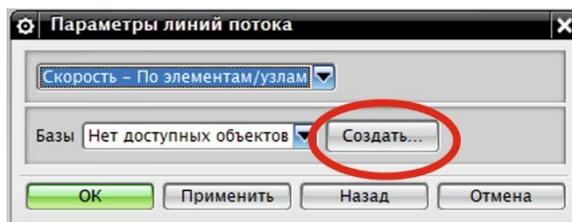


Рис. 1.22. Параметры линий потока

Появится окно «Базовый набор». Создайте набор линий потока нажатием левой кнопки мыши на поверхностях модели, в основном тех, через которые проходит поток и нажмите «Ок» (рис. 1.23). Закройте предыдущие окна кнопками «Ок».

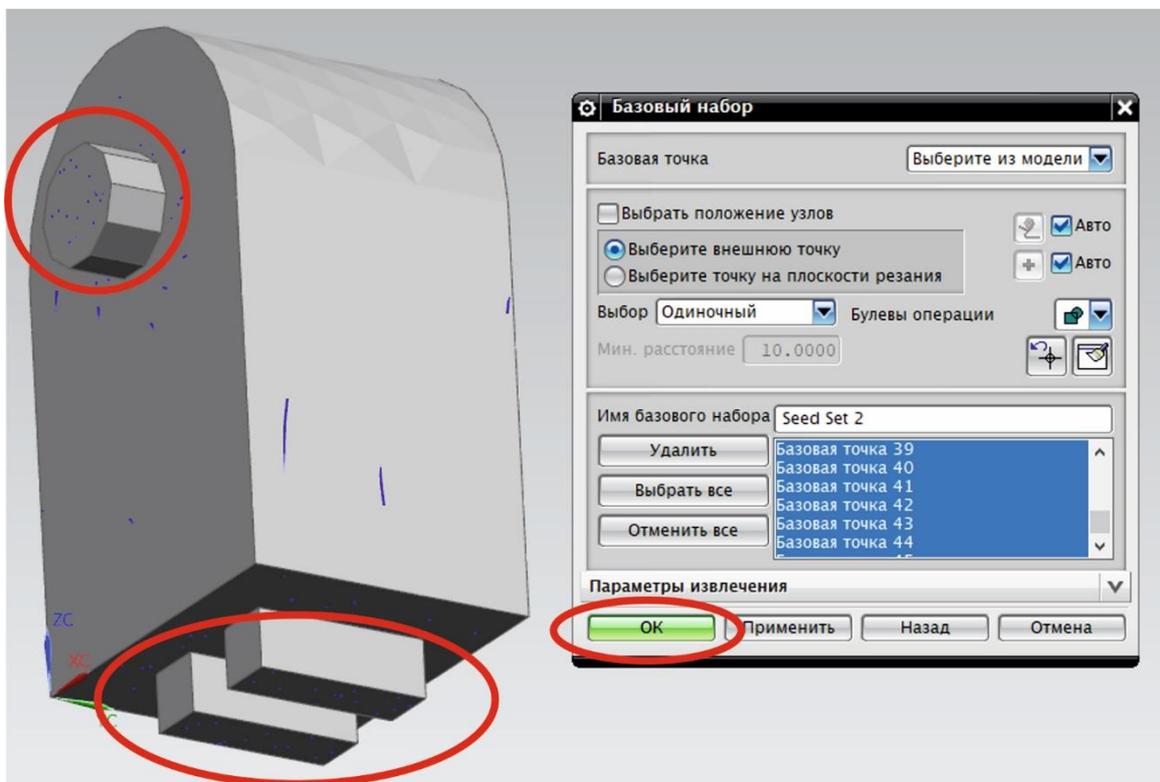


Рис. 1.23. Создание набора линий потока

На экране будут отображены линии потока (рис. 1.24) из указанных вами базовых точек в цвете палитры скорости потока.

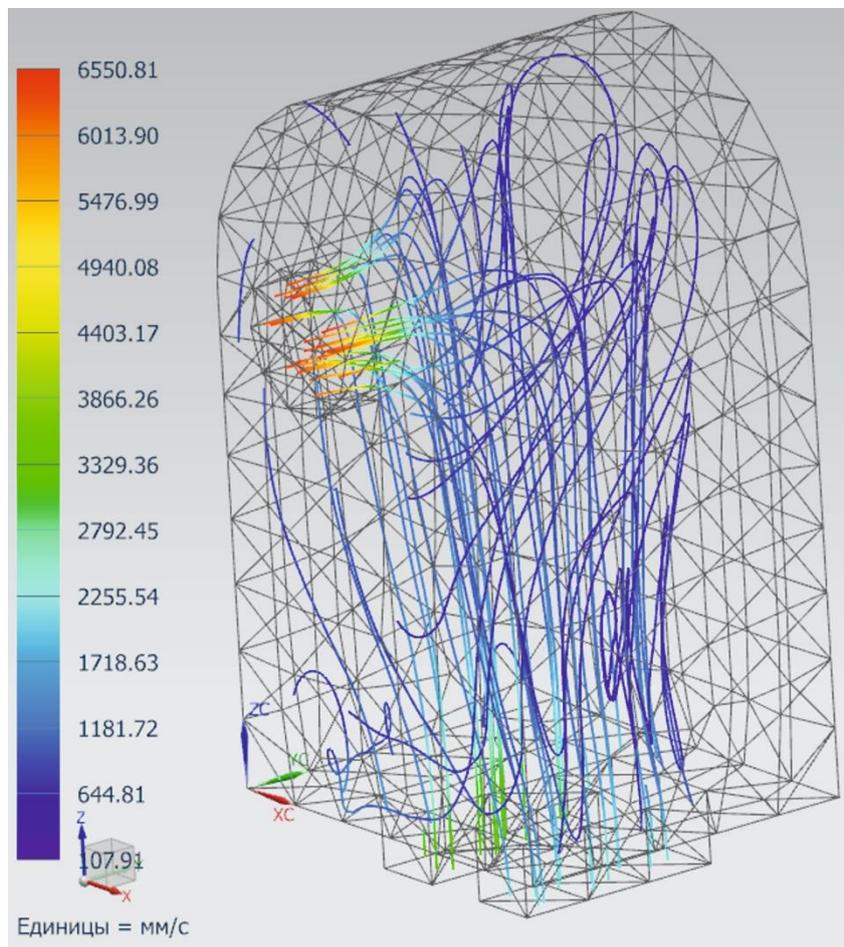


Рис. 1.24. Отображение линий потока

Откройте окно «**Вид постпроцессора**» кнопкой панели инструментов «**Изменить вид постпроцессора**». Нажмите в нем кнопку «**Результат...**». В появившемся окне «**Отрисовка линий потока**» установите в верхнем выпадающем списке «**Температура потока – По элементам/узлам**», поменяйте отображаемые единицы измерения на градусы Кельвина, установите стиль «**Пузырьки**» и нажмите кнопку «**Применить**» (рис. 1.25). При необходимости увеличьте процентный размер пузырька для лучшего отображения. Нажмите кнопку «**Ок**». Закройте окно «**Вид постпроцессора**» кнопкой «**Ок**». Теперь пузырьки имеют цвет палитры температуры потока (рис. 1.25).

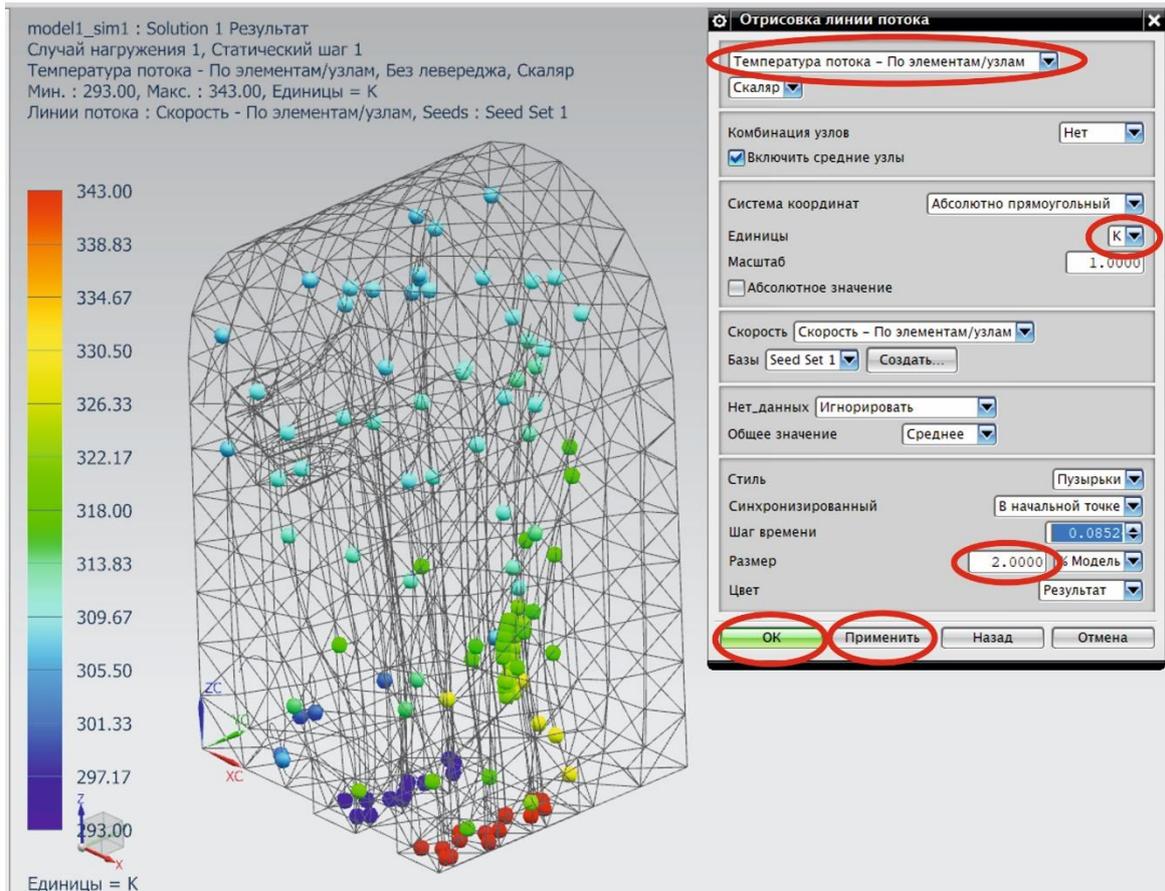


Рис. 1.25. Отображение пузырьков

Анимация процесса течения пузырьков вдоль линий потока осуществляется стандартными кнопками «**Воспроизведение**», «**Стоп**», «**Пауза**», «**Назад**», «**Следующий**» (рис. 1.26). Есть кнопка «**Экспорт GIF с анимацией**», позволяющая сохранить на диск файл с анимацией в формате GIF, однако использование этой функции нежелательно из-за большого размера файла и не удобного для просмотра формата. Сохранение анимации в формате видео будет рассмотрена позже. Настройка параметров анимации производится в окне «**Анимация**», открывающегося по нажатию одноименной кнопки панели инструментов. Влияние этих параметров предлагается к самостоятельному изучению.

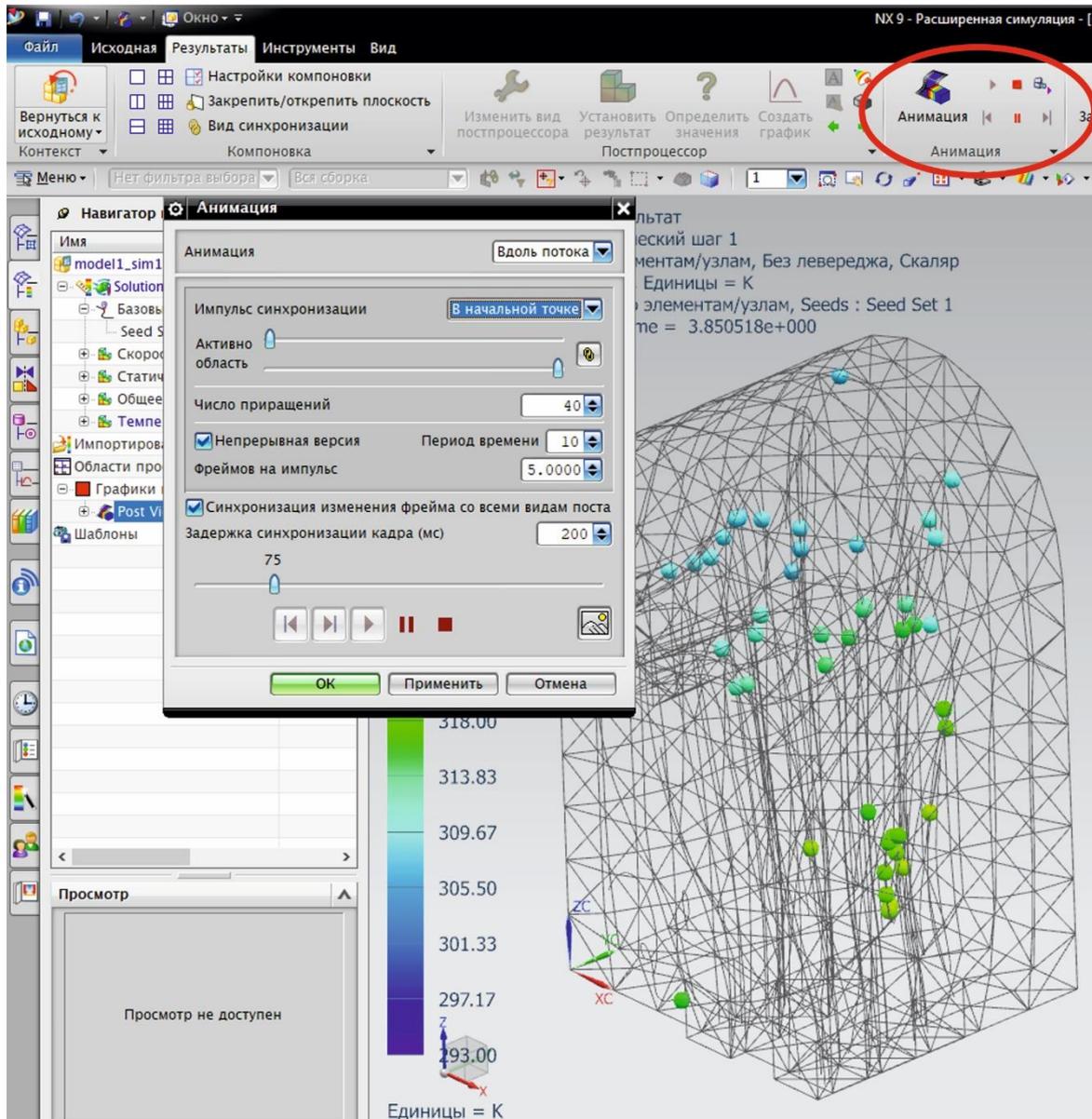


Рис. 1.26. Анимация процесса течения пузырьков

20. Создайте видеоролик для презентации своей работы. Необходимые кнопки для создания видеоролика находятся на вкладке «**Инструменты**» панели инструментов (рис. 1.27). Это привычные кнопки «**Запись**», «**Пауза записи**» и «**Остановка записи**». Кнопка «**Настройки записи**» открывает окно настроек, которое позволяет определить Область захвата (Графика, Окно NX, Рабочий стол), Плавность (Кадров в секунду) и Скорость воспроизведения (Очень медленно, Медленно, Как записано, Быстро, Очень быстро).

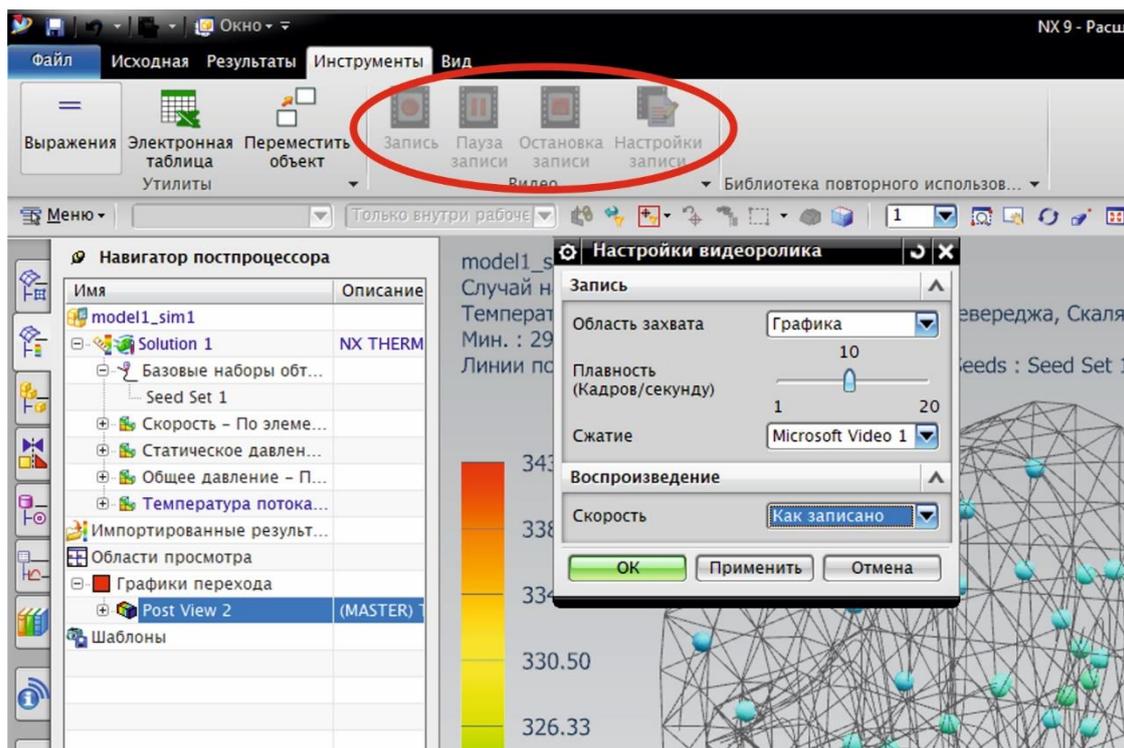


Рис. 1.27. Инструменты создания видеоролика

Начните свой презентационный видеоролик с демонстрации модели (среды течения). Затем, поставив запись на паузу, переместитесь в сеточную модель и продемонстрируйте построенную сетку. Далее в симуляции продемонстрируйте граничные условия и в конце результаты расчетов с анимацией течения потока. Подготовленное видео можно дополнить слайдами презентации с анализом результатов и выводами. При желании можно наложить звук. Видеомонтаж слайдов и звука производится в других программных продуктах, которые есть в свободном доступе в сети Интернет.

Варианты для самостоятельной работы представлены в табл. 1.

Таблица 1

Варианты для самостоятельной работы студентов с Задачей 1

| Вариант | Параметр | | | |
|---------|-------------|-----------|-------------|-----------|
| | V_1 , м/с | T_1 , К | V_2 , м/с | T_2 , К |
| 1 | 1,4 | 273 | 2,1 | 345 |
| 2 | 2,5 | 273 | 1,5 | 355 |
| 3 | 3,8 | 273 | 1,2 | 365 |
| 4 | 4,5 | 283 | 1,6 | 345 |
| 5 | 2,2 | 295 | 4,5 | 345 |
| 6 | 3,5 | 300 | 4,8 | 345 |

Задача 2

Моделирование потока газов и теплообмена в пространственной модели дымовой трубы.

Постановка задачи

Дымовая труба тепловой электростанции, работающей на природном газе, имеет следующие параметры.

- Высота $H = 50$ м.
- Внутренний диаметр основания $D_1 = 4$ м.
- Внутренний диаметр устья $D_2 = 2$ м.
- Толщина стенки у основания $\delta_1 = 500$ мм.
- Толщина стенки у устья $\delta_2 = 300$ мм.
- Материал – бетон,
 - плотность – 2255 кг/м^3 ,
 - теплопроводность – $1,51 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$.

Дымовые газы моделировать влажным воздухом.

- Расход $V = 20 \text{ м}^3/\text{с}$,
- температура $t_{\text{дг}} = 100 \text{ }^\circ\text{C}$,
- влагосодержание $d = 0,15 \text{ кг/кг.с.г}$ (килограмм на килограмм сухих газов), температура точки росы водяных паров $56 \text{ }^\circ\text{C}$.

Труба установлена на открытом пространстве. Провести расчет теплообмена и течения воздуха в устоявшемся режиме.

- Температура окружающей среды $t_{\text{в}} = -30 \text{ }^\circ\text{C}$.
- Скорость ветра $w = 5 \text{ м/с}$.

В результате отобразить:

- температурное поле поверхности трубы,
- температурное поле среды в продольном среднем сечении трубы по направлению ветра,
- поле относительной влажности среды в поперечном сечении трубы около ее основания,
- векторное поле скорости в этом сечении трубы,
- линии потока воздуха в трубе и на выходе из нее.

Проанализировать полученные результаты. Сделать необходимые выводы.

Методические указания к решению

1. Создайте геометрию трубы и среды в программном модуле «**Моделирование**». Стройте модель в правильной ориентации, направление оси Z указывает вверх.

Полезные советы. Для построения геометрии трубы создайте эскиз в одной из вертикальных плоскостей (рис. 2.1). Штрих-пунктиром обозначены вспомогательные линии. Выполните вращение незамкнутого контура вокруг вертикальной оси, чтобы получилась поверхность, а не тело (рис. 2.1).

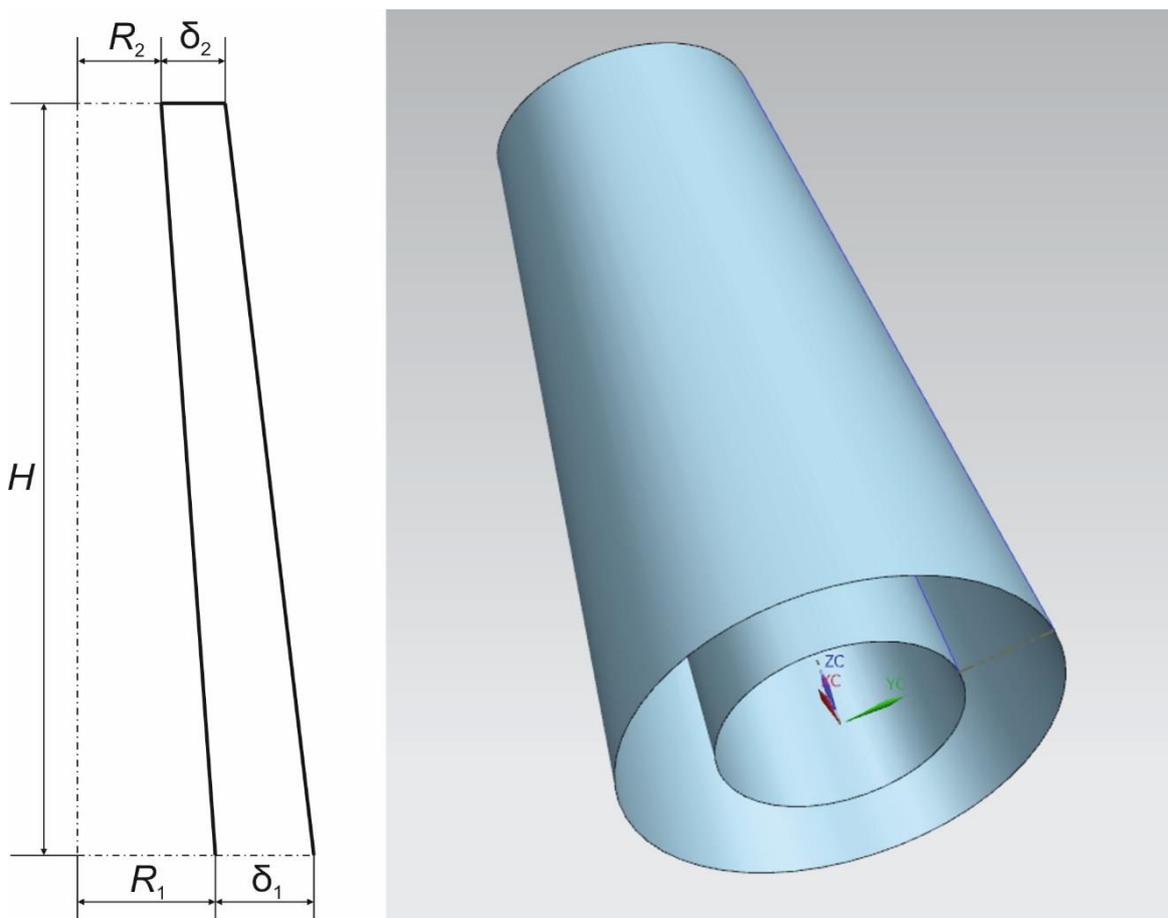


Рис. 2.1. Построение геометрии трубы

Для построения геометрии среды создайте эскиз в горизонтальной плоскости основания трубы. Постройте прямоугольник охватывающий основание (рис. 2.2). Сделайте его вытягивание на расстояние выше трубы, при этом Пункт «**Булевы операции**» должен быть установлен в положение «**Нет**» (рис. 2.2). Чтобы видеть контуры трубы внутри среды переведите режим отображения модели в «**Статический каркасный**».

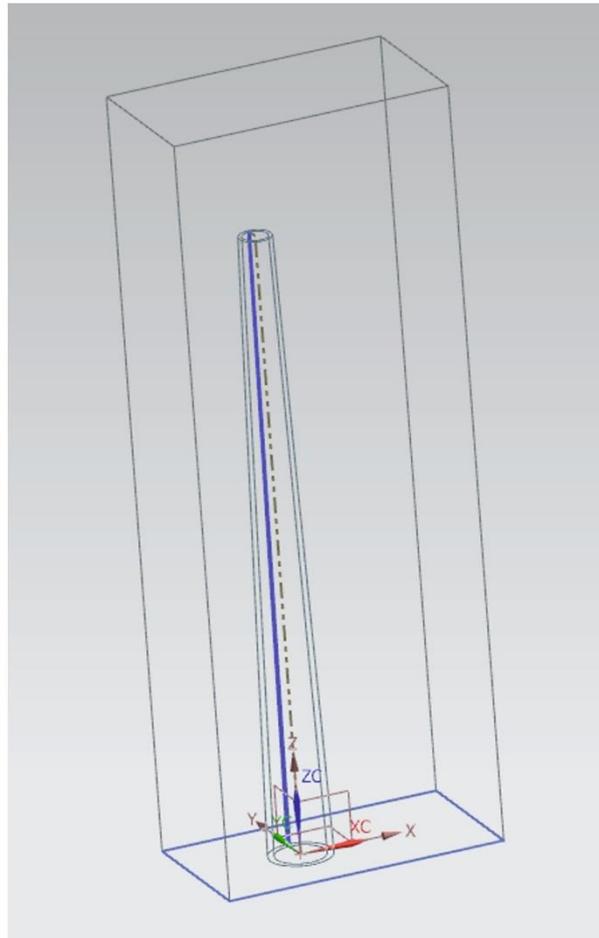
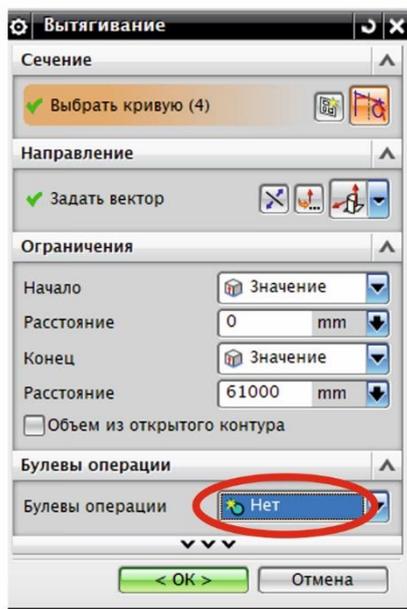
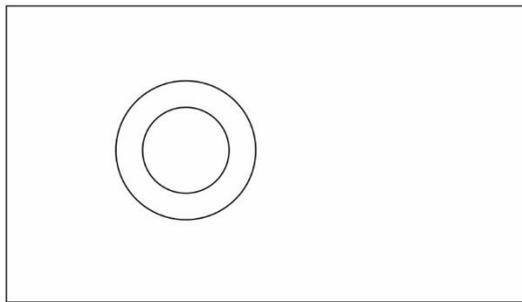


Рис. 2.2. Построение геометрии среды

Теперь необходимо разделить построенный параллелепипед поверхностью трубы на два тела: твердая труба и газообразная среда (рис. 2.3). Проконтролируйте, чтобы в итоге было два отдельных тела. Сохраните модель в отдельной папке.

2. Перейдите в оболочку программного модуля (рис. 1.2) «**Расширенная симуляция**». Закладка панели инструментов «**Файл**» – Пункт «**Расширенная симуляция**».

3. Создайте конечно-элементную модель и симуляцию аналогично заданию 1. Закладка панели инструментов «**Исходная**» – «**Новая КЭ модель и симуляция**». В окне настроек «**Новая КЭ модель и симуляция**» выберите «**Решатель**» – «**NX THERMAL / FLOW**», «**Тип анализа**» – «**Coupled Thermal-Flow**». Нажмите «**Ок**». В окне настроек «**Решение**» выберите «**Решатель**» – «**NX THERMAL / FLOW**», «**Тип анализа**» – «**Coupled Thermal-Flow**», «**Тип решения**» – «**Advanced Thermal-Flow**». Проверьте направление силы тяжести (указано желтой стрелкой на вашей модели) и поменяйте при необходимости.

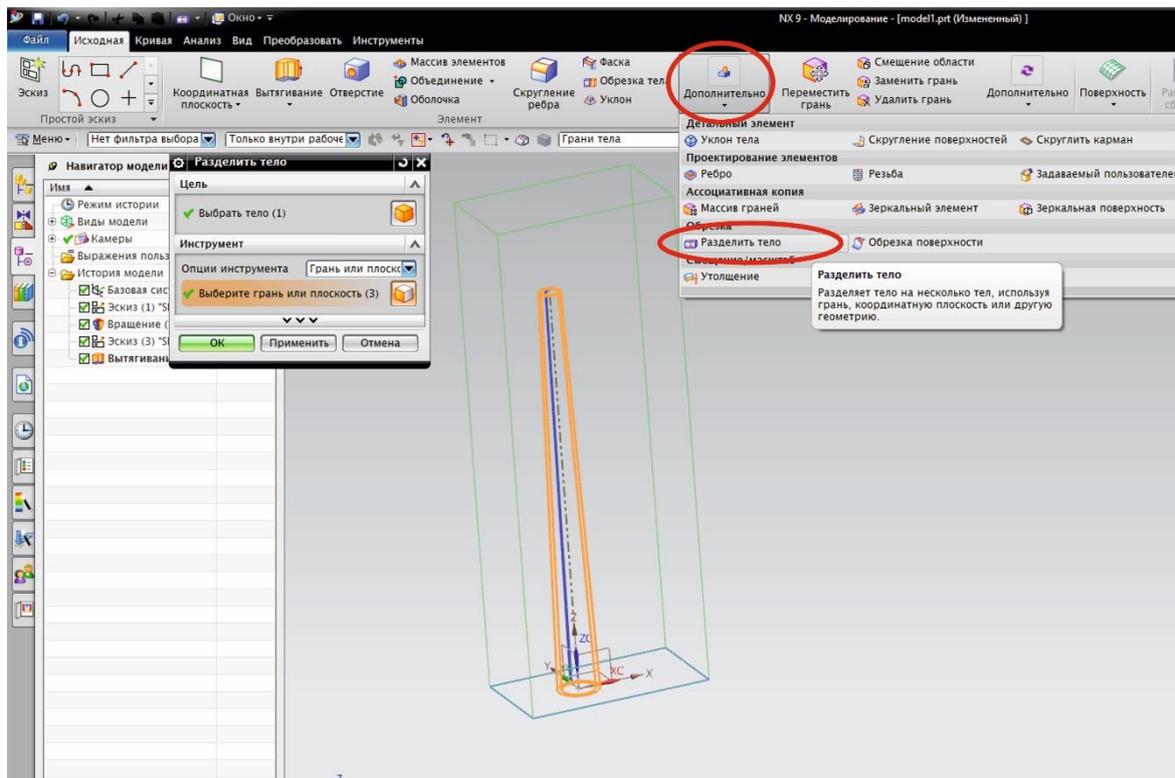


Рис. 2.3. Разделение геометрии трубы и среды

Важно! В отличие от настроек решателя в Задаче 1 включите отображение влажности в результатах расчета. На вкладке «**Параметры результатов**» включите в группе «**3D поток**» пункт «**Влажность и смесь**» (рис. 2.4). Нажмите «**Ок**».

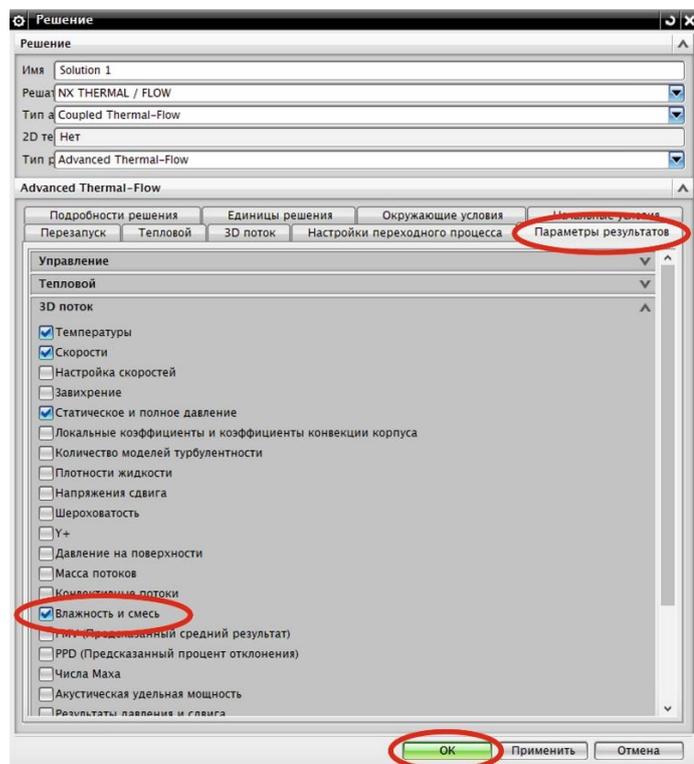


Рис. 2.4. Настройки решения

4. Постройте тетраэдральную сетку сразу для двух тел. Закладка панели инструментов «Исходная» – «3D четырехгранный». В открывшемся окне настроек «3D тетраэдральная сетка» выберите в качестве тела всю вашу модель. В свойствах элемента укажите тип «TET4» или «TET10» (с дополнительными точками расчета на серединах ребер тетраэдра). Задайте размер элемента ориентируясь на рекомендуемый по кнопке «Автоматический размер элемента». Нажмите «Ок».

Дождитесь конца построения сетки. При правильном построении должны появиться две сетки в одном коллекторе дерева окна «Навигатор симуляции» – «модель_fem1.fem» – «3D Коллекторы» – «Solid1» (рис. 2.5).

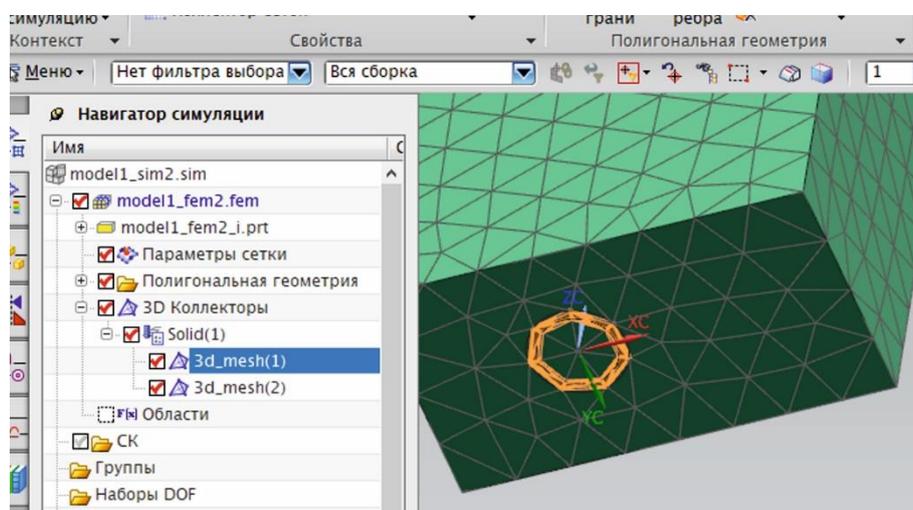


Рис. 2.5. Результат построения сеток

5. Задайте материал для каждой построенной сетки. Закладка панели инструментов «Исходная» – «Дополнительно (группа Свойства)» – «Назначить материалы». В открывшемся окне настроек «Назначить материалы» выберите в качестве тела сетку среды. В Библиотеке материалов выберите воздух «Air_Temp-dependent_Gas» и нажмите «Применить».

Затем выберите сетку трубы (рис. 2.5). В Библиотеке материалов отсутствует бетон, указанный в задании, необходимо его создать. В окне «Назначить материалы» нажмите кнопку «Создать» (рис. 2.6). В открывшемся окне «Изотропный материал» задайте его имя *Concrete* (бетон), плотность и теплопроводность на вкладке «Тепловой/электрический» (рис. 2.6). Проследите за правильностью выбранных единиц измерения! Нажмите «Ок».

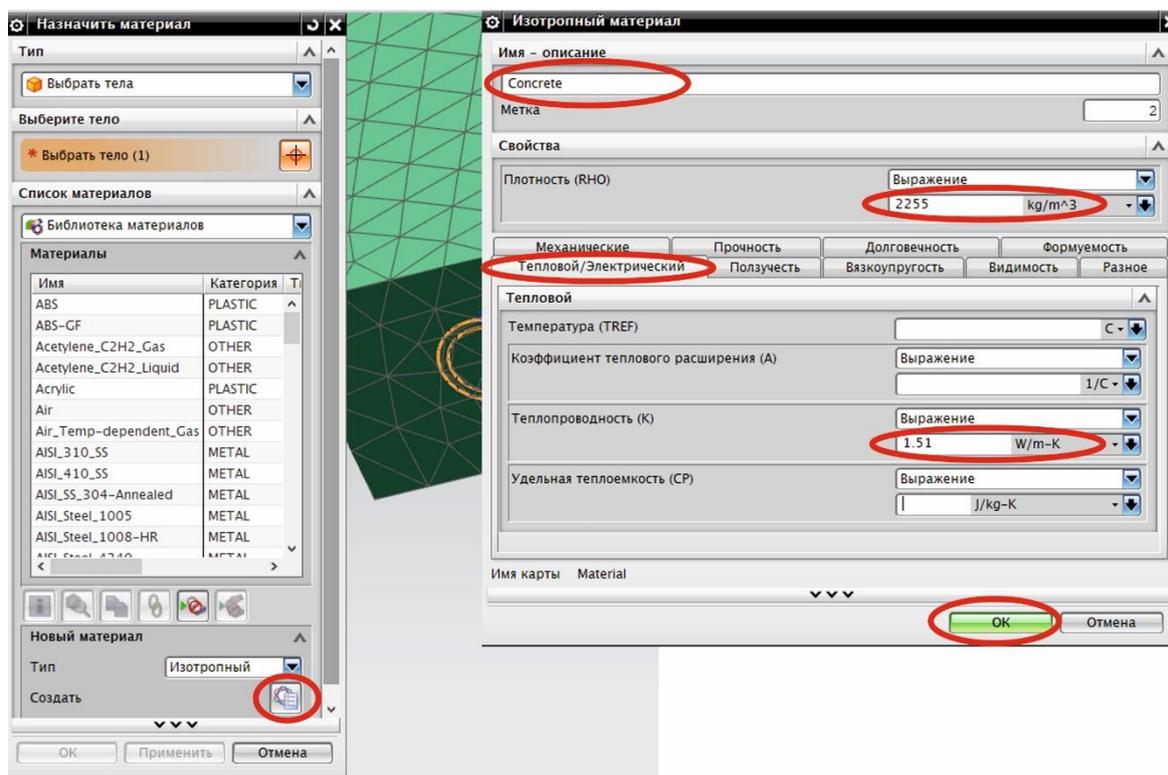


Рис. 2.6. Создание нового материала

В окне «**Назначить материалы**» появится новый локальный материал «**Concrete**». Но выбран для сетки трубы. Нажмите «**Ок**».

6. Переходите к симуляции. Закладка панели инструментов «**Исходная**» – «**Активировать симуляцию**» или двойной клик по файлу симуляции (*sim*) в окне «**Вид файла симуляции**».

7. Задайте граничные условия первого входящего потока – внешнего потока воздуха, облегающего трубу (рис. 2.7). Закладка панели инструментов «**Исходная**» – «**Тип объекта симуляции**» – «**Граничные условия потока**». В открывшемся окне настроек «**Граничные условия потока**» выберите тип «**Входной поток**», выберите грань куда входит поток. В группе «**Величина**» задайте скорость ветра w в м/с. Единицы измерения нужно перевести в соответствующий вид. Нажмите в группе «**Внешние условия**» кнопку справа «**Создание объекта моделирования**». В окне «**External Conditions 1**» установите свойство «**Температура и влажность**» – «**Задать**». Задайте значение температуры наружного воздуха t_B в нужной размерности и относительную влажность 40%. Нажмите «**Ок**».

8. Задайте граничные условия второго входящего потока – дымовых газов, моделируемых влажным воздухом (рис. 2.7). Закладка панели инструментов «**Исходная**» – «**Тип объекта симуляции**» – «**Граничные**

условия потока». В окне «**Граничные условия потока**» выберите тип «**Входной поток**», выберите область куда входит поток дымовых газов. В группе «**Величина**» задайте объемный расход V в $\text{м}^3/\text{с}$. Единицы измерения нужно перевести в соответствующий вид. Нажмите в группе «**Внешние условия**» кнопку справа «**Создание объекта моделирования**». В окне «**External Conditions 2**» установите свойство «**Температура и влажность**» – «**Задать**». Задайте значение температуры дымовых газов $t_{\text{дг}}$ в нужной размерности и «**Специальную**» влажность «**Отношение массы водяного пара к массе сухого воздуха**» 0,15. Нажмите «**Ок**».

9. Задайте граничные условия для выходного потока. Закладка панели инструментов «**Исходная**» – «**Тип объекта симуляции**» – «**Граничные условия потока**». В окне «**Граничные условия потока**» выберите тип «**Открытие**» и выберите две грани воздушной среды: верхнюю и противоположную входящему потоку ветра (рис. 2.7). Нажмите «**Ок**». Открытые грани помечены квадратиками.

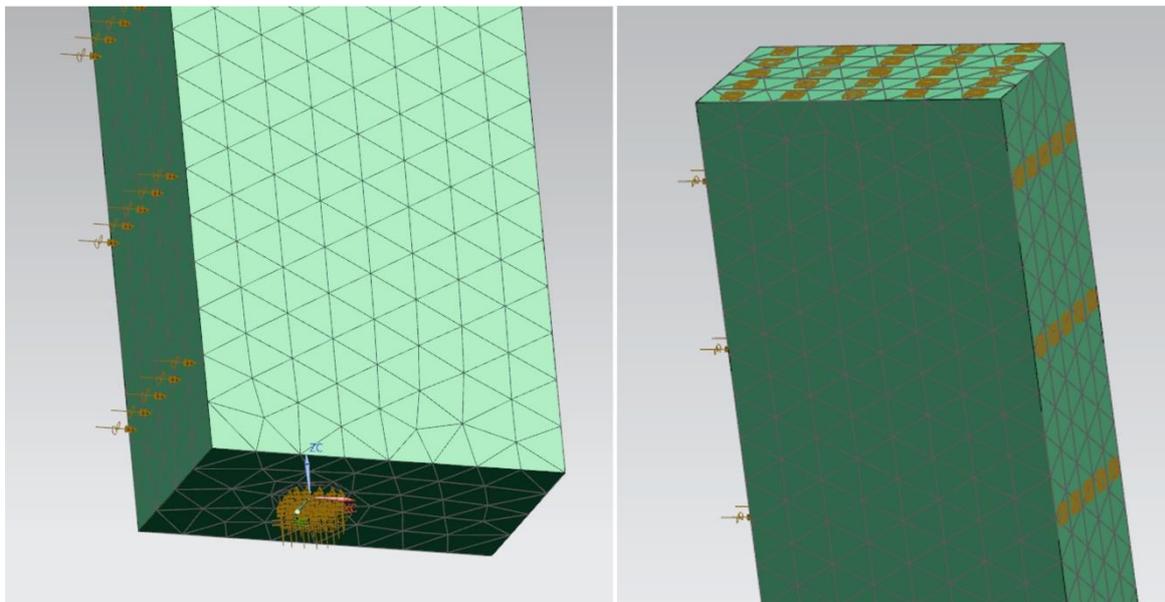


Рис. 2.7. Отображение граничных условий

Постановка задачи закончена, переходите к расчету.

10. Запустите расчет. Закладка панели инструментов «**Исходная**» – «**Решить**». Нажмите «**Ок**» в появившемся окне «**Решить**».

Расчет занимает достаточно много времени. Во время процесса в окне «**Solution Monitor**» отслеживайте сходимость процесса с помощью графиков нажав кнопку «**Graph**» – «**Convergence**» (рис. 2.8). Процесс расчета закончится, когда графики схождения всех параметров пересекут

линию заданной погрешности. Если графики не имеют такой тенденции в течение длительного времени, то граничные условия заданы не корректно. Остановите процесс, проверьте постановку задачи и запустите расчет заново.

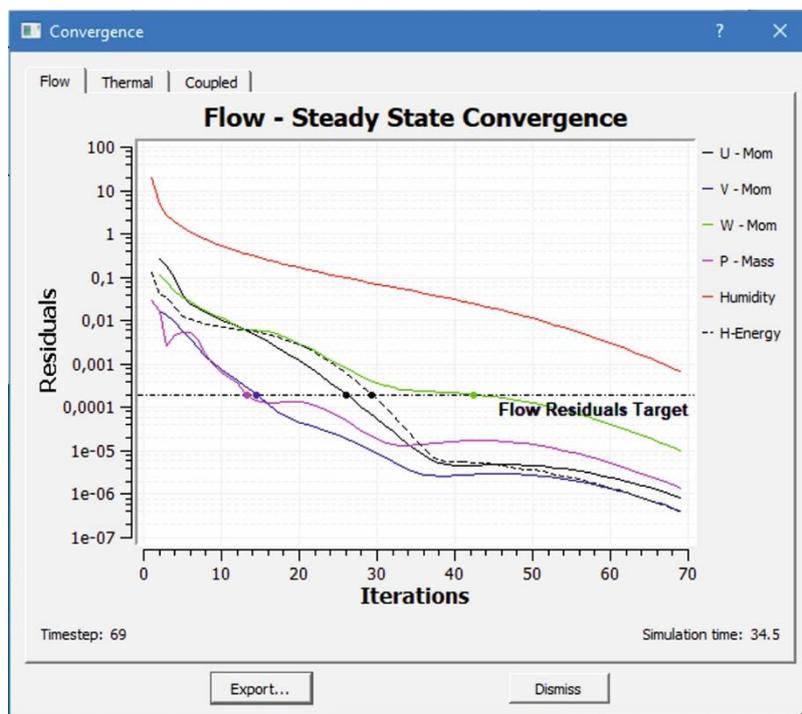


Рис. 2.8. Успешное завершение расчета

11. По окончании в окне «**Review Results**» нажмите кнопку «**Yes**» и закройте все окна.
12. Откройте просмотр результатов двойным щелчком на пункте «**Результаты**» в дереве – «**Solution 1**» окна «**Навигатор симуляции**». Отобразится окно «**Навигатор постпроцессора**».

Просмотр, анализ и визуализация результатов расчета. Переходим к формированию ответов на конкретно заданные вопросы в поставке задачи.

13. Для отображения температурного поля поверхности трубы нажмите пункт «**Температура – По узлам**» в окне «**Навигатор постпроцессора**». Будет отображаться температурное поле только твердого тела – трубы (рис. 2.9, а). Проанализируйте распределение температур.
14. Для отображения температурного поля среды в продольном среднем сечении трубы по направлению ветра нажмите пункт «**Температура потока**» в окне «**Навигатор постпроцессора**». В окне «**Вид постпроцессора**» установите пункт «**Показать на**» – «**Секущая плоскость**». В окне

«*Секущая плоскость*» выберите нужную ориентацию плоскости и установите Сторону отсечения – «*Оба*». Проанализируйте распределение температур (рис. 2.9, б).

15. Для отображения поля относительной влажности среды в продольном среднем сечении трубы по направлению ветра нажмите пункт «*Относительная влажность*» в окне «*Навигатор постпроцессора*». Проанализируйте распределение поля относительной влажности среды (рис. 2.9, в).

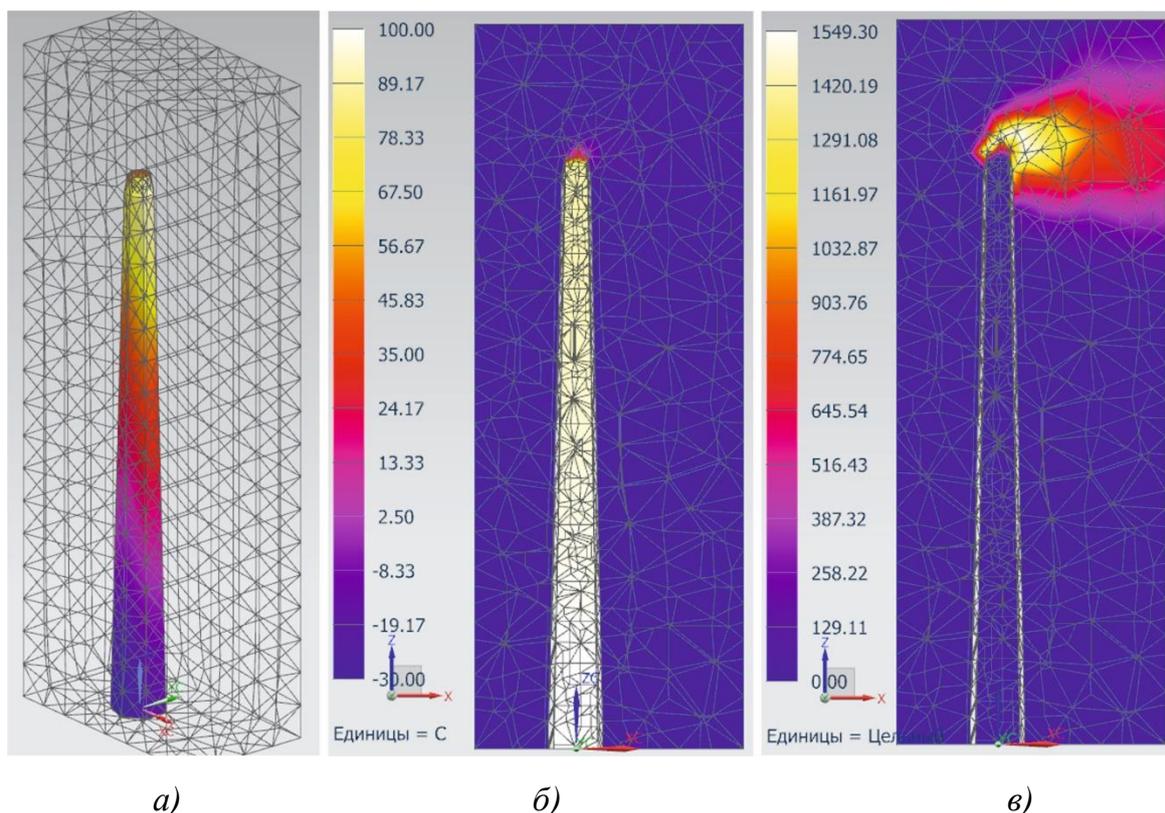


Рис. 2.9. Результаты расчета: а) температурное поле трубы; б) температура потока среды; в) относительная влажность среды.

16. Для отображения векторного поля скорости в продольном среднем сечении трубы по направлению ветра нажмите пункт «*Скорость*» в окне «*Навигатор постпроцессора*». В окне «*Вид постпроцессора*» поменяйте пункт «*Сглаживание*» на «*Стрелки*». Нажмите кнопку «*Результат...*», в окне «*Отрисовка*» измените отображаемые единицы измерения на м/с, настройте размер стрелок (рис. 2.10, а).

17. Для отображения линий потока воздуха вокруг трубы, в трубе и на выходе из нее в окне «*Навигатор постпроцессора*» поменяйте пункт «*Секущая плоскость*» на «*Объем*» и пункт «*Стрелки*» на «*Линии потока*», нажмите кнопку «*Опции*». В окне «*Параметры линий потока*»

нажмите кнопку «Создать». В окне «Базовый набор» аналогично рекомендациям к Задаче 1 создайте набор линий потока нажатием левой кнопки мыши на поверхностях модели, где определены входные потоки. Нажмите «Ок». В окне «Вид постпроцессора» нажмите кнопку «Результат...», в окне «Отрисовка» измените вверху пункт «Скорость» на «Температура потока» и установите Стиль отображения «Труба». Нажмите «Ок» (рис. 2.10, б). Цвет линий потока теперь соответствует палитре температуры.

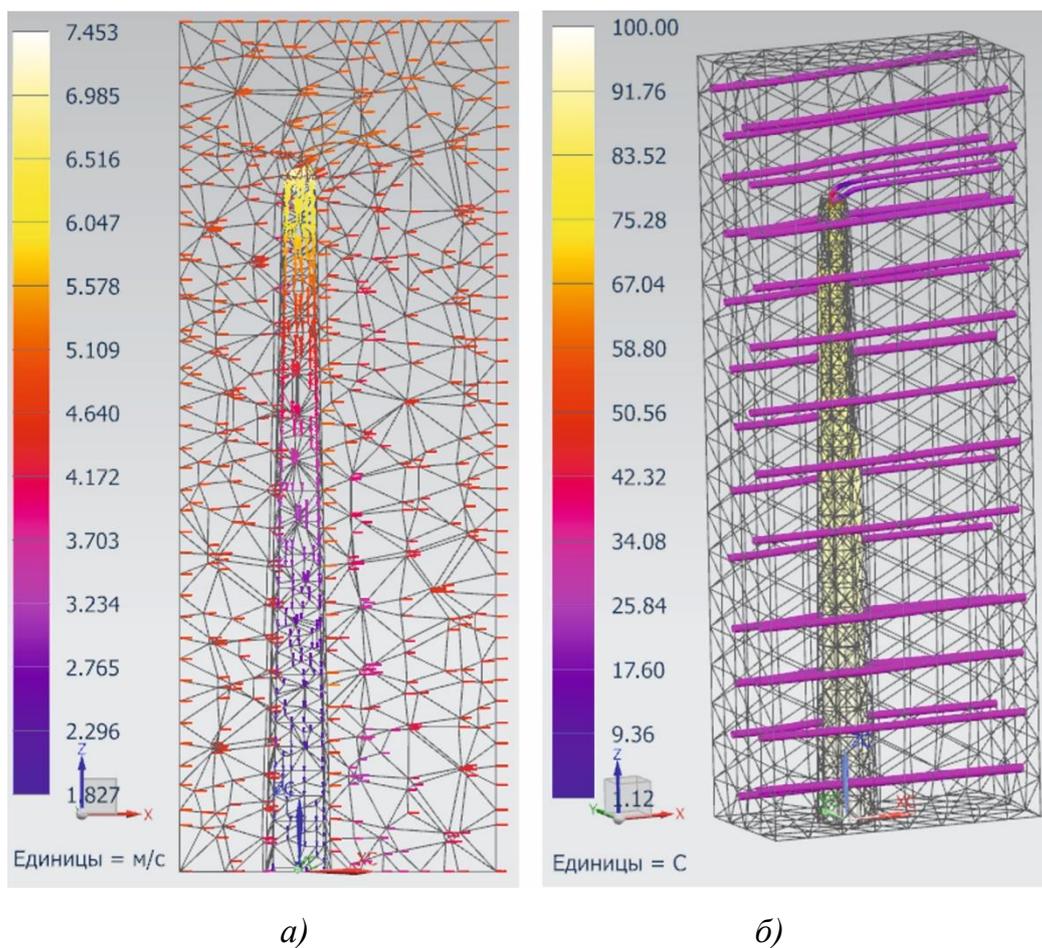


Рис. 2.10. Результаты расчета: а) векторное поле среды; б) линии потока среды.

Проанализируйте результаты и сделайте выводы по всем исследуемым параметрам. Будет ли происходить конденсация водяных паров в дымовой трубе на ее стенках? Обоснуйте свой ответ.

Варианты для самостоятельной работы представлены в табл. 2.

Таблица 2

Варианты для самостоятельной работы студентов с Задачей 2

| Вариант | Параметр | | | | | | |
|---------|----------|-----------|-----------|-------------------------|---------------|-----------|------------|
| | H , м | D_1 , м | D_2 , м | V , м ³ /с | $t_{дг}$, °С | w , м/с | t_B , °С |
| 1 | 50 | 4 | 2,4 | 20 | 100 | 1 | -35 |
| 2 | 50 | 4 | 2,2 | 18 | 120 | 3,5 | -25 |
| 3 | 45 | 3 | 1,8 | 20 | 90 | 2,2 | -20 |
| 4 | 45 | 3 | 1,8 | 16 | 80 | 1,6 | -15 |
| 5 | 55 | 4 | 2,4 | 25 | 110 | 3,5 | -30 |
| 6 | 55 | 4 | 2,4 | 20 | 120 | 3,8 | -25 |
| 7 | 40 | 3 | 1,6 | 16 | 90 | 2 | -15 |
| 8 | 40 | 3 | 1,6 | 14 | 80 | 3 | -20 |
| 9 | 60 | 5 | 2,6 | 20 | 110 | 1,8 | -35 |
| 10 | 60 | 5 | 2,6 | 30 | 95 | 2 | -30 |

Задача 3

Моделирование сложного теплообмена в пространственной модели отапливаемого помещения.

Постановка задачи

Комната жилого помещения находится на среднем этаже многоэтажного здания и имеет одну внешнюю стенку (меньшую) с окном посередине и нагревательным прибором под ним – батареей. Вторая такая же батарея установлена на противоположной стене симметрично.

Размеры комнаты:

- ширина $K_1 = 2$ м,
- длина $K_2 = 3$ м,
- высота $K_3 = 2,7$ м.

Окно смоделировать в виде прямоугольного выдавливания на 100 мм наружу комнаты. Размеры:

- ширина $W_1 = 1,4$ м,
- высота $W_2 = 1$ м,
- расстояние от потолка 0,3 м.

Батареи смоделировать в виде прямоугольного выдавливания на 100 мм внутрь комнаты. Размеры:

- ширина $B_1 = 1$ м,
- высота $B_2 = 0,5$ м,
- расстояние от пола $0,3$ м.

Все стенки являются адиабатическими, за исключением:

- внешней стены, теплотери которой составляют $q = 20$ Вт/(м²·К),
- поверхности окна с температурой $T_1 = 0$ °С,
- поверхности одной из батарей $T_2 = 90$ °С.

Провести расчет течения воздуха в замкнутом помещении, вызванного свободной конвекцией в устоявшемся режиме, при выключенной батарее под окном и включенной на противоположной стене. Учесть влияние силы тяжести.

В результате отобразить:

- векторное поле скорости в вертикальном продольном среднем сечении комнаты,
- цветовые поля скорости в вертикальном поперечном среднем сечении и горизонтальном среднем сечении комнаты,
- температурное поле среды в трех средних сечениях комнаты,
- линии потока в цветовой палитре температур в анализируемом объекте, сделать анимацию движения пузырьков.

Вернуться к исходному заданию граничных условий задачи. Выключить батарею. Включить батарею под окном. Повторить расчеты. Сравнить результаты соответствующих параметров при разных включенных батареях. Сделать выводы.

Методические указания к решению

1. Создайте геометрию воздушной среды комнаты в программном модуле «**Моделирование**». Стройте модель в правильной ориентации, направление оси Z указывает вверх.

Полезные советы. При построении вытягивания для окна должны быть установлены «*Булевы операции*» – «*Объединение*». При построении вытягиваний для обеих батарей должны быть установлены «*Булевы операции*» – «*Вычитание*». Должно быть единое тело среды.

2. Перейдите в оболочку программного модуля «**Расширенная симуляция**». Закладка панели инструментов «**Файл**» – Пункт «**Расширенная симуляция**».

3. Создайте конечно-элементную модель и симуляцию. Закладка панели инструментов «Исходная» – «Новая КЭ модель и симуляция». В окне настроек «Новая КЭ модель и симуляция» выберите «Решатель» – «NX THERMAL / FLOW», «Тип анализа» – «Coupled Thermal-Flow». Нажмите «Ок». В окне настроек «Решение» выберите «Решатель» – «NX THERMAL / FLOW», «Тип анализа» – «Coupled Thermal-Flow», «Тип решения» – «Advanced Thermal-Flow» (рис. 3.1).

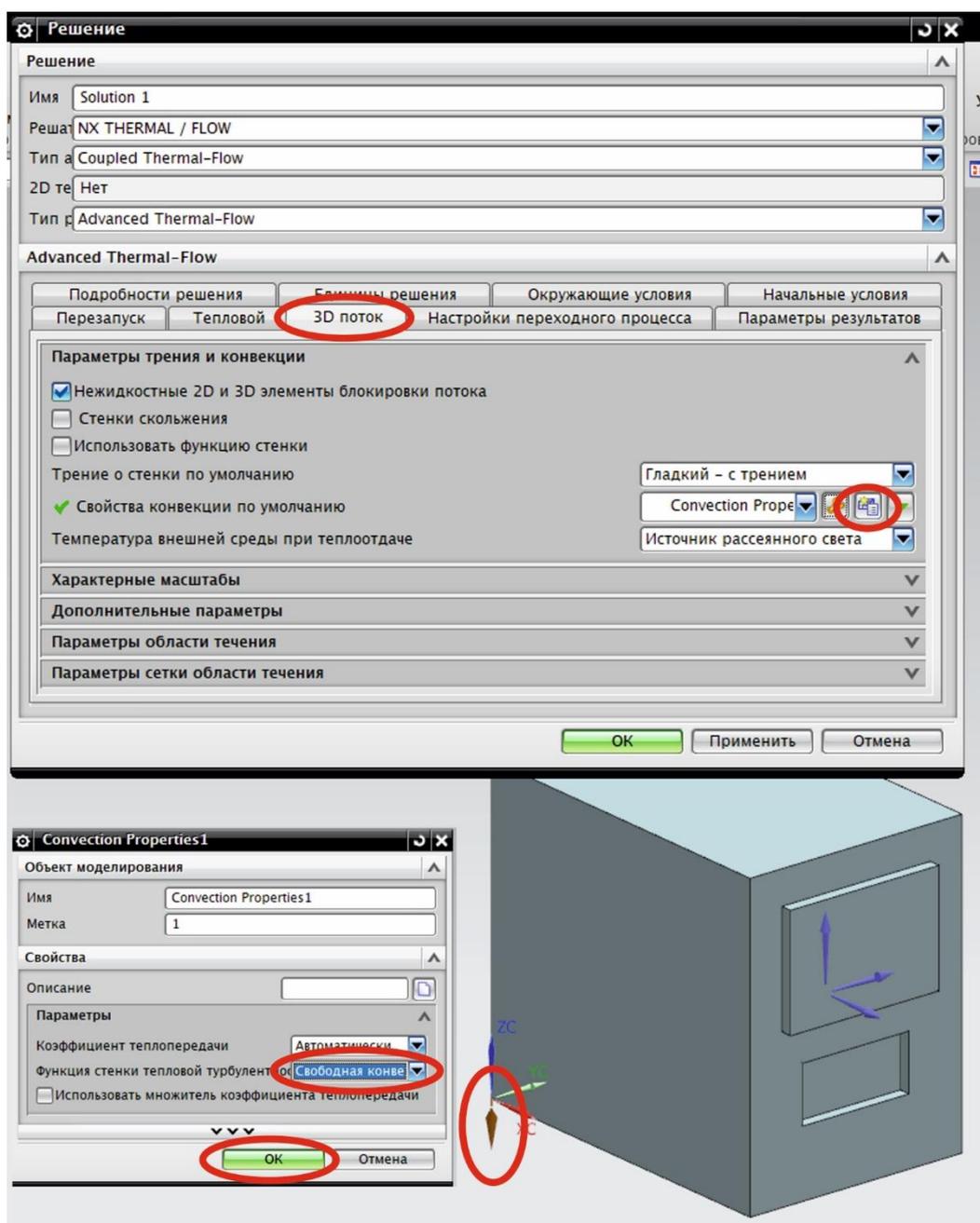


Рис. 3.1. Настройки решения

Важно! В отличие от настроек решателя в Задаче 1 включите Свойства конвекции по умолчанию. На вкладке «**3D поток**» в группе «**Параметры трения и конвекции**» нажмите кнопку «**Создание объекта моделирования**» (рис. 3.1). В открывшемся окне «**Convection Properties 1**» в группе «**Свойства**» установите пункт «**Функция стенки тепловой турбулентности**» в состояние «**Свободная конвекция**» (рис. 3.1). Нажмите «**Ок**». Проверьте направление силы тяжести (указано желтой стрелкой на вашей модели) и поменяйте при необходимости. Закройте окно настроек «**Решение**» нажатием «**Ок**».

4. Постройте тетраэдральную сетку. Закладка панели инструментов «**Исходная**» – «**3D четырехгранный**». В открывшемся окне настроек «**3D тетраэдральная сетка**» выберите в качестве тела всю вашу модель. В свойствах задайте размер элемента меньше, чем рекомендуемый по кнопке «**Автоматический размер элемента**» для большей наглядности результата. Нажмите «**Ок**». Дождитесь конца построения сетки.

5. Задайте материал для построенной сетки. Закладка панели инструментов «**Исходная**» – «**Дополнительно (группа Свойства)**» – «**Назначить материалы**». В открывшемся окне настроек «**Назначить материалы**» выберите в качестве тела всю вашу сетку. В Библиотеке материалов выберите воздух «**Air_Temp-dependent_Gas**» и нажмите «**Ок**».

6. Переходите к симуляции. Закладка панели инструментов «**Исходная**» – «**Активировать симуляцию**» или двойной клик по файлу симуляции (*sim*) в окне «**Вид файла симуляции**».

7. Задайте граничные условия для окна и батареи. Этой граничные условия первого рода – постоянная температура грани. Закладка панели инструментов «**Исходная**» – «**Тип ограничения**» – «**Температура**». В открывшемся окне «**Температура**» выберите в качестве объекта грань окна и задайте температуру T_1 (рис. 3.2). Аналогично с противоположной стороны задайте температуру батареи T_2 (рис. 3.3).

8. Задайте граничные условия для внешней стенки. Этой граничные условия второго рода – тепловой поток (теплопотери). Закладка панели инструментов «**Исходная**» – «**Тип ограничения**» – «**Тепловые нагрузки**». В открывшемся окне «**Тепловые нагрузки**» выберите сверху тип «**Тепловой поток**», в качестве объекта грань внешней стенки и задайте тепловой поток q в соответствующей размерности с отрицательным знаком, так как это потери тепла (рис. 3.4).

Постановка задачи закончена, переходите к расчету.

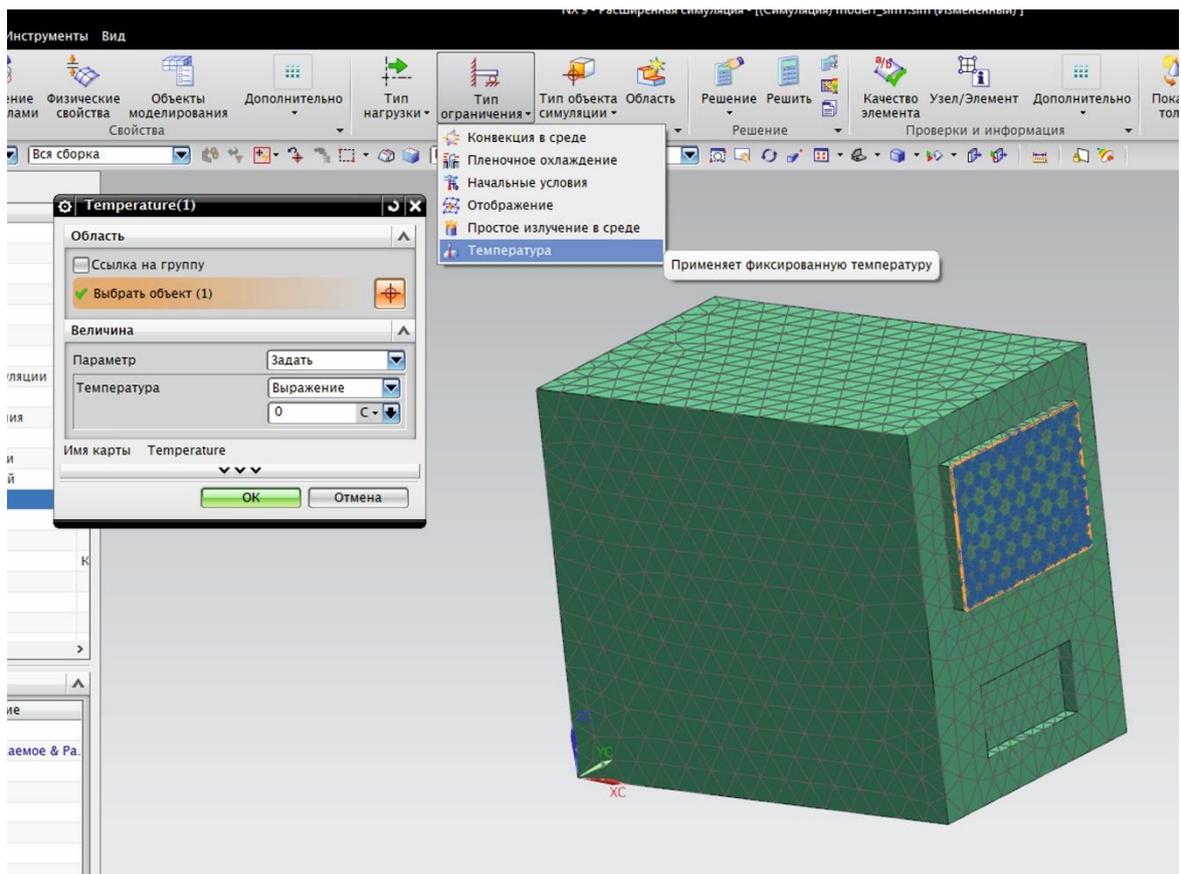


Рис. 3.2. Граничное условие для окна

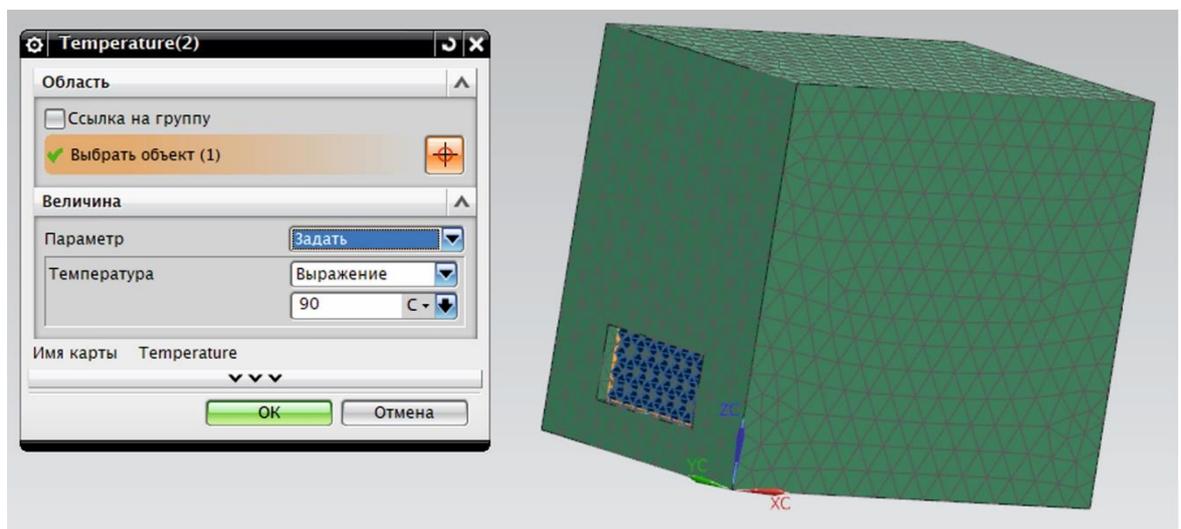


Рис. 3.3. Граничное условие для батареи

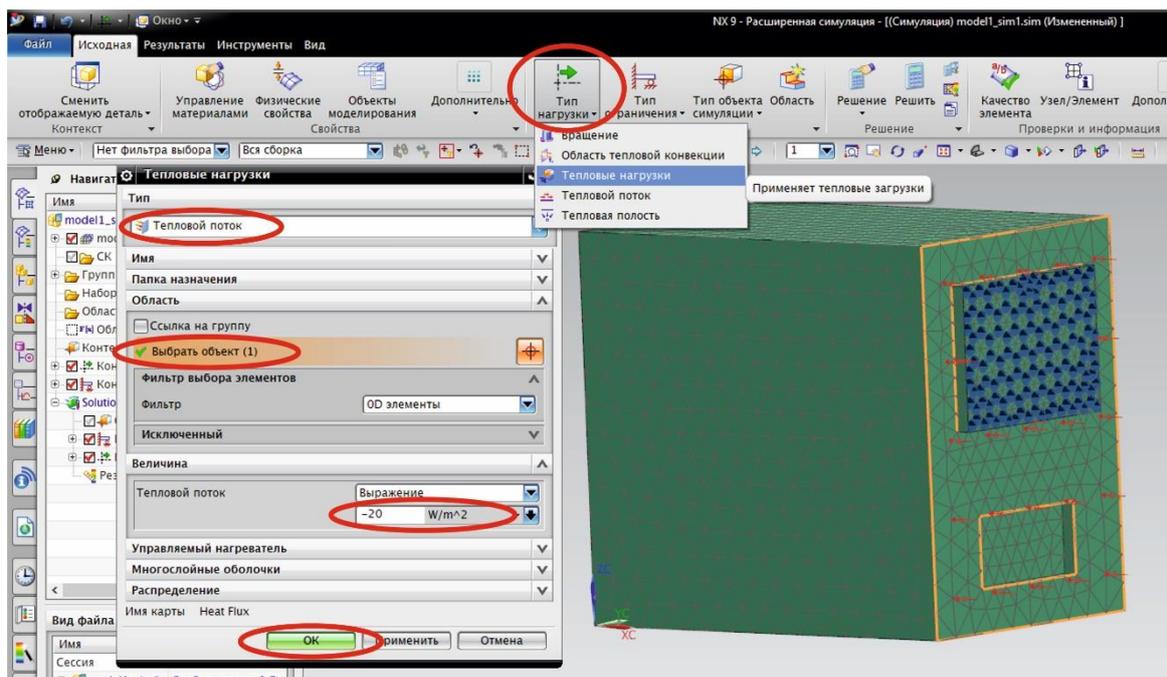


Рис. 3.4. Граничное условие для внешней стенки

9. Запустите расчет. Закладка панели инструментов «Исходная» – «**Решить**». Нажмите «**Ок**» в появившемся окне «**Решить**». Во время процесса в окне «**Solution Monitor**» отслеживайте сходимость процесса с помощью графиков нажав кнопку «**Graph**» – «**Convergence**» (рис. 2.8). По окончании в окне «**Review Results**» нажмите кнопку «**Yes**» и закройте все окна.

10. Откройте просмотр результатов двойным щелчком на пункте «**Результаты**» в дереве – «**Solution 1**» окна «**Навигатор симуляции**». Отобразится окно «**Навигатор постпроцессора**».

Просмотр, анализ и визуализация результатов расчета. Переходим к формированию ответов на поставленные в поставке задачи вопросы.

11. Для отображения векторного поля скорости в вертикальном продольном среднем сечении комнаты нажмите пункт «**Скорость**» в окне «**Навигатор постпроцессора**». В окне «**Вид постпроцессора**» установите пункт «**Показать на**» – «**Секущая плоскость**». Нажмите кнопку «**Опции**». В окне «**Секущая плоскость**» выберите нужную ориентацию плоскости и установите Сторону отсечения – «**Оба**». Нажмите «**Ок**». Установите тип «**Стрелки**». Нажмите кнопку «**Результат...**», в окне «**Отрисовка**» измените отображаемые единицы измерения на м/с, настройте размер стрелок (рис. 3.5, а). Нажмите «**Ок**».

12. Для отображения цветового поля скорости в вертикальном поперечном среднем сечении комнаты в окне «**Вид постпроцессора**» поменяйте тип «**Стрелки**» на «**Ленточный**» и нажмите «**Применить**». В окне «**Секущая плоскость**» выберите нужную ориентацию плоскости. Нажмите «**Ок**» (рис. 3.6, а).

13. Для отображения цветового поля скорости в горизонтальном среднем сечении комнаты в окне «**Секущая плоскость**» выберите нужную ориентацию плоскости (рис. 3.7, а). Нажмите «**Ок**».

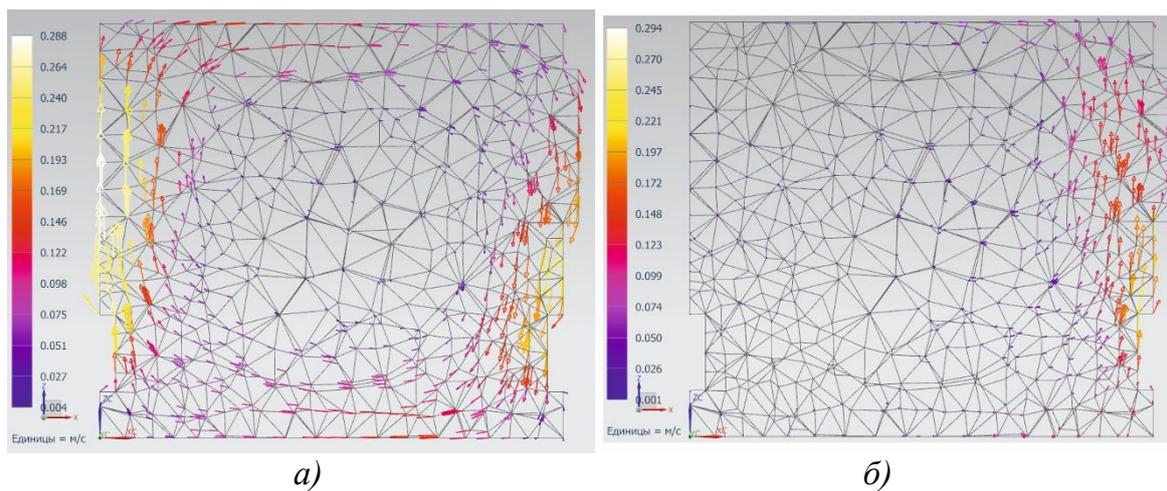
14. Нажмите пункт «**Температура потока**» в окне «**Навигатор постпроцессора**» и отобразите температурное поле среды в трех средних сечениях комнаты, выбирая различные секущие плоскости. Пример температурного поля в вертикальном продольном среднем сечении показан на рис. 3.8, а.

15. Для отображения линий потока сделайте двойной щелчок на пункте «**Скорость**» окна «**Навигатор постпроцессора**». В окне «**Вид постпроцессора**» установите пункт «**Показать на**» в режим «**Секущая плоскость**» и нажмите кнопку «**Опции**». Выберите вертикальную продольную ориентацию плоскости и нажмите «**Ок**». В окне «**Вид постпроцессора**» установите пункт «**Линии потока**» и нажмите кнопку «**Опции**». В окне «**Параметры линий потока**» нажмите кнопку «**Создать**». В окне «**Базовый набор**» создайте набор линий потока нажатием левой кнопки мыши на поверхности секущей плоскости и нажмите «**Ок**». Закройте окно «**Параметры линий потока**» нажатием «**Ок**». В окне «**Вид постпроцессора**» установите пункт «**Показать на**» в режим «**Объем**» и нажмите кнопку «**Применить**». Нажмите кнопку «**Результат...**». В окне «**Отрисовка линий потока**» установите в верхнем выпадающем списке «**Температура потока – По элементам/узлам**» и нажмите «**Ок**».

Линии потока отображены в цветовой палитре температуры потока (рис. 3.9, а).

16. Сделайте анимацию движения пузырьков по линиям потока. В окне «**Вид постпроцессора**» нажмите кнопку «**Результат...**» установите стиль «**Пузырьки**», увеличьте их размер для лучшего отображения и нажмите кнопку «**Ок**». Закройте окно «**Вид постпроцессора**» кнопкой «**Ок**». Запустите анимацию кнопкой «**Воспроизведение**».

Запишите видеоролик движения при помощи средств панели «**Инструменты**».



*Рис. 3.5. Векторное поле скорости в вертикальном продольном сечении:
а) батарея напротив окна; б) батарея под окном*

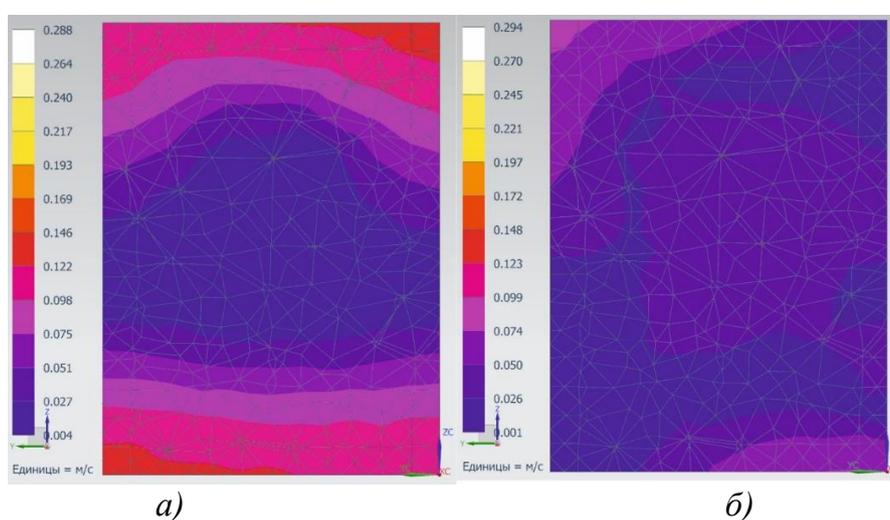


Рис. 3.6. Поле скорости в вертикальном поперечном сечении

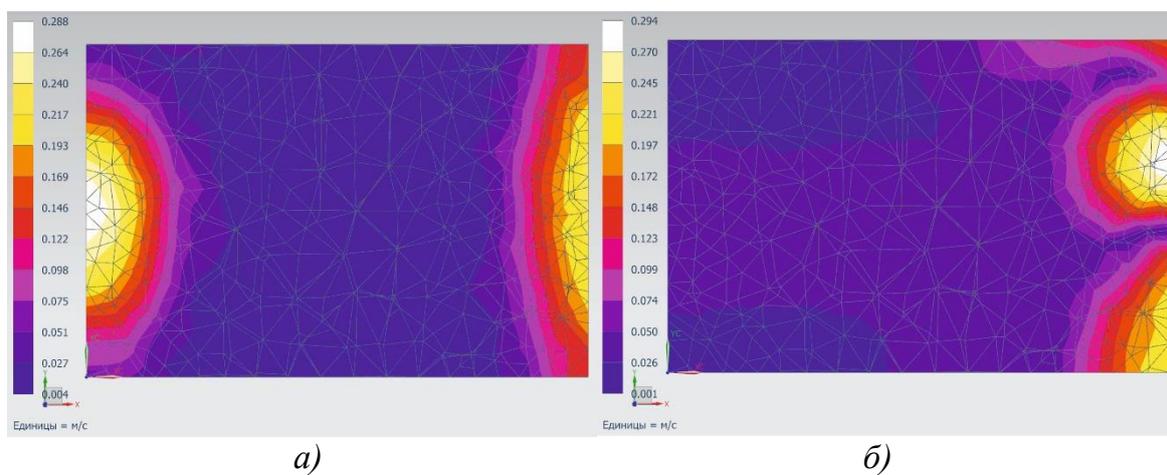


Рис. 3.7. Поле скорости в горизонтальном сечении

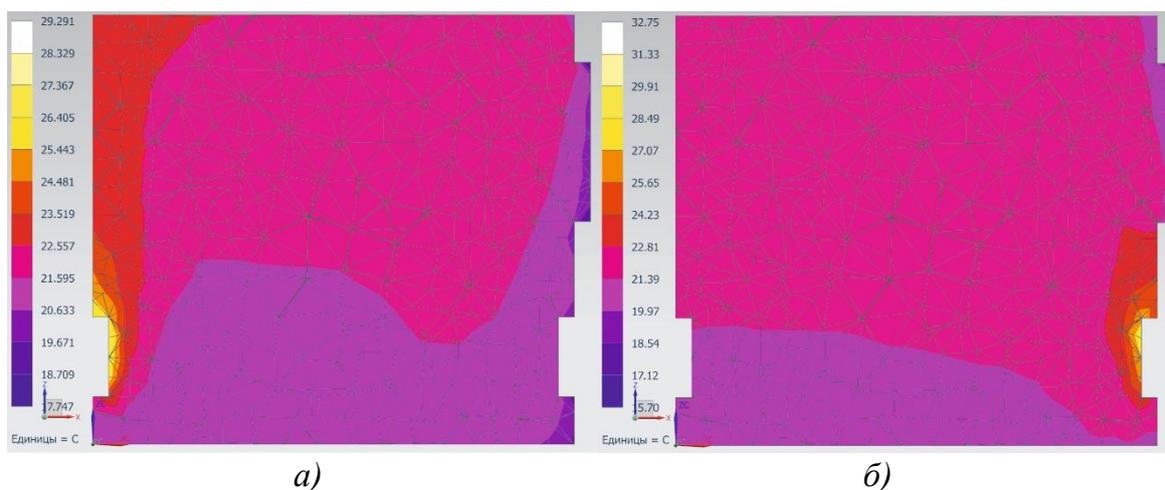


Рис. 3.8. Температурное поле в вертикальном продольном сечении

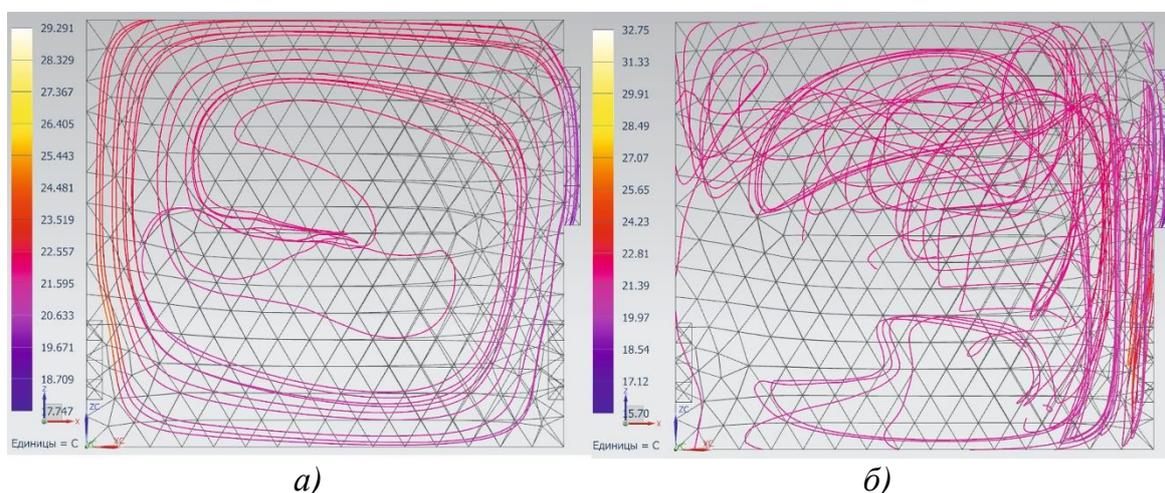


Рис. 3.9. Температурное поле в вертикальном продольном сечении

17. Вернитесь к исходному заданию граничных условий задачи. Кнопка панели инструментов «**Вернуться к исходному**». Выключите батарею напротив окна удалив в дереве окна «**Навигатор симуляции**» соответствующее граничное условие «**Temperature**» (рис. 3.10). Включите батарею под окном. Закладка панели инструментов «**Исходная**» – «**Тип ограничения**» – «**Температура**». В открывшемся окне «**Температура**» выберите в качестве объекта грань батареи под окном и задайте температуру T_2 (рис. 3.10).

18. Повторите расчеты (пункты с 9 по 16).

19. Сравните результаты соответствующих параметров при разных включенных батареях (рис. 3.5–3.9). Сделайте выводы.

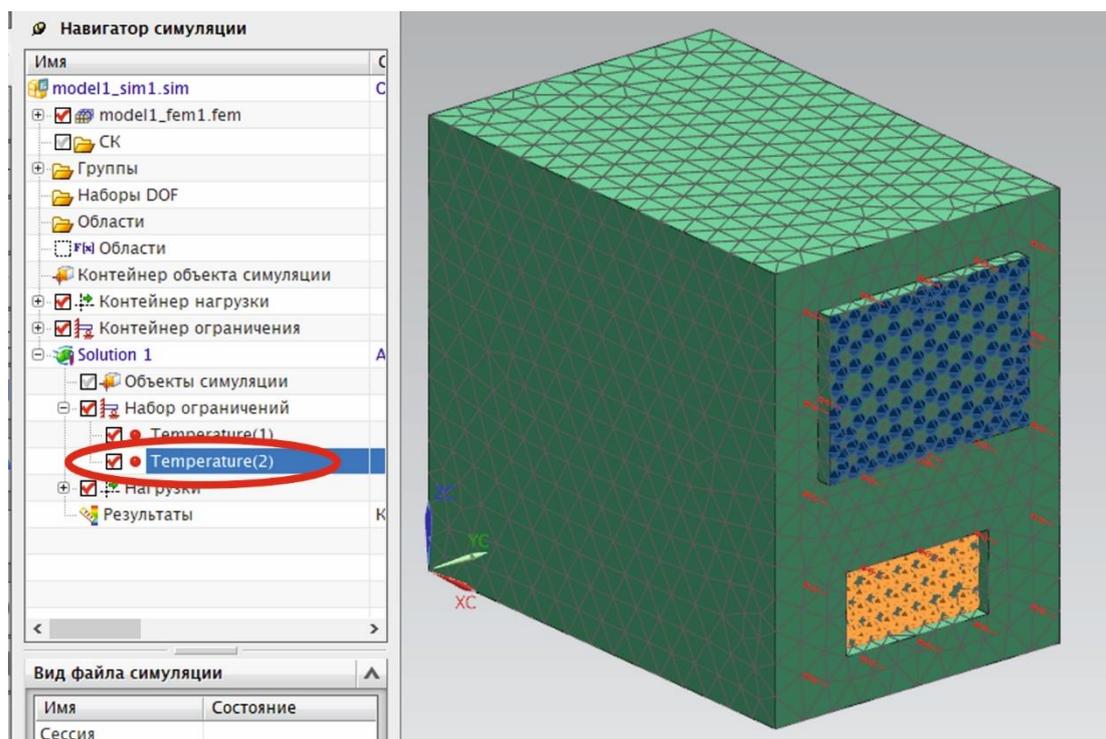


Рис. 3.10. Граничное условие для батареи под окном

Варианты для самостоятельной работы представлены в табл. 3.

Таблица 3

Варианты для самостоятельной работы студентов с Задачей 3

| Вариант | Параметр | | | | | |
|---------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------------------------|
| | K_1 , м | K_2 , м | K_3 , м | T_1 , °C | T_2 , °C | q , Вт/(м ² ·К) |
| 1 | 3 | 4 | 2,7 | 85 | -3 | 15 |
| 2 | 2 | 4 | 2,7 | 85 | -5 | 10 |
| 3 | 2 | 3,5 | 2,7 | 80 | -2 | 12 |
| 4 | 3 | 5 | 2,75 | 90 | -1 | 16 |
| 5 | 4 | 5 | 2,75 | 90 | -3 | 11 |
| 6 | 2,5 | 4 | 2,75 | 70 | -5 | 13 |
| 7 | 2,5 | 3 | 2,8 | 70 | -1 | 14 |
| 8 | 2,5 | 5 | 2,8 | 90 | -2 | 17 |
| 9 | 4 | 6 | 2,8 | 95 | -3 | 9 |
| 10 | 5 | 6 | 2,9 | 95 | 0 | 10 |

Задача 4

Моделирование теплообмена в пространственной модели поверхностного теплообменника типа труба в трубе.

Постановка задачи

Внешняя труба теплообменника:

- длина $L_1 = 1$ м,
- внутренний диаметр $D_1 = 100$ мм.

Входной и выходной патрубки внутренним диаметром 20 мм врезаются во внешнюю трубу на расстоянии 50 мм от разных ее краев. Внутренняя стальная трубка:

- внутренний диаметр $D_2 = 30$ мм,
- толщина стенки $\delta = 3$ мм.

Нагреваемый теплоноситель (вода) входит во входной патрубок внешней трубы

- скорость $w_1 = 0,06$ м/с,
- температура $t_1 = 10$ °С.

Греющий теплоноситель (вода) входит во внутреннюю трубку

- скорость $w_2 = 0,04$ м/с
- температура $t_2 = 90$ °С.

В теплообменнике обеспечен противоток теплоносителей. На выходе обоих теплоносителей использовать граничное условие – outflow (открытие).

Все наружные стенки теплообменника являются адиабатическими.

Провести расчет теплообмена в устоявшемся режиме для противоточного и прямоточного течения теплоносителей.

В результате отобразить:

- температурное поле поверхности теплообмена,
- температурное поле потоков в продольном среднем сечении теплообменника
- контурное поле температуры потоков в поперечном среднем сечении теплообменника,

- линии потока нагреваемого теплоносителя,
- движение пузырьков в температурной цветовой шкале по линиям потока.

Проанализировать полученные результаты и сделать выводы.

Методические указания к решению

1. Создайте геометрию области течения нагреваемой среды, поверхности теплообмена (внутренней трубки) и области течения греющей среды. Это должно быть три тела. Наружная труба не строится. К внешней поверхности области течения нагреваемой среды будет применено по умолчанию адиабатное граничное условие, т.е. труба теплоизолирована.

Полезные советы. При построении всех вытягиваний должны быть установлены «*Булевы операции*» – «*Нет*», кроме вытягиваний при построении входного и выходного патрубка, где «*Булевы операции*» – «*Объединение*» (рис. 4.1).

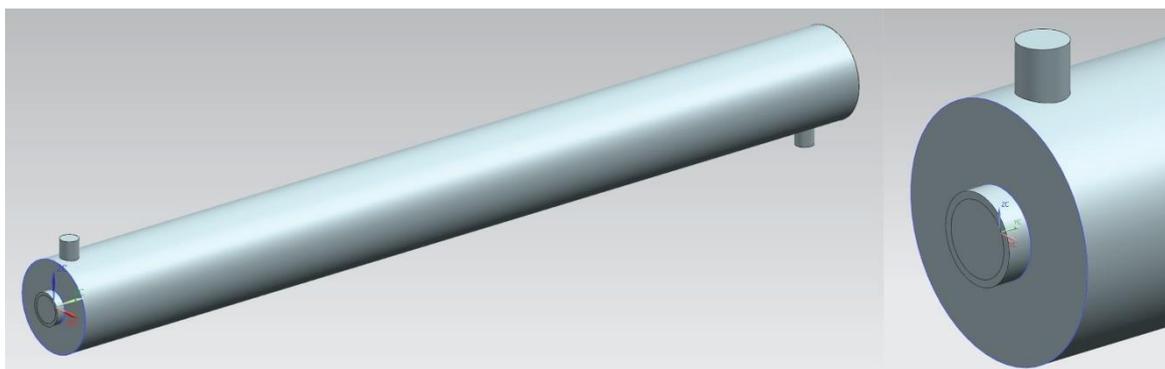


Рис. 4.1. Граничное условие для батареи под окном

2. Перейдите в оболочку программного модуля «**Расширенная симуляция**». Заложка панели инструментов «**Файл**» – Пункт «**Расширенная симуляция**». Создайте конечно-элементную модель и симуляцию. Заложка панели инструментов «**Исходная**» – «**Новая КЭ модель и симуляция**». В окне настроек «**Новая КЭ модель и симуляция**» выберите «**Решатель**» – «**NX THERMAL / FLOW**», «**Тип анализа**» – «**Coupled Thermal-Flow**». Нажмите «**Ок**».

3. Постройте тетраэдральную сетку. Заложка панели инструментов «**Исходная**» – «**3D четырехгранный**». В открывшемся окне настроек «**3D тетраэдральная сетка**» выберите в качестве тела всю вашу модель – 3 тела. В свойствах задайте размер элемента меньше, чем рекомендуемый по кнопке «**Автоматический размер элемента**» для большей

наглядности результата. Нажмите **«Ок»**. Дождитесь конца построения трех сеток.

4. Задайте материал для каждой из сеток. Закладка панели инструментов **«Исходная»** – **«Дополнительно (группа Свойства)»** – **«Назначить материалы»**. В открывшемся окне настроек **«Назначить материалы»** выберите в качестве тела сетку внутренней трубки – поверхности теплообмена. В Библиотеке материалов выберите сталь **«Steel»** и нажмите **«Ок»**. Для двух других сеток аналогично назначьте воду **«Water»**.

5. Переходите к симуляции. Закладка панели инструментов **«Исходная»** – **«Активировать симуляцию»** или двойной клик по файлу симуляции (*sim*) в окне **«Вид файла симуляции»**.

6. Задайте граничные условия входящего потока греющего теплоносителя (рис. 4.2). Закладка панели инструментов **«Исходная»** – **«Тип объекта симуляции»** – **«Граничные условия потока»**. В открывшемся окне настроек **«Граничные условия потока»** выберите тип **«Входной поток»**, выберите грань куда входит поток. В группе **«Величина»** задайте скорость w_2 в м/с. Единицы измерения нужно перевести в соответствующий вид. Нажмите в группе **«Внешние условия»** кнопку справа **«Создание объекта моделирования»**. В окне **«External Conditions 1»** установите свойство **«Температура и влажность»** – **«Задать»**. Задайте значение температуры t_2 . Нажмите **«Ок»**.

7. С противоположной стороны трубки задайте граничные условия для выходного потока (рис. 4.2). Закладка панели инструментов **«Исходная»** – **«Тип объекта симуляции»** – **«Граничные условия потока»**. В окне **«Граничные условия потока»** выберите тип **«Открытие»**. Нажмите **«Ок»**.

8. Задайте граничные условия входящего потока нагреваемого теплоносителя (рис. 4.2). Закладка панели инструментов **«Исходная»** – **«Тип объекта симуляции»** – **«Граничные условия потока»**. В открывшемся окне настроек **«Граничные условия потока»** выберите тип **«Входной поток»**, выберите грань входного патрубка, куда входит поток. В группе **«Величина»** задайте скорость w_1 в м/с. Нажмите в группе **«Внешние условия»** кнопку справа **«Создание объекта моделирования»**. В окне **«External Conditions 2»** установите свойство **«Температура и влажность»** – **«Задать»**. Задайте значение температуры t_1 . Нажмите **«Ок»**.

9. С противоположной стороны для выходного патрубка задайте граничные условия для выходного потока (рис. 4.2). Закладка панели инструментов **«Исходная»** – **«Тип объекта симуляции»** – **«Граничные условия потока»**. В окне **«Граничные условия потока»** выберите тип **«Открытие»**. Нажмите **«Ок»**.

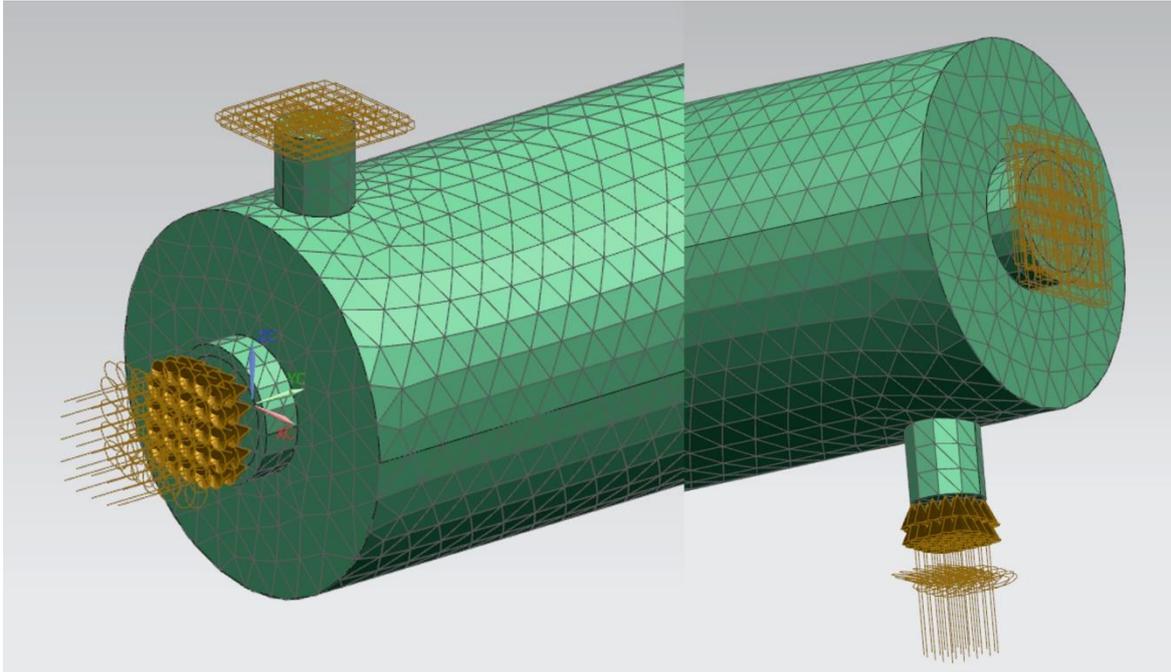


Рис. 4.2. Граничные условия потока при противотоке

10. Запустите расчет. Закладка панели инструментов **«Исходная»** – **«Решить»**. Нажмите **«Ок»** в появившемся окне **«Решить»**. Во время процесса в окне **«Solution Monitor»** отслеживайте сходимость процесса с помощью графиков нажав кнопку **«Graph»** – **«Convergence»** (рис. 2.8). По окончании в окне **«Review Results»** нажмите кнопку **«Yes»** и закройте все окна.

11. Откройте просмотр результатов двойным щелчком на пункте **«Результаты»** в дереве – **«Solution 1»** окна **«Навигатор симуляции»**. Отобразится окно **«Навигатор постпроцессора»**.

Просмотр, анализ и визуализация результатов расчета. Переходим к формированию ответов на поставленные в поставке задачи вопросы.

12. Для отображения температурного поля поверхности теплообмена нажмите пункт **«Температура – По узлам»** в окне **«Навигатор постпроцессора»**. В окне **«Вид постпроцессора»** установите тип **«Сглаживание»** (рис. 4.3). Нажмите **«Ок»**.

13. Для отображения температурного поля потоков в продольном среднем сечении теплообменника нажмите пункт **«Температура потока»** в окне **«Навигатор постпроцессора»**. В окне **«Вид постпроцессора»** установите пункт **«Показать на»** – **«Секущая плоскость»**. Нажмите кнопку **«Опции»**. В окне **«Секущая плоскость»** выберите нужную ориентацию плоскости и установите Сторону отсечения – **«Оба»**. Нажмите **«Ок»**. На

рис. 4.4 представлен результат для противотока – верхний рисунок и для прямотока – нижний рисунок.

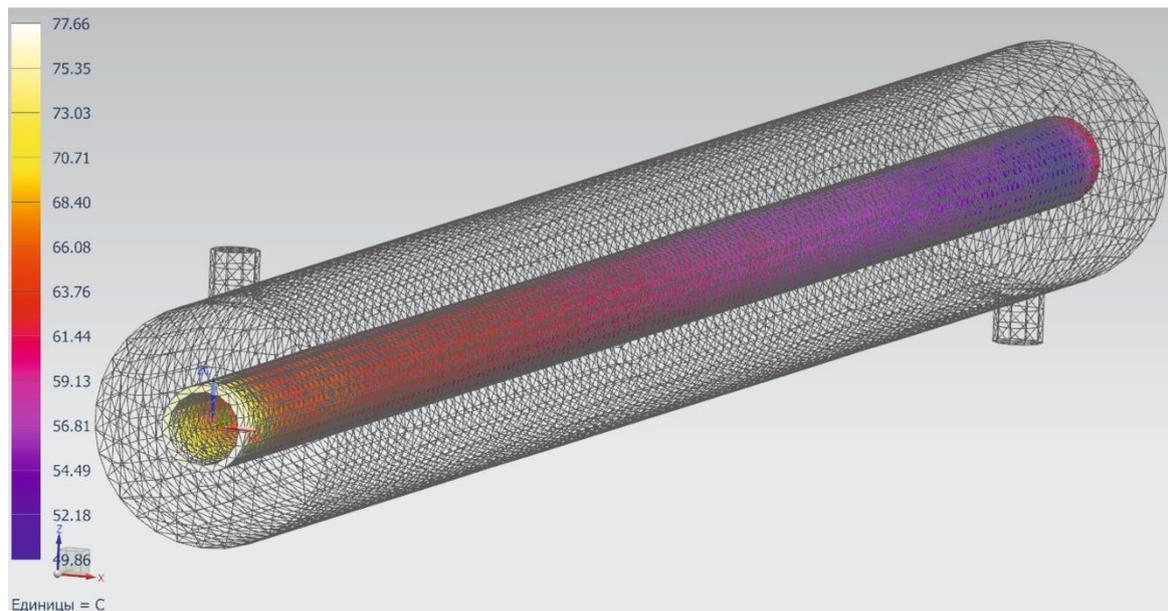


Рис. 4.3. Темперное поля поверхности теплообмена при противотоке

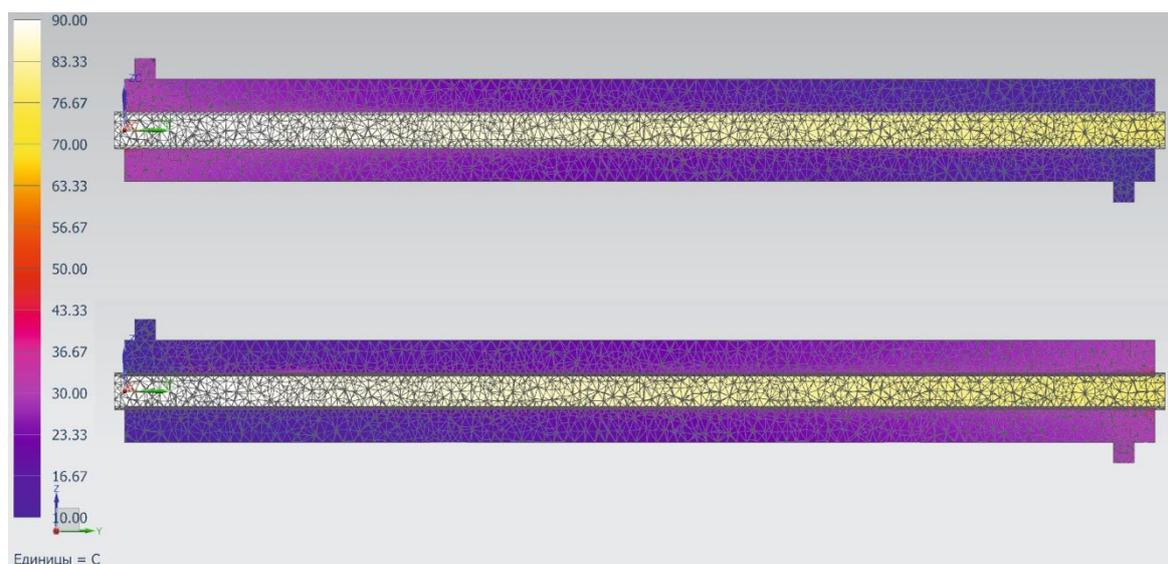


Рис. 4.4. Темперные поля потоков при противотоке и прямотоке

14. Для отображения контурного поля температуры потоков в поперечном среднем сечении теплообменника в окне «**Вид постпроцессора**» установите тип «**Ленточный**», в окне «**Секущая плоскость**» выберите нужную ориентацию плоскости и установите Сторону отсечения – «**Оба**». Нажмите «**Ок**» (рис. 4.5).

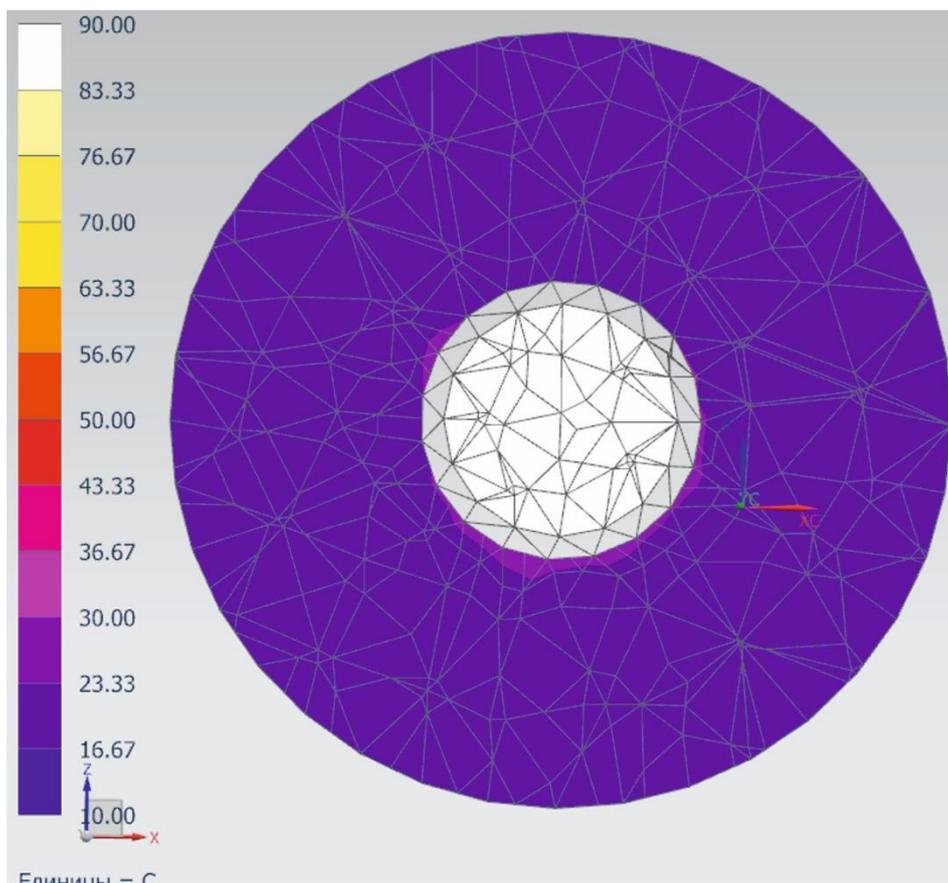


Рис. 4.5. Контурное поле температуры потоков при противотоке

15. Для отображения линий потока нагреваемого теплоносителя сделайте двойной щелчок на пункте «Скорость» окна «Навигатор постпроцессора». В окне «Вид постпроцессора» установите пункт «Показать на» в режим «Объем» и нажмите кнопку «Применить». Установите тип «Линии потока» и нажмите кнопку «Опции». В окне «Параметры линий потока» нажмите кнопку «Создать». В окне «Базовый набор» создайте набор линий потока нажатием левой кнопки мыши на поверхностях входа и выхода нагреваемого потока. Нажмите «Ок». Закройте окно «Параметры линий потока» нажатием «Ок». Линии потока отображены в цветовой палитре скорости потока (рис. 4.6).

16. Сделайте анимацию движения пузырьков в температурной цветовой шкале по линиям потока. В окне «Вид постпроцессора» нажмите кнопку «Результат...». В окне «Отрисовка линий потока» установите в верхнем выпадающем списке «Температура потока – По элементам/узлам», установите стиль «Пузырьки» и нажмите кнопку «Ок». Закройте окно «Вид постпроцессора» кнопкой «Ок». Запустите анимацию кнопкой «Воспроизведение».

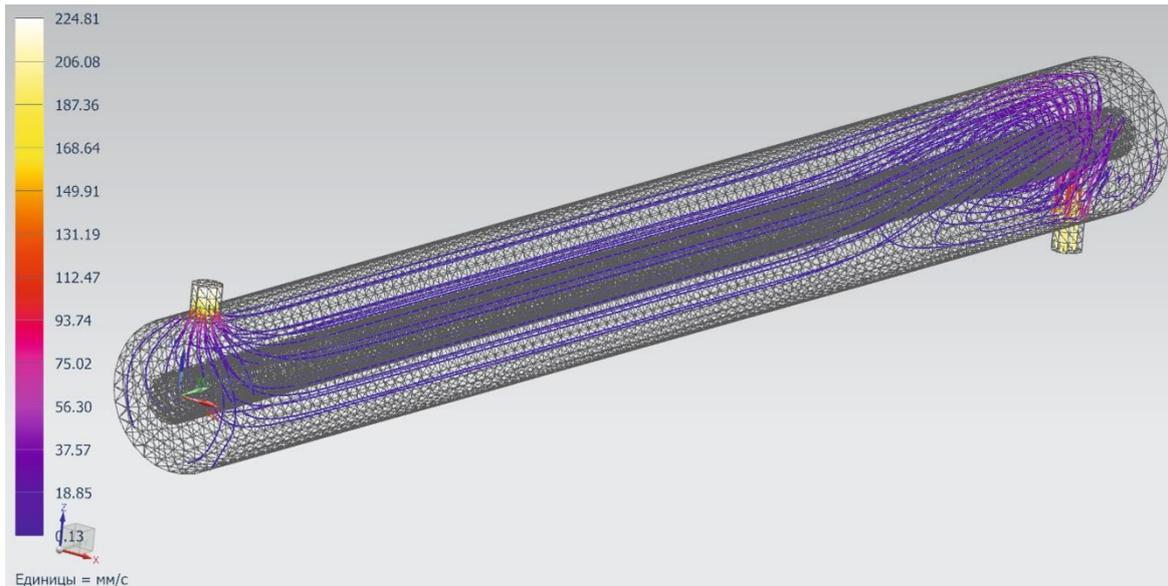


Рис. 4.6. Линии потока нагреваемого теплоносителя при противотоке

Запишите видеоролик движения при помощи средств панели «**Инструменты**».

17. Вернитесь к исходному заданию граничных условий задачи. Кнопка панели инструментов «**Вернуться к исходному**». Поменяйте граничные условия для прямооточного движения теплоносителей (рис. 4.7).

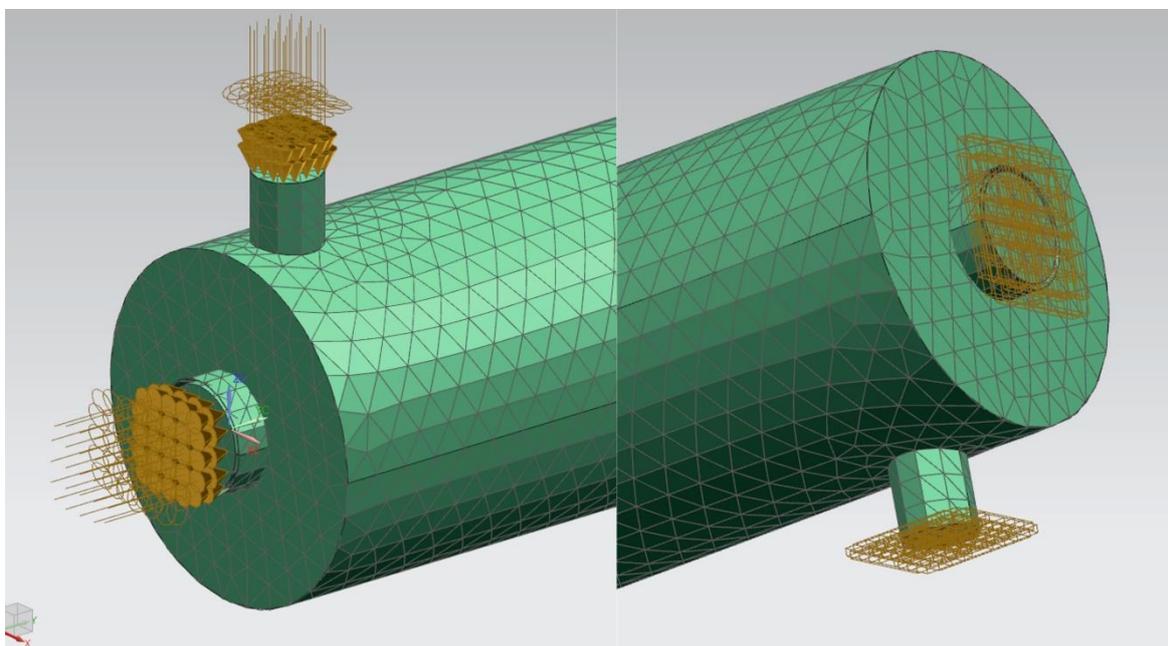


Рис. 4.7. Граничные условия потока при прямотоке

18. Повторите расчеты (пункты с 10 по 16).

19. Сравните результаты соответствующих параметров при разных режимах работы теплообменника. Сделайте выводы.

Варианты для самостоятельной работы представлены в табл. 4.

Таблица 4

Варианты для самостоятельной работы студентов с Задачей 4

| Вариант | Параметр | | | | | |
|---------|------------|------------|------------|-------------|------------|-------------|
| | D_1 , мм | D_2 , мм | t_1 , °C | w_1 , м/с | t_2 , °C | w_2 , м/с |
| 1 | 100 | 25 | 85 | 0,04 | 10 | 0,03 |
| 2 | 90 | 30 | 85 | 0,05 | 15 | 0,05 |
| 3 | 110 | 40 | 80 | 0,15 | 22 | 0,1 |
| 4 | 70 | 25 | 90 | 0,06 | 12 | 0,09 |
| 5 | 85 | 30 | 90 | 0,07 | 20 | 0,06 |
| 6 | 100 | 40 | 70 | 0,08 | 10 | 0,15 |
| 7 | 110 | 50 | 70 | 0,09 | 5 | 0,08 |
| 8 | 70 | 20 | 90 | 0,1 | 15 | 0,07 |
| 9 | 85 | 30 | 95 | 0,15 | 25 | 0,09 |
| 10 | 100 | 50 | 95 | 0,06 | 20 | 0,1 |

Задача 5

Моделирование тепло-массообмена в пространственной модели водоструйного насоса (эжектора).

Постановка задачи

Геометрия области течения воды в водоструйном насосе (эжекторе) представлена на рис. 5.1. Входной поток воды имеет параметры:

- расход $G = 7$ кг/с,
- температура $t_1 = 90$ °C.

К выходному потоку применить граничное условие «открытие» и задать давление $P_1 = 5$ бар.

К потоку подмеса воды применить граничное условие «открытие» задать давление $P_2 = 4$ бара и температуру $t_2 = 40$ °C.

Все стенки насоса теплоизолированные.

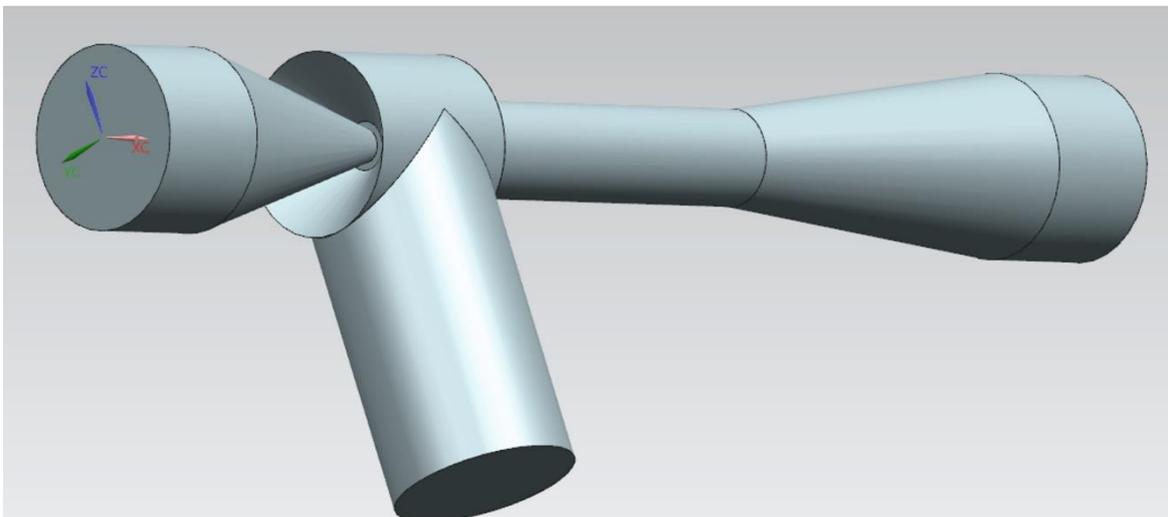
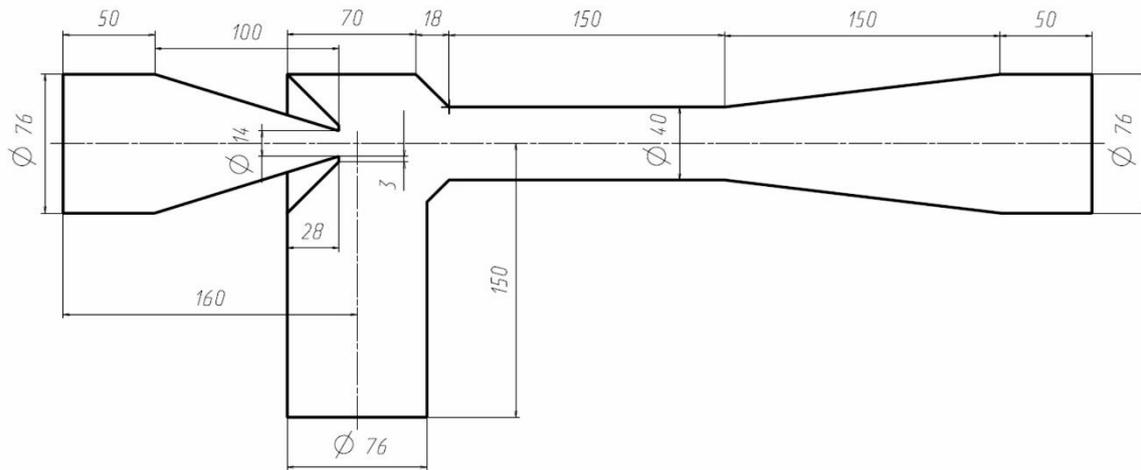


Рис. 5.1. Геометрия области течения воды в водоструйном насосе

Провести расчет теплообмена и течения воды в водоструйном насосе.

В результате отобразить:

- температурное поле потока в продольном среднем сечении насоса;
- контурное поле общего давления в продольном среднем сечении насоса;
- векторное поле скорости в продольном среднем сечении насоса;
- линии потока в эжекторе;
- анимацию процесса подмеса обратного потока в прямой.

Найти минимальный расход воды, при котором работает насос.

Проанализировать полученные результаты и сделать выводы.

Методические указания к решению

1. Создайте геометрию области течения воды согласно рис. 5.1.
2. Перейдите в оболочку программного модуля «**Расширенная симуляция**». Закладка панели инструментов «**Файл**» – Пункт «**Расширенная симуляция**». Создайте конечно-элементную модель и симуляцию. Закладка панели инструментов «**Исходная**» – «**Новая КЭ модель и симуляция**». В окне настроек «**Новая КЭ модель и симуляция**» выберите «**Решатель**» – «**NX THERMAL / FLOW**», «**Тип анализа**» – «**Coupled Thermal-Flow**». Нажмите «**Ок**».
3. Постройте тетраэдральную сетку. Закладка панели инструментов «**Исходная**» – «**3D четырехгранный**». В открывшемся окне настроек «**3D тетраэдральная сетка**» выберите в качестве тела всю вашу модель. В свойствах задайте размер элемента меньше, чем рекомендуемый по кнопке «**Автоматический размер элемента**» для большей наглядности результата. Нажмите «**Ок**». Дождитесь конца построения сетки.
4. Задайте материал для сетки. Закладка панели инструментов «**Исходная**» – «**Дополнительно** (группа Свойства)» – «**Назначить материалы**». В открывшемся окне настроек «**Назначить материалы**» выберите сетку и назначьте воду «**Water**» в Библиотеке материалов. Нажмите «**Ок**».
5. Переходите к симуляции. Закладка панели инструментов «**Исходная**» – «**Активировать симуляцию**» или двойной клик по файлу симуляции (*sim*) в окне «**Вид файла симуляции**».
6. Задайте граничные условия основного входящего потока (рис. 5.2). Закладка панели инструментов «**Исходная**» – «**Тип объекта симуляции**» – «**Граничные условия потока**». В открывшемся окне настроек «**Граничные условия потока**» выберите тип «**Входной поток**», выберите грань куда входит поток. В группе «**Величина**» массовый поток G в кг/с. Единицы измерения нужно перевести в соответствующий вид. Нажмите в группе «**Внешние условия**» кнопку справа «**Создание объекта моделирования**». В окне «**External Conditions 1**» установите свойство «**Температура и влажность**» – «**Задать**». Задайте значение температуры t_1 . Нажмите «**Ок**».
7. С противоположной стороны трубки задайте граничные условия для выходного потока (рис. 5.3). Закладка панели инструментов «**Исходная**» – «**Тип объекта симуляции**» – «**Граничные условия потока**». В окне «**Граничные условия потока**» выберите тип «**Открытие**». В группе «**Внешние условия**» переведите пункт «**Внешнее абсолютное давление**» в режим «**Задать**» и укажите значение P_1 в барах. Нажмите «**Ок**».

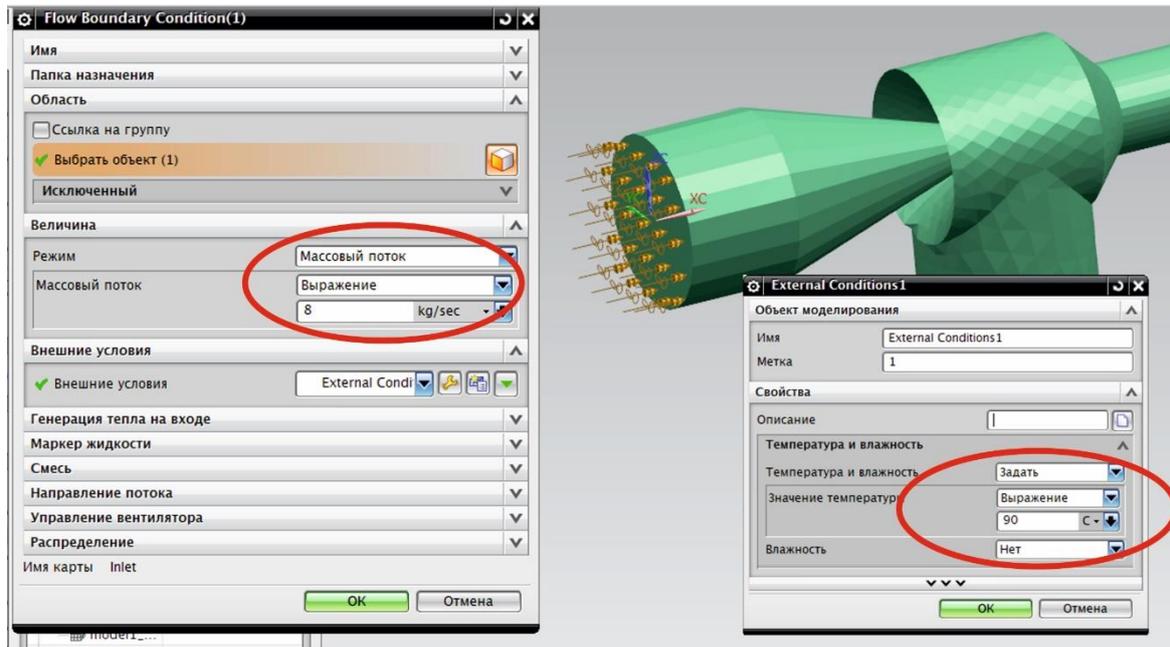


Рис. 5.2. Граничные условия основного входящего потока

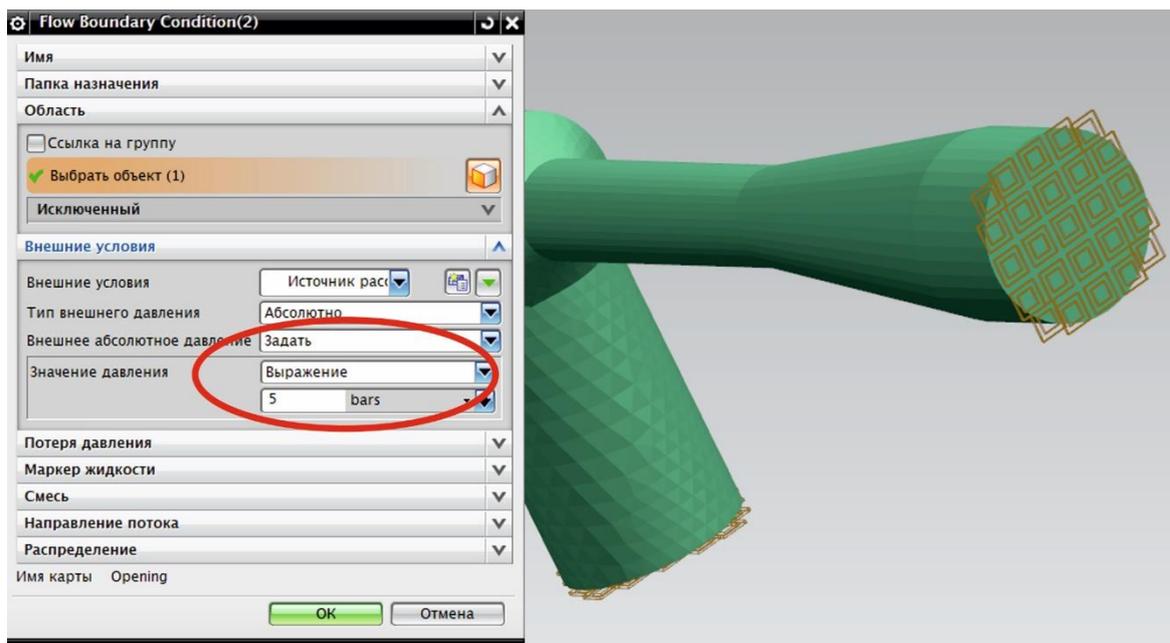


Рис. 5.3. Граничные условия выходящего потока

8. Задайте граничные условия потока подмеса воды (рис. 5.4). Зкладка панели инструментов «Исходная» – «Тип объекта симуляции» – «Граничные условия потока». В открывшемся окне настроек «Граничные условия потока» выберите тип «Открытие», выберите грань входного патрубка, куда входит поток подмеса воды. Как и в предыдущем пункте задайте абсолютное давление P_2 в барах. Нажмите в группе «Внешние

условия» кнопку справа «Создание объекта моделирования». В окне «External Conditions 2» установите свойство «Температура и влажность» – «Задать». Задайте значение температуры t_2 . Нажмите «Ок».

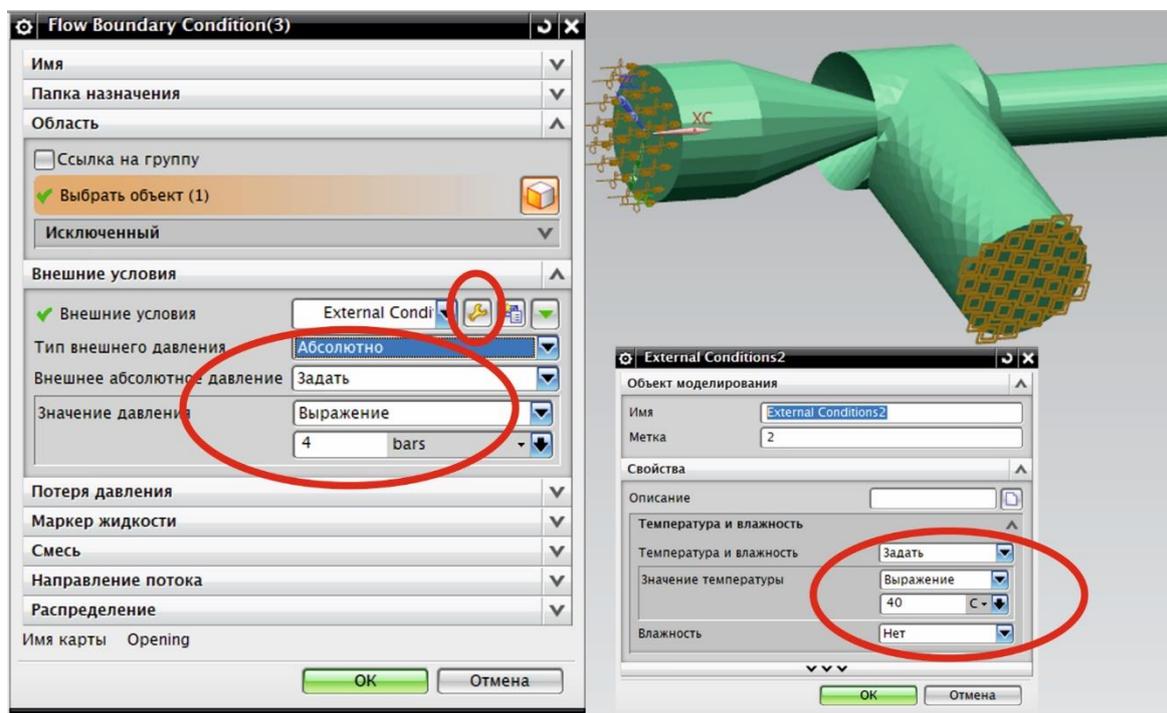


Рис. 5.4. Граничные условия потока подмеса воды

9. Запустите расчет. Закладка панели инструментов «Исходная» – «Решить». Нажмите «Ок» в появившемся окне «Решить». Во время процесса в окне «Solution Monitor» отслеживайте сходимость процесса с помощью графиков нажав кнопку «Graph» – «Convergence» (рис. 2.8). По окончании в окне «Review Results» нажмите кнопку «Yes» и закройте все окна.

Просмотр, анализ и визуализация результатов расчета. Переходим к формированию ответов на поставленные в поставке задачи вопросы.

10. Для отображения температурного поля потока в продольном среднем сечении насоса нажмите пункт «Температура потока» в окне «Навигатор постпроцессора». В окне «Вид постпроцессора» установите пункт «Показать на» – «Секущая плоскость». Нажмите кнопку «Опции». В окне «Секущая плоскость» выберите нужную ориентацию плоскости и установите Сторону отсечения – «Оба». Нажмите «Ок».

11. Для отображения контурного поля общего давления в продольном среднем сечении насоса нажмите пункт «Общее давление» в окне «Навигатор постпроцессора». В окне «Вид постпроцессора» установите тип

«Ленточный». Нажмите кнопку «**Результат...**». В окне «**Отрисовка**» установите нужную размерность значений.

12. Для отображения векторного поля скорости в продольном среднем сечении насоса нажмите пункт «**Скорость**» в окне «**Навигатор постпроцессора**». В окне «**Вид постпроцессора**» установите тип «**Стрелки**». Нажмите кнопку «**Результат...**». В окне «**Отрисовка**» установите нужную размерность значений и масштаб стрелок. Нажмите «**Ок**» (рис. 5.5).

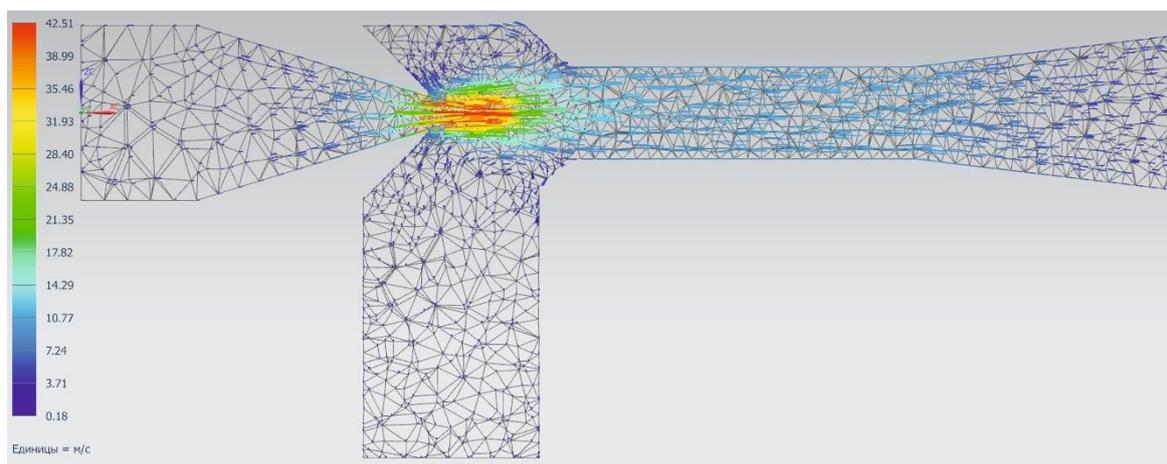


Рис. 5.5. Векторное поле скорости в продольном среднем сечении

13. Для отображения линий потока в эжекторе сделайте двойной щелчок на пункте «**Скорость**» окна «**Навигатор постпроцессора**». В окне «**Вид постпроцессора**» установите пункт «**Показать на**» в режим «**Объем**» и нажмите кнопку «**Применить**». Установите тип «**Линии потока**» и нажмите кнопку «**Опции**». В окне «**Параметры линий потока**» нажмите кнопку «**Создать**». В окне «**Базовый набор**» создайте набор линий потока нажатием левой кнопки мыши на поверхностях входа и выхода потоков. Нажмите «**Ок**». Закройте окно «**Параметры линий потока**» нажатием «**Ок**». Линии потока отображены в цветовой палитре скорости потока. В окне «**Вид постпроцессора**» нажмите кнопку «**Результат...**». В окне «**Отрисовка линий потока**» установите в верхнем выпадающем списке «**Температура потока – По элементам/узлам**» и нажмите кнопку «**Ок**». Линии потока отображены в цветовой палитре температуры потока. (рис. 5.6)

14. Сделайте анимацию движения пузырьков в температурной цветовой шкале по линиям потока. В окне «**Вид постпроцессора**» нажмите кнопку «**Результат...**». В окне «**Отрисовка линий потока**» установите стиль «**Пузырьки**» и нажмите кнопку «**Ок**». Закройте окно «**Вид постпроцессора**» кнопкой «**Ок**». Запустите анимацию кнопкой «**Воспроизведение**».

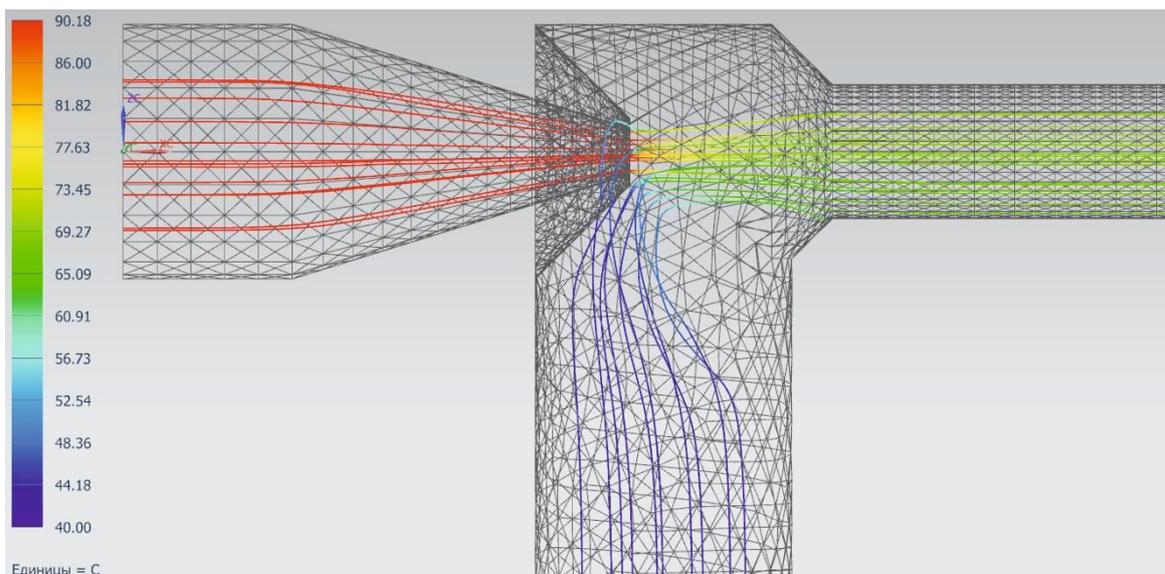


Рис. 5.6. Линии потока в цветовой палитре температуры

Запишите видеоролик движения при помощи средств панели «**Инструменты**».

15. Вернитесь к исходному заданию граничных условий задачи. Кнопка панели инструментов «**Вернуться к исходному**». Уменьшите расход воды в первом граничном условии. Повторите расчет и проанализируйте результаты. Найдите минимальный расход воды, при котором работает насос.

16. Сделайте выводы.

Варианты для самостоятельной работы представлены в табл. 5

Таблица 5

Варианты для самостоятельной работы студентов с Задачей 5

| Вариант | Параметр | | | | |
|---------|------------|------------|-------------|------------|-------------|
| | G , кг/с | t_1 , °C | P_1 , бар | t_2 , °C | P_2 , бар |
| 1 | 8 | 85 | 4 | 30 | 3 |
| 2 | 9 | 85 | 5 | 35 | 4 |
| 3 | 15 | 80 | 5 | 30 | 3 |
| 4 | 15 | 90 | 6 | 45 | 4 |
| 5 | 12 | 90 | 7 | 50 | 5 |
| 6 | 13 | 70 | 8 | 30 | 5 |
| 7 | 14 | 70 | 7 | 25 | 4 |
| 8 | 13 | 90 | 4 | 35 | 3 |
| 9 | 12 | 95 | 5 | 55 | 3 |
| 10 | 11 | 95 | 6 | 40 | 4 |

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гончаров П.С. NX для конструктора-машиностроителя / П.С. Гончаров. – Москва : ДМК Пресс, 2010. – 504 с. – Режим доступа: http://e.lanbook.com/books/element.php?p11_cid=25&p11_id=1321
2. Данилов Ю. Практическое использование NX / Ю. Данилов, И. Артамонов. – Москва : ДМК Пресс, 2011. – 332 с.: ил. – Режим доступа: https://media.plm.automation.siemens.com/ru_ru/nx/book/Prakticheskoe_Ispolzovanie_NX_book.pdf
3. Каменев С.В. Основы моделирования машиностроительных изделий в автоматизированной системе «Siemens NX 10» : учебное пособие / С.В. Каменев. – Оренбург : ОГУ, 2015. – 165 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/97983>
4. Бутко А.О. Основы моделирования в САПР NX : Учебное пособие / А.О. Бутко. – Москва : ООО «Научно-издательский центр ИНФРА-М», 2018. – 199 с. – Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/document?id=302966>
5. Student Resources // Siemens Digital Industries Software: сайт. – Электрон. текстов. дан., 2013. – Режим доступа: <https://www.plm.automation.siemens.com/global/ru/our-story/partners/academic/student-engineering-software.html>
6. Гончаров П.С. NX Advanced Simulation. Инженерный анализ / П.С. Гончаров, И.А. Артамонов, Т.Ф. Халитов, С.В. Денисихин, Д.Е. Сотник. – Москва : ДМК Пресс, 2012. – 504 с.: ил. – Режим доступа: https://media.plm.automation.siemens.com/ru_ru/nx/book/NX-CAE-book.pdf
7. Гончаров П.С. NX Advanced Simulation. Практическое пособие / П.С. Гончаров, И.А. Артамонов, Т.Ф. Халитов, С.В. Денисихин, Д.Е. Сотник. – Москва : ДМК Пресс, 2014. – 112 с.: ил. – Режим доступа: https://media.plm.automation.siemens.com/ru_ru/nx/book/NX-Advanced-Simulation-Prakticheskoe-Posobie.pdf
8. Унянин А.Н. Инженерные расчеты с помощью программного комплекса NX : учебное пособие / А.Н. Унянин. – Ульяновск : УлГТУ, 2017. – 126 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/165034>

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|---------------------------------------|----|
| ВВЕДЕНИЕ | 3 |
| Задача 1 | 5 |
| Постановка задачи | 5 |
| Методические указания к решению | 6 |
| Задача 2 | 25 |
| Постановка задачи | 25 |
| Методические указания к решению | 26 |
| Задача 3 | 35 |
| Постановка задачи | 35 |
| Методические указания к решению | 36 |
| Задача 4 | 45 |
| Постановка задачи | 45 |
| Методические указания к решению | 46 |
| Задача 5 | 52 |
| Постановка задачи | 52 |
| Методические указания к решению | 54 |
| СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | 59 |
| ОГЛАВЛЕНИЕ..... | 60 |

Учебное издание

НА ПРАВАХ РУКОПИСИ

БЕСПАЛОВ Виктор Владимирович

ИНЖЕНЕРНЫЙ АНАЛИЗ ПОТОКОВ ЖИДКОСТИ И ГАЗА В SIEMENS NX

Учебно-методическое пособие
для магистрантов, обучающихся по направлению
13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника