

Расчет теплообмена в твердом теле, нагреваемом течением жидкого теплоносителя

А. С. Болдарев

11 мая 2016 г.

1 Постановка задачи

Имеется медный блок в форме прямоугольного параллелепипеда, поверхность которого поддерживается при температуре $T_0 = 300$ К, с выемкой в виде «змееобразного» канала¹, см. рис. 1. В канале течет вода, имеющая на входе температуру $T_1 = 350$ К

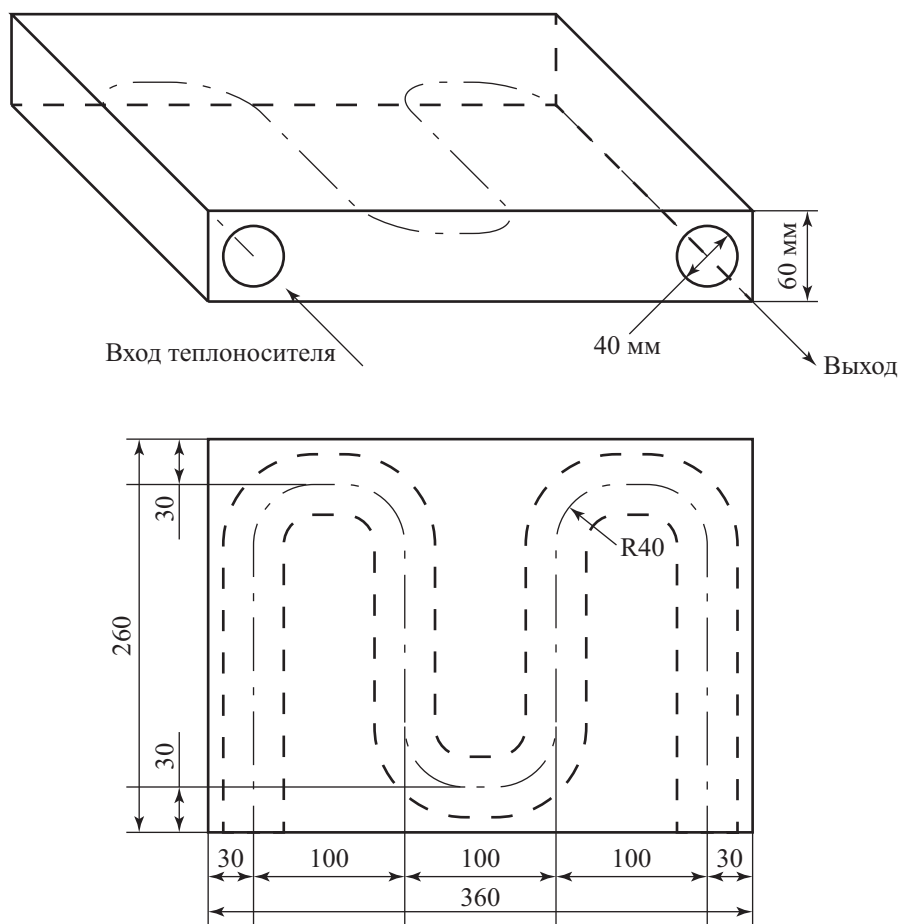


Рис. 1:

и скорость v_1 , зависящую от варианта. Требуется найти стационарное распределение

¹Пока отвлекаемся от возможной технологии изготовления такой конструкции. Скорее всего, ее можно собрать из двух половинок.

температуры в канале и твердом теле, и интегральные тепловые потери (которые могут быть определены как произведение разности температур теплоносителя на входе и выходе на теплоемкость и массовый расход, или как полный поток тепла через поверхность канала, или через внешнюю поверхность блока).

2 Методические рекомендации

Постановка задачи включает две подобласти — канал (заполненный текущей жидкостью) и прямоугольный блок за вычетом канала (твердое тело). Для задания такой геометрии области в препроцессоре ANSYS нужно воспользоваться теоретико-множественными операциями.

Прежде всего зададим форму канала. Для создания таких геометрических форм (трубопроводы, стержни и т. д.) можно воспользоваться методом «вытягивания» сечения вдоль траектории. Для этого нужно создать кривую (ось трубы) и круг (сечение трубы). Для рисования линии, как обычно, в геометрическом редакторе ANSYS (естественно, *не надо* перед его запуском менять Analysis Type с 3D на 2D — на этот раз у нас задача трехмерная) перейти во вкладку Sketching и воспользоваться инструментом Draw — Line для рисования ломаной линии в плоскости XY . Инструментом Dimensions — General, как обычно, задаем правильные размеры сегментов ломаной, а инструментом Modify — Fillet можно задать скругления углов ломаной. Для добавления кривой линии в геометрическую модель следует выполнить пункт меню Concept — Lines From Sketches, можно задать более содержательное, чем Line1, имя, и убедиться в том, что набросок выделен (в Details View в пункте Base Objects должно стоять «1 Sketch», в противном случае надо выделить только что созданный набросок и нажать Apply). Затем нажать Generate.

Для создания окружности нам нужно нарисовать набросок в плоскости XZ , так что снова переходим во вкладку Sketching и задаем плоскость ZXPlane (это если Вы так нарисовали кривую, что ее конец лежит в плоскости XZ , в противном случае нужно создать новую плоскость (New Plane), параллельную XZ и смещенную по Y на нужное расстояние). В открывшемся новом наброске рисуем окружность (как обычно, Draw — Circle), затем задаем правильный диаметр. Центр окружности должен соответствовать началу кривой. Выполнив Concept — Surfaces From Sketches, задав содержательное имя и позаботившись о том, чтобы в качестве Base Object фигурировал правильный набросок, нажимаем Generate и получаем круг.

Осталось выполнить Create — Sweep, в качестве Profile указать круг (Surface Body из последнего раздела списка объектов — 2 Parts, 2 Bodies), в качестве Path — Line Body оттуда же, нажать Generate. Voilà, тело в форме выемки для теплоносителя создано.

Задание прямоугольного блока не вызывает затруднений — просто Create — Primitives — Box, задать правильные размеры и расположение, и опять нажать Generate.

Doh! Геометрический редактор ANSYS по умолчанию объединяет все трехмерные области, добавленные в процессе построения, поэтому хотя мы и видим в списке объектов (Tree Outline) и трубу, и блок, в последнем разделе списка (3 Parts, 3 Bodies) они объединились в один Solid. При вычислении теоретико-множественных операций (а нам нужно вычесть трубу из блока) операнды можно задавать только из этого раздела списка; кроме того, для решения задачи нам нужны две различные подобласти, как же быть? В свойствах обоих объектов ставим Operation вместо Add Material — Add Frozen, и опять нажимаем Generate. Ура, теперь у нас два объекта Solid в разделе 4 Parts, 4 Bodies списка объектов. Их можно переименовать, чтобы не путались.

Вычитаем один из другого — Create — Boolean. В качестве операции указываем вычитание (Subtract), в качестве Target Bodies — блок, а в качестве Tool Bodies — трубу. Так как нам нужно сохранить трубу в качестве одной из подобластей, указываем Preserve Tool Bodies — Yes. Снова нажимаем Generate, и получаем искомые две подобласти. Одну из них помечаем в свойствах как Solid, другую — как Fluid.

Далее, как обычно, создаем все Named Selections из граничных граней, не забывая также про поверхность трубы. Для того чтобы до нее добраться курсором мыши, можно отключить видимость блока — правой кнопкой мыши вызвать для блока контекстное меню и выбрать Hide Body. Кроме того, при выделении входного сечения трубопровода нам будет мешать круг, который мы создали для построения трубы, поэтому лучше убрать вспомогательные объекты, такие как этот круг и линия, задав для них Suppress.

При построении сетки, чтобы сетка внутри и вне трубы была согласована, необходимо создать Face Meshing (Mesh Control — Face Meshing), и в качестве поверхности задать поверхность трубы. Затем в свойствах сетки (Details of “Mesh” — Sizing) задаем подходящие размеры сеточных элементов, и нажимаем Generate Mesh. Для построения тетраэдральной сетки можно задать также параметр Details of “Mesh” — Assembly Meshing — Method — Tetrahedrons.

В модуле Setup выбираем стационарный Pressure-Based солвер с абсолютными скоростями, и стандартную k - ε модель. Уравнение энергии следует включить (Energy — On). В материалах добавить актуальные для нашей задачи — water-liquid и copper. В Cell Zone Conditions убедиться, что для каждой из двух подобластей задан правильный материал. Граничные условия следует выбрать исходя из условий задачи — условие постоянства температуры на внешней границе (тип условия wall, Thermal Conditions — Temperature), на входной границе — velocity-inlet с заданным значением скорости и температуры, и т. д. Для наблюдения за эволюцией теплового потока можно добавить дополнительный мониторинг (Monitors — Surface Monitors — Create и задать в поле Field Variable величину Wall Fluxes... и Total Surface Heat Flux, выбрать в списке поверхность, поток через которую будет выводиться).