

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Я. КОЧИШ

Кафедра Автоматизации Будапештского политехнического университета

(Поступило в печать 17 марта 1969 г.)

Представлено проф. Др. Ф. Чаки

Быстрое развитие цифровых вычислительных машин позволило не только более глубоко исследовать современные системы автоматического управления, но и использовать их непосредственно для управления разнообразными процессами и объектами. Применение усовершенствованных управляющих машин дает возможность существенно повысить производительность агрегатов.

Цель настоящей работы состоит в исследовании оптимальных параметров экспериментальным путем и разработке — на основе общих алгоритмов — нового типа адаптивного регулятора, использующего управляющую ЦВМ для экстремального регулирования дистилляционной колонной бинарной смеси.

Предлагаемая реализация адаптивной СЭР представляет собой замкнутую систему цифрового управления, в которой универсальная цифровая машина выполняет роль управляющего устройства. ЦВМ регулярно получает информацию о состоянии объекта, оценивает эту информацию, обрабатывает ее и, на основе обработки информации, сообщает объекту управляющее воздействие таким образом, чтобы режим объекта с экономической точки зрения был оптимален.

Выбранный промышленный объект — ректификационная колонна, в которой осуществляется процесс ректификации бинарной, спирто-водяной смеси.

Для получения алгоритмов адаптивного управления используется метод стохастической аппроксимации.

Объект экстремального управления — дистилляционная колонна бинарной смеси

Метод ректификации в колоннах применяется в нефтяной и химической промышленности для разделения жидких смесей. Этот способ разделения смесей основан на многократном чередовании испарения жидкости

с многократной конденсацией пара. Разделение жидких смесей осуществляется в противоточных тарельчатых аппаратах колонного типа [1].

Целью автоматизации процесса ректификации является высокая производительность и экономичность процесса при определенной чистоте конечных продуктов. Оптимальное регулирование технологического процесса по экономическим или техническим показателям осуществляется системой, в которой используются специальные вычислительные машины. Вычислительные устройства действуют на стабилизирующие системы процесса, при этом вычислительная машина определяет показатель текущего процесса и корректирует систему регулирования. В качестве критерия оптимальности применяются минимальная себестоимость, минимальное время окупаемости капитальных затрат или минимальные энергозатраты. За показатель оптимальности часто можно брать один из параметров управляемого процесса, который принимает оптимальное значение.

Управление колонной ректификации бинарной, спирто-водяной смеси осуществляется автоматическим регулированием разных параметров по показателю качества дистиллята, т. е. по концентрациям готового продукта и кубового остатка. Показатель экстремума — удельный расход греющего пара, поступающего в кипятильник — должен быть минимальным при заданном качестве продуктов [2]:

$$x_s = \frac{Q_2}{Q_1} = \min_u, \quad (1)$$

где Q_1 — расход дистиллята,

Q_2 — расход греющего пара,

x_s — показатель экстремума,

u — управляющее воздействие.

При этом необходимо соблюдение определенных условий относительно концентраций этилового спирта в исходной смеси, дистилляте и кубовом продукте.

Экстремальное управление осуществляется по температуре T в колонне на 5-ой тарелке. Экспериментальным путем были найдены приближенные передаточные функции каналов: температура-давление и температура-расход греющего пара (постоянные времени даны в минутах):

$$WT_0 P_1(p) = 6,4 \frac{\text{г}}{\text{см}^2 \cdot \text{°C}} \cdot \frac{(1,77 p + 1) e^{-p}}{10,42 p^2 + 1,625 p + 1}, \quad (2)$$

$$WT_0 Q_2(p) = 0,767 \frac{\text{кг}}{\text{мин} \cdot \text{°C}} \times \frac{(6,28 p + 1) e^{-p}}{(10,88 p^2 + 2,175 p + 1)(3,23 p^2 + 1,225 p + 1)(1,46 p + 1)}, \quad (3)$$

при этом:

$$P_1 = \frac{k}{Q_1}; \quad k = 31 \frac{\text{ГМ}^3}{\text{МИН} \cdot \text{СМ}^2}. \quad (4)$$

Структура адаптивной экстремальной системы

Количество публикаций, посвященных вопросу исследования беспойсковых СЭР (систем экстремального регулирования), относительно невелико. Этот факт объясняется трудностями реализации беспойсковых СЭР и отсутствием высоконадежных современных ЦВМ еще в недалеком прошлом. Поэтому инженеры-исследователи искали надежные, простые конструкции в области СЭР, допуская при этом наличие вынужденных колебаний или автоколебаний, т. е. постоянные потери в системе [3].

По нашим сведениям впервые Костюком [4] была предложена схема СЭР с адаптивной моделью. Эта схема была усовершенствована и дальше развита Цыпкиным [5] на основе общего подхода. Обобщенный алгоритм адаптивной СЭР в [6] является предметом исследования настоящей работы.

Построение адаптивной системы основано на использовании адаптивного регулятора. Регулятор целесообразно реализовать с помощью управляющей цифровой машины. Математически структура и режим работы регулятора определяются регулярным беспойсковым методом стохастической аппроксимации. Система содержит две перцептронные схемы.

Первая перцептронная схема служит цели идентификации объекта. Статическая характеристика объекта аппроксимируется квадратичной параболой, а динамические свойства характеризуются звеном с некоторой данной передаточной функцией. В процессе идентификации воспроизводятся параметры квадратичной параболы, приближающей статическую характеристику объекта.

Вторая перцептронная схема воспроизводит управляющее воздействие, которое направляет процесс к точке экстремума.

Критерием качества управляющего воздействия выбран функционал

$$I_1(u) = M_{x_s} \{F_1(\hat{x}_s)\} = \min_u, \quad (5)$$

а целью идентификации является минимизация следующего критерия, зависящего от разности между действительным и приближенным значениями показателя экстремума ($x_s - \hat{x}_s$):

$$I_2(\bar{c}) = M_{x_s} \{F_2(x_s - \hat{x}_s)\} = \min, \quad (6)$$

где M_{x_s} обозначает математическое ожидание функции F_i ($i = 1, 2$) по величине x_s , далее

$$\hat{x}_s = \bar{c}^T \bar{y}(u), \quad (7)$$

где \hat{x}_s — приближенное значение показателя экстремума;

$\bar{y}(u)$ — известный заданный вектор (см. ниже);

\bar{c} — неизвестный вектор параметров (вектор неизвестных коэффициентов аппроксимирующей экстремальной характеристики), который определяется алгоритмом адаптации;

T — символ транспонирования.

$$\bar{c} = (c_1, c_2, c_3), \quad (8)$$

$$\bar{y}(u) = [y_1(u), y_2(u), y_3(u)], \quad (9)$$

а именно:

$$y_1(t) = 1(t), \quad (10)$$

$$y_2[u(t)] = \int_0^t w(\tau) u(t-\tau) d\tau, \quad (11)$$

$$y_3[u(t)] = y_2^2[u(t)]. \quad (12)$$

В таком случае алгоритмы адаптивного регулятора имеют следующий вид:

$$\frac{du(t)}{dt} = -r_1(t) \text{grad}_u F_1[\hat{x}_s(t)], \quad (13)$$

$$\frac{dc(t)}{dt} = r_2(t) \text{grad}_c F_2[x_s(t) - \hat{x}_s(t)], \quad (14)$$

где необходимо соблюдение известных условий сходимости процесса стохастической аппроксимации Роббинса—Монро [5].

В ходе экспериментального исследования адаптивного регулятора рассматривалось три разных случая выбора:

1-ый случай:

$$F_1(\hat{x}_s) = \hat{x}_s; \quad F_2(x_s - \hat{x}_s) = (x_s - \hat{x}_s)^2, \quad (15)$$

2-ой случай:

$$F_1(\hat{x}_s) = \hat{x}_s^2; \quad F_2(x_s - \hat{x}_s) = |x_s - \hat{x}_s|, \quad (16)$$

3-ий случай:

$$F_1(\hat{x}_s) = \hat{x}_s^2; \quad F_2(x_s - \hat{x}_s) = (x_s - \hat{x}_s)^2. \quad (17)$$

Алгоритмы адаптивного регулятора на отдельные случаи имеют следующий вид (см. уравнения (13)—(14)):

1-ый случай:

$$\frac{du(t)}{dt} = -r_1(t) [c_2(t) + 2c_3(t)y_2(t)] \quad (18)$$

$$\frac{d\bar{c}(t)}{dt} = r_2(t) [x_s(t) - \hat{x}(t)] \bar{y}[u(t)], \quad (19)$$

2-ой случай:

$$\frac{du(t)}{dt} = -r_1(t) \hat{x}_s(t) [c_2(t) + 2c_3(t)y_2(t)] \quad (20)$$

$$\frac{d\bar{c}(t)}{dt} = r_2(t) \bar{y}[u(t)] \operatorname{sign} [x_s(t) - \hat{x}_s(t)], \quad (21)$$

3-ий случай:

$$\frac{du(t)}{dt} = -r_1(t) \hat{x}_s(t) [c_2(t) + 2c_3(t)y_2(t)] \quad (22)$$

$$\frac{d\bar{c}(t)}{dt} = r_2(t) [x_s(t) - \hat{x}_s(t)] \bar{y}[u(t)]. \quad (23)$$

Результаты экспериментов

В ходе экспериментов по уравнениям (1)—(4) была составлена схема модели объекта (для простоты без элементов запаздывания и с нормализованными передаточными функциями), а по уравнениям (13)—(14) — схема модели адаптивного регулятора. На вход объекта был подан единичный скачок и регистрировались величины показателя экстремума x_s , ошибки идентификатора $x_s - \hat{x}_s$, управляющее воздействие u . Эксперименты были проведены с помощью цифровой вычислительной машины МИНСК—22. Программы на ЦВМ были составлены с использованием блок-ориентационной программной системы — БОКС.

Определены следующие оптимальные параметры адаптивного регулятора:

1. Наилучшие критерии качества идентификации и управляющего перцептрона.

2. Подходящая передаточная функция в адаптивном регуляторе.

3. Выбор начального условия управляющего перцептрона.

1. Определение наилучшего критерия качества:

С целью определения наилучшего критерия качества были проведены два ряда экспериментов при выборе коэффициентов сходимости:

$$r_1(t) = \frac{0,5}{t+0,05}; \quad r_2(t) = \frac{5}{t+0,05} \quad (24)$$

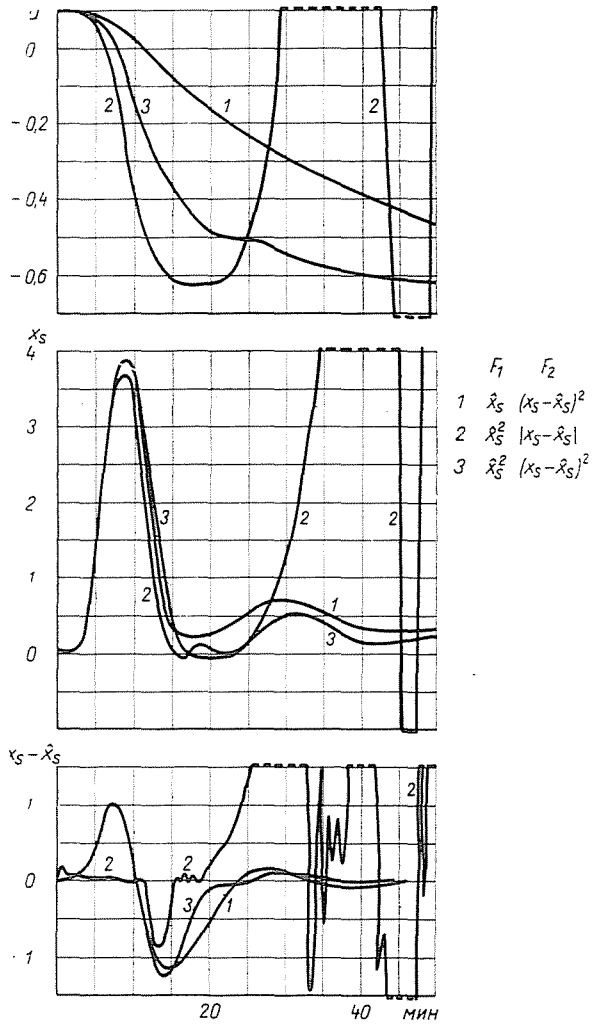


Рис. 1

и в ходе второго ряда экспериментов:

$$r_1(t) = \frac{0,5}{t+0,05}; \quad r_2(t) = \frac{1}{t+0,05} \quad (25)$$

и при этом передаточная функция $W(p)$ была выбрана произвольно (см. уравн. (11)):

$$W(p) = \frac{1,77p+1}{10,42p^2+1,625p+1} \quad (26)$$

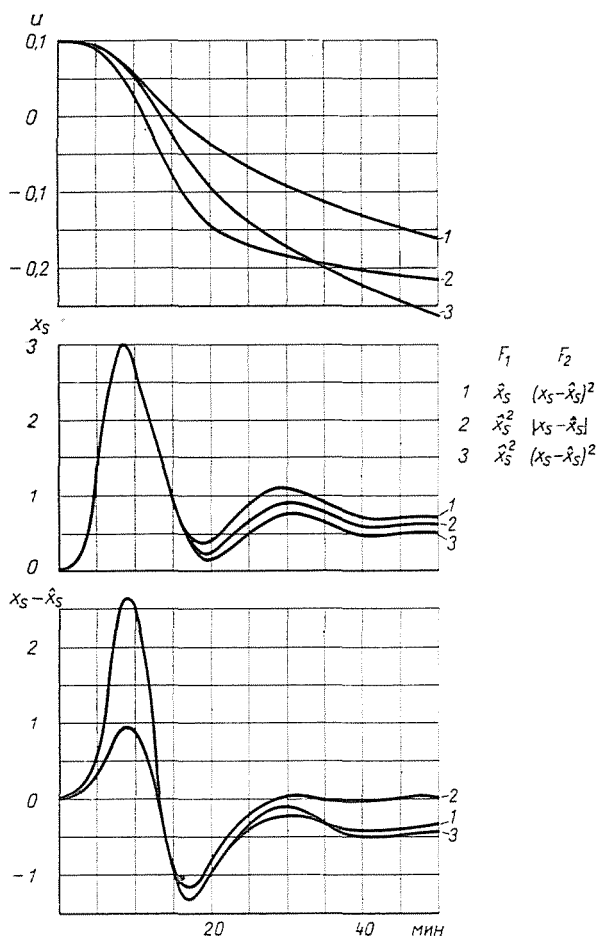


Рис. 2

и рассматривались три разных случая по уравнениям (18)—(23). Результаты представлены на рис. 1 и 2.

Оказывается, что без ухудшения динамических свойств управления адаптивный регулятор примерно в два раза быстрее восстанавливает экстремальную рабочую точку объекта в случае квадратичного критерия управляющего перцептрона по сравнению с линейным критерием (см. кривые «1» и «3» на рис. 1 и 2). В то же время, если брать критерий идентификации по модулю, это может привести к неустойчивому режиму адаптивного управления (см. кривые «2» и «3» на рис. 1).

2. Влияние изменения передаточной функции $W(p)$ в адаптивном регуляторе:

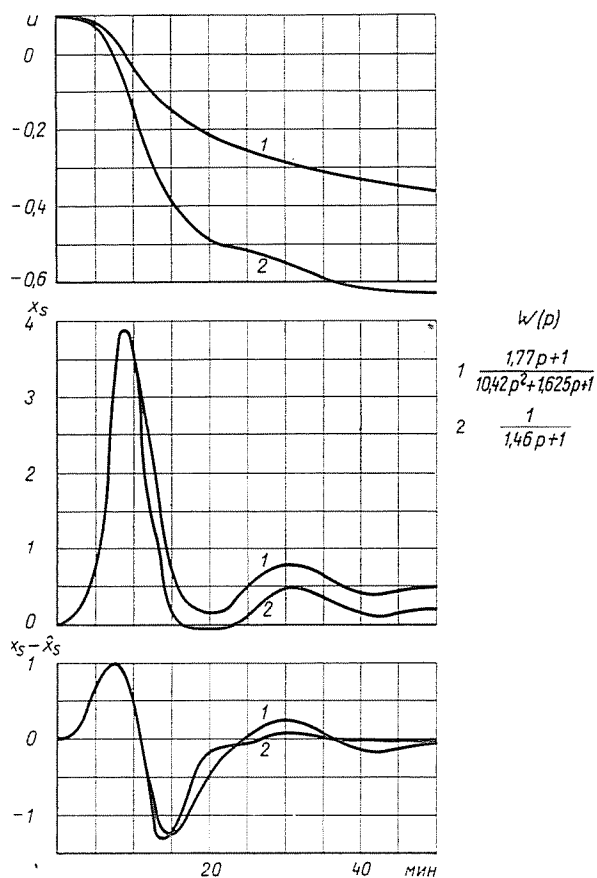


Рис. 3

При выборе коэффициентов сходимости по уравнению [24] и алгоритма адаптивного регулятора по ур-ям (22)—(23) рассматривалось влияние изменения передаточной функции $W(p)$ линейного элемента в идентификаторе. Сначала передаточная функция была выбрана по уравнению (26), а затем вместо неё была поставлена:

$$W(p) = \frac{1}{1,46p+1}. \quad (27)$$

Результаты представлены на рис. 3.

Как и ожидалось, в случае выбора колебательного звена результаты будут лучше (кривые «1» на рис. 3); в то же время доказана гибкость адаптивного регулятора при выборе передаточной функции линейного элемента:

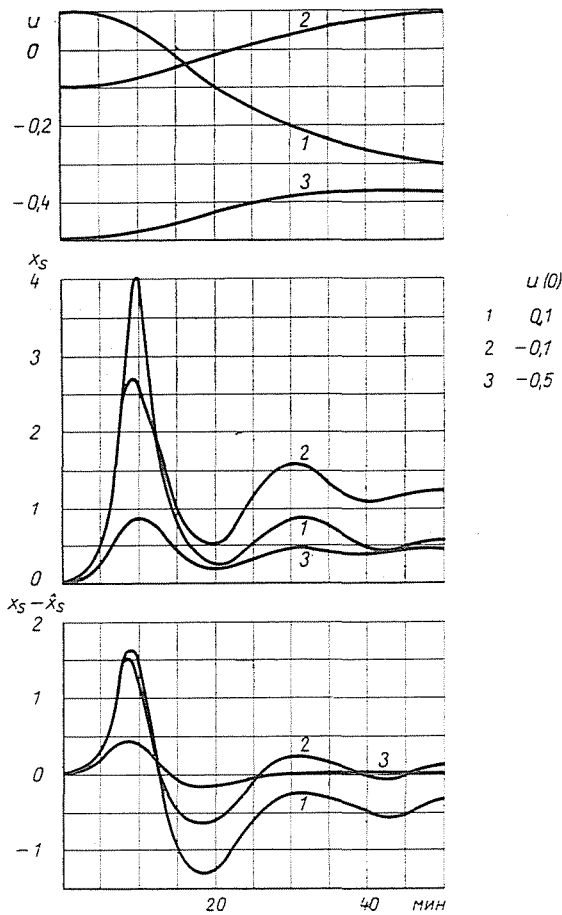


Рис. 4

нет принципиальной разницы между двумя случаями (ур. (26) и (27)), в обоих случаях процесс адаптации оказывается устойчивым при гармонических коэффициентах сходимости, управляющее воздействие гладко направляет процесс к оптимальному значению.

3. Выбор начального условия управляющего перцептрона:

Если построить адаптивный регулятор без модели чувствительности (см. [6]), то управляющий перцептрон будет действовать медленно, если выбрать нулевое начальное условие:

$$u(0) = 0. \quad (28)$$

Поэтому рассматривался адаптивный регулятор с коэффициентами сходимости по уравнению (25), с передаточной функцией $W(p)$ по уравнению

(26), составленный на основе алгоритмов (22) и (23) при разных начальных условиях управляющего перцептрона:

$$1. u(0) = 0,1, \quad (29)$$

$$2. u(0) = -0,1, \quad (30)$$

$$3. u(0) = -0,5. \quad (31)$$

Из результатов (рис. 4) очевидно, что начальное условие в соответствии с нелинейностью всей системы действительно оказывает влияние на переходный процесс адаптации, в то же время как устойчивость процесса адаптации не зависит от выбора начального условия.

Резюме

В статье определены оптимальные значения разных параметров одномерного адаптивного экстремального регулятора. На основе проведенных экспериментов можно построить оптимальный вариант адаптивного регулятора для экстремального управления процессом ректификации бинарной, спирто-водяной смеси, пользуясь при этом алгоритмами и параметрами по уравнениям (22), (23), (24), (26), (29).

Для определения оптимальных параметров адаптивного экстремального управления другими, аналогичными объектами, необходимо проводить подобного характера эксперименты и расчеты.

Литература

1. Крамер, З.: Экстремальное регулирование технологического процесса ректификации бинарной смеси. Кандидацкая диссертация, МЭИ, Москва, 1965.
2. Кочиш, Я.: Применение адаптивной экстремальной системы для регулирования процесса ректификации бинарной смеси. Кандидатская диссертация, МЭИ, Москва, 1968.
3. Моросанов, И. С.: Релейные экстремальные системы. Издательство «Наука», Москва, 1964.
4. Костюк, В. И.: Экстремальное управление без поисковых колебаний с использованием самонастраивающейся модели объекта. «Автоматика», № 2, Киев, 1965.
5. Цыпкин, Я. З.: Адаптация и обучение в автоматических системах. Издательство «Наука», Москва, 1968.
6. Кочиш, Я.: Алгоритмы одномерного адаптивного экстремального регулятора. *Periodica Polytechnica*, Budapest, 1969 (в печати).

Янош Кочиш, Будапешт XI. Эгри Йозеф 16, Венгрия