

Методы управления процессом ректификации по математической модели, использующие прямую информацию о характеристиках возмущающих параметров, являются достаточно строгими. Однако, их точность и эффективность будут в значительной мере определяться точностью информации о возмущениях и уровне моделирования [1]. Перед разработчиками систем управления и проектирования процессом ректификации стоит важная задача создания достаточно простой, легко корректируемой модели, отражающей закон изменения выходных параметров в зависимости от управляющих и возмущающих воздействий [2]. На сегодняшний день известны многочисленные системы автоматизации и управления процессом ректификации, использующие как косвенные методы оценки состояния процесса, так и математические модели, каждая из которых обладает своими преимуществами и недостатками. Однозначно ответить на вопрос, какая из систем лучше подходит для управления вновь проектируемым объектом, без специальных исследований при помощи математического аппарата невозможно. Представляется целесообразным использовать модель динамики [3] в качестве инструмента для оценки конкурентоспособности и эффективности применения тех или иных систем управления для проектируемых производств. В этой связи нужно отметить, что простое перенесение систем управления, апробированных и хорошо зарекомендовавших себя на действующих производствах, на проектируемые объекты аналогичных производств также не вполне оправдано, поскольку новые установки, как правило, рассчитаны на большую производительность, на другие источники сырья. Это обстоятельство приводит зачастую к заметному снижению эксплуатационных качеств систем управления, рассчитанных для работы с агрегатами других технологических и конструктивных характеристик. Существенно, что имитация работы систем управления и автоматизации в масштабе реального времени при использовании в качестве инструмента математической модели динамики, оперативно откликающейся на основные возмущения процесса при помощи управляющего блока, состоящего из расходов парового и жидкого орошений, позволяет не только качественно, но и количественно оценить эффективность той или иной системы управления в процессе проектирования. Расчеты концентрационных и температурных профилей при имитации работы систем управления рекомендуется проводить по математической модели динамики, записанной в виде системы нелинейных алгебраических уравнений [4], что позволяет существенно (на два порядка) сократить затраты машинного времени. Имитационное моделирование систем управления и автоматизации на компьютере проведено применительно к 18-тарельчатой ректификационной установке, разделяющей смесь метанол-вода, с исходными данными, приведенными, например, в [5]. Большой коэффициент относительной летучести для данной смеси обуславливает резкие изменения концентраций и

температуры в течение переходного процесса, продолжающегося около двух часов, даже при незначительных возмущениях. Это позволяет достаточно точно и наглядно уловить в процессе счета на компьютере многочисленные особенности систем управления. В качестве моделируемых систем автоматизации и управления выбраны: - локальная система регулирования составов конечных продуктов, обеспечивающая отдельное и одновременное воздействие на расходы пара и флегмы при изменениях концентраций дистиллата и кубового продукта (система регулирования по отклонению) [6]; - система управления, использующая косвенный метод оценки состояния процесса, где в качестве параметра стабилизации выбран коэффициент температурного профиля; - система управления, использующая математическую модель статики процесса ректификации и осуществляющая коррекцию расхода пара в зависимости от состава исходной смеси. Численный эксперимент по имитации работы локальной системы регулирования проведен при 5-процентном ступенчатом увеличении расхода исходной смеси. Для определения закона управления в каждом такте проведено моделирование работы регуляторов состава, в качестве которых выбраны стандартные ПИ-регуляторы. Оптимальные настройки регуляторов рассчитывались на основе данных о динамических свойствах исследуемой колонны по методике, изложенной, например, в [6]. Анализ полученных результатов показывает, что система одновременного и независимого регулирования составов обоих продуктов не обеспечивает их поддержание на заданном уровне. Эта система регулирования не может компенсировать возникшее возмущение, и последнее успевает распространиться по всей колонне, нарушая необходимую четкость разделения. При этом контуры регулирования составов верхнего и нижнего продуктов работают независимо друг от друга. В то же время они косвенно воздействуют друг на друга через материальный и тепловой балансы, что также является причиной расходящегося процесса. Действительно, независимое регулирование составов продуктовых потоков по верхнему и нижнему контурам приводит к несогласованному установлению профилей парового и жидкого орошений. Так, например, на ухудшение качества верхнего продукта система реагирует увеличением потока жидкого орошения, подаваемого в укрепляющую секцию колонны. Однако, это сопровождается уменьшением парового числа в исчерпывающей секции (отношение расхода пара к расходу флегмы  $V/L$  уменьшается), и, как следствие, ухудшением качества нижнего продукта. На это система реагирует, естественно увеличением количества парового орошения, что приводит опять к снижению флегмового числа (отношение  $V/L$  возрастает). Поэтому, работа системы регулирования характеризуется нарастающей амплитудой колебаний расходов парового и жидкого орошений, причем, эти колебания обычно заканчиваются тем, что управляющие параметры достигают верхних ограничений по расходам пара и флегмы. Это связано с необходимостью

перерасхода энергии и, зачастую, не обеспечивается получение требуемого качества продуктов. Неслучайно, в литературе [6] отмечается факт неработоспособности этих систем. Однако, и количественная, и качественная картина протекания процесса регулирования может быть получена, очевидно, только с помощью используемого подхода. Моделирование работы двух других систем управления проведено в идентичных условиях при одном и том же 15-процентном возмущении по составу исходной смеси. Результаты имитационного моделирования на компьютере систем управления показали, что для компенсации отрицательных последствий переходного режима, приводящих к ухудшению качества продуктов разделения, необходимо поддерживать определенный избыток энергии. В качестве меры эффективности функционирования рассматриваемых систем управления принят среднеинтегральный расход пара за весь переходный период (два часа). Эта характеристика при прочих равных условиях является критерием экономической целесообразности применения той или иной системы управления для разделения данной смеси. Как показали расчеты, система косвенной оценки состояния процесса требует достаточно большого перерасхода энергии на установку (в виде расхода пара). Для нормального функционирования системы управления, использующей статическую модель, также требуется определенный перерасход пара, хотя и меньший, чем в предыдущем случае. Необходимость в дополнительной энергии обусловлена в данном случае тем, что для коррекции расхода пара в зависимости от состава исходной смеси используется расчет по статической модели процесса. Это позволяет определить расход пара, который обеспечивает требуемые условия разделения только в конце переходного процесса (при новом значении концентрации питания). Однако, как показали расчеты, величина скорректированного по модели статике расхода пара оказывается недостаточной для компенсации отрицательных последствий переходного режима. Поэтому, необходим определенный перерасход энергии на установку для компенсации самого большого отклонения концентраций продуктов разделения от заданного значения. Причем, наибольшие отклонения наблюдаются в первой половине переходного процесса, и именно в этот период необходим самый большой расход пара. В остальное время расход теплоносителя может быть значительно меньше того, который постоянно (в течение всего переходного процесса) подводится к установке. Расчеты, проведенные при других ступенчатых возмущениях по составу исходной смеси, показали, что, больше величина возмущения, тем больший запас по пару требуется как для системы косвенной оценки, так и для системы, использующей статическую модель. Наилучшие результаты, как и ожидалось, были получены при реализации на компьютере системы управления, использующей динамическую модель. В этом случае среднеинтегральный расход пара, обеспечивающий выход продуктов заданного качества, оказался меньше, для

всех других систем при прочих равных условиях. Это свидетельствует об эффективности предложенного алгоритма управления процессом ректификации на базе строгой динамической модели. При этом необходимо отметить, что и в данном случае пришлось поддерживать некоторый запас по расходу пара по сравнению с минимально необходимым для компенсации нежелательных явлений по качеству нижнего продукта в самом начале переходного процесса. Это объясняется в основном двумя причинами: 1. Имеется определенный предел в уменьшении границ по концентрациям верхнего и нижнего продуктов, ниже которого задача управления не имеет решения. Это и определяет частичное увеличение энергозатрат по сравнению с идеальным случаем. 2. На величину перерасхода пара оказывает также влияние и время расчета по динамической модели. Новые управляющие воздействия могут быть выставлены только после их расчета по модели динамики в каждом такте управления. Запаздывание, обусловленное затратами времени на расчет по модели, также приводит к необходимости частичного перерасхода энергии на установку с целью компенсации возможных в этом случае отклонений концентраций от заданных. Величина перерасхода пара может быть уменьшена, таким образом, за счет усовершенствования модели и ускорения процесса счета по модели динамики. Кроме того, для промышленных колонн на величину перерасхода энергии по сравнению с минимально необходимой оказывает влияние уровень моделирования процесса. Поэтому, допущения, вносимые при разработке математической модели динамики, должны быть корректными и строго обоснованными. Тем не менее, эти неизбежные потери оказываются значительно меньше тех, которые имеют место при неучете динамического поведения объекта. Существенно, что величина перерасхода энергии по отношению к минимально необходимой при использовании системы управления на основе динамической модели, слабо зависит от величины и характера возмущающего фактора. Выводы 1. Разработана методология количественной оценки эффективности функционирования различных систем автоматизации и управления процессом ректификации на базе динамической модели. 2. Показано, что система управления на основе динамических характеристик является универсальной, поскольку использует модель динамики, основанную на общих законах гидродинамики, термодинамики, кинетики массопередачи, теплопередачи. Это выгодно отличает данную систему от систем, использующих различные полиномиальные (статистические) модели, и в результате тесно привязанных к конкретному объекту. 3. Переход к управлению по детерминированным математическим моделям динамики, адекватно отражающим процесс, несомненно позволит получить значительную экономию энергетических затрат на разделение и приведет к снижению себестоимости продуктов.