

М. К. Гималеев

АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ДИНАМИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ РЕКТИФИКАЦИОННЫХ КОЛОНН С ЦЕЛЬЮ РАЗРАБОТКИ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Ключевые слова: математическая модель, динамика, система управления, ректификационная колонна.

Разработана математическая модель динамики промышленных ректификационных колонн. Выполнены многочисленные расчеты на компьютере. Изучено влияние различных возмущающих факторов на переходные процессы в колоннах. Даны конкретные рекомендации по использованию полученных результатов при синтезе энергосберегающих систем управления процессом ректификации в нестационарных условиях.

Keywords: mathematical model, dynamics, control systems, distillation column.

A mathematical model of the dynamics of industrial distillation columns. Made numerous calculations on the computer. The influence of various disturbing factors on the transients in the columns. Specific recommendations on the use of the results in the synthesis of energy-efficient distillation process control systems under transient conditions.

Ректификация – сложный многофакторный процесс, характеризующийся одновременным протеканием гидродинамических, массообменных и тепловых явлений, находящихся в тесной взаимосвязи.

Глубокое и детальное изучение статических и динамических характеристик процесса позволяет строить более совершенные модели [1] и использовать их при проектировании систем управления. Причем, наблюдается тенденция к расширению традиционной области их использования. До недавнего времени модели, как правило, предназначались для расчета локальных систем стабилизации или регулирования. Сейчас они находят все большее применение в задачах управления и оптимизации, а также в задачах оптимального проектирования [2].

Динамическое поведение ректификационных аппаратов исследовалось на примере трех промышленных колонн, разделяющих смеси: изопентан-пентан, изобутан-бутан, пентан-гексан

Данные смеси характеризуются малым содержанием примесных компонентов и по своим свойствам могут быть отнесены к бинарным системам. Рассматриваемые системы характерны для ряда производств нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности. Так, смеси изопентан-пентан и изобутан-бутан разделяются на установках газофракционирования, установках изомеризации и алкилирования. Пентан-гексановая фракция подвергается разделению также на установках газофракционирования, на установках вторичной перегонки бензинов и в других производствах.

Помимо того, что исследование закономерностей разделения данных смесей представляет интерес с точки зрения изучения динамических характеристик колонн в конкретных производствах, они являются хорошими модельными системами для численных экспериментов. Это связано с хорошей изученностью смесей, наличием достаточно

надежной информации о физико-химических свойствах, о равновесных и других данных.

Характеристики промышленных колонн, сведения о разделяемых продуктах, режимах работы аппаратов приняты по данным промышленных обследований. Исследование динамических характеристик рассматриваемых колонн представляется очень важным с целью обеспечения их эффективной и надежной работы.

Все физико-химические свойства чистых компонентов взяты из справочников и представлены либо в виде констант (молекулярный вес, температура кипения, критические значения температуры, давления, объема и другие параметры), либо в виде полиномов в зависимости от температуры (плотность, теплоемкость, вязкость жидкой и паровой фаз).

Для расчета плотности, теплоемкости, молекулярного веса жидкой и паровой смеси применено правило аддитивности. Выражения для определения вязкости, а также коэффициентов молекулярной диффузии бинарных смесей в жидкости и паре взяты из [3].

Для описания нестационарных режимов ректификационных колонн разработана математическая модель, основу которой составляют уравнения материального, теплового балансов и кинетики массопередачи [4].

Проведение расчетов промышленных колонн по динамической модели предполагает задание некоторого начального состояния системы. Вообще говоря, за это исходное состояние может быть принято любое распределение потоков, концентраций и температур по высоте аппарата. Однако, для удобства постановки численного эксперимента по исследованию динамических режимов были рассчитаны условные стационарные режимы для каждой из колонн. Эти режимы характеризуют реальные условия эксплуатации колонн в соответствии с требованиями технологического регламента.

Система дифференциальных уравнений, представляющая собой математическую модель динамики ректификации, при приравнивании к

нулю производных по времени обращается в стационарную модель, которая в общем случае определяет профили концентраций, температуры и потоков по высоте аппарата в стационарном режиме. Задание стационарного режима достигается закреплением расходов, концентраций и температур входных материальных потоков (питание, паровое и жидкое орошения). Решение системы уравнений статики может быть получено известными способами, например, при помощи итерационной процедуры. При закреплении требований по качеству продуктовых потоков (дистиллат и кубовый остаток) циркуляционные входные потоки (паровое и жидкое орошения) могут являться, в свою очередь, параметрами поиска за счет включения внешнего итерационного цикла.

Полученное таким образом стационарное состояние может быть использовано в качестве исходного при исследовании динамики аппарата по различным каналам возмущающих воздействий

Система уравнений статики для каждой колонны решалась с использованием итерационной процедуры нахождения решения методом половинного деления, который достаточно прост и обеспечивает устойчивую и быструю сходимость. В результате получены концентрации компонентов в жидкой фазе на каждой тарелке, а также в кубе и дефлегматоре.

Исследование нестационарных режимов на компьютере предусматривало расчет переходных процессов для всех выбранных промышленных колонн при различных возмущениях по расходу и составу исходного сырья, которые являются наиболее характерными, методом Рунге-Кутты.

Следует отметить, что во всех проведенных расчетах величина максимально допустимого шага по времени колебалась в пределах 0,72 – 3,24 секунды, а время самого переходного процесса составляло от 4 до 8 часов. Исследования показали, что величина шага зависит прежде всего от выбранной модельной смеси и не зависит от вида возмущающего воздействия. Попытка увеличения шага интегрирования незамедлительно приводила к неустойчивости процесса счета и, в конечном итоге, - к расходящемуся решению. Естественно, затраты времени расчета на компьютере оказывались значительными. Поэтому, применение метода Рунге-Кутты для решения задач управления и оптимизации процесса ректификации не представляется возможным. Необходимо разрабатывать ускоренные процедуры расчета.

Анализ полученных переходных характеристик позволяет сделать некоторые выводы и обобщения о динамических свойствах промышленных ректификационных колонн.

1. Кривые переходных процессов имеют ярко выраженный экспоненциальный характер, причем, общим признаком является монотонность и плавность изменения этих кривых. Не наблюдается резких выпадов и скачков при установлении новых стационарных профилей. Эта особенность может быть использована в системах управления при выборе допустимой величины такта управления.

Очевидно, что в промышленных многотарельчатых аппаратах такт управления может быть выбран относительно большим. Причем, можно заметить, что наибольшие изменения концентраций на тарелках наблюдаются в первые 2 – 3 часа после нанесения возмущения. Оперативное устранение возникших возмущений именно в этот период имеет первостепенное значение для обеспечения выпуска продуктов заданного качества.

2. Отличительной особенностью является то, что изменения концентраций на верхних и нижних тарелках, а также в кубе и дефлегматоре незначительны (при относительно небольших возмущениях), причем, в каждой из секций колонн имеются отдельные тарелки (или несколько тарелок), где изменения концентрационных и температурных профилей наибольшие. Эти тарелки могут служить в качестве контрольных для установки датчиков при использовании косвенных методов регулирования процесса. При этом, как показали исследования, величина и вид возмущения не оказывают существенного влияния на положение контрольных тарелок.

3. Колебания по составу и расходу исходной смеси вызывают изменение концентрационных профилей на верхних и нижних тарелках, а также в кубовой емкости и дефлегматоре не сразу, а по истечении некоторого промежутка времени, длительность которого зависит, в первую очередь, от числа контактных устройств в колонне. Так, в изобутан-бутановой колонне, имеющей 142 тарелки, деформация концентрационного профиля в кубе и дефлегматоре начинается значительно позже, чем для тех же элементов в 50-тарельчатой пентангексановой колонне.

4. Расчеты показали, что гидродинамический профиль в рассмотренных аппаратах устанавливается через 3 – 5 минут после нанесения возмущения, в то время как изменения концентраций на верхних и нижних тарелках, например, для изобутан-бутановой колонны, только начинаются по истечении 45 минут и продолжаются в течение 35 часов. Следовательно, общая продолжительность переходного процесса в промышленных колоннах определяются, в первую очередь, продолжительностью стабилизации концентрационных и температурных профилей, деформация которых вызвана изменением соотношения между величинами основных гидродинамических потоков в аппарате.

5. Изменение концентрации исходной смеси практически сразу же вызывает деформацию концентрационных профилей как на тарелке питания, так и на близлежащих тарелках. Причем, время установления нового стационарного состояния на этих тарелках значительно меньше времени стабилизации профиля концентраций и температуры на контрольных тарелках, чаще всего используемых в системах косвенного регулирования процесса. Абсолютные же величины отклонений на контрольных тарелках выше, чем на тарелках, расположенных в районе ввода исходной смеси.

6. Увеличение состава или расхода исходной смеси приводит к улучшению качества верхнего продукта и ухудшению качества нижнего. При уменьшении же состава или расхода исходной смеси наблюдается обратный эффект. Поскольку колебания параметров питания в промышленных аппаратах значительны и непрерывны, то требуется постоянное и целенаправленное воздействие на управляющие параметры системы управления с целью обеспечения заданных составов конечных продуктов (дистиллата и кубового остатка).

Литература

1. Р.Р. Губаев, М.К. Гималеев, А.К. Сафи-уллина, *Вестник Каз. технол. ун-та*, 12, 111-114 (2012).
2. Н.Н. Зиятдинов, Н.Ю. Богула, Т.В. Лаптева, Г.М. Островский, *Вестник Каз. технол. ун-та*, 5, 118-123 (2011).
3. Р.Рид, Дж. Праусниц, Т. Шервуд, *Свойства газов и жидкостей*, Химия, Ленинград, 1982. 592 с.
4. М.К. Гималеев, Э.Ш. Теляков, *Теор. основы хим. технол.*, 20, 4, 435-440 (1986).