

ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

УДК 630*863 : 547.724.1 + 66.01/09

О МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОЦЕССА
ПРЯМОГО ПОЛУЧЕНИЯ ФУРФУРОЛА

В. И. СОБОЛЕВ, Е. Ф. МОРОЗОВ, М. С. КЕБИЧ

Белорусский технологический институт

Физическую модель процесса прямого получения фурфурола в промышленном гидролизаторе качественно можно представить как большое количество элементарных реакционных объемов, распределенных по высоте слоя растительного сырья, в каждом из которых, в соответствии с распределением температуры, катализатора и геометрических характеристик частиц, свои кинетические и диффузионные условия, во многом определенные характером движения потока пара в слое сырья. Исследование подобных сложных процессов целесообразно осуществлять с минимальными затратами и без нарушения работы действующего производства в масштабе лабораторной модели [5].

При существующем уровне разработки процесса прямого получения фурфурола полное его математическое моделирование практически невозможно, а имеющиеся зависимости являются полуэмпирическими и требуют уточнения [4]. На данном этапе масштабирование необходимо проводить эмпирическим способом.

В настоящей статье рассматриваются некоторые аспекты применения теории подобия, лежащей в основе масштабирования и физического моделирования, к процессу прямого получения фурфурола.

Известно [1, 3], что применимость физического подобия и теории подобия зависит от возможности сохранения численного равенства одновременно критериев геометрического, гидродинамического, химического, теплового и диффузионного подобия.

Геометрическое подобие, заключающееся в определении размеров модельного реактора подобного промышленному гидролизатору, характеризует инвариант (Γ), равный отношению высоты к диаметру аппарата. Среднюю величину Γ для гидролизаторов периодического действия объемом от 37 до 80 м³ с достаточной степенью точности можно принять равной 4.

В отличие от гидролизатора, имеющего в нижней части конус, назначение которого определяется условиями проведения перколяционного гидролиза, модель может быть выполнена в виде трубчатого цилиндра, т. е. геометрическое подобие заменяется геометрическим родством.

При выборе размеров лабораторной модели и постановке экспериментов необходимо также учитывать условия гидравлического моделирования, обеспечение минимального объема загрузки сырья для получения воспроизводимых данных, а также подобие начальных условий распределения потока на входе в слой сырья.

Гидродинамической моделью, в наибольшей степени соответствующей характеру рассматриваемого процесса, является модель идеального вытеснения, а реактор с зернистым слоем сырья, продуваемого потоком пара, приближается к реактору вытеснения. Однако в реальных условиях наблюдаются отклонения от идеального вытеснения. Режим

приближается к нему, когда величина критерия Рейнольдса (Re) больше 10, отношение длины реактора к эквивалентному диаметру частиц значительно превышает 20, а отношение диаметра реактора к эквивалентному диаметру частиц больше 10 [2].

Эквивалентный диаметр частиц колеблется от 1,0...1,5 мм у опилок лиственной древесины до 3,5...4,5 мм у рисовой и подсолнечной лузги [6]. Отсюда минимальный диаметр реактора составит $4,5 \cdot 10^{-2}$ м, а при использовании стержней кукурузных початков или древесной щепы эта величина должна быть увеличена в 6—8 раз.

Для изучения процесса получения фурфурола в лабораторных условиях мы использовали цилиндрический реактор, снабженный штуцерами для ввода пара и вывода его с продуктами реакции и имеющий внутренний диаметр $7,5 \cdot 10^{-2}$ м и высоту 0,3 м. Объем реактора позволяет загружать около 200 г абс. сухих березовых опилок или 100...150 г абс. сухой подсолнечной или рисовой лузги, что, как показали проведенные исследования процесса, достаточно для получения воспроизводимых данных по выходу целевого продукта. При этом соблюдаются условия гидравлического моделирования.

Необходимым условием для химического подобия должно быть прежде всего равенство скоростей химических реакций образования и распада фурфурола при заданных кинетических условиях как в модели, так и в промышленном аппарате, т. е. соблюдение равенства критерияльного отношения, определяющего реальный выход фурфурола P :

$$P = \frac{K_1 t_1}{K_2 t_2}, \quad (1)$$

где K_1 и K_2 — константы скорости образования и распада фурфурола;

t_1 и t_2 — соответствующие продолжительности этих процессов.

Значения констант и величина t_1 , зависящие только от вида и концентрации катализатора и температуры процесса, определяют кинетику образования и распада фурфурола и не зависят от масштаба реактора. Время пребывания фурфурола в реакционной зоне t_2 определяется также гидродинамическими факторами, прежде всего, скоростью отгонки фурфурола потоком теплоносителя.

Гидродинамическое подобие при движении потока пара в слое сырья характеризует критерий Re , значения которого в случае двух подобных течений должны быть равны. На этом основано определение критической скорости потока на «холодных» лабораторных моделях, когда вместо пара используют газ или воздух при нормальных условиях [9].

При продувке полидисперсного слоя растительного сырья за определяющий размер в критерии Re принимают эквивалентный диаметр частиц, который, как и величина кинематической вязкости пара, одинаков для модели и промышленного аппарата. Следовательно, при гидродинамическом подобии скорость движения потока пара также должна быть одинаковой.

Режим течения восходящего потока пара в слое измельченных растительных материалов при критических скоростях характеризуется числом Re , равным 20—30, т. е. процесс протекает в ламинарной области [6, 9], вблизи границы с переходной областью.

Практически неосуществимо моделирование массообмена в процессе получения фурфурола, когда при термokatалитической обработке непрерывное уменьшение размеров частиц сырья может приводить к изменению режима течения, а также непостоянна концентрация образующегося фурфурола и сопутствующих продуктов в движущемся паровом потоке.

Массообменные или диффузионные процессы связаны, прежде всего, со временем пребывания фурфурола в реакционной зоне, которая, в

соответствии с кинетикой, определяет степень распада фурфурола и складывается из продолжительности внутренней диффузии фурфурола из частиц сырья в паровую фазу и продолжительности его пространственного вытеснения из реактора. Внутренняя диффузия, скорость которой определяется природой растительного материала и извлекаемого компонента, не зависит от внешних воздействий. На внешнюю диффузию, определяющую перенос фурфурола в потоке пара, можно воздействовать путем регулирования скорости этого потока.

Для диффузионного подобия необходимо, как минимум, соответствие средней продолжительности пребывания потока в модели и аппарате. Поскольку критическая скорость пара в слое сырья составляет в среднем $0,10 \dots 0,15$ м/с, то средняя продолжительность пребывания потока в гидролизаппарате объемом 40 м^3 равна $50 \dots 70$ с. При условии геометрического и гидродинамического подобия эта величина в лабораторном реакторе диаметром $0,1$ м составит лишь $2 \dots 4$ с, т. е. внешнедиффузионные факторы практически не будут влиять на выход фурфурола, что весьма идеализирует рассматриваемый процесс.

Очевидно, сохранить численное равенство одновременно критериев гидродинамического и диффузионного подобия не представляется возможным. С точки зрения достижения химического подобия, более целесообразно, сохраняя геометрическое подобие, исходить из создания одинаковой концентрационной обстановки в лабораторной модели и аппарате, основанной на равенстве времени пребывания потока пара. В этом случае линейная скорость потока пара в реакторе диаметром $0,1$ м составит около $0,01$ м/с.

Однако, исключив гидродинамическое подобие, необходимо, тем не менее, принять одинаковый режим течения потока в модели и аппарате, который для рассматриваемого нами процесса является ламинарным.

В процессе переноса тепла при получении фурфурола прямым методом преобладает конвективный теплообмен в условиях вынужденной конвекции. В гидролизаторах периодического действия, где температурное поле меняется во времени, осуществляется нестационарный теплообмен. На развитие полей температуры и величину коэффициентов переноса влияют характер потока движущегося теплоносителя, а также изменение капиллярнопористой структуры растительного материала и химические превращения. Поэтому практически невозможно обеспечить тепловое подобие, соблюдающееся при совпадении температуры в сходственных точках модели и аппарата, и определяемое равенство критериев Нуссельта (Nu).

Однако, как показали наши расчеты [8], коэффициент теплообмена, являющийся основным определяемым параметром в критерии Nu , для любых условий гидродинамического обтекания частиц, несмотря на их относительно малую теплопроводность, оказывается достаточно большим по сравнению с константами химического процесса.

Следовательно, влияние тепловых процессов при получении фурфурола должно определяться, в первую очередь, условиями протекания химических превращений, а не внешней гидродинамикой потока. Поэтому основное требование как для модели, так и промышленного аппарата, — создание определенных температурных условий для протекания химического процесса образования фурфурола с заданной скоростью.

С технологической точки зрения, при масштабировании процесса следует стремиться к достижению, по крайней мере, того же выхода целевого продукта, что и в модели [7].

В нашем случае это условие сводится к сохранению одинаковых скоростей образования и выведения фурфурола из реакционной зоны в

сходственных точках модели и аппарата, и, как было показано выше, при сохранении одновременно гидродинамического и диффузионного подобия выполнить его невозможно. Необходимо ограничиться, прежде всего, соблюдением химического и диффузионного подобия в модели геометрически подобной промышленному гидролизаппарату.

Таким образом, применение теории подобия к химико-технологическому процессу получения фурфурола из растительного сырья прямым методом носит ограниченный характер, а полное эмпирическое моделирование его на установках различного масштаба невозможно.

Тем не менее, резюмируя вышеизложенное, лабораторную модель, в которой несложно создать стабильные в пространстве и во времени кинетические, диффузионные и тепловые условия протекания процесса получения фурфурола из растительного сырья, следует рассматривать как один из элементарных объемов промышленного аппарата.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Аэров М. Э., Тодес О. М. Гидравлические и тепловые основы работы аппаратов со стационарным и кипящим зернистым слоем.— Л.: Химия, 1968.— 512 с.
 [2]. Денбиг К. Г. Теория химических реакторов.— М.: Химия, 1968.— 192 с.
 [3]. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии.— М.: Химия, 1971.— 784 с. [4]. Корольков И. И. Метод расчета выхода фурфурола при фурфуrolьных варках растительного сырья // Гидролизн. и лесохим. пром-сть.— 1985.— № 1.— С. 6—8. [5]. Моделирование промышленных режимов получения фурфурола на лабораторной установке / Е. Ф. Морозов, В. И. Соболев, Р. А. Решто и др. // Химия и химическая технология.— Минск.— 1974.— Вып. 7.— С. 122—125.
 [6]. Морозов Е. Ф. Производство фурфурола.— М.: Лесн. пром-сть, 1979.— 200 с.
 [7]. Общие основы химической технологии / С. Брегшнайдер, В. Кавецкий, Я. Лейко и др.— Л.: Химия, 1977.— 504 с. [8]. Соболев В. И., Морозов Е. Ф. Теплообмен в процессе получения фурфурола из березовых опилок при атмосферном давлении.— Минск, 1981.— 10 с.— Деп. в ВНИИПИЭИлеспром 13.07.81, № 717д. [9]. Соболев В. И., Морозов Е. Ф., Ручко А. Е. Исследование гидродинамики стационарного слоя растительного сырья // Химия и химическая технология.— Минск.— 1975.— Вып. 8.— С. 70—75.

Поступила 30 ноября 1987 г.

УДК 674.815-41 : 628.512

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ДРЕВЕСИНЫ НА ВЫДЕЛЕНИЕ ФОРМАЛЬДЕГИДА ИЗ ДРЕВЕСНОСТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ

А. А. ЭЛЬБЕРТ, О. В. ДОРОХОВА, А. М. СИНГУРИНДИ,
Л. И. КРЮКОВА

Ленинградская лесотехническая академия

Актуальная проблема улучшения свойств древесностружечных плит (ДСП) — снижение их токсичности, обусловленной выделением формальдегида (CH_2O) [4]. Основной источник последнего — карбамидоформальдегидное связующее. Однако показано [10, 11], что на выделение формальдегида из ДСП, кроме связующего, оказывает влияние и породный состав древесины, в частности, содержание кислотных групп и экстрактивных веществ. Представляет интерес оценить количество формальдегида, выделяющегося из древесины различных пород, как фон при определении токсичности ДСП.

В данном случае исследования проводили на свежесрубленной древесине березы, осины и сосны, а также на березовых «карандашах», представляющих собой отходы фанерного производства и применяемых в производстве ДСП. Количество формальдегида, выделяющееся из древесных частиц, оценивали по методу WKI [11].