

Проектирование кожухотрубчатых теплообменных аппаратов с применением программного обеспечения

А.С. Марущак^а, Д.С. Кременецкая, М.А. Титенкова, Е.Д. Ферапонтов
Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь
E-mail: mas_tenergy@mail.ru

Аннотация. Рассмотрены технические возможности разработанного приложения для проектирования кожухотрубчатых теплообменных аппаратов.

Ключевые слова: проектирование теплообменников, кожухотрубчатые теплообменные аппараты.

Design of Shell and Tube Heat Exchangers Using Software

A. Marushchak^a, D. Kremenetskaya, M. Titenkova, E. Ferapontov
Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus
E-mail: mas_tenergy@mail.ru

Annotation. The technical capabilities of the created application for the design of shell-and-tube heat exchangers are considered.

Key words: design of heat exchangers, shell-and-tube heat exchangers.

В промышленности для создания и поддержания температурного режима в химических, массообменных и других процессах химической технологии и защиты окружающей среды необходимо осуществлять подвод или отвод тепловой энергии от рабочей среды для проведения таких процессов широко применяют теплообменные аппараты (ТОА) различных конструкций [1].

Теплообменниками называют аппараты, предназначенные для передачи тепла от одних веществ к другим. Теплообменные аппараты могут применяться как самостоятельное оборудование, так и в виде отдельных элементов технологических и энергетических установок, образуя секционные (многоступенчатые) агрегаты. В промышленности наиболее распространены поверхностные рекуперативные теплообменники, в которых теплоносители разделены твердой стенкой. Кожухотрубчатые теплообменники различных конструкций – наиболее распространенный тип теплообменных аппаратов, которые просты по конструкции, надежны в эксплуатации и могут иметь площадь поверхности теплообмена до 1000 м². [2]

Внешний вид кожухотрубчатого теплообменного аппарата показан на рисунке 1.

В программе обучения будущих инженеров-энергетиков, в рамках учебной дисциплины «Тепломассообмен», производится проектирование кожухотрубчатого теплообменного аппарата.



Рисунок 1 – Кожухотрубчатый теплообменный аппарат

Проектирование кожухотрубчатого теплообменника состоит из нескольких расчетов:

1. Тепловой конструктивный расчёт.
2. Гидравлический расчёт.
3. Механический расчёт.

Конструктивный расчет выполняется при проектировании теплообменного аппарата, когда заданы теплопроизводительность аппарата, теплоносители, их расходы и параметры. Целью такого расчета является определение поверхности теплообмена и конструктивных размеров выбранного типа аппарата. Гидравлический расчет проводится с целью определения достаточности давления, создаваемого насосами (компрессорами) для преодоления сопротивлений, возникающих при движении потока через аппарат. В механическом расчете аппарата обоснованно вы-

бирают материалы для изготовления элементов конструкции и проводят все необходимые прочностные расчеты, подтверждающие возможность его безопасной и длительной эксплуатации при заданных параметрах работы (температура, давление) и с учетом свойств теплообменивающихся потоков [3].

Для оптимизации учебной работы было разработано приложение для автоматизированной проверки проектирования кожухотрубчатых теплообменных аппаратов. Часть основного экрана приложения с исходными данными для теплообменного аппарата «вода-вода» показана на рисунке 2.

Тепломассообмен

Водоводяной ТОА Пароводяной ТОА

Тепловая нагрузка теплообменного аппарата	5000	кВт
Температура холодной воды на входе	35	°C
Температура холодной воды на выходе	65	°C
Температура горячей воды на входе	115	°C
Температура горячей воды на выходе	95	°C
Диаметр труб теплообменника заданный	25	мм
Толщина стенки трубы теплообменника	1.5	мм
Рабочее давление теплообменника	1.6	МПа
Материал стенок	1	Сталь углеродистая
Материал кожуха	1	Сталь Ст.3

Рисунок 2 – Исходные данные вводимые в программу

Исходными данными для проектирования являются: тип ТОА, тепловая нагрузка теплообменного аппарата, температуры теплоносителей на входе и выходе теплообменного аппарата, диаметр и толщина стенок труб теплообменника, рабочее давление и материалы кожуха и труб теплообменного аппарата.

По исходным данным выбирается теплообменный аппарат с теплоносителями «вода-вода» или «пар-вода».

Расчёт осуществляется по методике [4].

Первоочередной задачей расчётов является определение теплофизических свойств теплоносителей. Для ТОА «вода-вода» определяются удельная теплоёмкость, плотность, динамическая и кинематическая вязкости, теплопроводности и число Прандтля для двух теплоносителей. Пример расчёта программы показан на рисунке 3.

После расчета температурных напоров, чисел Рейнольдса и Нуссельта, определяется расчётная площадь теплообмена. После определения расчётной площади теплообмена подбирается оптимальных теплообменный аппарат из базы данных. Выбор оптимального ТОА показан на рисунке 4.

Далее производится перерасчёт необходимых

ТЕПЛОВОЙ РАСЧЁТ ТЕПЛООБМЕННИКА

Средняя температура горячей воды	105	°C
Средняя температура холодной воды	50	°C
Удельная теплоёмкость горячей воды	4,226	кДж/(кг·K)
Плотность горячей воды	954,700	кг/м³
Кинематическая вязкость горячей воды	0,283	м²/с
Динамическая вязкость горячей воды	270,750	Па·с
Теплопроводность горячей воды	68,400	Вт/(м·K)
Число Прандтля для горячей воды	1,675	-
Удельная теплоёмкость холодной воды	4,174	кДж/(кг·K)
Плотность холодной воды	988,100	кг/м³
Кинематическая вязкость холодной воды	0,556	м²/с
Динамическая вязкость холодной воды	549,400	Па·с
Теплопроводность холодной воды	64,800	Вт/(м·K)
Число Прандтля для холодной воды	3,540	-

Рисунок 3 – Определение теплофизических свойств теплоносителей

Расчётная площадь теплообмена	115,6	м²
Диаметр выбранного теплообменника	600	мм
Диаметр труб выбранного теплообменника	25	мм
Толщина стенки труб выбранного ТОА	2	мм
Число ходов выбранного теплообменника	1	шт
Общее число труб выбранного ТОА	257	шт
Площадь теплообмена выбранного ТОА	121	м²
Длина труб для площади теплообмена	6	м
Площадь самого узкого сечения в МТП	0,040	м²
Площадь сечения одного хода по ТП	0,089	м²

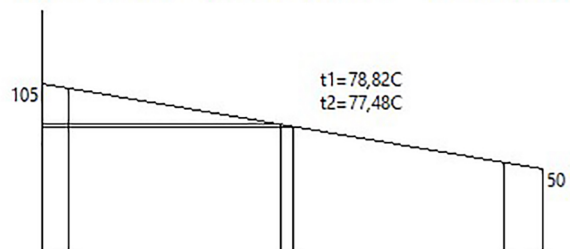
Рисунок 4 – Выбор оптимального теплообменного аппарата для введенных исходных данных

параметров для выбранного теплообменника. Определяется расположение труб в трубной решетке теплообменного аппарата. Рассчитывается количество труб по диагоналям, количество труб по шестиугольнику и количество рядов труб. Определяются термические сопротивления и выполняется построение графика для определения температур стенок труб. График представлен на рисунке 5.

Далее производится гидравлический расчёт, в результате которого получаем мощности насосов для преодоления гидравлических сопротивлений и толщину тепловой изоляции для проектируемого теплообменного аппарата.

Механический расчёт заключается в определении допускаемого механического напряжения, а также толщины кожуха и днищ. Расчётные значение толщин округляются до ближайшего большего значе-

Термическое сопротивление теплоотдачи 1	6,752E-5	(м ² ·К)/Вт
Термическое сопротивление накипи 1	5,376E-4	(м ² ·К)/Вт
Термическое сопротивление материала труб	3,114E-5	(м ² ·К)/Вт
Термическое сопротивление накипи 2	5,376E-4	(м ² ·К)/Вт
Термическое сопротивление теплоотдачи 2	9,753E-5	(м ² ·К)/Вт



Температура стенки внутри трубы	78,82	°C
Температура стенки снаружи трубы	77,48	°C

Рисунок 5 – График для определения температур стенок труб в пучке теплообменника

ния из стандартного ряда проката. После окончания расчётов производится построение модели теплообменного аппарата с основными конструктивными размерами согласно ГОСТ 15122-79. Часть графической части показана на рисунке 6.

Программное решение даёт возможность спроектировать кожухотрубчатый теплообменный аппарат, при заданных исходных данных, менее чем за минуту.

С помощью разработанной программы можно дополнительно выполнять следующее:

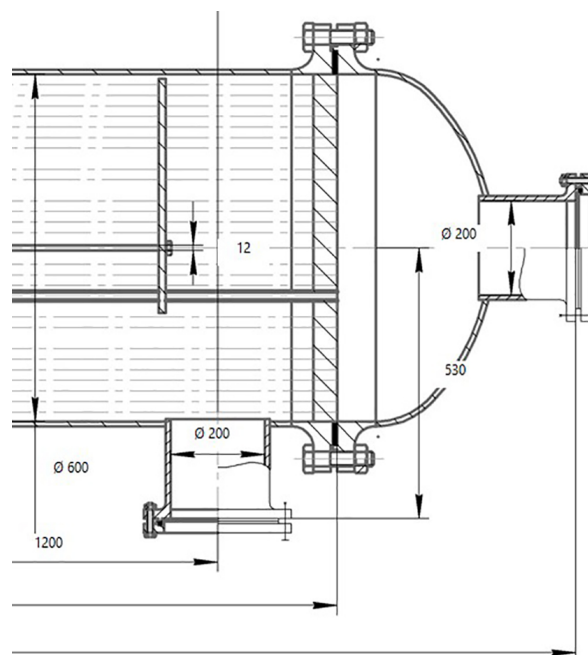


Рисунок 6 – Графическая часть проектируемого теплообменного аппарата

- выбирать наиболее оптимальный теплообменный аппарат для требуемых задач;
- проводить механический расчёт с различными материалами, для оптимизации проектирования кожухотрубчатых теплообменных аппаратов
- минимизировать ошибки в расчётах при курсовом проектировании студентов-инженеров-энергетиков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Савельев, Н. И. Расчет и проектирование кожухотрубчатых теплообменных аппаратов : учеб. пособие / Н. И. Савельев, П. М. Лукин. – Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2010. – 80 с.
2. Липин, А. А. Расчет теплообменных аппаратов. Кожухотрубчатые теплообменники : учеб. пособие / А. А. Липин, Ю. Е. Романенко, А. В. Шибашов, А. Г. Липин. – Иваново : Иван. гос. хим.-технол. ун-т, 2017. – 76 с.
3. Расчет теплообменных аппаратов [Электронный ресурс] : методические указания к курсовому и дипломному проектированию / М-во образования и науки Рос. Федерации, Волгогр. гос. архит.-строит. ун-т ; сост. Н. Ю. Карапузова, В. М. Фокин. – Электронные текстовые и графические данные (2,11 Мбайт). – Волгоград : ВолгГАСУ, 2013.
4. Тепломассообмен: методические указания по выполнению курсовых работ / сост. А. М. Гусаров, А. С. Марущак. – Витебск : УО «ВГТУ», 2021. – 46 с.

REFERENCES

1. Savelyev, N. I. Calculation and design of shell-and-tube heat exchangers : textbook. allowance / N. I. Savelyev, P. M. Lukin. – Cheboksary: Chuvash Publishing House. un-ta, 2010. – 80 p.
2. Lipin, A. A. Calculation of heat exchangers. Shell and tube heat exchangers : textbook. allowance / A. A. Lipin, Yu. E. Romanenko, A. V. Shabashov, A. G. Lipin. – Ivanovo : Ivan. state chemical technology univ., 2017. – 76 p.
3. Calculation of heat exchangers [Electronic resource]: guidelines for course and diploma design / Ministry of

Education and Science of Russia. Federation, Volgogr. state architect-builds University; comp. N. Yu. Karapuzova, V. M. Fokin. – Electronic text and graphic data (2.11 MB). – Volgograd: VolgGASU, 2013.

4. Heat and mass transfer: guidelines for completing coursework / comp. A. M. Gusarov, A. S. Marushchak. – Vitebsk : EE "VSTU", 2021. – 46 p.

SPISOK LITERATURY

1. Savel'ev, N. I. Raschet i proektirovanie kozhuhotrubchatyh teploobmennyyh apparatov : ucheb. posobie / N. I. Savel'ev, P. M. Lukin. – Che-boksary: Izd-vo Chuvash. un-ta, 2010. – 80 s.

2. Lipin, A. A. Raschet teploobmennyyh apparatov. Kozhuhotrubchatye teploobmenniki: ucheb. posobie / A. A. Lipin, Ju. E. Romanenko, A. V. Shabashov, A. G. Lipin. – Ivanovo : Ivan. gos. him.-tehnol. un-t, 2017. – 76 s.

3. Raschet teploobmennyyh apparatov [Elektronnyj resurs] : metodicheskie ukazaniya k kursovomu i diplomnomu proektirovaniyu / M-vo obrazovaniya i nauki Ros. Federacii, Volgogr. gos. arhit.-stroit. un-t ; sost. N. Ju. Karapuzova, V. M. Fokin. – Elektronnye tekstovye i graficheskie dannye (2,11 Mbajt). – Volgograd : VolgGASU, 2013.

4. Teplomassoobmen: metodicheskie ukazaniya po vypolneniju kursovyh rabot / sost. A. M. Gusarov, A. S. Marushhak. – Vitebsk: UO «VGTU», 2021. – 46 s.

Статья поступила в редакцию 22.05.2024.