

# ИССЛЕДОВАНИЕ КАВИТАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ И ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ В ВИХРЕВОМ ТЕПЛОГЕНЕРАТОРЕ АКТИВНОГО ТИПА В ПАКЕТЕ ANSYS CFX

Султангильдин Д.Г.



*Султангильдин Денис Германович – магистрант,  
направление: теплоэнергетика и теплотехника,  
кафедра авиационной теплотехники и теплоэнергетики,  
факультет авиационных двигателей, энергетики и транспорта,  
Уфимский государственный авиационный технический университет, г. Уфа*

Вихревые теплогенераторы - это установки, которые позволяют получать тепловую энергию в специальных устройствах путем преобразования электрической энергии.

Различные виды вихревых теплогенераторов отличаются между собой способами формирования закрутки потока рабочей жидкости.

При рассмотрении вихревых теплогенераторов можно выделить два вида теплогенераторов:

- пассивные;
- активные.

К пассивным относятся теплогенераторы статического типа, которые не содержат активных подвижных частей в устройствах формирования потока жидкости.

К активным относятся теплогенераторы динамического типа, в которых механическая активация рабочей жидкости осуществляется за счет воздействия на жидкость подвижных активирующих элементов генератора – вращающихся, колеблющихся или совершающих сложное движение [1].

Процесс нагрева жидкости в вихревых теплогенераторах происходит за счет процесса кавитации.

Кавитация (от лат. *cavita* — пустота) — процесс парообразования и последующего схлопывания пузырьков пара с одновременным конденсированием пара в потоке жидкости, сопровождающийся шумом и гидравлическими ударами, образование в жидкости полостей (кавитационных пузырьков, или каверн), заполненных паром самой жидкости. Кавитация возникает в результате местного понижения давления в жидкости, которое может происходить при увеличении её скорости (гидродинамическая кавитация) [2].

Для исследования гидродинамических и кавитационных процессов используется программный комплекс для трехмерного численного термогазодинамического моделирования *ANSYS CFX*.

Для построения геометрической модели выбран активный вихревой теплогенератор, состоящий из корпуса 1, рабочего колеса 2 и крышки 3 (рисунок 1).

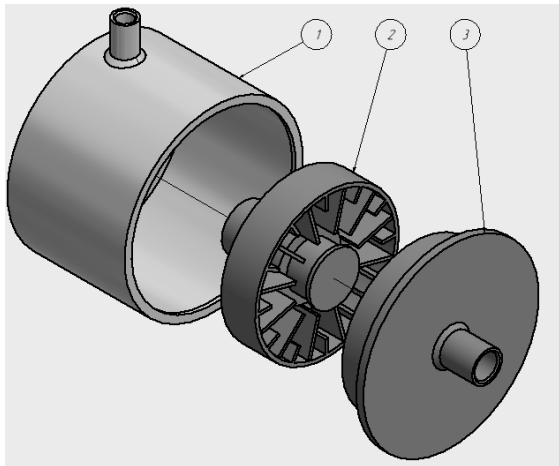


Рис. 1. Состав активного вихревого теплогенератора

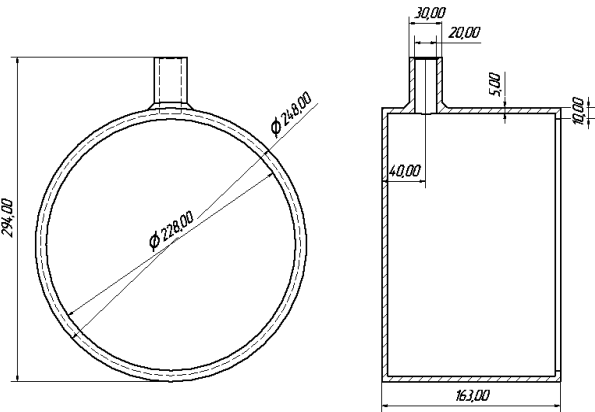


Рис. 2. Схема геометрической модели корпуса

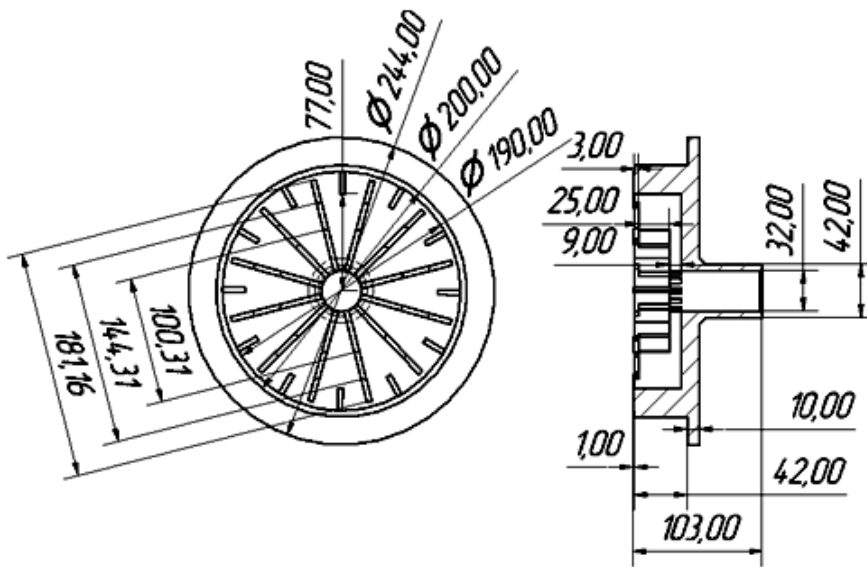


Рис. 3. Схема геометрической модели крышки

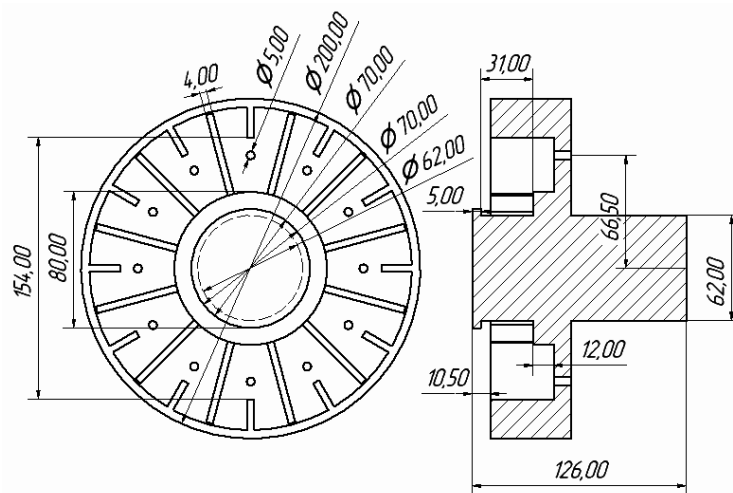


Рис. 4. Схема геометрической модели рабочего колеса

Далее, на расчетных моделях была построена тетраэдрическая неструктурированная конечно-объемная сетка со структурированным призматическим слоем (рисунок 5).

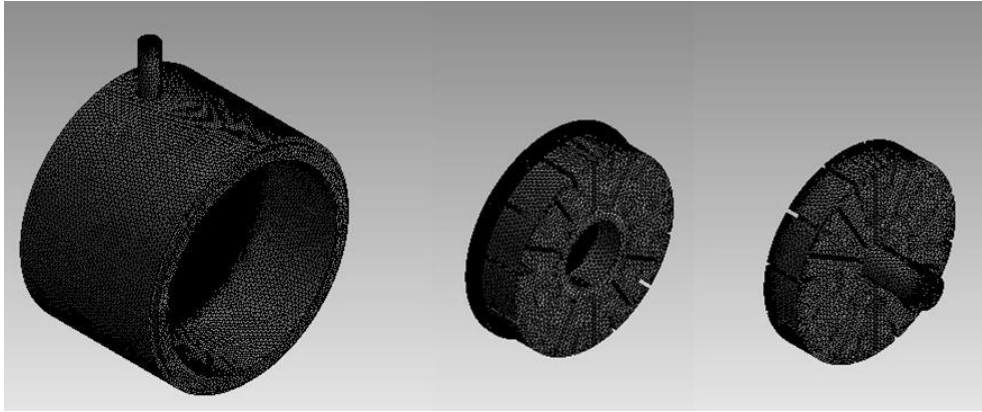


Рис. 5. Конечно-объемная сетка

Общее количество элементов сетки 2953907 (корпус – 1153712, рабочее колесо - 934715, крышка - 865480).

После построения конечно-объемной сетки назначаем граничные условия и законы расчета в *CFX-Pre*. В системе *CFX-Pre* создаем три независимых домена (расчетные области). Первая область – *Krishka*.

Настройки в домене *Krishka*:

модель рабочего тела: *Voda (Water) u Par (Water Vapour at 25 C)*; модель переноса тепла: *Total Energy*; модель турбулентности: *k-Epsilon*; значение избыточного статического давления на выходе из области:  $P_{\text{вых}} = 101325 \text{ Па}$ .

Задаем граничные условия для домена *Krishka*:

1) Граничное условие *Inlet1* (вход):

тип граничного условия – *Inlet*; параметры: массовый расход (*Mass Flow Rate*)  $G = 0,5 \text{ кг/с}$ ; полная температура (*Total Temperature*)  $t_{\text{ex}} = 25 \text{ C}$ ; объемная доля: *Par* – 0, *Voda* – 1.

В домене *Rotor* задаем следующие настройки:

модель рабочего тела: *Voda (Water) u Par (Water Vapour at 25 C)*; модель переноса тепла: *Total Energy*; модель турбулентности: *k-Epsilon*; движение области: *Rotating*; угловая скорость: 25 об/с (1500 об/мин)

Настройки в домене *Korpus*:

модель рабочего тела: *Voda (Water) u Par (Water Vapour at 25 C)*; модель переноса тепла: *Total Energy*; модель турбулентности: *k-Epsilon*.

Задаем граничные условия для домена *Korpus*:

2) Граничное условие *Outlet3* (выход):

тип граничного условия – *Outlet*; Параметры: статическое давление (*Average Static Pressure*)  $P_{\text{вых}} = 253313 \text{ Па}$ .

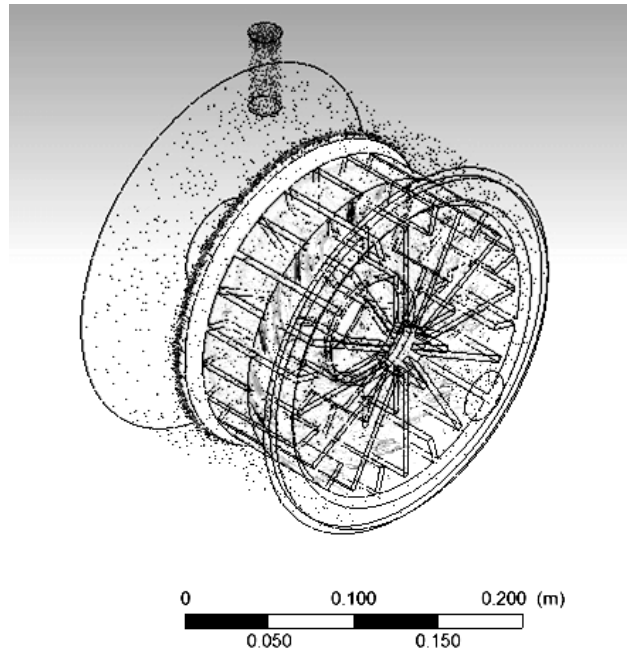
Для передачи информации между доменами установлены взаимосвязи между доменами при помощи опции *Domain Interface*.

Задаем модель смешивания: *Frozen Rotor*.

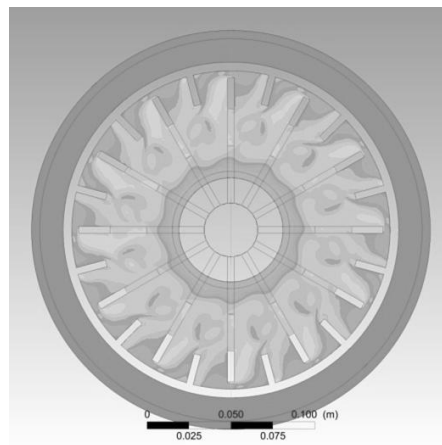
Для решения нестационарной задачи в модели смешивания задаем: *Transient Rotor Stator*.

После того как задали все граничные условия, производим расчет модели в *CFX-Solver*. В ходе выполнения расчета необходимо контролировать сходимость основных уравнений и их дисбаланс [3].

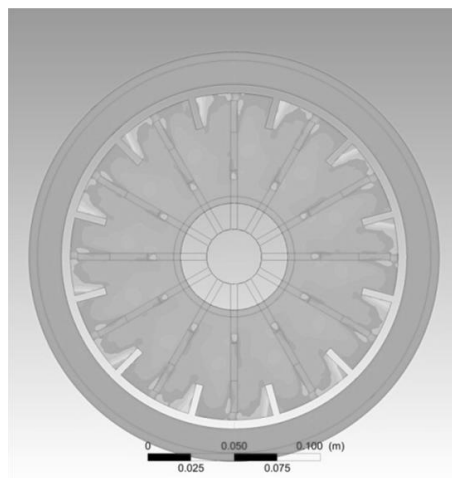
После расчета моделей проводим обработку результатов в *CFX-Post*. Для визуализации результатов расчета были построены: векторное поле скоростей во всей расчетной области (Рисунок 6) и поле температур и давлений на сечении в межлопаточном пространстве (Рисунки 7 - 8), а также соответствующие области образования пара в результате кавитации (Рисунки 9 - 10).



*Рис. 6. Векторное поле скоростей*



*Рис. 7. Поле распределения температур в межлопаточном пространстве*



*Рис. 8. Поле распределения давлений в межлопаточном пространстве*

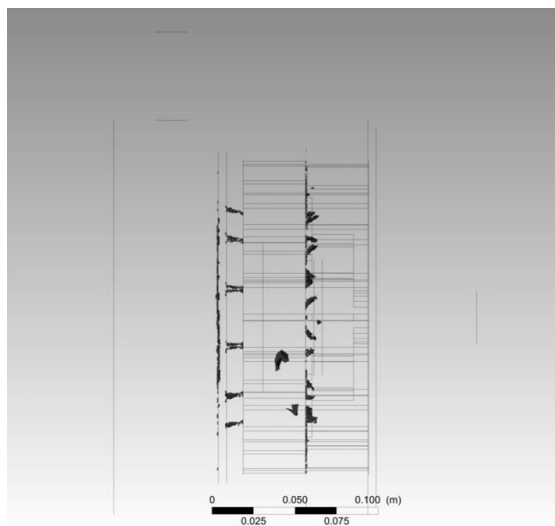


Рис. 9. Образование пара в результате кавитации в межлопаточном пространстве

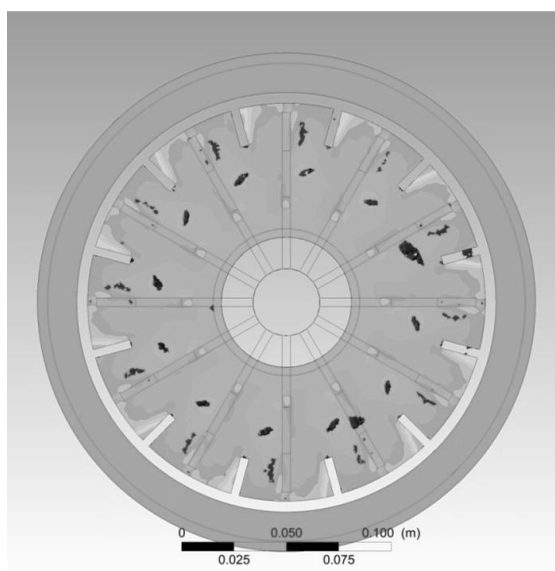


Рис. 10. Соотношение областей понижения давления с областями образования пара в результате кавитации

При визуализации результатов расчета были получены поля скоростей, температуры и давления, а также области образования пара в результате кавитации. Как видно из полученных результатов, кавитация возникает в местах понижения давления, вызванного активацией рабочей жидкости активным вихревым теплогенератором. Наибольшее повышение температуры зафиксировано в межлопаточном пространстве на стыке ротора и статора на  $t=0,69^{\circ}\text{C}$ .

#### Список литературы

1. *Потапов Ю.С., Фоминский Л.П.* Вихревая энергетика и холодный ядерный синтез с позиций теории движения. Кишинев. Черкассы: «ОКО–Плюс», 2000. 387 с.
2. Кавитация. Материал из Википедии — свободной энциклопедии. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Кавитация/> (дата обращения: 15.10.2017).
3. *Кишалов А.Е., Ахмедзянов Д.А.* Термогазодинамическое моделирование авиационных двигателей и их элементов: Лабораторный практикум по дисциплине «Математическое моделирование авиационных двигателей и энергетических установок» / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. Уфа, 2012. 90 с.