

ОБ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА В ТУРБУЛЕНТНОМ РЕАКТОРЕ

Коноплев А.А. ФИЦ ХФ РАН

Интенсификация тепломассопереноса в текучих средах для многих технологических процессов имеет сегодня важное значение, поскольку позволяет совершенствовать проведение этих процессов, часто удешевляя получаемый продукт и улучшая его качество.

Турбулентный реактор – это трубчатый аппарат, в котором текучая рабочая среда турбулизуется во всем её объеме посредством изменения формы и величины проходного сечения канала (пассивные методы турбулизации). Покажем возможность его применения на примере таких процессов как конвективный теплообмен, аэрация и экстракция из растительного сырья.

Что касается конвективного теплообмена, то на проблему интенсификации внимание было обращено достаточно давно. Рассматривались и применялись на практике как методы непосредственного воздействия на теплообменную среду, так называемые активные методы, так и методы пассивные, связанные с изменяемыми условиями течения среды. Именно они получили наиболее широкое распространение на практике.

В проблеме интенсификации конвективного теплообмена, тем не менее, существует устойчивое представление о том, что турбулизовать следует лишь пристенные слои рабочих сред, так как именно там наиболее велико термическое сопротивление. Поскольку при интенсифицировании наряду с ростом теплоотдачи имеет место еще более значительный рост коэффициента сопротивления, то во избежание значительного роста потерь энергии на прокачку теплоносителя, полагалось считать оптимальным профилирование при $D_{\text{проф}}/D_{\text{полн}} = 0.92-0.94$ (профилирование накаткой канавок по поверхности теплообменных трубок).

Смысл применения идей турбулентного реактора к задачам конвективного теплообмена, иными словами турбулизация ядра потока, состоит в выравнивании радиального профиля температуры в объеме и в формировании её наибольшего градиента вблизи стенки. Опытные образцы теплообменников с глубоко профилированными трубками сравнивались с теплообменником ТТАИ-2-25/1450. Поскольку в настоящее время не существует общепризнанных методов оценки эффективности интенсификации нами был предложен метод сравнения удельных поверхностей теплообмена при равных удельных затратах на прокачку для одной и той же задачи теплообмена.

Тонкостенные теплообменные аппараты интенсифицированные (ТТАИ, трубки 8/0.2 профилированные накаткой и плотноупакованные под кожухом) были специально разработаны в СССР для специальных задач. В наше время эти теплообменники, являющиеся, пожалуй, едва ли не самыми эффективными, широко применяются и в промышленности, и в ЖКХ.

Сравнение 6-ти трубного ТТАИ-2-25/1450 с опытными лабораторными 7-ми трубными теплообменниками показало рост эффективности (уменьшение поверхности) и сокращение длины теплообмена. Так для латунных трубок 12/1 рост эффективности составил $k/k_{\text{ТТАИ}} = 1.21$, и для медных – $k/k_{\text{ТТАИ}} = 1.32$; для трубок 16/1 – соответственно, 1.20 и 1.31. Длина теплообмена при этом сократилась с величины $L/D = 183$ у теплообменника ТТАИ до значений 105 – 98 на трубках 12/1, и 94 – 89 на трубках 16/1.

Обычно, при использовании критериальных моделей теплообмена находят средние значения параметров теплообмена из экспериментов с заданными значениями независимых параметров (расходы и начальные температуры). Нами предложен метод построения продольных профилей теплообменных параметров в трубчатом теплообменнике из экспериментов с заданными значениями лишь начальных температур и изменяемыми значениями расходов теплоносителей.

В применяемых для микробиологического синтеза белка промышленных реакторах объемного типа с мешалкой и барботажем воздуха значения сульфитных чисел обычно составляют величины порядка 6–10 при удельных затратах равных приблизительно 0.3 кВт·ч/кг. Сульфитное число, в данном случае, является характеристикой устройства, в котором проводится процесс, и численно равно количеству растворенного кислорода в граммах в 1 литре жидкости за 1 час. В некоторых конструкциях, не лишенных, однако, экзотичности, но не получивших какого-либо промышленного применения, сульфитные числа могут достигать значений, равных, приблизительно 30.

В наших экспериментах проводимых на лабораторном стенде с проточным турбулентным реактором-смесителем с внутренним диаметром 47 мм при расходах жидкой фазы 0.23–0.415 л/с и при соотношениях фаз жидкость/газ в пределах 0.05–5.5 было показано, что с ростом как расхода по жидкой фазе, так и соотношения фаз, сульфитные числа возрастают, достигая максимальных значений порядка 150–160, при которых удельные затраты не превышают 0.15 кВт·ч/кг. При оптимизации расходных и конструктивных параметров, по-видимому, могут быть получены еще более высокие значения сульфитных чисел.

Процессы экстракции растительного сырья занимают важное место в технологиях медицинской, фармакологической, пищевой промышленности, и потому совершенствование её методов и применяемого оборудования весьма актуальны. В промышленности широко распространен так называемый перколяционный метод, требующий, как правило, достаточно больших количеств растворителя, что для процессов получения сухого экстракта выпаркой полученного раствора не всегда рационально. Возможное применение в этих процессах турбулентного реактора (более сильное измельчение и интенсивная турбулизация) может оказаться полезным, хотя процессы разделения при этом и осложняются.

Экстракцию жмыха расторопши 80% спиртом для получения высоких степеней извлечения необходимо проводить в несколько ступеней. В опытах на лабораторном стенде показана возможность проведения процесса в турбулентном дезинтеграторе-экстракторе, при сильном измельчении исходного сырья. Эффективность процесса при этом по сравнению с перколяторами возрастает в 20 и более раз.