

УДК 004.896

ПОСТРОЕНИЕ БАЗЫ ПРАВИЛ ДЛЯ НЕЧЕТКОГО КОНТРОЛЛЕРА УПРАВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫМ РЕЖИМОМ В КОЛОННЕ СИНТЕЗА АММИАКА

Роик В.С., Шатохин П.А.

*Донецкий национальный технический университет
Кафедра автоматизированных систем управления
vadim_roik@bigmir.net, pshatokh@mail.ru*

В статье рассматривается вариант построения базы правил для нечеткого контроллера управления температурным режимом в колонне синтеза аммиака. Проведены исследования по выявлению факторов, влияющих на температурный режим в колонне синтеза, а также проведено моделирование полученной системы.

Введение

В настоящее время все большее внимание привлекают к себе так называемые адаптивные системы управления. Эти системы используют наработки таких направлений искусственного интеллекта как экспертные системы, нечеткая логика, генетическое исчисление, нейронные сети. Рост интереса к данному виду систем обусловлен, прежде всего, тем, что к большинству объектов управления не могут быть построены строгие математические модели, ввиду того, что данные объекты управления плохо формализуемы. Кроме этого, эти объекты могут функционировать в среде, свойства которой непостоянны или же, вообще заранее не определены.

Современные объекты управления, как правило, трудно формализуемы, поэтому для оптимизации их работы всё чаще стали использоваться так называемые системы нечеткого регулирования. Данный вид управления дает ряд преимуществ по сравнению со стандартными алгоритмами: более высокие показатели качества переходных процессов, возможность проведения оптимизации сложных контуров без проведения всесторонних математических исследований и т.п.

Одной из самых главных стадий проектирования нечетких систем управления является построение базы правил. Существует 4 способа составления правил нечеткого управления:

- на основе опыта и знания эксперта;
- путем создания модели действий оператора;
- путем обучения;
- на основе нечеткой модели оборудования.

При составлении правил любым из вышеперечисленных способов нужно учитывать, что набор правил должен быть полным, т.е. охватывать весь процесс и все возможные ситуации, и, в это же время, набор правил не должен быть противоречивым.

К проектированию правил необходимо подходить очень серьезно, особенно в нашем случае, так как они будут применяться к опасному химическому производству – синтезу аммиака.

В данной работе описывается метод построения базы правил нечеткого логического контроллера, основанный на анализе основных характеристик и параметров системы управления температурным режимом в колонне синтеза аммиака.

1 Общее описание задачи

Аммиак получается вследствие химических реакций в колонне синтеза аммиака. Азотоводородная смесь по трубопроводу поступает в колонну синтеза, где, последовательно пройдя полки с катализатором, превращается в аммиак.

Процесс синтеза аммиака зависит от ряда параметров и факторов, таких как:

- температура на стенках колонны синтеза;

- давление в колонне синтеза;
- объемная скорость газов, проходящих через колонну;
- состав азотоводородной смеси (ABC);
- соотношение H_2/N_2 в ABC [6].

Необходимо спроектировать систему, которая для заданных технологических норм выдавала бы максимальное количество аммиака, а также потребляла бы минимальное количество сырья.

Оптимальные условия для синтеза:

- температура на катализаторных полках: $460^\circ\text{C} - 530^\circ\text{C}$;
- давление порядка 300 атм;
- объемная скорость газов $15000-60000 \text{ м}^3/\text{ч}$;
- соотношение H_2/N_2 равное 3:1.

Для получения минимального расхода сырья (в нашем случае, природного газа) наиболее целесообразно внедрение оптимального управления температурным режимом колонны синтеза аммиака.

Постоянным приемом регулирования температуры процесса синтеза является изменение соотношений газовых потоков, направляемых в колонну через главный вентиль и холодный байпас (иногда два байпаса, а в колоннах с полочной насадкой — даже четыре). При повышении температуры, наблюдаемом ранее всего на входе газа, открывают вентиль холодного байпаса до тех пор, пока температура не достигнет заданной нормы. Если же при полном открытии этого вентиля температура продолжает возрастать, для поддержания ее в нужных пределах прикрывают главный вентиль, что приводит к увеличению потока газа, идущего через холодный байпас.

При понижении температуры поступают обратным образом. Сначала полностью открывают главный вентиль, затем постепенно прикрывают вентили холодного байпаса. Если эти меры не дают эффекта, приходится уменьшать количество газа, подаваемого в колонну [2].

Целью данной работы является выявление факторов, влияющих на температуру в колонне синтеза, а также построение базы правил для нечеткого контроллера управления температурным режимом в колонне синтеза аммиака.

2 Математическая модель системы

Регулирование температуры производится за счет изменения углов поворота заслонок холодного байпаса и главного вентиля. Необходимо выяснить, насколько нужно изменить угол поворота заслонки, чтобы, к примеру, изменить температуру на 1°C . Для этого, воспользуемся сведениями, которые нам известны об оборудовании, используемом для синтеза аммиака.

Температура смеси однородных газов с разными температурами определяется по следующей формуле:

$$T_{см} = \frac{C_1 m_1 T_1 + C_2 m_2 T_2}{C_1 m_1 + C_2 m_2}, \quad (1)$$

где C_1, C_2 – удельные теплоемкости газов; T_1, T_2 – температуры газов; m_1, m_2 – массы смешиваемых газов.

Для того, чтобы найти объем газа, протекающий через определенную точку за 1 с, необходимо найти произведение площади поперечного сечения трубы на скорость движения газа:

$$V = \frac{v\pi d^2}{4}, \quad (2)$$

где v – скорость движения газа; d – диаметр трубы.

Массу газа можно вычислить по формуле:

$$m = \rho V \quad (3)$$

где ρ – плотность газа; V – объем газа.

Подставив выражения 2.2 и 2.3 в формулу 2.1, получим:

$$T_{см} = \frac{C_1 \rho_1 v_1 \pi d_1^2 T_1 + C_2 \rho_2 v_2 \pi d_2^2 T_2}{C_1 \rho_1 v_1 \pi d_1^2 + C_2 \rho_2 v_2 \pi d_2^2} \quad (4)$$

Удельные теплоемкости C_1 и C_2 для азотоводородной смеси примерно одинаковы (разность температур в нашем случае не слишком влияет на изменение теплоемкости), то же самое можно сказать и про плотности газов ρ_1 и ρ_2 . Скорости движения газа v_1 и v_2 также равны. Принимая во внимание эти приближения, получим следующее выражение:

$$T_{см} = \frac{d_1^2 T_1 + d_2^2 T_2}{d_1^2 + d_2^2} \quad (5)$$

Диаметр главной трубы, по которой азотоводородная смесь поступает в колонну синтеза, составляет 180 мм, диаметр трубы холодного байпаса составляет 124 мм (здесь в качестве диаметра указана величина отверстия, т.е. без учета толщины стенок труб). Предположим, что азотоводородная смесь поступает на синтез с температурой 300°C, а в колонне нагревается до 500°C. Используя эти сведения, вычислим значения температуры в колонне синтеза при разных значениях поворота угла заслонки холодного байпаса, при этом значение рабочего диаметра трубы будет меняться. Результаты

Таблица 1. Зависимость между температурой в колонне синтеза и углом открытия заслонки холодного байпаса

Процент открытия заслонки холодного байпаса, %	Температура, установившаяся в колонне, °С	Разница первоначальной и установившейся температуры в колонне, °С
10	499	1
20	496	4
30	492	8
40	483	17
50	480	20
60	470	30
70	461	39
80	456	44
90	443	57
100	436	64

приведены в таблице 1.

Как видим из данной таблицы, при малых углах открытия заслонки, температура не изменяется слишком существенно. Использовать такие углы целесообразно при подстройке к оптимальным условиям синтеза. При больших значениях угла поворота температура изменяется значительно существеннее. Следует отметить, что данные табл. 1 отображают ситуацию, когда угол поворота главного вентиля остается неизменным и он является полностью открытым, т.е., регулирование ведется только по холодному байпасу. Изменение угла поворота главного вентиля производится только при значительных расстройках технологического режима. Принцип регулирования в этом случае схож с регулированием по холодному байпасу – изменением угла поворота главного вентиля и заслонок холодного байпаса добиваются такого соотношения газовых потоков в колонне синтеза аммиака, который приводит к стабилизации температуры внутри колонны.

3 Построение имитационной модели

Для разрабатываемой системы управления температурным режимом в колонне синтеза аммиака были выбраны следующие параметры процесса в качестве входных переменных:

- температура на стенках катализаторных полок (в °С);
- скорость изменения данной температуры (°С/сек);
- объемная скорость азотоводородной смеси, поступающей в колонну (м³/ч).

Выходные параметры:

- угол поворота заслонок холодного байпаса (угловые градусы);
- угол поворота заслонки главной трубы, по которой азотоводородная смесь поступает в колонну (угловые градусы).

Значениям температуры (X1) были поставлены в соответствие следующие лингвистические термы:

- NB – очень низкая;
- NS – низкая;
- Z – близкая к норме;
- PS – высокая;
- PB – очень высокая.

Значению скорости изменения температуры (X2) были поставлены в соответствие следующие лингвистические термы:

- NB – очень низкая;
- NS – низкая;
- Z – близкая к нулю;
- PS – высокая;
- PB – очень высокая.

Значению переменной объемной скорости (X3) были поставлены в соответствие следующие термы:

- S – малая;
- N – средняя;
- B – большая.

Выходной переменной алгоритма – углу поворота задвижки (Y1) соответствуют следующие лингвистические термы:

- PB – большой положительный;
- PM – средний положительный;
- PS – малый положительный;
- Z – близкий к нулю;
- NS – отрицательный малый;
- NM – отрицательный средний;
- NB – отрицательный большой.

Выходной переменной алгоритма – углу поворота главного вентиля (Y2) соответствуют следующие лингвистические термы

- S – малый;
- N – средний;
- B – большой.

Далее было сформировано 33 нечетких правил управления в соответствии с результатами, полученными в пункте 2, т.е. использовались знания о зависимости изменения температуры от углов поворота задвижек. Результаты работы системы представлены на рис. 1 и рис. 2.

Ломанный характер графика в районе целевого оптимального диапазона температуры показывает, что именно в этом интервале происходит большая часть регулирования, чтобы обеспечить оптимальные условия для протекания реакции.

Для проверки эффективности построенной модели был проведен сравнительный анализ построенной нечеткой модели управления с моделью со стандартным алгоритмом ПИД-управления. На рис. 3 и рис. 4 представлены переходные процессы выхода объекта управления системы с ПИД-регулятором и нечетким регулятором соответственно.

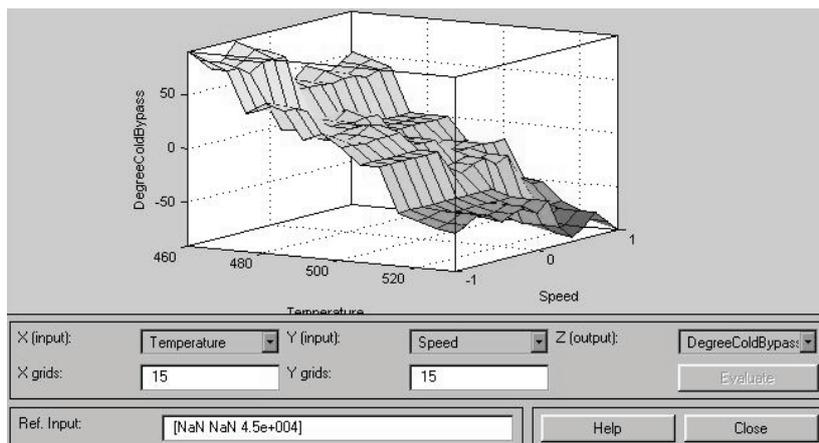


Рисунок 1. Поверхность возможных решений

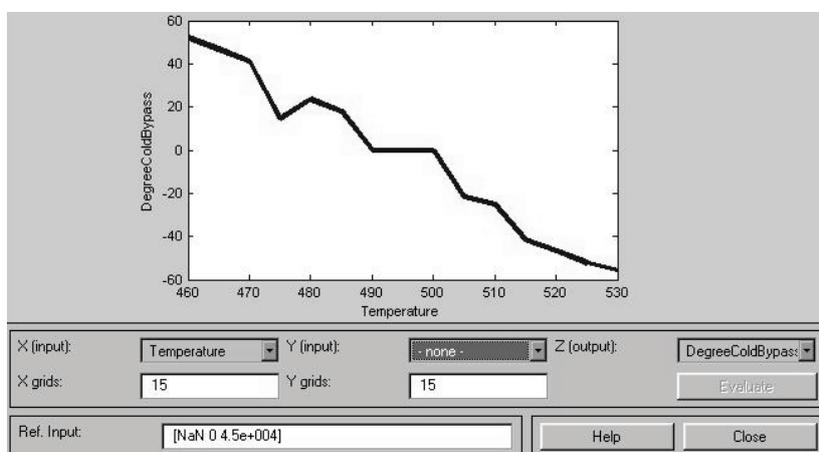


Рисунок 2. Зависимость угла поворота заслонки холодного байпаса от температуры

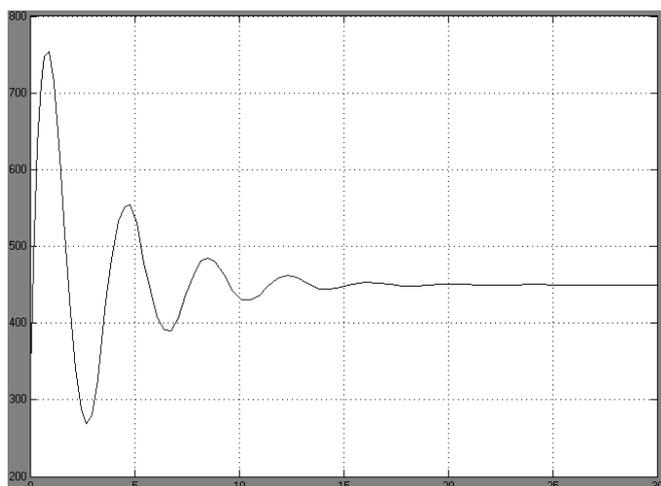


Рисунок 3. График переходного процесса для системы с ПИД-регулированием

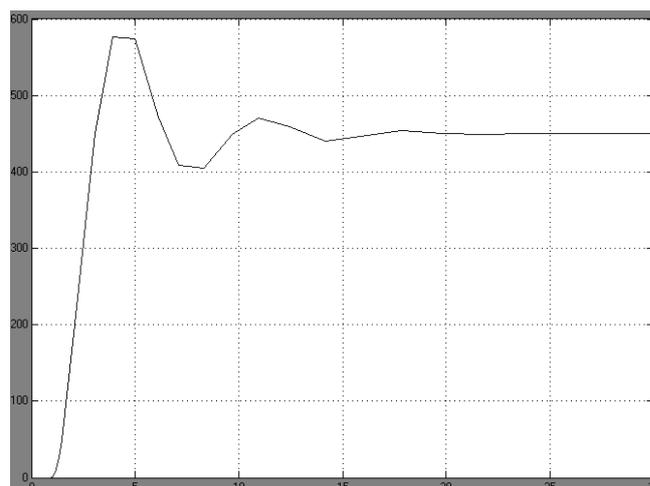


Рисунок 4. График переходного процесса для системы с нечетким регулированием

Как видим из полученных графиков, система нечетким управлением быстрее обрабатывает возмущения по сигналу, при этом уменьшилась динамическая ошибка регулирования. При этом, уменьшилось количество колебаний при достижении устойчивого состояния, что является немаловажным фактором для долговечности работы оборудования синтеза аммиака, т.к. не возникает

так называемого «перерегулирования» системы.

Заключение

В ходе выполнения данной работы были построена база правил для нечеткого контроллера управления температурным режимом в колонне синтеза аммиака посредством использования знаний об оборудовании и основных принципах и параметрах процесса. Хотя система, построенная на основе спроектированной базы правил показала довольно неплохие результаты, но данный метод построения правил не является единственно правильным. При проектировании правил необходимо максимально использовать всю возможную информацию об объекте, например, опыт и знания операторов технологического процесса, так как данные знания могут стать определяющими при проектировании системы управления.

Литература

- [1] Кузнецов Л.Д., Дмитренко Синтез аммиака. М.: Химия, 1982 г.
- [2] Кафаров В.В., Ветехин В.Н. Основы автоматизации проектирования химических производств. М.: Наука, 1987 г.
- [3] Тэтано Т., Асаи К., Сугэно М. Прикладные нечеткие системы М: Мир, 1993.
- [4] Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB, СПб, 2005 г.
- [5] Атрощенко В.И., Алексеев А.М., Засорин А.П. и др. Курс технологии связанного азота. М.: Химия, 1968.
- [6] Позин М.Е., Копылев Б.А., Бельченко Г.В. и др. Расчеты по технологии неорганических веществ. Химия, 1977.