

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ В ИССЛЕДОВАНИИ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛО-МАССООБМЕНА НА БЕСПЕРЕЛИВНЫХ ТАРЕЛКАХ

Райко В.Ф.

Национальный технический университет «ХПИ», raiko@bk.ru

В промышленных аппаратах для проведения абсорбционных и десорбционных процессов, сопровождающихся образованием твердой фазы, нашли применение беспереливные тарелки. В качестве примера можно привести провальные тарелки с крупной перфорацией [1] и тарелки с конусными телами [2]. Сложность исследования процессов тепло- и массообмена на этих контактных элементах обусловлена неравномерностью распределения температур и концентраций по площади поперечного сечения аппарата. Для усреднения приходится отбирать пробы жидкости и газа в нескольких точках поперечного сечения, что существенно увеличивает трудоемкость эксперимента, и не обеспечивает требуемую точность.

Доклад посвящен разработке метода определения величин коэффициентов тепло- и массопередачи, лишенного описанного выше недостатка, и основанного на измерении расходов, составов и температур контактирующих потоков только на входе и выходе из исследуемого аппарата или его лабораторной модели. Идея метода заключается в проведении вычислительного эксперимента с математической моделью исследуемого аппарата, сопоставлении результатов с результатами натурного эксперимента и корректировке параметров модели по одному из известных алгоритмов таким образом, чтобы минимизировать различие между результатами вычислительного и натурного эксперимента.

Метод развит применительно к изучению зависимостей коэффициента переноса энтальпии на беспереливных тарелках от их геометрии, расхода и температуры контактирующих жидкости и воздуха. Эти данные потребовались, в частности, для проектирования аппаратов водоиспарительного концентрирования растворов в интересах производства кальцинированной соды. Концентрирование растворов путем упаривания при непосредственном контакте с воздухом или горячими газами – одно из перспективных направлений утилизации вторичных тепловых ресурсов. Для его реализации раствор должен иметь повышенную температуру, а сам процесс концентрирования, по сути, является водоиспарительным охлаждением, то есть, аналогичен охлаждению воды в градирне. Аналогия в протекающих процессах позволяет использовать и аналогичную методику расчета.

Основой разработанного метода является математическая модель исследуемого объекта. Сложность построения математической модели водоиспарительного концентрирования обусловлена тем, что в сравнении, например, с абсорбцией, параллельно протекают теплообмен (его называют «сухим») и испарение воды, то есть, массообмен, который из-за значительного теплового эффекта называют «мокрой» теплопередачей. В работе [3] было показано, что перенос тепла в результате совместного действия «мокрого» и «сухого» теплообмена газа и жидкости можно рассматривать как единый процесс, движущей силой которого является разность энтальпий. Такой подход, существенно упрощает расчет водоиспарительного охлаждения, например, в градирне, в то же время, не позволяет без дополнительных допущений определять количество выпаренной воды. А именно этот параметр процесса является основным при концентрировании.

Модификация известного метода, использованная при разработке математической модели в настоящей работе, основана на предварительном нахождении температурного режима аппарата путем потарелочного расчета переноса энтальпии и последующем определении количества выпаренной воды с использованием уравнений массопередачи.

Основными уравнениями в расчете температурного режима является уравнение переноса энтальпии на i -той тарелке, которое связывает энтальпию газа, поступающего на тарелку, с этим параметром для газа, покидающего тарелку, и уравнение теплового баланса тарелки (уравнение рабочей линии).

При разработке алгоритма подбора коэффициентов передачи энтальпии и массы из достаточно широкого набора подходящих для этого приемов, (см., например, [4]) был выбран метод «деления отрезка пополам». Далеко не лучший с точки зрения скорости сходимости, этот метод наиболее просто реализуется программно. Работа программы, подбирающей значения коэффициентов передачи энтальпии и массы таким образом, чтобы расчетные значения температур материальных потоков совпадали бы с фактически найденными в опытах, осуществляется следующим образом. Исходными данными являются расходы рассола и воздуха, их температуры на входе и выходе из лабораторной установки, а также влажность воздуха на входе и выходе. Кроме того, задаются нулевые приближения кинетических коэффициентов. Цикл начинается с потарелочного расчет аппарата, который выполняется от нижней тарелки к верхней. Полученное в результате значение температуры жидкости на входе в аппарат сравнивается с заданным. В зависимости от знака разности между расчетным и фактическим значением этой температуры производится корректировка приближения кинетических коэффициентов и повторный расчет. Эта процедура повторяется с уменьшением шага корректировки коэффициента передачи энтальпии вдвое на каждом цикле, пока не будет достигнуто совпадение с заданной точностью расчетной температуры с найденной в опыте. Подобранный программой значение коэффициента передачи энтальпии и есть результатом расчета.

Кроме того, полученное в последнем цикле распределение температур жидкости по тарелкам является основой для подбора коэффициента массопередачи. Аналогично тепловому расчету основными уравнениями в материальном расчете является уравнение массопередачи для *i*-той тарелки, которое связывает влагосодержание газа, поступающего на тарелку, с этим параметром для газа, покидающего тарелку и уравнение материального баланса (уравнение рабочей линии). Совокупность таких уравнений, записанных для каждой тарелки, образуют систему алгебраических уравнений, позволяющих рассчитать количество воды выпаренной (сконденсировавшейся) на *i*-той тарелке аппарата. Полученная в результате такого расчета величина влагосодержания газа на выходе из аппарата используется для контроля точности подбора коэффициента массопередачи. Сама же процедура подбора этого коэффициента полностью аналогична подбору коэффициента переноса энтальпии за исключением того, что условием окончания расчета является совпадение с заданной точностью расчетного влагосодержания воздуха на выходе с фактически найденным в опыте. Впрочем, контроль можно осуществлять и по непосредственно измеряемому в опыте показателю: температуре выходящего газа. Ведь она однозначно определяется найденной в тепловом расчете энтальпией газа и в материальном расчете его влагосодержанием.

Как показала практическая реализация метода, он, кроме достаточно точных и хорошо воспроизводимых значений кинетических коэффициентов, позволяет получить адекватную математическую модель аппарата, не нуждающуюся в последующей корректировке, как это обычно бывает при традиционном подходе к исследованию. Метод может быть легко адаптирован для оценки кинетических характеристик контактных элементов промышленных тепло- массообменных аппаратов, в которых по условиям их работы невозможно экспериментальным путем получить распределение температур и/или концентраций по высоте аппарата, но известны параметры входящих и выходящих материальных потоков.

1. Цейтлин М.А. Гидродинамические характеристики провальных тарелок с крупной перфорацией и большим свободным сечением / М.А. Цейтлин, В.Ф. Райко, П.Х. Эстефан // Вісник національного технічного університету «ХПІ». – 2007. – № 30. – С. 78-82.
2. Дассуки М.Э. Исследование гидродинамических характеристик каскадного контактного устройства / М.Э. Дассуки, В.Ф. Райко, М.А. Цейтлин // Інтегровані технології та енергозбереження – Харків: НТУ „ХПІ”, 2009. – № 1. – С. 41- 47
3. McAdams W.H. Transfer of heat and mass between air and water / W.H. McAdams, J.B. Pohlens, R.C. John // Chem. Eng. Progr. – 1949. – v.45. – p. 241-259
4. Батунер Л.М. Математические методы в химической технике. / Л.М. Батунер, М.Е. Позин – Л.: Химия, 1968. – 824 с.