

УДК: 661.33-047.64

Бобух А.А., Литвиненко И.И., Беспалов К.И.

## АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ РЕГЕНЕРАЦИИ АММИАКА В ОТДЕЛЕНИИ ДИСТИЛЛЯЦИИ ПРОИЗВОДСТВА СОДЫ

### Введение

Одним из основных направлений совершенствования технологии кальцинированной соды из хлорида натрия (аммиачный способ) является разработка алгоритмов управления сложными технологическими процессами. Производство соды по аммиачному способу включает восемь основных переделов (цехов или отделений): получение карбонатного сырья, переработка этого сырья, получение и очистка рассола, абсорбция, карбонизация, фильтрация, кальцинация и дистилляция (регенерация аммиака). Определенный интерес представляет повышение качества конечного продукта за счет оптимизации управления процессом регенерации аммиака в отделении дистилляции производства соды.

### Цель работы

Разработка алгоритма управления процессом регенерации аммиака в отделении дистилляции производства соды, который позволит минимизировать с помощью метода штрафных функций и выбора критерия оптимизации расход пара, одного из основных составляющих себестоимости кальцинированной соды, за счет оптимизации управления.

### Основная часть

Рассмотрим процесс регенерации аммиака из растворов, поступающих в отделение дистилляции производства соды (рисунок). На рисунке показан фрагмент функциональной схемы автоматизации указанного процесса, выполненный адресным методом [1]. На нем в условных графических, буквенных и цифровых обозначениях изображено основное оборудование, материальные потоки, регулирующие органы, контрольно-измерительные приборы, в том числе микропроцессорный контроллер (МПК), линии связи между ними. Там же показано условное обозначение выполняемых МПК функций: контроля ("контроль"), заданий регламентных значений требуемых параметров, штрафных функций и "единицы", а также расчета и выдачи управляющих воздействий ("управление") на исполнительные механизмы, в виде точек.

Процесс регенерации аммиака из фильтровой жидкости осуществляется в отделении дистилляции [2], в котором протекают реакции разложения карбонатных солей аммония и гидрокарбоната натрия за счет нагревания растворов. Реакции разложения указанных солей осуществляются в дистилляционной колонне, состоящей из конденсатора-холодильника газа дистилляции (КХДС) (1), теплообменника дистилляции (ТДС) (2), дистиллера (ДС) (3) и смесителя (реактора с рамной мешалкой) (СМ) (4). На содовых заводах жидкости отделения дистилляции нагревают паром (2.1), который проходит противотоком жидкостям. Фильтровая жидкость (1.1) проходит последовательно КХДС (1), где нагревается до 35–40 °С и начинается разложение гидрокарбоната аммония. При дальнейшем нагревании жидкости до 65–75 °С начинает диссоциировать карбонат аммония. При поступлении её в ТДС (2), где температура жидкостного потока повышается от 80 до 90 °С, разложение карбоната аммония резко ускоряется. Из ТДС

(2) жидкость (1.2) направляется в смеситель (СМ) (4), куда также поступает известковая суспензия (1.3). Пар (2.1), подаваемый в нижнюю часть ДС (3), проходит противотоком к жидкости все указанные аппараты, поэтому пар (2.2) после ДС (3) поступает в СМ (4). В результате чего в СМ (4) осуществляется процесс регенерации аммиака из хлорида аммония и сульфата аммония, образующийся свободный аммиак выделяется в газовую фазу (2.3) и поступает в ТДС (2), а жидкость (1.4) – в ДС (3).

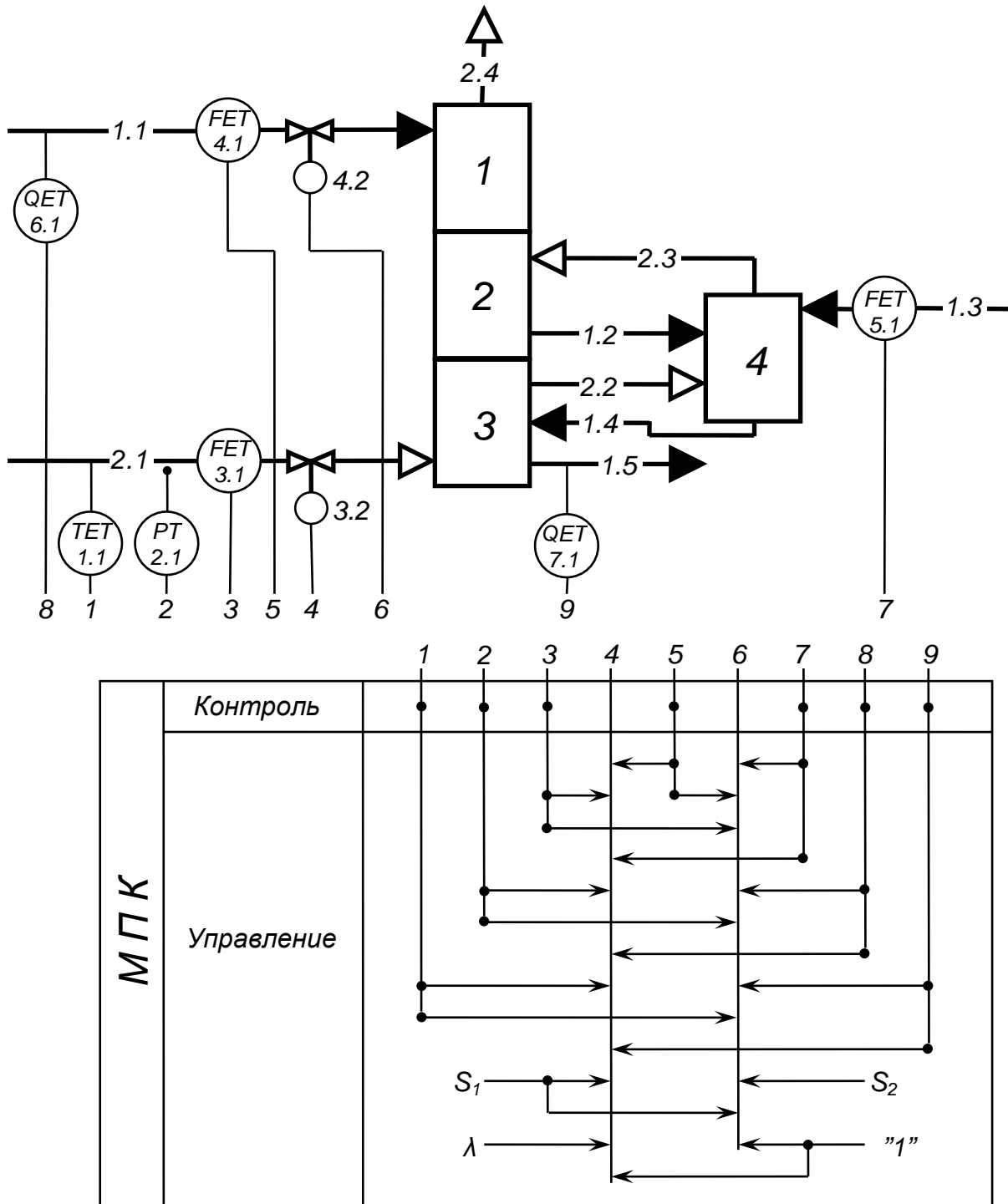


Рисунок – Фрагмент функциональной схемы автоматизации процесса регенерации аммиака в отделении дистилляции производства соды

Окончательная регенерация аммиака осуществляется паром (2.1) в ДС (3), из которого дистиллируемая жидкость (1.5) поступает на утилизацию (на рисунке не показано). Полученная парогазовая смесь (2.4) при температуре 50–60 °С, содержащая 51–53 % аммиака, после КХДС (1) поступает в отделение абсорбции (на рисунке не показано).

Рассмотренный процесс регенерации аммиака в отделении дистилляции производства соды характеризуется как непрерывный, нелинейный многомерный объект с экстремальными нестационарными характеристиками, являющийся предметом рассмотрения теории адаптационной оптимизации [1].

Для рассмотренного объекта управления целесообразно реализовать следующий адаптивный алгоритм регенерации аммиака в отделении дистилляции производства соды [3]:

$$\hat{y}(t) = \sum_{i=1}^6 \hat{a}_i(t-1)x_i(t), \quad (1)$$

где  $y$  – выход объекта, значение содержания аммиака в дистиллируемой жидкости (1.5), сигналы от первично-передающего преобразователя (ПП/ПрП) (позиция 7.1) с унифицированными выходными сигналами постоянного тока;  $t$  – текущее дискретное время;  $i = \overline{1,6}$  – количество параметров технологического процесса;  $a_1(t), a_2(t), a_3(t), a_4(t), a_5(t), a_6(t)$  – оценки параметров объекта: расходов фильтровой жидкости (1.1), пара (2.1) и известковой суспензии (1.3); давления пара (2.1); содержания аммиака в фильтровой жидкости (1.1); температуры пара (2.1);  $x_1(t), x_2(t), x_3(t), x_5(t), x_6(t)$  – сигналы от соответствующих ПП/ПрП (позиции 4.1, 3.1, 5.1, 6.1, 1.1) и  $x_4(t)$  – от передающего преобразователя (ПрП) (позиция 2.1) с унифицированными выходными сигналами постоянного тока о значении: расходов – фильтровой жидкости (1.1), пара (2.1) и известковой суспензии (1.3); содержания аммиака в фильтровой жидкости (1.1); температуры пара (2.1) и давления пара (2.1); знаком " $\hat{\phantom{x}}$ " – обозначены оценки соответствующих векторов.

Исходя из того, что основным показателем работы отделения дистилляции [2], является содержание аммиака в дистиллируемой жидкости (1.5), определяющее удельные расходы пара (2.1) – одной из основных составляющих себестоимости (более 50 %) кальцинированной соды, и, учитывая, что допустимое содержание аммиака в этой жидкости ограничивается санитарными нормами, необходимо минимизировать расход пара  $x_2(t)$ , то есть при заданных ограничениях вида:

$$\hat{y}(t) = \sum_{i=1}^6 \hat{a}_i(t)x_i(t) \leq S_1; \quad M[x_1(t) \leq S_2] \quad (2)$$

минимизировать  $M[x_2^2(t)], \quad (3)$

где  $M$  – символ математического ожидания;  $S_1$  – регламентное значение содержания аммиака в жидкости (1.5);  $S_2$  – регламентное значение расхода фильтровой жидкости (1.1).

Поставленную задачу можно решить с помощью метода штрафных функций, при этом критерий оптимизации будет иметь вид:

$$I(t) = M \left[ x_2^2(t) + \lambda \left( \sum_{i=1}^6 \hat{a}_i(t) x_i(t) - S_1 \right)^2 + (x_1(t) - S_2)^2 \right], \quad (4)$$

где  $\lambda$  – штрафной коэффициент, представляющий собой достаточно большое число. Решая систему уравнений

$$\frac{\partial I(t)}{\partial x_1} = 0, \quad \frac{\partial I(t)}{\partial x_2} = 0, \quad (5)$$

получаем оптимальные законы управления в виде

$$x_1(t+1) = \frac{\hat{a}_1(t)(S_1 - \sum_{i=2}^6 \hat{a}_i(t)x_i(t)) + S_2}{1 + \hat{a}_1^2(t)}, \quad (6)$$

$$x_2(t+1) = \frac{\lambda \hat{a}_2(t)(S_1 - \sum_{i=1, i \neq 2}^6 \hat{a}_i(t)x_i(t))}{1 + \lambda \hat{a}_2^2(t)}. \quad (7)$$

Разработанный адаптивный алгоритм регенерации аммиака (1), ограничения (2), выражение минимизации (3), критерий оптимизации (4), решение системы уравнений (5) и оптимальные законы управления по выдаче управляющих воздействий на изменение расходов: (6) – фильтровой жидкости (1.1) и (7) – пара (2.1) наиболее просто можно реализовать при помощи современных многофункциональных, высокопроизводительных, многоканальных, быстродействующих и высоконадежных МПК со специальными программами (СП), а также – соответствующих ПП/ПрП и ПрП (позиции 1.1, 3.1, 4.1, 5.1, 6.1, 7.1 и 2.1) и исполнительных механизмов (ИМ) (позиции 3.2 и 4.2), механически соединенных с регулирующими органами.

В первую очередь при реализации адаптивного алгоритма (1) для вычисления оценок параметров объекта  $a_1(t), a_2(t), a_3(t), a_4(t), a_5(t), a_6(t)$  необходимо, чтобы сигналы о значениях  $x_1(t), x_2(t), x_3(t), x_4(t), x_5(t), x_6(t), y(t)$  в виде унифицированных сигналов постоянного тока в момент времени  $t$  с выходов соответствующих ПП/ПрП и ПрП: (позиции 4.1, 3.1, 5.1, 6.1, 1.1, 7.1 и 2.1), поступили на соответствующие входы МПК, который по СП вычисляет указанные оценки (выполняется функция "контроль").

Для реализации ограничений (2), выражения минимизации (3), критерия оптимизации (4), решения системы уравнений (5) и оптимальных законов управления (6) и (7) в МПК по СП заносятся в виде унифицированных сигналов постоянного тока: регламентные значения содержания аммиака ( $S_1$ ) в дистиллируемой жидкости (1.5) и расхода ( $S_2$ ) фильтровой жидкости (1.1); значение штрафного коэффициента ( $\lambda$ ) и задание "единицы". После этого, МПК в реальном масштабе времени по СП выполняет стандартные функции суммирования, вычитания, умножения, деления, возведения в квадрат, расчета и выдачи управляющих воздействий на соответствующие ИМ: (позиция 3.2) для управления расходом пара (2.1) и (позиция 4.2) для управления расходом фильтровой жидкости (1.1), механически соединенные с соответствующими регулирующими органами (выполняется функция "управление").

## **Вывод**

Разработанный адаптивный алгоритм управления процессом регенерации аммиака в отделении дистилляции целесообразно использовать при разработке компьютерно-интегрированной системы управления производством соды. Этот алгоритм отличается простотой реализации и, при заданных ограничениях на регламентные значения содержания аммиака в дистиллируемой жидкости и расход фильтровой жидкости, минимизирует в реальном масштабе времени расход пара, одного из основных составляющих себестоимости кальцинированной соды.

#### Литература

1. Бобух А.А. Компьютерно-интегрированная система автоматизации технологических объектов управления централизованным теплоснабжением: монография / А.А. Бобух, Д.А. Ковалев; под ред. А. А. Бобуха. – Х.: ХНУГХ им. А.Н. Бекетова, 2013. – 226 с.
2. Зайцев И.Д. Производство соды / И.Д. Зайцев, Г.А. Ткач, Н.Д. Стоев. – М.: Химия, 1986. – 312 с.
3. А. с. SU 1623955 A1, C 01 D 7/18, G 05 D 27/00. Устройство для автоматического управления процессом регенерации аммиака в дистилляционной колонне производства соды / А.А. Бобух, В.М. Момот, И.Д. Зайцев и др. (СССР). – № 4457704; заявл. 11.08.88; опубл. 01.10.90, Бюл. № 4. – 5 с.: ил.

#### Bibliography (transliterated)

1. Bobuh A.A. Kompyuterno-integrirovannaya sistema avtomatizatsii tehnologicheskikh ob'ektov upravleniya tsentralizovannym teplosnabzheniem: monografiya A.A. Bobuh, D.A. Kovalev; pod red. A. A. Bobuha. – H.: HNUGH im. A.N. Beketova, 2013. – 226 p.
2. Zaytsev I.D. Proizvodstvo sodyi I.D. Zaytsev, G.A. Tkach, N.D. Stoev. – M.: Himiya, 1986. – 312 p.
3. A.s. SU 1623955 A1, C 01 D 7/18, G 05 D 27/00. Ustroystvo dlya avtomaticheskogo upravleniya protsessom regeneratsii ammiaka v distillyatsionnoy kolonne proizvodstva sodyi A.A. Bobuh, V.M. Momot, I.D. Zaytsev i dr. (SSSR). – # 4457704; zayavl. 11.08.88; opubl. 01.10.90, Vyul. # 4. – 5 p.: il.

УДК: 661.33-047.64

Бобух А.О., Литвиненко І.І., Беспалов К.І.

#### **АЛГОРИТМ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ РЕГЕНЕРАЦІЇ АМІАКУ У ВІДДІЛЕННІ ДИСТИЛЯЦІЇ ВИРОБНИЦТВА СОДИ**

У статті запропоновано алгоритм керування процесом регенерації аміаку у відділенні дистилляції виробництва соди, який відрізняється простотою реалізації та мінімізує, за рахунок оптимізації керування, витрати пару, одної з основних складових собівартості кальцинованої соди

Bobukh A.A., Litvinenko I.I., Bespalov K.I.

#### **ALGORITHM OF AMMONIA REGENERATION PROCESS MANAGEMENT IN SECTION OF DISTILLATION OF SODA PRODUCTION**

In article the algorithm of ammonia regeneration process management in section of distillation of soda production, which differs simplicity of realization and minimizes, due to optimization of management, a consumption of steam, one of the main components of prime cost of the calcinated soda, is offered.