

СИСТЕМА СТАБИЛИЗАЦИИ УРОВНЯ ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛА ФАЗ ЭКСТРАКЦИОННОЙ КОЛОННЫ

А.Д. Вильнин, С.Н. Ливенцов, А.А. Лысенко

Томский политехнический университет

В работе представлена модель системы стабилизации уровня границы раздела фаз в нижней отстойной зоне пульсационного колонного экстрактора. Приведены рекомендации по настройке автоматического регулятора системы, выработанные в результате исследований с помощью разработанной модели, и результаты внедрения этих рекомендаций.

Экстракционные колонны – это вертикальные трубчатые аппараты, в которых реагенты движутся в вертикальном направлении противотоком. В отличие от емкостных (баковых) экстракторов, они предназначены для процессов, производимых непрерывно в потоке реагентов. Вертикальное движение реагентов в колонне может быть дополнено, например, вращением в горизонтальной плоскости, однако и в этом случае создается поршневой режим, приближающийся к структуре потока в реакторах вытеснения.

Обычно колонны используются для проведения процессов массообмена в гетерогенной среде между двумя и более фазами. Это может быть жидкость – пар (газ) – ректификация (абсорбция); несмешивающиеся жидкости – экстракция; твердая фаза и жидкость – сорбция. Поэтому кроме реакционной зоны, представляющей собой трубу – пустую или заполненную насадкой, предназначенной для увеличения поверхности контакта фаз и распределения реагентов по сечению, колонна имеет одну или две отстойные зоны, где производится разделение фаз.

В рабочем состоянии колонна заполняется одной из фаз, которая называется сплошной и занимает большую часть объема, другая фаза – дисперсная – распределяется в сплошной. Колонны могут работать при противоточном и прямоточном движении фаз.

Противоточное движение происходит вследствие влияния разности плотностей реагентов, но на него оказывают влияние и такие физические свойства системы, как вязкость, межфазное поверхностное натяжение и т.п. Характеристическая скорость, т.е. скорость всплывания или осаждения (падения) частиц дисперсной фазы во второй, сплошной (неподвижной) фазе, которая обуславливается этими свойствами, в свою очередь, определяет производительность колонны.

Колонные реакторы любого назначения представляют собой реакторы вытеснения, характерной особенностью которых в идеальном случае является регулярность потока по всей длине аппарата и равенство скоростей всех элементов жидкости.

В гетерогенной системе важнейшим параметром, от которого зависит работа аппарата, является размер частиц. Этот параметр определяет характеристическую скорость движения дисперсной фазы. Функцией характеристической скорости и соотношения расходов потоков являются: задержка дисперсной фазы, т.е. доля занимаемого ею объема, время ее пребывания в аппарате, поверхность массообмена и предельная производительность колонны [1].

В рассматриваемой колонне фазы движутся противотоком, при этом дисперсной фазой является водная. Одним из основных параметров, определяющих технологический режим и эффективность разделения урана и осколков деления в пульсационном колонном экстракторе, является уровень границы раздела фаз (ГРФ) в

нижней отстойной зоне (НОЗ). От стабильности поддержания этого уровня зависит гидродинамический режим и постоянство соотношения водной и органической фаз в колонне. Наилучшие условия протекания процесса экстракции обеспечиваются при таком гидродинамическом режиме, когда вертикальное перемещение дисперсной фазы обусловлено гравитационными силами, а перемешивание фаз происходит под воздействием горизонтальных струй жидкости, образующихся на профилированных отверстиях насадки из вертикальных пульсаций столба жидкости, возбуждаемых пульскамерой колонны. На этот режим влияет также нестабильность уровня границы раздела фаз в нижней отстойной зоне колонны, вызывающая так называемый "поршневой эффект", т.е. вертикальное перемещение струй жидкости не под действием гравитационных сил. Нестабильность уровня ГРФ влияет также на равномерность оттока органической фазы из колонны в последующие аппараты, что негативно сказывается на их гидродинамическом режиме. Следовательно, для уменьшения влияния "поршневого эффекта", а также для обеспечения более равномерного оттока органической фазы необходимо стабилизировать уровень ГРФ.

Упрощенная схема объекта управления приведена на рис. 1. Водная фаза подается в колонны в нескольких точках в верхней и средней части колонны, диспергируется в органической фазе и осаждается в нижней части колонны (отстойной зоне), откуда под действием гидростатического давления столба жидкости в колонне поступает во встроенный пульсационный насос. Этим насосом водная фаза откачивается из колонны, причем расход водной фазы регулируется по уровню границы раздела фаз в колонне. Приток водной фазы в отстойную зону колонны в данном случае можно рассматривать как возмущающее воздействие.

Уровень ГРФ поддерживается откачкой из НОЗ рафината, непрерывно поступающего из насадочной части колонны, с помощью встроенного пневматического пульсационного насоса, производительность которого изменяется в зависимости от степени открытия вентиля, подающего сжатый воздух на пульсатор этого насоса.

Встроенный пульсационный насос работает следующим образом. Через всасывающий клапан водная фаза из нижней отстойной зоны заполняет камеру пульсационного насоса в то время, когда эта камера соединяется через пульсатор со сдувочным коллектором. При подаче сжатого воздуха этот клапан закрывается, и порция водной фазы из камеры пульсационного насоса через выходной патрубок и напорный клапан выдавливается из колонны. Сжатый воздух в камеру пульсационного насоса подается с помощью золотникового механизма, называемого пульсатором, периодически. Длительность импульса сжатого воздуха постоянна и равна длительности сдувки и составляет 1 с. Сжатый воздух поступает из пульсатора в камеру пульсасоса с постоянной частотой 10 раз в минуту. Управляющим воздействием является, таким образом, амплитуда импульсов сжатого воздуха. В качестве датчика положения границы раздела фаз в колонне применяется буйковый уровнемер типа УБ-Э.

Упрощенная схема системы стабилизации приведена на рис. 2. Объектом управления САР является НОЗ, его выходная координата – уровень L , измеряемый буйковым уровнемером УБ-Э. Буйковый уровнемер УБ-Э состоит из буйка, помещенного на уровне границы раздела фаз и устройства, измеряющего выталкивающую силу, действующую на боек. Выталкивающая сила определяется объемом буйка и средней плотностью среды, в которую он помещен. Усреднение плотности среды производится по всей высоте буйка.

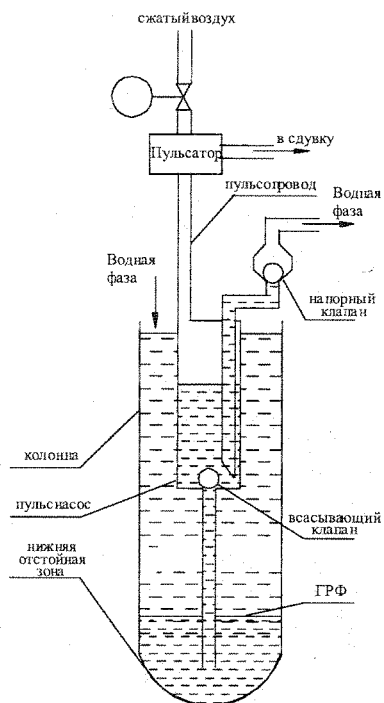


Рис. 1. Упрощенная схема объекта управления

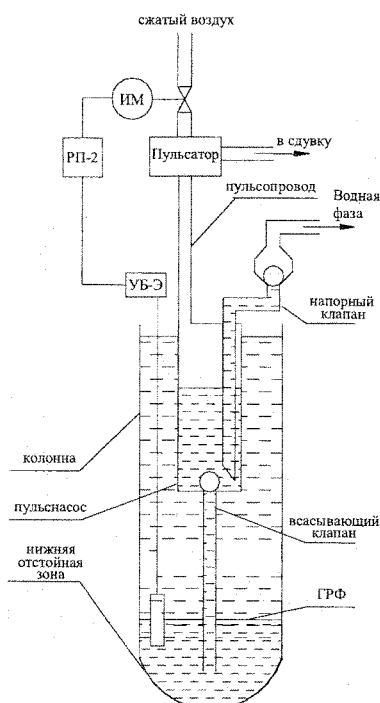


Рис. 2. Упрощенная схема системы стабилизации

Таким образом, величиной, определяющей положение границы раздела фаз, является плотность среды на уровне размещения буйка. Будем считать, что толщина слоя, в котором происходит расслаивание дисперсной и сплошной фаз, мала по сравнению с высотой буйка, тогда можно считать, что шкала контролируемого перемещения границы раздела фаз соответствует высоте буйка. Входная координата ТОУ – разность расходов откачиваемого рафината и поступающей из колонны водной фазы. При этом расход водной фазы является возмущающим воздействием G_2 . Регулирующим органом САР является встроенный пульснасос, производительность которого изменяется с помощью регулирующего вентиля, подающего сжатый воздух в пульсатор. Регулирующий блок РП-2 в данной САР применяется в комплекте с исполнительным механизмом постоянной скорости. В составе регулятора имеется демпфер, постоянная времени которого регулируется в диапазоне $0 \div 10$ с. Исполнительный механизм изменяет степень открытия вентиля, а следовательно, и давление в камере пульснасоса, тем самым изменяя его производительность. Структура САР приведена на рис.3.

Структурная схема САР приведена на рис. 4. При этом дискретный характер системы, обусловленный импульсным режимом работы пульснасоса, не учитывался, т.к. период работы пульсатора (6 с) значительно меньше постоянной времени НОЗ (более 3 ч). Передаточная функция исполнительного механизма $W_{им}$ выбрана с учетом его работы в скользящем режиме [2]. Но при таком представлении релейно-

импульсного регулятора необходимо также учесть наличие зоны нечувствительности у реального регулятора. Пульсасос $W_{\text{пн}}$ представлен пропорциональным звеном, а НОЗ и уровнемер $W_{\text{н}}$ – интегрирующим звеном.

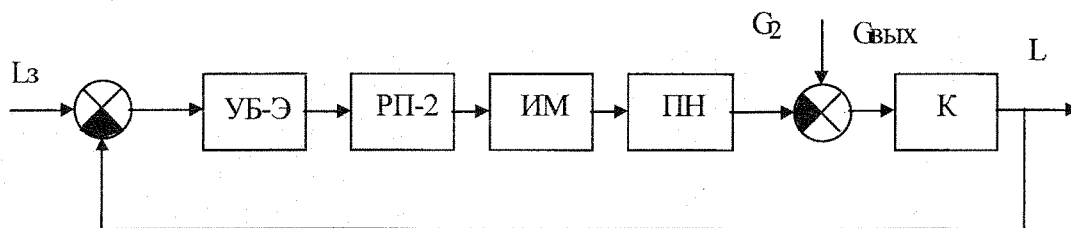


Рис. 3. Структура САР ГРФ

G_2 - расход водной фазы при подаче ее в колонну;

$G_{\text{вых}}$ - расход водной фазы на выходе колонны;

L_3 - заданное значение положения границы раздела фаз в колонне;

K - нижняя отстойная зона;

УБ-Э – буйковый уровнемер;

РП-2 – регулирующий блок;

ИМ - исполнительный механизм постоянной скорости;

ПН – пульсасос

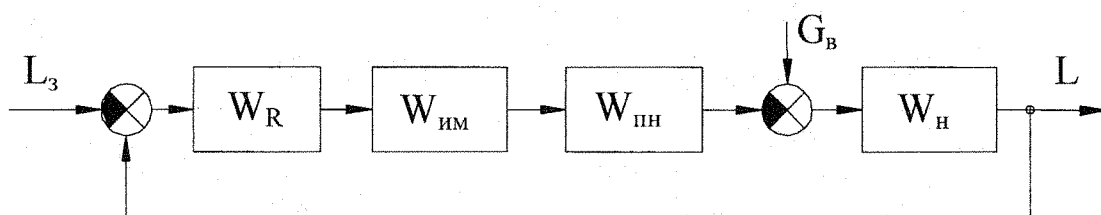


Рис. 4. Структурная схема системы стабилизации:

$$W_R = K_R \left(1 + \frac{1}{T_E s} \right);$$

$$W_{\text{им}} = \frac{K_{\text{им}} e^{-\tau s}}{T_{\text{им}} s + 1};$$

$$W_{\text{пн}} = K_{\text{пн}};$$

$$W_{\text{н}} = \frac{K_{\text{уб}}}{T_{\text{н}} s};$$

В качестве критерия оптимальности при выборе параметров регулятора использовалось отклонение уровня границы раздела фаз от заданного значения. При моделировании САР было найдено, что при максимальных времени интегрирования (500 с) и коэффициенте передачи регулирующего блока качество стабилизации ГРФ повышается. В этом режиме регулирующий блок фактически представляет собой П-регулятор. В [3] также рекомендуется для нейтральных объектов, каковым и является НОЗ, использовать П-закон регулирования. Но для качественной реализации П-закона в нашем случае необходимо, чтобы время интегрирования было значительно больше, чем постоянная времени объекта. Поэтому применение регулирующего блока типа РП-2 не дает возможности получить наилучшее качество регулирования.

При внедрении результатов на производстве была обнаружена потеря устойчивости САР при максимальном коэффициенте передачи, и последний был уменьшен. При этом амплитуда отклонения выходной координаты САР от уставки уменьшилась примерно вдвое. В таком виде САР была сдана в эксплуатацию. Но отклонение экспериментальных результатов от расчетных говорит о неадекватности модели САР. Причиной этого оказался прерывистый режим откачки рафината из НОЗ. Период, с которым производилась откачка, в несколько раз превышал период работы пульсатора. Таким образом, пренебречь дискретным характером моделируемой системы, особенно при неоптимальных параметрах регулятора, нельзя. Эта дискретность может быть учтена введением аппроксимационного запаздывания ($15 \div 20$ с), равного половине периода откачки. Учет этого запаздывания позволил сделать модель адекватной. Также была обнаружена зависимость этого периода от расхода откачиваемой водной фазы. Это позволяет найти зависимость между производительностью колонны и оптимальными с точки зрения качества регулирования параметрами настройки регулирующего блока.

В настоящее время разработана имитационная модель встроенного пульсасоса как регулирующего органа рассматриваемой САР, позволяющая более детально исследовать динамику его работы. Исследования, выполненные с использованием данной модели, показали, что наиболее вероятными причинами прерывистого режима откачки является слишком высокий порог срабатывания напорного клапана и большая гидравлическая емкость рабочей камеры пульсасоса.

Литература

1. Карпачева С.М., Захаров Е.И. Основы теории и расчета пульсационных колонных реакторов. – М.: Атомиздат, 1980.
2. Гурецкий Х. Анализ и синтез систем управления с запаздыванием. – М.: Машиностроение, 1974.
3. Шински Ф. Системы автоматического регулирования химико-технологических процессов. – М.: Химия, 1974.

THE INTERPHASE BOUNDARY LEVEL CONTROL SYSTEM OF THE EXTRACTATIONAL TOWER

Vilnin A.D., Liventsov S.N., Lysenok A.A.

Tomsk polytechnical university

The model of the interphase boundary level control system into the lower setting-vat zone of the pulsating tower extractor introduces this article. Recommendations for adjustment of the system's automatic regulator are introduced, which were produced as the result of research with the help of developed model and the results of the application of these recommendations.