

*Пешкова Е. В., Щекочихин Е. Г.*

## **К ВОПРОСУ О ТОЧНОСТИ РАСЧЁТА ТЕПЛООБМЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ В СИСТЕМЕ «CHEMCAD»**

*Работа выполнена под руководством д.т.н., проф. Дворецкого С. И.*

*ТГТУ, Кафедра «Технологическое оборудование  
и пищевые технологии»*

В связи с постоянным увеличением конкуренции и развитием химических технологий, возрастают требования к точности расчёта оборудования, т.к. при этом обеспечивается достижение заданного качества выпускаемой продукции, уменьшаются издержки, возникающие из-за потерь и капитальные затраты.

Традиционными методами эта задача не может быть решена на достаточном уровне, потому что повышение точности расчета влечёт за собой увеличение сложности и объёма вычислений.

Также традиционные методы не позволяют прогнозировать поведение объекта при изменении каких-либо параметров, а соответственно и работу объекта в неустановившемся режиме (динамике). Чтобы решить эту задачу, прежде требовалось проводить либо эксперимент на готовом оборудовании, либо строить физическую модель, что не способствовало увеличению точности, при этом возрастали время разработки и стоимость оборудования.

Выходом из этой ситуации может быть математическое моделирование технологического объекта: на основе построенной математической модели можно без всяких затрат проводить вычислительные эксперименты, выявляя реакции на те или иные возмущения и оптимизировать конструкцию аппарата.

Существует множество программ, решающих эти задачи. Остановимся на рассмотрении программного продукта "ChemCAD" (разработчик фирма «Chemstations Inc.», США). Эта универсальная моделирующая программа (УМП) распространена благодаря тому, что включает в себя большое количество моделей различных процессов и аппаратов, а так же имеет гибкую модульную структуру. В настоящее время с помощью этой программы можно смоделировать/рассчитать такие типы теплообменников: пластинчатые, кожухотрубчатые, труба в трубе и множество их модификаций. "ChemCAD" позволяет проводить как проектный, так и поверочный расчёт. Результатами расчёта являются: конструктивные размеры, вес аппарата, гидродинамика потоков и приблизительная стоимость. Недостатками этого программного комплекса являются, во-первых, закрытость алгоритмов и исходных кодов – это не позволяет нам прямым путём ис-

следовать его на предмет нахождения ошибок. Мы можем лишь догадываться на основе анализа работы программы, что расчёт ведётся по каким-то дискретным, итеративным методикам и "верить на слово" разработчикам, утверждающим, что они проводили большое количество экспериментов на реальном оборудовании. Точность расчётов можно оценить только косвенно: или сравнивая с аналитическим решением какой-либо задачи, или с экспериментальными данными. Оба этих варианта неполноценны: первый, в связи с невозможностью аналитически решить сложную задачу и, как следствие, упрощением; второй – так же связан с точностью постановки эксперимента и большими затратами.

Исходя из этого была поставлена задача оценить точность расчёта УМП "ChemCAD", проведя поверочный расчёт по методике, разработанной д.т.н. Е.Н. Туголуковым.

Сущность его методики состоит в представлении как стационарных, так и нестационарных полей определяющих параметров производственно-оборудования как совокупности полей пространственно-временных элементарных областей, моделируемых аналитическими решениями систем линейных дифференциальных уравнений в частных производных с соответствующими условиями однозначности.

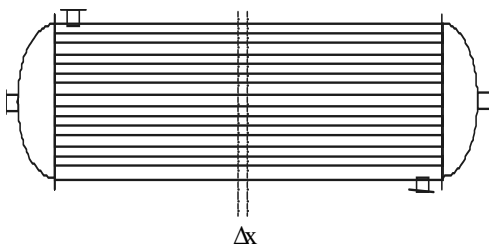


Рис. 1. Элементарная область кожухотрубчатого теплообменника

В общем случае под элементарной областью понимается область заданных размеров, рассматриваемая в течение заданного интервала времени и охватывающая как конструкционные элементы аппарата, влияющие на поля определяющих параметров, так и некоторые объемы заполняющих аппарат

сред (продукты, теплоносители и хладагенты, насадки, сорбенты, катализаторы).

Моделирование кожухотрубчатого теплообменника - есть моделирование температурного поля для теплоносителя, движущегося в режиме идеального вытеснения по каналу, образованному конструктивными элементами оборудования, и самих этих элементов на основе совместного решения системы дифференциальных уравнений. В этом случае температурное поле внутри теплоносителя может быть описано одномерным дифференциальным уравнением первого порядка в частных производных:

$$\frac{\partial t(x, \tau)}{\partial \tau} + W \frac{\partial t(x, \tau)}{\partial x} + K t(x, \tau) = F(x, \tau)$$

Граничные условия этого уравнения взаимосвязаны с граничными условиями задачи теплопроводности для элементов оборудования, контактирующих с теплоносителем.

При этом граничные условия задачи теплопроводности для элементов оборудования становятся переменными по длине зоны теплообмена.

Это, в общей постановке, практически исключает возможность прямого аналитического решения такой системы и требует использования итерационных алгоритмов.

Поэтому, за исключением ряда частных случаев, целесообразно рассчитывать температурное поле теплоносителя на основе элементарных тепловых балансов дискретных областей.

С учетом вышеизложенного, моделирование температурных полей в производственном оборудовании возможно осуществлять на основе решения систем линейных дифференциальных уравнений теплопроводности для теплопередающих элементов оборудования. Эти уравнения допускают аналитические решения.

Пространственная и временная дискретизация области осуществления теплового процесса как способ линеаризации задачи лишь внешне напоминает пространственную и временную дискретизацию, лежащую в основе численных конечно-разностных методов решения дифференциальных уравнений. Во-первых, моделирование температурного поля элементарной области системой дифференциальных уравнений в частных производных позволяет получить непрерывное температурное поле, в отличие от дискретного поля при использовании численных методов. При этом резко повышается качество расчетов тепловых характеристик процесса. Во-вторых, согласование элементарных областей через граничные и начальные условия задач теплопроводности позволяет избежать накопления систематических погрешностей, присущих даже консервативным численным схемам.

Для проведения эксперимента, решим в системе "ChemCAD" такую задачу (пример взят с ОАО "Пигмент"): нужно подобрать теплообменник для подогрева продукта, вторичным водяным паром. Температура продукта на выходе должна быть как можно большей.

Исходные данные:

Состав смеси:

Вода: 3.5%

Метанол: 1.5%

ММА: 95%

Расход смеси: 2500 кг/час

Температура смеси: 30 °С

Расход воды из колонны на подогрев смеси: 780 л/час

Температура воды: 90 °С

Решая эту задачу в программе "ChemCAD" мы получаем такую конфигурацию:

Поверхность теплообмена:	46.62 м <sup>2</sup>
Коэффициент теплопередачи:	88.82 Вт/м <sup>2</sup> *К
Запас:	0.2 %
Число труб:	338
Длина труб:	2.44 м
Внутренний диаметр:	1.575 см
Толщина:	0.165 см
Расстояние между трубами:	3 см
Диаметр кожуха:	59.06 см
Температура смеси на выходе:	62.6 °С
Температура воды на выходе:	55 °С

Проведя поверочный расчёт по методике Е.Н. Туголукова, т.е. задавшись этими конструктивными параметрами и найдя конечную температуру смеси, мы получаем результаты, представленные на рис. 2.:

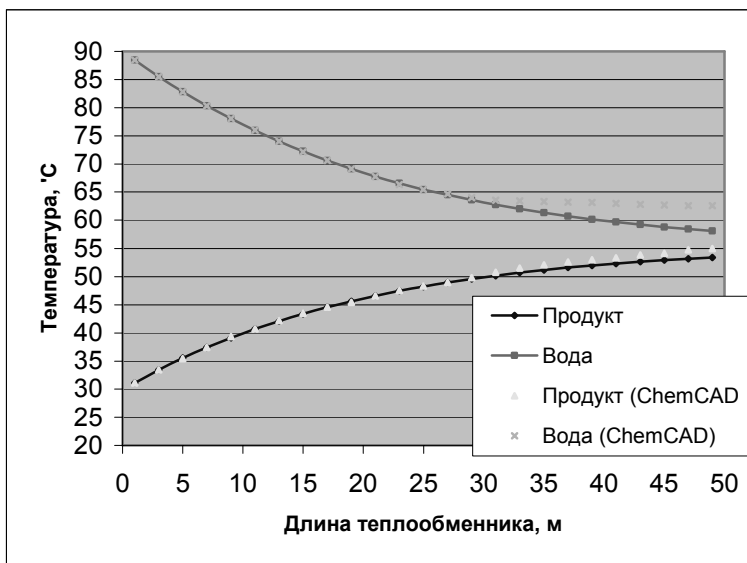


Рис. 2. Температурные кривые

Ось X представляет собой длину рабочей части теплообменника, разбитую на элементарные участки (в данном примере длина участка равна 0.05 м.)

Температура смеси на выходе: 58.11 °С  
Температура воды на выходе: 53.39 °С

Как можно видеть, результаты немного различаются, но это можно объяснить тем, что "ChemCAD" не позволяет рассчитать потери тепла в окружающую среду, которые учтены в методике Е.Н. Туголукова, поэтому с большой долей уверенности можно сказать, что в целом расчёт верен.