

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 газодифракционирования, установках изомеризации и алкилирования. Пентан-гексановая фракция подвергается разделению также на установках газодифракционирования, 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 пентан-гексановой 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).