

УДК 621.438: 536.245

Оптимизация геометрии компактных теплообменных аппаратов с использованием пакета CATIA

Е.В. Перескоков

*Студент, кафедра «Газотурбинные и нетрадиционные энергоустановки»
МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, Россия*

Научный руководитель: Бурцев С.А., к.т.н., доцент кафедры «Газотурбинные и нетрадиционные энергоустановки» МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, Россия

МГТУ им. Н.Э. Баумана
per2er@gmail.com

Введение. Теплообменные аппараты (ТОА) используются в различных сферах машиностроения. В зависимости от выдвигаемых к ним требованиям они имеют различное конструктивное исполнение [1,2]. Обычно приоритетными параметрами являются: цена, высокая эффективность, надежность, минимальный вес, минимальный габариты, безотказность и простота конструкции.

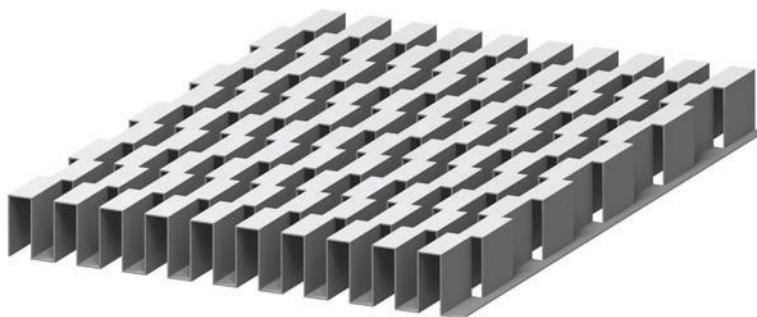


Рис.1. Пластинчато-ребристая (ПлР-1) поверхность теплообмена

Высокие требования к эффективности, компактности и надежности теплообменных аппаратов в современных энергоустановках в сочетании с новыми технологическими достижениями позволили создать конструкции теплообменных аппаратов, матрицы которых образованы компактными поверхностями теплообмена с короткими прямыми смещенными ребрами. Элементы этих матриц имеют небольшие проходные сечения с гидравлическими диаметрами порядка 1,5...4 мм. Пример поверхности приведен на рис 1.

Использование таких высококомпактных поверхностей теплообмена выдвигает специальные требования по чистоте используемых теплоносителей, что достаточно легко решается в замкнутых газотурбинных установках, работающих на смесях инертных газов (см. например, [3-4]). При весьма малых допустимых гидравлических сопротивлениях в этих теплообменниках скорости гелий-ксеноновой смеси в каналах их матриц невелики и, как правило, не превышают 7...10 м/с, поэтому числа Рейнольдса потоков газовой смеси в этих каналах оказываются не более 600...1000. В настоящее время теплогидравлическая эффективность данных поверхностей теплообмена достаточно хорошо изучена как при работе на воздухе [1, 2], так и на других рабочих телах [5,6].

Целью работы является создание модели теплообменного аппарата для газотурбинной установки в инженерном пакете САПР. Особенностью современных пакетов моделирования является способность создавать модели, не только привязываясь к конкретным числам, но и так называемые параметрические, которые могут менять свое значение в заданном диапазоне параметров. Такой подход обеспечит перестройку модели в автоматическом режиме (под заданные начальные условия в рамках граничных условий) без необходимости вмешательства в процесс построения.

Подобные параметрические модели проточной части газотурбинной установки уже были рассмотрены студентами кафедры Э-3 МГТУ им. Н.Э. Баумана [7 - 9].

Часть 1. Работа в пакете Mathcad и Excel

Исходными данными для расчета (согласно методики, изложенной в [1]) являются: рабочее тело, суммарная потеря давления, температуры и давления на входе по холодной и горячей стороне, степень регенерации, коэффициент водяного эквивалента, схема течения, данные о поверхности теплообмена и условие чередования слоев. Для данной модели была выбрана однозаходная перекрестная схема течения.

Вначале создаем базу данных поверхностей теплообмена (гидравлический диаметр, длина ребра в направлении потока, расстояние между пластинами, число ребер на 1м, условный коэффициент компактности, отношение площадей поверхности ребер и полной поверхности, толщина ребра, толщина разделительного листа, критериальные

зависимости числа Нуссельта и числа Эйлера от числа Рейнольдса). По данным работ [1,2]. База данных представляет собой Excel таблицу, которую можно дополнить и откорректировать в любой момент. На данный момент в базу данных внесены поверхности пластинчато-ребристые (ПлР) с 1 по 12 тип.

Далее по известным величинам находим параметры необходимые для расчета теплообменного аппарата, а именно: коэффициент компактности, коэффициент фронтального сечения, температуры на выходе из матрицы, средние температуры, температурный напор, различные теплофизические параметры теплоносителя на разных участках ТОА, число Прандтля, плотности теплоносителя, тепловой поток, коэффициент расширения и сужения потока, коэффициент гидравлического сопротивления на трение. Более подробную информацию о методике расчета можно посмотреть в [1, 10].

Для поиска массогабаритных параметров матрицы и выбора скорости теплоносителя, составим систему уравнений, основными уравнениями которого являются уравнение расхода, уравнение теплопередачи и уравнение потерь давления.

На данном этапе расчета необходимо определить зависимости длины, ширины, высоты, объема матрицы теплообменного аппарата, скорости холодного теплоносителя, потери давления по холодной и горячей стороне, количество слоев от скорости горячего теплоносителя. С помощью трассировки или путем выбора варианта ТОА с минимальным объемом, находим оптимальное сочетание параметров. Данную операцию проделываем в цикле для всех возможных комбинаций поверхностей теплообмена. Приоритетными параметрами для перебора являются обратное отношению объема матрицы (Рис.2-А) и коэффициент кубичности, характеризующий отношение наибольшего габаритного размера матрицы к наименьшему (Рис.2-Б). Далее выбираем оптимальную комбинацию поверхностей и для нее уточним параметры исходя из условия что количество слоев горячей и холодной стороны является целым числом. В данной работе в процессе перебора рассматриваются 144 комбинации поверхностей (все комбинации поверхностей ПлрР1-ПлрР12).

Определив необходимые параметры матрицы, выведем их в файл для дальнейшей работе в пакете САТІА.

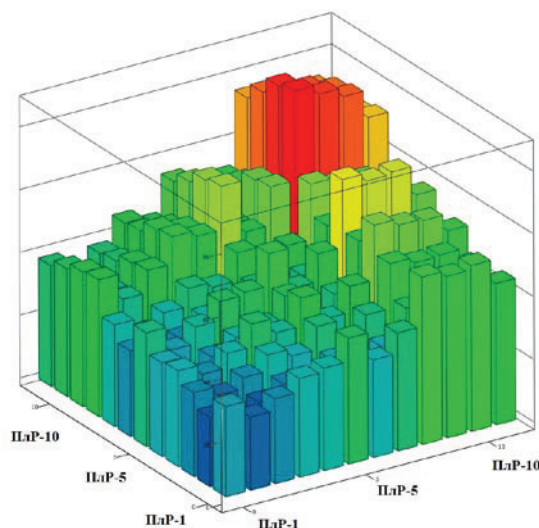
Для расчета патрубков возможно несколько вариантов определения коэффициента расширения, а именно: задание скорости в трубе (далее уточнение диаметра по ряду нормальных), задание диаметра трубы или самостоятельно задать коэффициент расширения потока перед матрицей.

Зная скорость теплоносителя и заданные потери давления в патрубках, можно найти (с учетом данных о матрице) габаритные характеристики патрубков. Путем <http://sntbul.bmstu.ru/doc/544397.html>

перебора комбинаций всех патрубков с углами раскрытия кратными 15 (10) градусам, находим комбинацию с наименьшей суммарной осевой протяженностью всех патрубков. Для поиска оптимальной комбинации была написана подпрограмма, которая аппроксимировала данные из таблиц в справочнике [11].

Определив необходимые параметры патрубков, выведем их в файл для дальнейшей работы в пакете САПР.

а)



б)

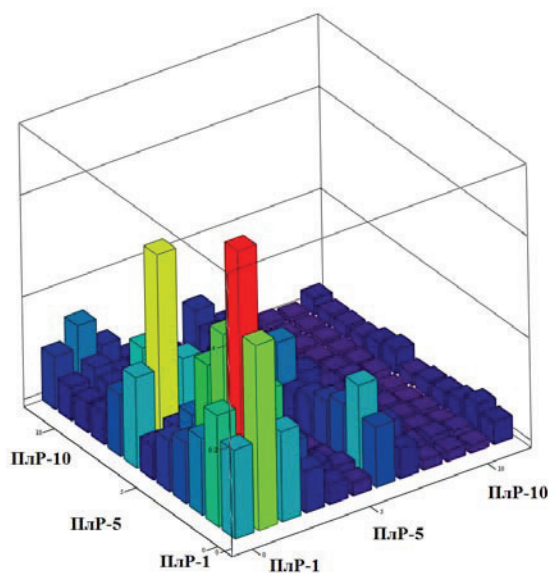


Рис. 2. Результаты теплогидравлических расчетов матрицы.

а- обратное отношение объема матрицы , б – Коэффициент кубичности

Часть 2. Работа в пакете CATIA

Выделим наиболее важные пункты в процессе создания модели:

- Все размеры импортируем из файлов геометрических характеристик матрицы и патрубков, созданных в части 1, для возможности перестроения 3D модели изделия.
- Для создания поверхностей теплообмена необходимо создать элементарный примитив и далее с помощью команды *массив* получить необходимую поверхность теплообмена.
- Создание опорных конструкций и элементов припоя (опорные бруски, разделяющие листы, и т.д.) по методике, рассмотренной в [1]
- Создание патрубков (конфузоры, диффузоры, разделяющие пластины в канале диффузора) по методике, рассмотренной в [1,2,11]
- Сборка конструкции (см. рис. 3, 4, 5)
- Анализ конструкции, и переход для корректировки к части 1.

Вывод: Данная методика позволяет создать комплекс, позволяющий в первом приближении автоматизировано рассчитать и спроектировать теплообменный аппарат, перебрав все комбинации (из заданного набора) теплообменных поверхностей и патрубков, выбрав оптимальную (удовлетворяющую заданным условиям) и вывести 3D модель, для дальнейшей конструктивной и технологической проработки.

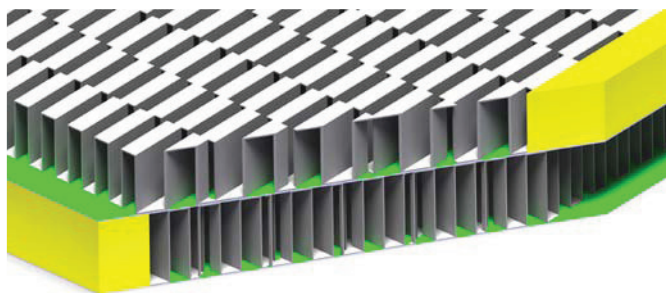


Рис. 3. Перекрестное расположение поверхностей ПЛР. Начальный этап сборки

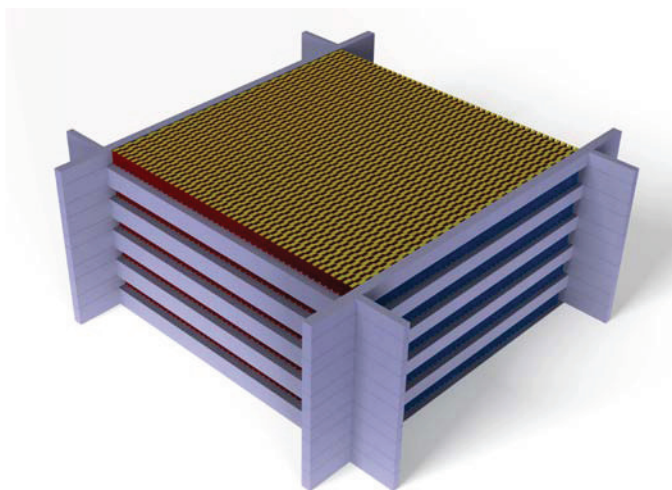


Рис. 4. Промежуточный этап сборки

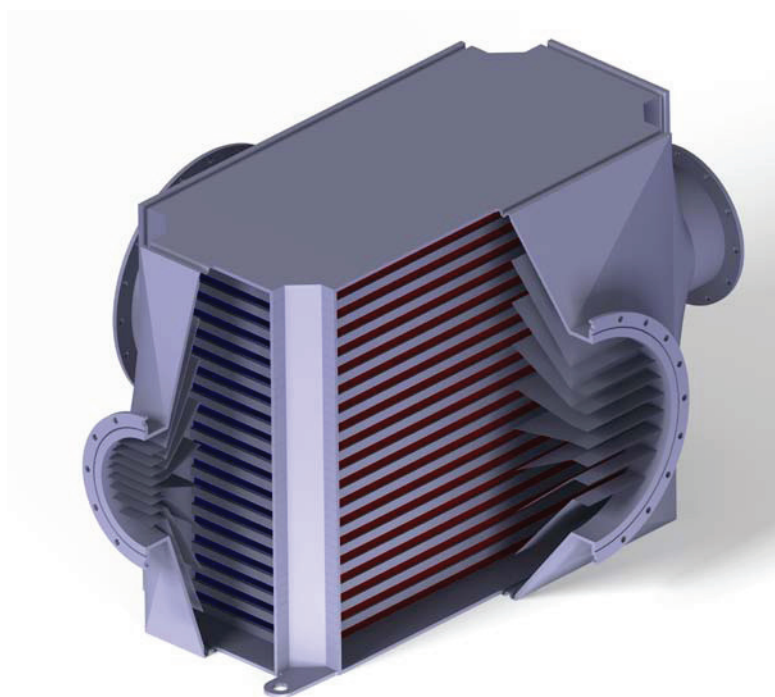


Рис. 5. Окончательный вид теплообменника после сборки

Список литература

1. Иванов В.Л., А.И. Леонтьев, Э.А. Манушин, М.И. Осипов - Теплообменные аппараты и системы охлаждения газотурбинных и комбинированных установок: Учебник для ВУЗов / Под ред. А.И. Леонтьева. - М., Изд-во МГТУ, 2003, 592 с.

2. В.М. Кейс, А.Л. Лондон - Компактные теплообменники. Изд-во "Энергия", 1967, 224 с.
3. Арбеков А.Н., Бурцев С.А. Исследование цикла замкнутой газотурбинной тригенерационной установки параллельной схемы // Тепловые процессы в технике. 2012. Т.4 № 7. С. 326-331.
4. Арбеков А.Н., Бурцев С.А. Исследование цикла замкнутой газотурбинной тригенерационной установки последовательной схемы // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2012 № 03. Режим доступа: <http://technomag.edu.ru/doc/359008.html> (дата обращения: 11.02.2013).
5. Егоров К.С. Экспериментальное исследование характеристик пластинчато-ребристых высококомпактных поверхностей теплообмена.// Электронный журнал «Труды МАИ», 2012 № 52 2012. Режим доступа: <http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=29545> (дата обращения 21.02.2013)
6. Егоров К.С., Щёголев Н.Л. Исследование характеристик высококомпактных пластинчато-ребристых поверхностей теплообмена со смещенным ребром.// Электронное научно-техническое издание «Наука и образование», «Инженерное образование» # 06, июнь 2012. Режим доступа: <http://technomag.edu.ru/doc/431788.html> (дата обращения 21.02.2013)
7. Киселёв Н.А. Автоматизированное проектирование проточной части рабочего колеса радиальной турбины в программном комплексе CATIA.// Молодежный научно-технический вестник # 05, май 2012. Режим доступа: <http://sntbul.bmstu.ru/doc/483994.html> (дата обращения 21.02.2013)
8. .Киселёв Н.А., Перескоков - Анализ напряженно-деформированного состояния рабочего колеса центростремительной турбины в зависимости от его геометрии. Е.В.Сборник трудов пятой Всероссийской конференции молодых ученых и специалистов "будущее машиностроения России". Москва, 26-29 сентября 2012, С. 161-162.
9. Киселёв Н.А., Мячин К.В., Перескоков Е.В. Проектирование проточной части радиальной турбомашин с использованием пакетов инженерного анализа и моделирования // Молодежный научно-технический вестник #01, январь 2013.
10. Иванов В.Л., А.И. Леонтьев, Э.А. Манушин, М.И. Осипов - Теплообменные аппараты и системы охлаждения газотурбинных и комбинированных установок: Учебник для ВУЗов / Под ред. А.И. Леонтьева. - М., Изд-во МГТУ, 2003, 592 с.
11. И.Е. Идельчик. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. М., "Машиностроение", 1975. 559 с. с ил.