

СИДДИКОВ И.Х. (ТГТУ), ИЗМАЙЛОВА Р.А.(ТГТУ), ТАИРОВА Т.Н.

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ КАРБОНИЗАЦИИ НА ОСНОВЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА

В работе рассмотрена система управления процессом карбонизации на основе показателей качества. Предложена структурная схема материальных потоков технологического объекта, а также представлена разработка компенсатора перекрестных связей карбонизационной колонны.

Предлагаемый процесс карбонизации, базирующаяся на химической кинетике и учитывающая неопределенность реакционной смеси, которая позволяет определить предельные показатели эффективности процесса, рассчитать оптимальные режимные параметры реактора.

Ключевые слова: система управления, карбонизация, материальный поток, перекрестные связи, гидрокарбонатная суспензия, синтез регуляторов.

Задачей управления технологическим процессом является поддержание температурного режима в карбонизационной колонне по её высоте согласно оптимальной температурной кривой, рассчитанной по кинетической модели. Для получения крупных кристаллов гидрокарбоната натрия правильной формы, которые не забивают фильтрующую поверхность вакуум-фильтров и малорастворимы в процессе фильтрации, необходимо поддерживать сравнительно высокую температуру (60-70 °С) в зоне образования кристаллов. В процессе дальнейшего роста кристаллов температура уже не оказывает существенного влияния на их размер. Поэтому с целью повышения степени утилизации натрия (коэффициент использования сырья) суспензию равномерно охлаждают до 26-32 °С. Процесс кристаллизации начинается с образованием зародышей в виде очень мелких кристалликов гидрокарбоната натрия, из которых при поддержании нормального технологического режима образуются кристаллы в форме коротких цилиндров - «бочки» [77]. При нарушении процесса кристаллизации образуются кристаллы, имеющие форму длинных цилиндров и склонные к образованию сростков в виде «снопов» (друзы). В этом случае выделяется большое количество мелочи в виде игольчатых кристаллов и бесформенных обломков. Такие кристаллы при фильтрации уплотняются и удерживают в образовавшихся мелких ячейках много влаги, т.е. увеличивается содержание остаточной влаги в гидрокарбонате натрия. Технологический процесс карбонизации аммонизированного рассола в общем виде представлен на рисунке 1. Входными переменными являются потоки аммонизированного рассола, газа первого входа, газа второго входа и воды на охлаждение. Выходными переменными являются потоки 75 гидробикарбонатной суспензии (целевой продукт), газ на выходе из колонны (побочный продукт) и вода из холодильной зоны колонны.

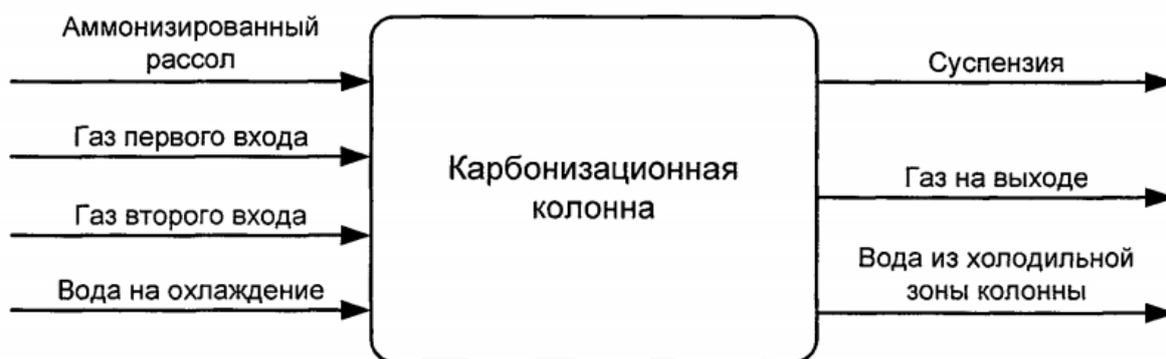


Рисунок 1- Структурная схема материальных потоков технологического объекта

управления

Каждый из материальных потоков процесса карбонизации (рисунок 1) характеризуется набором информационных переменных, которые можно классифицировать в виде подмножеств, следующим образом [4, 15, 58]: X - Класс входных параметров, которые можно оперативно измерить; M - Класс входных параметров, которые не измеряются оперативно в силу ряда причин (неопределенность качественного состава сырья, неустойчивость химических соединений и т.д.), но по которым оператор корректирует режим работы реактора. К этому классу относятся данные лабораторных анализов, коэффициенты соотношения расходов и т.д.; Y - Класс выходных оперативно измеряемых параметров; E - Класс выходных параметров, это показатели качества продукции и показатели технико-экономической эффективности; На основе вышеизложенного предлагается развернутая структурная схема материальных потоков технологического процесса карбонизации аммонизированного рассола (рисунок 2).

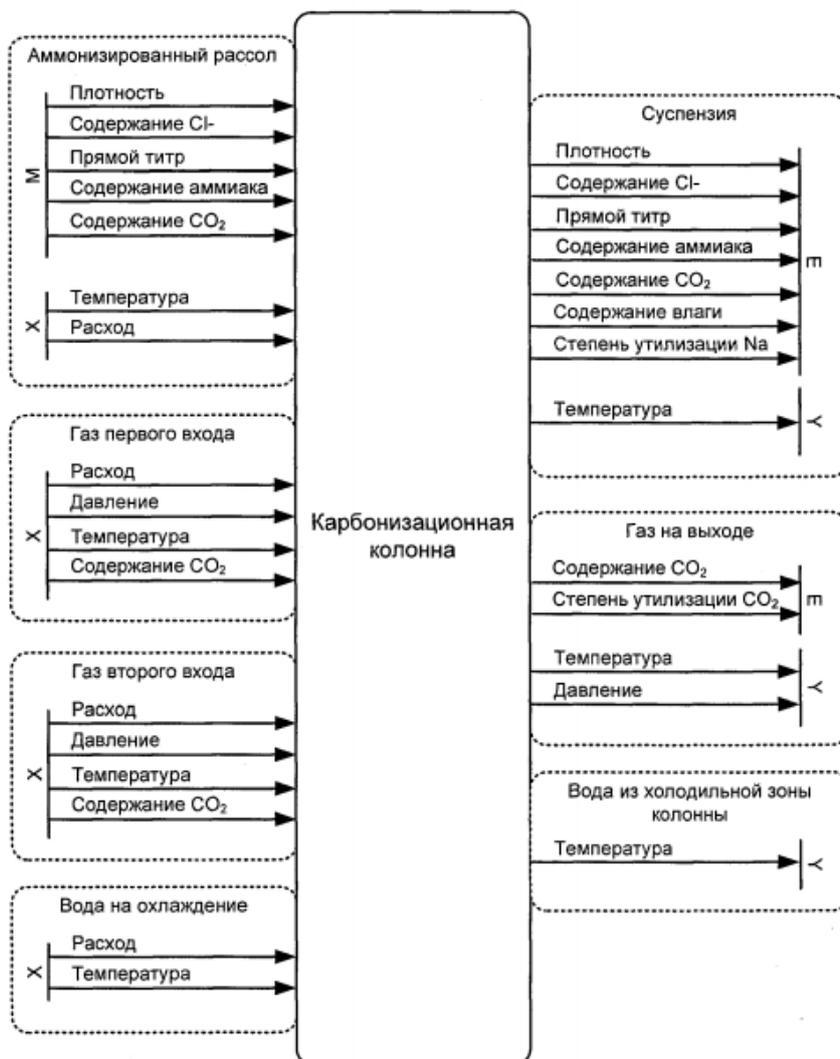


Рисунок 2. - Развернутая структурная схема материальных потоков технологического объекта управления

Основной проблемой при поддержании оптимального температурного режима является значительное взаимное влияние параметров. Системы управления подобными

технологическими объектами относятся к классу многомерных. Главной проблемой при разработке регуляторов в классе многомерных систем является «развязка» каналов. При исследовании подобного рода систем и при синтезе регуляторов необходимо учитывать перекрёстные связи [15, 18, 20, 50, 51]. Задачей синтеза многомерной системы управления является исключение взаимного влияния каналов за счёт введения дополнительных связей. То есть необходимо настроить каждый контур регулирования с учётом влияния смежных контуров для того, чтобы температурный режим карбонизационной колонны был как можно ближе к оптимальному температурному режиму (рисунок 2.1). Таким образом, оценку взаимовлияния параметров целесообразно производить на основе теплового баланса процесса карбонизации.

Разработка компенсатора перекрёстных связей карбонизационной колонны.

Передаточная функция многосвязного объекта управления (карбонизационной колонны) в общем виде имеет вид:

$$W_0(s) = \begin{pmatrix} W_{11}^0(s) & W_{12}^0(s) & W_{13}^0(s) & W_{14}^0(s) & W_{15}^0(s) \\ W_{21}^0(s) & W_{22}^0(s) & W_{23}^0(s) & W_{24}^0(s) & W_{25}^0(s) \\ W_{31}^0(s) & W_{32}^0(s) & W_{33}^0(s) & W_{34}^0(s) & W_{35}^0(s) \\ W_{41}^0(s) & W_{42}^0(s) & W_{43}^0(s) & W_{44}^0(s) & W_{45}^0(s) \\ W_{51}^0(s) & W_{52}^0(s) & W_{53}^0(s) & W_{54}^0(s) & W_{55}^0(s) \end{pmatrix} \quad (1)$$

Для «развязки» каналов технологического объекта необходимо подобрать передаточную функцию компенсатора так, чтобы передаточная функция последовательного соединения «компенсатор-объект» была диагональной [50], то есть:

$$\begin{pmatrix} W_{11}^0(s) & W_{12}^0(s) & W_{13}^0(s) & W_{14}^0(s) & W_{15}^0(s) \\ W_{21}^0(s) & W_{22}^0(s) & W_{23}^0(s) & W_{24}^0(s) & W_{25}^0(s) \\ W_{31}^0(s) & W_{32}^0(s) & W_{33}^0(s) & W_{34}^0(s) & W_{35}^0(s) \\ W_{41}^0(s) & W_{42}^0(s) & W_{43}^0(s) & W_{44}^0(s) & W_{45}^0(s) \\ W_{51}^0(s) & W_{52}^0(s) & W_{53}^0(s) & W_{54}^0(s) & W_{55}^0(s) \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} W_{11}^k(s) & W_{12}^k(s) & W_{13}^k(s) & W_{14}^k(s) & W_{15}^k(s) \\ W_{21}^k(s) & W_{22}^k(s) & W_{23}^k(s) & W_{24}^k(s) & W_{25}^k(s) \\ W_{31}^k(s) & W_{32}^k(s) & W_{33}^k(s) & W_{34}^k(s) & W_{35}^k(s) \\ W_{41}^k(s) & W_{42}^k(s) & W_{43}^k(s) & W_{44}^k(s) & W_{45}^k(s) \\ W_{51}^k(s) & W_{52}^k(s) & W_{53}^k(s) & W_{54}^k(s) & W_{55}^k(s) \end{pmatrix} =$$

$$= \begin{pmatrix} W_{11}^{xy}(s) & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & W_{22}^{xy}(s) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & W_{33}^{xy}(s) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & W_{44}^{xy}(s) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & W_{55}^{xy}(s) \end{pmatrix} \quad (2)$$

Перепишем выражение (2) в следующем виде :

$$W_0(s) \cdot W_k(s) = \text{diag } W_0(s) = W_0^P(s)$$

(3)

Таким образом, зависимость (3) позволяет найти передаточную функцию

компенсатора:

$$W_k(s) = \text{diag } W_0(s) \cdot W_0^{-1}(s) \quad (4)$$

Синтез регуляторов при диагональной передаточной матрице замкнутой системы можно проводить, пользуясь теорией одномерных систем, т.е. по каждому каналу индивидуально [50]. Для определения передаточных функций карбонизационной колонны использовалась автоматизированная подсистема сбора и обработки информации [10]. Подсистема предназначена для определения динамических характеристик объекта для «продвинутых» задач управления [15], в частности учёта параметров, сил взаимодействия между ними и возмущающих воздействий, которые ухудшают качество управления процесса карбонизации. Известные трудности идентификации объекта связаны с низким уровнем организации и формализации процедур сбора и обработки информации. Предлагается карбонизационную колонну оснастить необходимой аппаратурой [10], которая регистрирует ответную реакцию во времени, после воздействия заданного входного возмущения, с использованием статистических методов, проведен анализ полученных временных рядов средствами языка высокого уровня для научно-технических расчётов - MatLab. При обработке временных рядов использовался специализированный пакет System Identification Toolbox - обработка сигналов для идентификации объекта.

Используя средние значения характеристик передаточных функций, получили передаточные функции карбонизационной колонны следующего вида:

$$W_0(s) = \begin{pmatrix} \frac{0.88}{37s+1} \cdot e^{-0.2s} & 0 & 0 & \frac{0.12}{64s+1} \cdot e^{-8s} & 0 \\ 0 & \frac{0.69}{45s+1} \cdot e^{-0.7s} & 0 & \frac{1.35}{31s+1} \cdot e^{-3.9s} & \frac{1.24}{41s+1} \cdot e^{-17s} \\ 0 & 0 & \frac{0.71}{41s+1} \cdot e^{-0.9s} & \frac{1.29}{26s+1} \cdot e^{-4.2s} & \frac{1.15}{48s+1} \cdot e^{-5.1s} \\ \frac{-0.23}{42s+1} \cdot e^{-13s} & 0 & 0 & \frac{0.66}{214s+1} \cdot e^{-67s} & \frac{-0.17}{21s+1} \cdot e^{-16s} \\ \frac{1.81}{44s+1} \cdot e^{-7.2s} & 0 & 0 & \frac{-0.11}{37s+1} \cdot e^{-0.5s} & \frac{2.67}{153s+1} \cdot e^{-61s} \end{pmatrix} \quad (5)$$

Анализ полученной передаточной функции показывает наличие звена запаздывания вида e^{-TS} . В целях упрощения дальнейших расчётов пренебрегаем звеньями запаздывания. Компенсатор взаимного влияния перекрёстных связей строим таким образом, чтобы последовательное соединение компенсатора и объекта управления имело диагональную матричную передаточную функцию:

$$\text{diag } W_0(s) = \begin{pmatrix} \frac{0.88}{37s+1} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{0.69}{45s+1} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{0.71}{41s+1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{0.66}{214s+1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{2.67}{153s+1} \end{pmatrix} \quad (6)$$

Имитационное моделирование проводили в среде MatLab (пакет Simulink). [а каждый из входов объекта $W_0(s)$ через 500 секунд подавали ступенчатый сигнал с амплитудой 5% от максимального диапазона изменения параметра. Результаты моделирования реакции технологического объекта без компенсации перекрёстных связей представлено на рисунке 3.

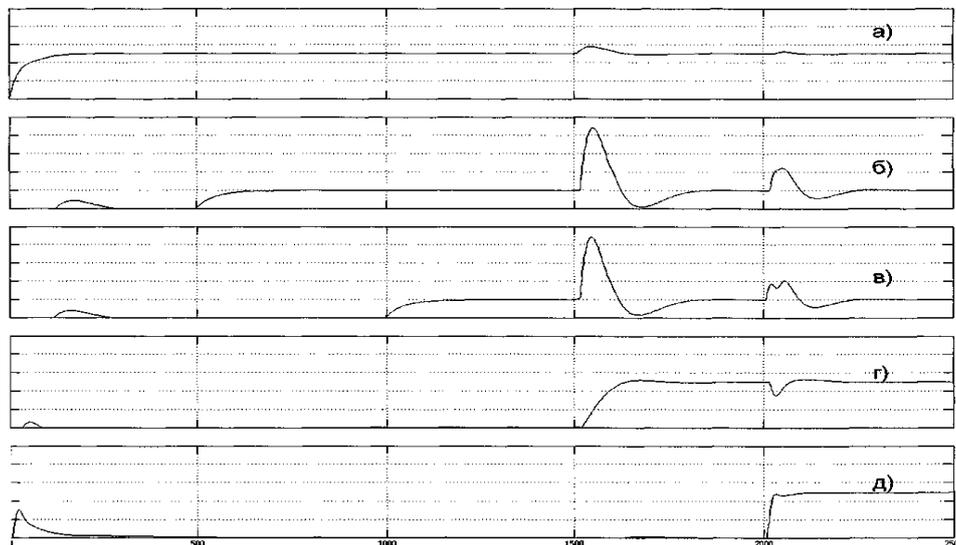


Рисунок 3- Реакция объекта управления на возмущающее воздействие

- а) аммонизированный рассол; б) газ первого входа; в) газ второго входа;
г) суспензия; д) охлаждающая вода

Заключение. Разработана структурная схема системы управления процессом карбонизации аммонизированного рассола по показателям качества продукции. Система определена в классе многомерных систем управления с математическими моделями технологических процессов и оптимизатором. Описана работа системы управления процессом карбонизации и работа каждого её блока и модуля.

Список литературы:

1. Зайцев И.Д., Ткач Г.А., Стоев Н.Д. Производство соды. –М.: Химия,1986,311 с.
2. Афанасенко А.Г., Гнатенко Ю.А. Математическое моделирование и оптимизация процесса карбонизации аммонизированного рассола // Математическое моделирование. – № 8. – 2008. – С. 105–110.

3. Гостев В. И. Проектирование нечетких регуляторов для систем автоматического управления – СПб.: БХВ-Петербург, 2011. – 416 с.
4. Сиддиков И.Х., Жукова Ю.А., Ядгарова Д.Б. Адаптивный алгоритм управления динамическими процессами на базе нейро-нечеткой технологии // Проблемы вычислительной и прикладной математики. №5.-2017.- С. 80-83
5. Афанасенко А.Г., Верёвкин А.П. Автоматизированная подсистема сбора и обработки информации для определения динамических характеристик объекта в среде Trace Mode // Управление производством в системе Trace Mode: матер. 12-ой междунар. конф. и выставки. М: AdAstrA, 2006.
6. Автоматизация и механизация производств основной химической промышленности. Под. ред. А.В. Сёмке, Харьков: НИОХИМ, 1977. - 120 с.