

УДК 621.438: 536.246

**Трёхмерное моделирование кожухотрубного теплообменного аппарата с
использованием САПР CATIA**

К.В. Мячин

Студент, кафедра «Газотурбинные и нетрадиционные установки и двигатели»

МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, Россия

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

МГТУ им. Н.Э. Баумана

myachin.kv@mail.ru

Введение. Теплообменные аппараты получили широкое применение в технологических процессах различных отраслей промышленности, в частности – в газотурбинной энергетике [1]. При этом наиболее широко они распространены в комбинированных и замкнутых газотурбинных установках. Например, в замкнутых газотурбинных установках (ЗГТУ), предназначенных для одновременной выработки электрической энергии, теплоты и холода [2, 3] используется несколько теплообменных аппаратов: рекуперативный теплообменник энергетической части контура, концевой холодильник, система утилизации теплоты, рекуперативный теплообменник холодильной части контура и т.д.

На сегодняшний день возможности вычислительной техники шагнули далеко вперед, а технологии машиностроения требуют проведения всё более трудоёмких расчётов и использования современных методов анализа. Для этих задач были разработаны системы автоматизированного проектирования (САПР), которые

существенно улучшают возможности инженеров в области проектирования и производства. Одной из таких систем и является САПР CATIA.

Студентами и аспирантами кафедры Э-3 МГТУ им. Н.Э. Баумана уже несколько лет проводится цикл учебных и научно-исследовательских работ в области расчета и автоматизированного проектирования ЗГТУ [4 – 6].

В частности, с использованием САПР CATIA, было рассмотрено проектирование радиальной турбомшины (см. подробнее работы [7 – 12]), однако в этих работах основное внимание было уделено вопросам проектирования проточной части турбомашин и должным образом не рассматривалось трёхмерное моделирование и анализ теплообменных аппаратов.

Постановка задачи. В качестве решения конкретной технической задачи – проектирование теплообменного аппарата рекуперативного типа, кожухотрубного с гладкими трубами – с использованием САПР CATIA была создана трёхмерная модель со следующими составными частями: матрица, входные и выходные патрубки, прокладки, крепёжные изделия.

Устройство теплообменного аппарата следующее: перекрёстный многоходовой ток, матрица образована трубным пучком, состоящим из элементарных модулей, горячий теплоноситель протекает в межтрубном пространстве.

Расчёт и проектирование теплообменного аппарата имеет следующую структуру:

- Проведение необходимых теплогидравлических расчётов по методике, представленной в работе [1];
- Выбор оптимальной поверхности теплообмена (с учётом габаритных размеров получаемой матрицы, её массы и приблизительной стоимости материалов);
- Выбор оптимальной компоновки труб в трубном пучке (с учётом выбора оптимального шага в матрице по результатам работы [13]);
- Расчёт патрубков по методике, предложенной в работе [14] с учетом данных работы [15];
- Расчёта параметров и размеров деталей и соединений [15, 16].

Одновременно с расчётом в работе проводилась параметризация геометрии ТОА: конструктивные размеры деталей и соединений, количество ходов по холодному теплоносителю. Данный подход позволяет, используя различные результаты расчета (и, соответственно, различные входные параметры) получать модель теплообменного аппарата, отвечающую заданным критериям (техническому заданию).

Таким образом, была создана параметризованная модель, а на её основе – конкретный теплообменный аппарат (рис.1).

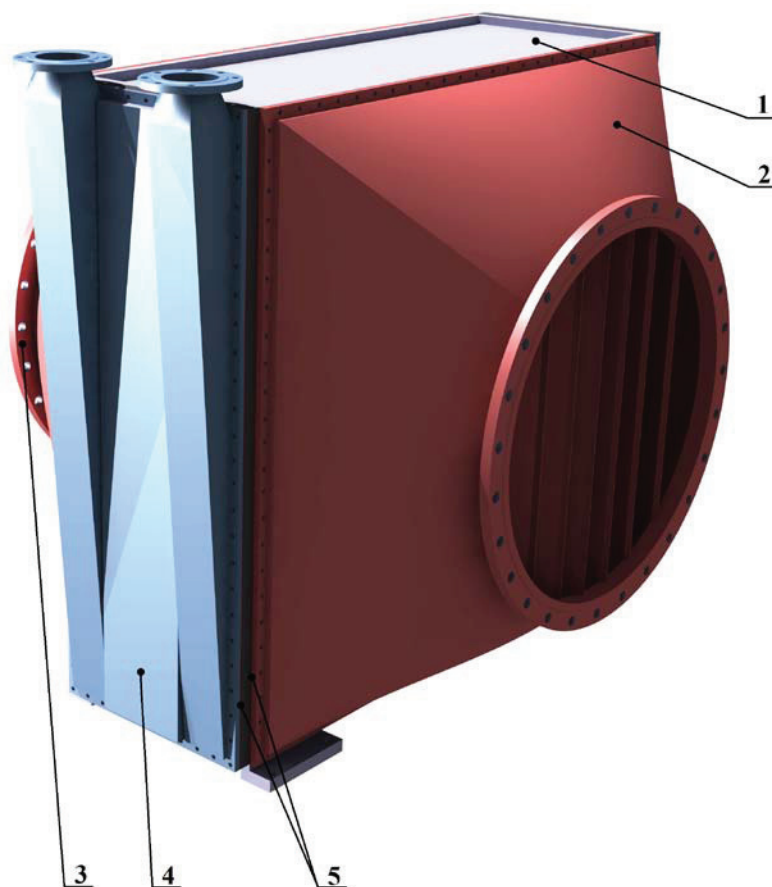


Рис.1. Трёхмерная модель проектируемого теплообменного аппарата:

1 – корпус; 2 – диффузор горячего теплоносителя; 3 – конфузор горячего теплоносителя; 4 – входной/выходной патрубки холодного теплоносителя; 5 – уплотнительные прокладки

В связи с особенностями расположения труб в трубном пучке, выбор формы трубных модулей без значительных отклонений в геометрии от расчётной схемы оказался затруднительным. Одним из проектных решений стало создание модели матрицы ТОА, включающей два типа модулей: так называемые "квадратный" и "треугольный".

Модель матрицы теплообменного аппарата и схема расположения модулей в трубной доске представлены на рис. 2, а фрагменты внешнего вида модулей на рис. 3.

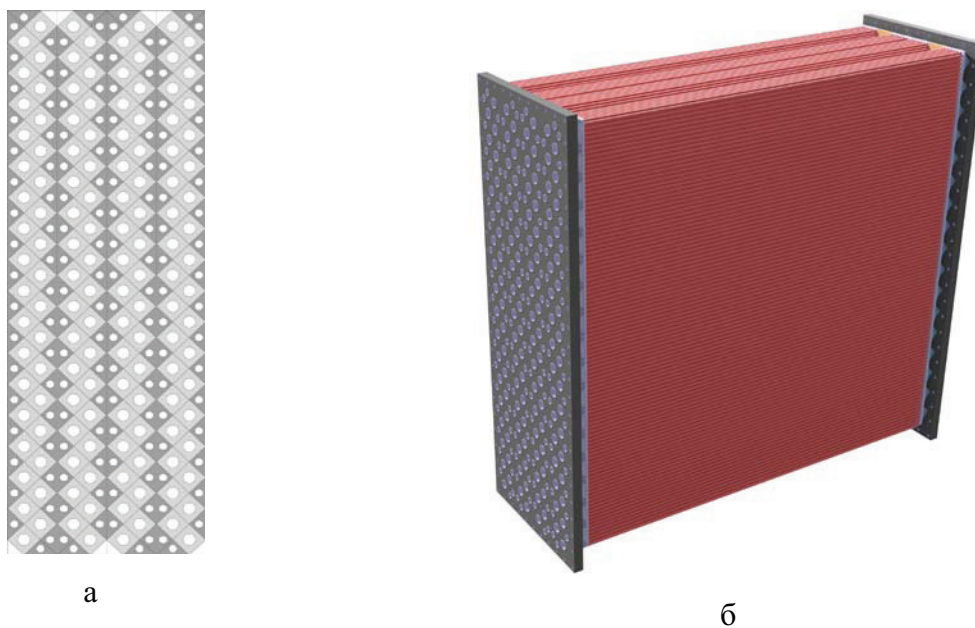


Рис.2. Матрица теплообменного аппарата: а) схема расположения модулей в трубной доске; б) трёхмерная модель матрицы теплообменного аппарата

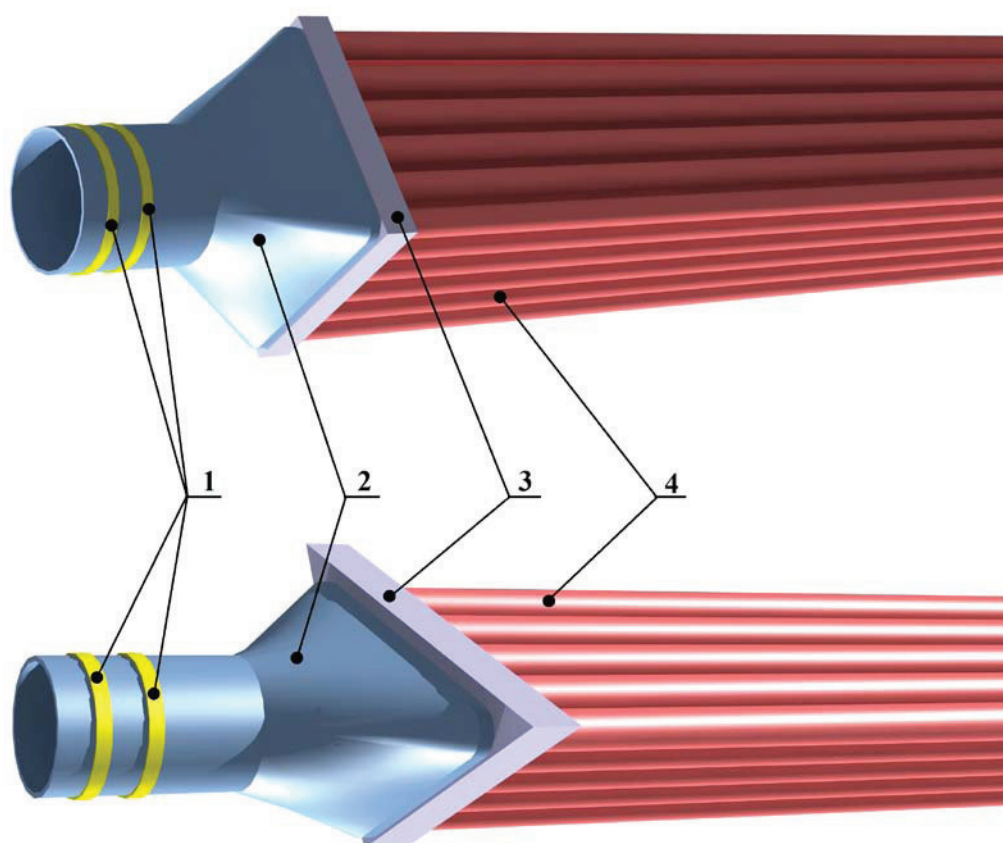


Рис.3. Трубные модули. Фрагменты трёхмерных моделей "квадратного" (вверху) и "треугольного" (внизу) модулей: 1 – зона вальцовки патрубка трубного пучка в общую трубную доску теплообменного аппарата; 2 – патрубок трубного пучка; 3 – трубная доска трубного пучка; 4 – трубка

Существенно важной частью данной работы является параметризация теплообменного аппарата. Благодаря ей вся геометрия ТОА получает, в ходе проектирования, зависимость не от конкретных значений физических величин, приведённых в техническом задании, а от целого диапазона таких значений, что позволяет автоматически получать ТОА для ряда схожих технических задач, отличающихся как заданными параметрами, так и рабочими телами, но имеющих одинаковую топологию построения.

Анализ моделей. В ходе теплогидравлического расчёта были найдены предварительные значения объёма и массы матрицы теплообменного аппарата, выбраны материалы всех конструктивных элементов аппарата.

Математическими средствами САПР CATIA также были определены главные моменты инерции и координаты центра масс, уточнена масса всего теплообменного аппарата в целом (рис.4).

Определение

Выбранные элементы: Product1

Результат

Режим вычисления: Точный

Тип: Объем

Характеристики		Центр тяжести (G)	
Объем	0,465m3	Gx	-250,677mm
Площадь	589,242m2	Gy	-376,227mm
Масса	3938,259kg	Gz	1144,54mm
Плотность	Неоднородн		

Инерция / G | Инерция / O | Инерция / P | Инерция / Ось | Ине

Матрица инерции / G

IxxG	2626,317kgxm2	IyyG	1764,114kgxm2	IozG	1389,965kgxm2
IxyG	0,45kgxm2	IxzG	0,706kgxm2	IyzG	-206,769kgxm2

Главные моменты инерции / G

M1	1298,202kgxm2	M2	1855,877kgxm2	M3	2626,318kgxm2
----	---------------	----	---------------	----	---------------

Рис.4. Определение массогабаритных характеристик теплообменного аппарата

С помощью блока анализа САПР CATIA найдено распределение тепловых статических напряжений в соединениях деталей (в соответствии с работой [17])

теплообменного аппарата (рис.5), выявлены места наибольшей концентрации напряжений, проведён расчёт на прочность семейства теплообменных аппаратов для некоторых режимов, отличающихся от расчётных.

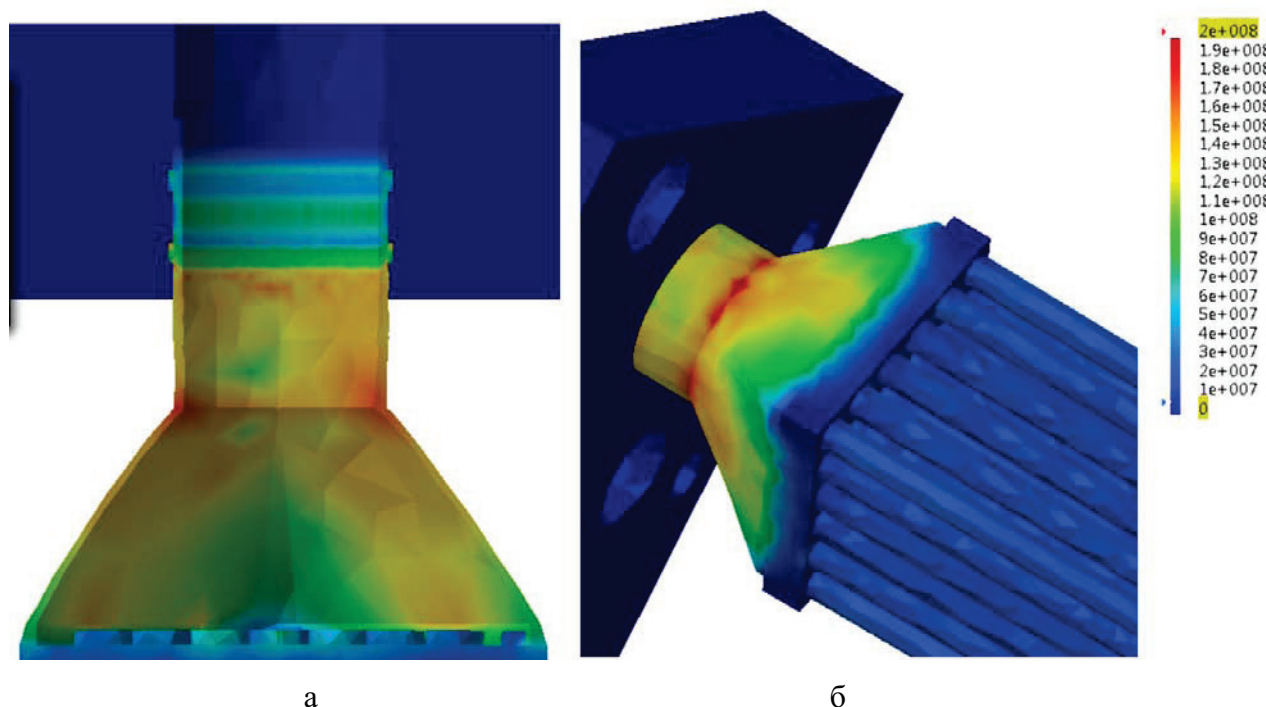


Рис.5. Распределение тепловых напряжений в области вальцовочного соединения и трубного пучка: а) в разрезе; б) общий вид

Вывод. В данной работе разработана методика автоматизированного проектирования кожухотрубного теплообменного аппарата и оптимизации его параметров. Описанная методика позволила создать трёхмерную модель теплообменного аппарата для дальнейшей конструктивной и расчётной проработки. На следующем этапе (с использованием данной модели) возможны доработки конструкции ТОА с учётом специфических требований технологии изготовления и оптимизации геометрии теплообменного аппарата для повышения его теплогидравлической эффективности (например, в соответствии с работой [18]).

Выполнена проработка модульного принципа создания матрицы теплообменного аппарата с технологической и конструктивной точек зрения, обеспечивающая сохранение теплогидравлических характеристик. Описана методика автоматического расчёта тепловых напряжений в соединениях деталей спроектированного ТОА и его массогабаритных характеристик в пакете CATIA.

Список литературы

1. В.Л. Иванов, 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. 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.
3. Арбеков А.Н., Бурцев С.А. Исследование цикла замкнутой газотурбинной тригенерационной установки последовательной схемы // Наука и образование №03, март 2012. Режим доступа: <http://technomag.edu.ru/doc/359008.html> (дата обращения: 22.02.2013).
4. Русаков Д.Д. Разработка программного комплекса для расчета цикла тригенерационной замкнутой газотурбинной установки // Молодежный научно-технический вестник #04, апрель 2012. Режим доступа: <http://sntbul.bmstu.ru/doc/472219.html> (дата обращения: 22.02.2013).
5. Арбеков А. Н., Новицкий Б. Б., Колосов Н. Ф. Исследование возможности создания макетного образца двухпетлевой замкнутой газотурбинной энергетической установки мощностью 10 кВт // Молодежный научно-технический вестник # 07, июль 2012. Режим доступа: <http://sntbul.bmstu.ru/doc/458272.html> (дата обращения: 22.02.2013).
6. Колосов Н.Ф. Исследование теплообменного аппарата для макетного образца двухпетлевой ЗГТУ // Сборник статей докладов общеуниверситетской научно-технической конференции «Студенческая научная весна-2012» 02-29 апреля 2012 года, Том XII, часть 3, Москва, Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, С. 144-151.
7. Киселёв Н.А. Автоматизированное проектирование проточной части рабочего колеса радиальной турбины в программном комплексе CATIA // Сборник статей Молодежной научно-инженерной выставки «Политехника» – 2011. МГТУ им. Н.Э. Баумана. М.: НТА «АПФН», 2011, с. 111-120.
8. Киселёв Н.А. Прочностной анализ рабочего колеса центростремительной турбины // Молодежный научно-технический вестник # 04, апрель 2012. Режим доступа: <http://sntbul.bmstu.ru/doc/472205.html> (дата обращения: 22.02.2013).

9. Киселев Н.А. Автоматизированное проектирование проточной части ступени радиальной турбины в программном комплексе САПР// Сборник статей докладов участников общеуниверситетской научно-технической конференции «Студенческая научная весна – 2012», посвященной 165-летию Н.Е. Жуковского, 02-29 апреля 2012 г. Том XII, часть 3, с. 138-144.
10. Киселёв Н.А., Мячин К.В. Моделирование сборки ротора с использованием пользовательских примитивов// Сборник трудов пятой Всероссийской конференции молодых ученых и специалистов "Будущее машиностроения России". Москва, 26-29 сентября 2012. С. 158-159.
11. Киселёв Н.А., Перескоков Е.В. Анализ напряженно-деформированного состояния рабочего колеса центробежной турбины в зависимости от его геометрии// Сборник трудов пятой Всероссийской конференции молодых ученых и специалистов "Будущее машиностроения России". Москва, 26-29 сентября 2012. С. 161-162.
12. Киселёв Н.А., Мячин К.В., Перескоков Е.В. Проектирование проточной части радиальной турбомшины с использованием пакетов инженерного анализа и моделирования // Молодежный научно-технический вестник #01, январь 2013. Режим доступа: <http://sntbul.bmstu.ru/doc/532933.html> (дата обращения: 22.02.2013)
13. В.М. Кейс, А.Л. Лондон. Компактные теплообменники. М.: Энергия, 1967. 224 с.
14. И.Е. Идельчик. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. М.: Машиностроение, 1975. 559 с. с ил.
15. ГОСТ 12820–80 ст.3 (20). Фланцы стальные плоские. М. 1960. 20с
16. ГОСТ 617–90. Трубы медные. Технические условия. М. 1990. 23 с.
17. ОСТ 26–02–1015–85. Крепление труб в трубных решетках. М. 1985. 23 с.
18. Цилиндр в пограничном слое плоской пластины / Афанасьев В.Н., Бурцев С.А., Егоров К.С., Кулагин А.Ю.// Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия Машиностроение. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. № 2. С. 3 – 22.