АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СУДОВЫХ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ

ANALYSIS OF DESIGN PROCESSES FOR SHIP HEAT EXCHANGERS

УДК 66.045.1

Тийгисте Ростислав Денисович, Аспирант кафедры «Энергоустановки морских судов и сооружений», ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь

Аблаев Алим Рустемович, Доцент кафедры «Энергоустановки морских судов и сооружений», ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь

Аблаев Ремзи Рустемович, Доцент кафедры «Экономика предприятия» ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь

Tiigiste Rostislav Denisovich, Post-graduate student of the Department of Power Installations of Marine Vessels and Structures, Sevastopol State University, Sevastopol

Ablaev Alim Rustemovich, Associate Professor of the Department of Power Installations of Marine Vessels and Structures, Sevastopol State University, Sevastopol

Ablaev Remzi Rustemovich, Associate Professor of the Department of "Enterprise Economics", FGAOU VO "Sevastopol State University", Sevastopol

Аннотация

В работе рассмотрена роль судовых теплообменных аппаратов в судовой энергетической установке. Приведена классификация теплообменных

аппаратов. Поэтапно разобран процесс их проектирования. Рассмотрены методы проектирования в зависимости от особенностей проектируемого аппарата и по степени автоматизации процесса. Описаны судовые аппараты, предлагаемые компанией Alfa Laval, являющейся одной из современных лидеров рынка в этом сегменте. Перечислены существующие способы для автоматизированного проектирования, которые позволяют проектировать судовые теплообменные аппараты.

Summary

The paper considers the role of ship heat exchangers in a ship power plant. The classification of ship heat exchangers is given. The process of their design is analyzed step by step. Methods of design are considered depending on the features of the designed apparatus and the degree of automation of the process. Described are ship vehicles offered by Alfa Laval, one of the modern market leaders in this segment. The existing methods for computer-aided design are listed, which make it possible to design ship heat exchangers.

Ключевые слова: судовые теплообменные аппараты, методы проектирования, степень автоматизации процесса, система автоматизированного проектирования.

Keywords: vessel heat exchanger, design methods, degree of process automation, computer-aided design

Введение

Одним из важных этапов проектирования судовых энергетических установок (СЭУ) является проектирование судовых теплообменных аппаратов (ТОА). Судовые ТОА осуществляют съём тепла с наддувочного воздуха, воды, масла, топлива, гидравлических жидкостей. Также они используются для подогрева пресной воды, смазочных материалов, различных видов топлива, наддувочного воздуха. Поэтому от эффективности и надежности их функционирования во многом зависит долговечность и безотказность работы СЭУ. Вышеуказанное обуславливает высокую актуальность выбранной темы

исследования, поскольку надежность и эффективность функционирования ТОА закладывается на этапе их проектирования.

Цель и задачи исследования

Провести анализ методов проектирования судовых ТОА в зависимости от тепло-гидродинамических процессов проектируемого аппарата и от степени автоматизации процесса. Поэтапно разобраться в процессе проектирования ТОА. На основе проведенного анализа, определить задачи для дальнейших исследований по разработке математической модели расчета судовых кожухотрубных теплообменных аппаратов.

Основной раздел

Анализ современной научной литературы позволяет заключить, что в морской отрасли используются следующие судовые ТОА: охладители наддувочного воздуха, охладители воды, маслоохладители, охладители топлива, охладители гидравлических жидкостей, подогреватели воды, подогреватели масла, подогреватели топлива и подогреватели наддувочного воздуха.

Для того, чтобы начать процесс проектирования, необходимо определиться с начальными и конечными техническими параметрами, а также с конструктивными особенностями гипотетического ТОА. И первым этапом следует разобраться с классификацией судовых теплообменных аппаратов. По конструкции ТОА делятся на кожухотрубные, пластинчатые разборные, пластинчатые паяные, пластинчатые сварные, пластинчатые полусварные, типа "труба в трубе", змеевиковые, витые, спиральные.

По схеме движения теплоносителей (рисунок 1) различают ТОА противоточные (а), прямоточные (б), перекрёстноточные (в), с реверсивным током (г). Также применяют схемы с многократным перекрёстным током при общем противотоке (д), ТОА с многократным реверсивным током (е) и ряд других [1, 2, 3, 5]. При этом действительная схема движения теплоносителей будет отличаться от известных и описанных вариантов, так как существуют перетечки между перегородками, в трубной доске и т.п.

По разновидностям теплопередающих поверхностей рекуперативные ТОА делят на трубчатые, пластинчатые, трубчато-пластинчатые, с U-образными трубами, спиральные. Трубчатые ТОА делят на: ТОА с прямыми гладкими трубами и ТОА с оребрёнными трубами, а пластинчатые ТОА делят на: пластинчатые ТОА и пластинчато-ребристые ТОА.

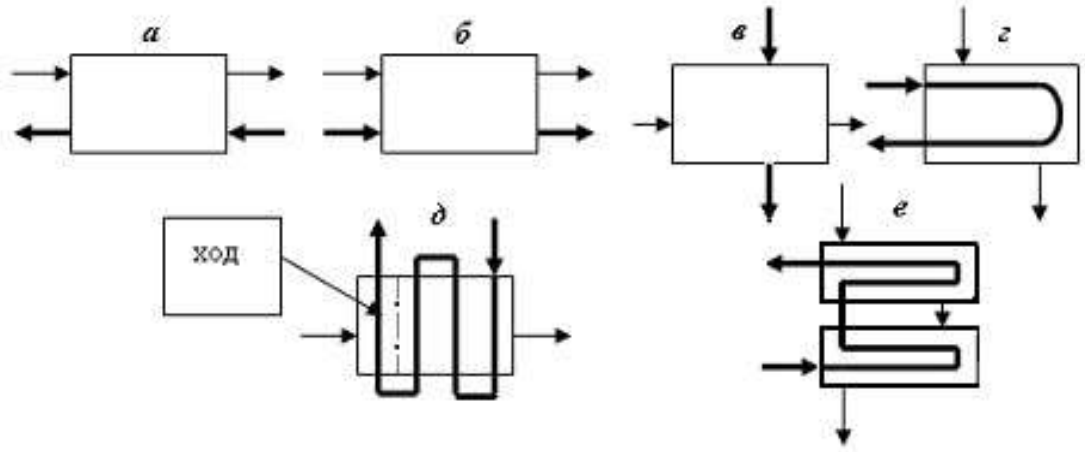


Рисунок 1- Схемы движения теплоносителей в ТОА

По компоновке трубных пучков в кожухотрубных ТОА. Выделяют следующие способы компоновки трубных пучков в кожухотрубных ТОА: шахматная, треугольная; коридорная, квадратная; радиальная; по концентрическим окружностям [7, 8].

По виду теплоносителей различают газо-жидкостные (воздухо-жидкостные), воздухо-воздушные (газо-воздушные, газо-газовые), жидкостно-жидкостные ТОА.

Проектирование ТОА – это процесс разработки технической документации, по которой возможно изготовление нового ТОА, отвечающего заданным требованиям.

Этапы процесса проектирования ТОА:

1. Разработка технического задания на проектирование.

Техническое задание устанавливает назначение, массогабаритные и теплогидродинамические характеристики, показатели качества и технико-экономические требования, предъявляемые к разрабатываемому аппарату.

Техническое задание разрабатывает либо заказчик, либо конструкторский отдел завода-изготовителя.

Основные параметры, необходимые для проектирования: вид нагреваемой и нагревающей среды, температуры нагревающей и нагреваемой среды на входе и на выходе (t),°С, максимальный нагрев нагреваемой среды (Δt_{max}), °С, номинальный и максимальный расход нагреваемой и нагревающей среды ($G_{ном}/G_{max}$), $м^3/ч$, номинальная и максимальная скорость нагреваемой среды (w_{max}), м/с, рабочее давление нагреваемой и нагревающей среды(Р), МПа, допустимые потери напора нагреваемой и нагревающей среды ($\Delta P_п$),МПа, коэффициент теплопроводности материала(λ),Вт/(м·К), тепловая производительность (мощность) (Р), кВт (если известно).

2. Разработка технического предложения.

Техническое предложение представляет собой совокупность конструкторских документов, содержащих технические и технико-экономические обоснования рациональности разработки документации по аппарату на основании анализа технического задания и различных вариантов конструкторских решений.

3. Эскизное проектирование.

При эскизном проектировании формируется представление об ТОА в целом, разрабатывается конструкция аппарата, определяются его технические характеристики. На этом этапе производятся тепловые, прочностные, гидравлические расчёты. Началом эскизного проекта является создание варианта компоновки трубного пучка, определение габаритных размеров корпуса аппарата. Процесс компоновки трубного пучка сопровождается тепловыми и прочностными расчётами, а результатом является теоретический чертёж. Тепловой и гидродинамический расчёты производятся для того, чтобы определить основные габаритные размеры аппарата. Результаты прочностного расчёта часто требуют внесения изменений в конструкцию аппарата по условиям прочности. Это приводит к повторным тепловым и гидродинамическим расчётам.

4. Выполнение технического проекта.

Технический проект — это конструкторские документы, содержащие окончательные технические решения, дающие полное представление об устройстве ТОА, и исходные данные для разработки рабочей документации. На стадии технического проектирования детализируются решения, полученные при эскизном проектировании. Все расчёты технического проекта выполняются в окончательном виде, не требующем проверки или уточнения на этапе разработки рабочей документации.

Обязательные документы для технического проекта:

– чертёж общего вида (изображения изделия; надписи для понимания конструктивного устройства и принципа работы ТОА; наименование и обозначение составных частей ТОА, для которых нужно указать необходимые технические данные; размеры);

– транспортировочный чертёж (схема крепления ТОА в транспорте; результаты расчёта устойчивости и прочности крепления ТОА);

– ведомость технического проекта; г) пояснительная записка.

5. Разработка рабочей документации.

Рабочая конструкторская документация разрабатывается для изготовления головного образца ТОА и дальнейшего производства. Потом она исправляется относительно результатов изготовления и испытаний этого головного образца ТОА. Разрабатывается эксплуатационная документация, предназначенная для изучения конструкции ТОА судовым экипажем. Туда входит описание и инструкция по эксплуатации, формуляры и паспорта. В конце производится товарно-сопроводительная документация, содержащая данные о комплектации изделия и о местонахождении каждого узла в упаковочной таре ТОА [1, 4, 6].

Методы проектирования ТОА различаются в первую очередь из-за особенностей проектируемого аппарата. Имеется в виду то, что проводимые расчёты во время проектирования разных типов ТОА разнятся. Например, при проектировании кожухотрубных ТОА производится соответствующий тепловой, гидравлический расчёты, расчёт температур (напряжений) кожуха и

труб аппарата и механический расчёт. А при проектировании пластинчатых или спиральных ТОА производится соответствующий тепловой, гидравлический и механический расчёты [2].

Выделяют следующие методы проектирования по степени автоматизации процесса.

1. Традиционное проектирование. Метод характеризуется тем, что все виды проектных работ ориентированы на создание индивидуальных проектных решений. Основное достоинство этого метода заключается в более детальной проработке задач и учет всех конструктивных особенностей судовых теплообменных аппаратов. Однако этот метод имеет существенные недостатки: сравнительно высокую трудоёмкость и большие сроки проектирования.

2. Автоматизированное проектирование.

Современные лидеры рынка, предлагающие свои судовые ТОА, такие как Alfa Laval и GEA не раскрывают особенности используемых ими систем автоматизированного проектирования (САПР) и методов проектирования судовых ТОА. Эти компании предоставляют ассортимент товаров с сопутствующей документацией. Так же предоставляют калькулятор расчёта ТОА для возможности рассчитать ТОА для индивидуальной цели.

Alfa Laval предоставляет следующие судовые ТОА: Aalborg MD (охладитель дренажа, масла), Aalborg MD-T (подогреватель морской воды для мойки танков), Aalborg EH (проточный электрический подогреватель тяжёлого топлива, масла или воды), Alfa Nova M (судовой пластинчатый ТОА), CB (паяный пластинчатый ТОА для нагрева и охлаждения масла и др.) и т.д. Ясно, что компании используют современное программное обеспечение и многолетний опыт для проектирования судовых ТОА.

Существует ряд проектов для автоматизированного проектирования: графические (AVEVA, CATIA, SolidEdge, AutoCAD, ГеММа-3D, КОМПАС); расчётные (Альфа-30 - расчёт кожухотрубчатых ТОА, Номоформа ТИГР -

тепловой и гидравлический расчёт кожухотрубчатых ТОА, Aspen HYSYS v3.2 - расчёт кожухотрубчатых ТОА) [3, 10].

Рассмотрим в виде примера разработку САПР PVX. Она предназначена для автоматизированного проектирования сосудов и аппаратов. В первую очередь это кожухотрубные ТОА, ёмкостное оборудование, корпуса фильтров, смесителей. САПР PVX - это библиотека средств автоматизации, включающая параметрические сборки (Мини-САПР), детали, базы данных и вспомогательные компоненты, связанные в единую систему и предназначенные для работы в среде T-FLEX CAD v15 x64 (программный комплекс для автоматизации процессов в среде проектирования) [4, 5].

Для проектирования ТОА существует серия мини-САПР "Теплообменники". Эта разработка создана на базе САПР PVX и предназначена для проектирования ТОА по ТУ 3612-023-00220302-01 (Аппараты теплообменные кожухотрубчатые с плавающей головкой, кожухотрубчатые с U-образными трубами и трубные пучки к ним), ТУ 3612-024-00220302-02 (Аппараты теплообменные кожухотрубчатые с неподвижными трубными решётками и кожухотрубчатые с температурным компенсатором на кожухе) и их аналогов. Например, Мини-САПР "НГ" (проектирование кожухотрубчатых ТОА с неподвижными трубными решётками). Разработка позволяет добиться полной автоматизации проектирования, быстрой подготовки чертежей общего вида и автоматическое создание 3D-модели для получения дополнительной возможности избегания ошибок на начальных этапах проектирования ТОА (рисунок 2) [4, 9].

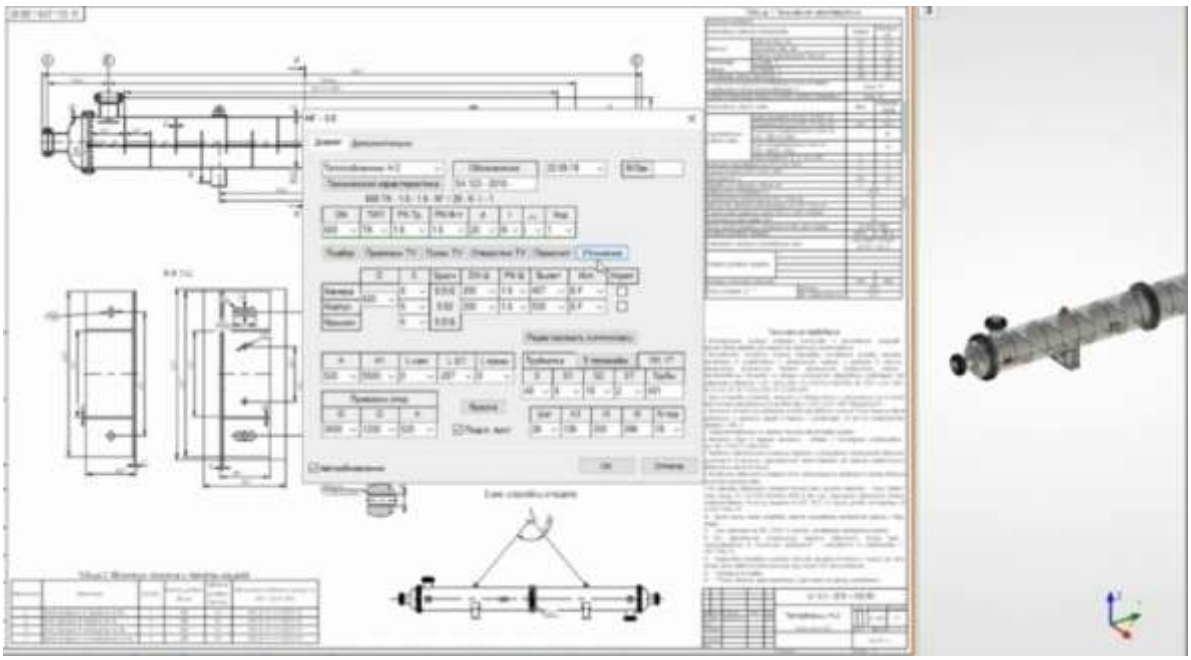


Рисунок 2 - Процесс автоматизированного проектирования ТОА на базе САПР PVX

Примерами оборудования, изготовленными по проектам SaprArt и функционирующими, являются: ТОА 630ТПГ-2.5-М1_25Г-6-К-2-У-И сдвоенный, 1800ТПГ - холодильник абсорбирующего раствора.

Заключение

Результаты вышеприведенного исследования позволяют прийти к выводу, что современные компании оптимизируют процесс проектирования и дают заказчику выбор между серийным ТОА с корректируемыми характеристиками и ТОА индивидуального проекта, создание которого выйдет дороже и дольше. Поэтапный анализ процессов проектирования ТОА позволяет выявить основные достоинства автоматизированного проектирования: ускорение процесса, снижение вероятности ошибок из-за частичного исключения человеческого фактора, обеспечение лучшей надёжности. Несмотря на наличия значительных достоинств САПР при проектировании ТОА, также имеются их недостатки, выраженные в повышение затрат на подготовку специалистов для работы в этой системе, высокая стоимость требуемого дополнительного оборудования и программного обеспечения.

Проведенный обзор методов тепло-гидродинамического расчёта судовых кожухотрубных охладителей масла и воды показал, что на данный момент представленные расчётные зависимости не в полной мере отражают учёт конструктивных особенностей судовых ТОА [3, 6, 11], а также условия эксплуатации данных аппаратов. Это обуславливает перспективу будущих исследований, в частности проведение расчётного эксперимента по определению погрешностей тепло-гидродинамического расчёта и разработки математической модели расчёта судовых кожухотрубных охладителей масла и воды.

Литература

1. Аронсон К.Э. Теплообменники энергетических установок: учебное электронное издание // К.Э. Аронсон, С.Н. Блинков, В.И. Брезгин и др. - Екатеринбург, УрФУ, 2015 - 733 Mb.
2. Cüneyt Ezgi. Basic Design Methods of Heat Exchanger, Heat Exchangers - Design, Experiment and Simulation, S M Sohel Murshed and Manuel Matos Lopes, Intech Open, DOI: 10.5772/67888, 2017.
3. Аблаев А.Р. Совершенствование методов расчета теплообменных аппаратов систем обеспечения теплового режима судовых энергоустановок при их проектировании, Диссертация - Севастополь, 2010 - 199с.
4. Аблаев А.Р. Анализ тепловой эффективности судовых теплообменных аппаратов типа «жидкость – жидкость» / А.Р. Аблаев, Р.Р. Аблаев // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. - 2018. - № 1 (10). - С. 221-228.
5. Аблаев А.Р. Методика расчета теплоотдачи и гидравлического сопротивления в трубном полости судовых охладителей / А.Р. Аблаев, Р.Р. Аблаев // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2018. – № 4-2 (330). – С. 42-49.

6. Макаров В. В. Анализ тепловой эффективности судовых теплообменных аппаратов / В. В. Макаров, А. Р. Аблаев // Энергомашиностроение. - 2006. - № 1. - С. 48-50.
7. ОСТ 5Р.4476-98 (с изм. 1 2000) Охладители воды и масла судовые. Общие технические требования.
8. ОСТ 5Р.4487-94 Подогреватели топлива, масла и воды судовых систем. Общие технические требования.
9. Сырцов Л. А. Экспериментальное исследование конвективного теплообмена на основе теории подобия / Л. А. Сырцов, И. В. Наумчик, А. В. Хорошавин // Труды военно-космической академии им. А. Ф. Можайского. - 2015. - № 649. - С. 198-204.
10. Федоровский К. Ю. Исследование теплопередачи в экологически безопасных системах охлаждения энергоустановок морских объектов / К. Ю. Федоровский, Н. К. Федоровская, В. А. Тимофеев // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. - 2016. - № 3 (317). - С. 82-88.
11. Чабаева Е. А. Критерии эффективности теплообменников / Ю. А. Чабаева, А. П. Булеков, В. Б. Сажин [и др.] // Успехи в химии и химической технологии. - 2012. - Т. 26. - № 5(134). - С. 112-115.

Literature

1. Aronson K.E. Teploobmenniki energeticheskih ustanovok: uchebnoe elektronnoe izdanie // K.E. Aronson, S.N. Blinkov, V.I. Brezgin i dr. - Ekaterinburg, UrFU, 2015 - 733 Mb.
2. Cüneyt Ezgi. Basic Design Methods of Heat Exchanger, Heat Exchangers - Design, Experiment and Simulation, S M Sohel Murshed and Manuel Matos Lopes, Intech Open, DOI: 10.5772/67888, 2017.
3. Ablaev A.R. Sovershenstvovanie metodov rascheta teploobmennyh apparatov sistem obespecheniya teplovogo rezhima sudovyh energoustanovok pri ih proektirovanii, Dissertaciya - Sevastopol', 2010 - 199s.

4. Ablaev A.R. Analiz teplovoj effektivnosti sudovyh teploobmennyh apparatov tipa «zhidkost' – zhidkost'» / A.R. Ablaev, R.R. Ablaev // Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova. - 2018. - № 1 (10). - S. 221-228.
5. Ablaev A.R. Metodika rascheta teplootdachi i gidravlicheskogo soprotivleniya v trubnom polosti sudovyh ohladitelej / A.R. Ablaev, R.R. Ablaev // Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii. – 2018. – № 4-2 (330). – S. 42-49.
6. Makarov V. V. Analiz teplovoj effektivnosti sudovyh teploobmennyh apparatov / V. V. Makarov, A. R. Ablaev // Energomashinostroenie. - 2006. - № 1. - S. 48-50.
7. OST 5R.4476-98 (s izm. 1 2000) Ohladiteli vody i masla sudovye. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya.
8. OST 5R.4487-94 Podogrevateli topliva, masla i vody sudovyh sistem. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya.
9. Syrcov L. A. Eksperimental'noe issledovanie konvektivnogo teploobmena na osnove teorii podobiya / L. A. Syrcov, I. V. Naumchik, A. V. Horoshavin // Trudy voenno-kosmicheskoj akademii im. A. F. Mozhajskogo. - 2015. - № 649. - S. 198-204.
10. Fedorovskij K. YU. Issledovanie teploperedachi v ekologicheski bezopasnyh sistemah ohlazhdeniya energoustanovok morskih ob''ektov / K. YU. Fedorovskij, N. K. Fedorovskaya, V. A. Timofeev // Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii. - 2016. - № 3 (317). - S. 82-88.
11. CHabaeva E. A. Kriterii effektivnosti teploobmennikov / YU. A. CHabaeva, A. P. Bulekov, V. B. Sazhin [i dr.] // Uspekhi v himii i himicheskoj tekhnologii. - 2012. - T. 26. - № 5(134). - S. 112-115.