

# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ АДАПТИВНОЙ ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Я. КОЧИШ

Кафедра автоматизации Будапештского политехнического университета

(Поступило 24 февраля 1969 г.)

Представлено профессором Ф. Чаки

В работе [1] представлены обобщенные алгоритмы экстремального регулирования. Для решения задачи управления экстремальным объектом используется метод стохастической аппроксимации, на основе которого составлена схема адаптивного экстремального регулятора, состоящая из двойной перцептронной схемы, дополненной моделью чувствительности. Там же математически формулируется задача экстремального управления одномерным объектом.

В настоящей работе исследуется вопрос о границе устойчивости экстремальной адаптивной системы на примере двухкомпонентной дистилляционной колонны. Объект управления — процесс ректификации бинарной, спирто-водяной смеси является важным объектом в химической промышленности; поэтому предложенная реализация адаптивного регулятора одновременно показывает наглядный пример простого непосредственного цифрового управления.

## Алгоритмы адаптивного регулятора

В отличие от предложенного в [2] обобщенного варианта адаптивного регулятора в настоящей работе рассматривается регулятор без модели чувствительности, алгоритмы работы которого имеют следующий вид:

Идентификатор:

$$\frac{dc_1(t)}{dt} = r_2(t) [x_s(t) - \hat{x}_s(t)], \quad (1)$$

$$\frac{dc_2(t)}{dt} = r_2(t) [x_s(t) - \hat{x}_s(t)] y(t), \quad (2)$$

$$\frac{dc_3(t)}{dt} = r_2(t) [x_s(t) - \hat{x}_s(t)] y^2(t), \quad (3)$$

где

$$\hat{x}_s(t) = c_1(t) + c_2(t)y(t) + c_3(t)y^2(t), \quad (4)$$

$$y(t) = \int_0^t w(\tau) u(t - \tau) d\tau. \quad (5)$$

Перцептрон управления:

$$\frac{du(t)}{dt} = -r_1(t) \hat{x}_s(t) [c_2(t) + 2c_3(t)y(t)]. \quad (6)$$

Итак, в соответствии с результатами, изложенными в [3], статическая характеристика объекта аппроксимируется квадратичной параболой ( $y, y^2$ ), заранее неизвестные коэффициенты  $c_1, c_2, c_3$  которой исследуются непрерывным, регулярным, беспойсковым методом стохастической аппроксимации, пользуясь при этом квадратичным критерием качества. Динамические свойства объекта характеризуются звеном с некоторой данной передаточной функцией  $W(p)$  [см. ур. (5)]. Управляющее воздействие  $u$ , направляющее процесс в объекте к точке экстремума, определяется также с использованием метода стохастической аппроксимации, на основе квадратичного критерия качества. В вышеуказанных уравнениях  $x_s(t)$  — измеряемое значение показателя экстремума, а  $\hat{x}_s(t)$  — приближающее его значение.

### Объект управления

Под экстремальными системами обычно понимают системы, обладающие свойством автоматически поддерживать экстремальное значение некоторых координат или параметров управляемого объекта при неконтролируемых и наперед неизвестных изменениях как свойств самого объекта, так и условий его работы.

Объект экстремального управления — дистилляционная колонна бинарной, спирто-водяной смеси представляет собой сложную систему вследствие большого числа регулируемых параметров, их взаимной связи и сложной динамики процесса. В основном на экономичность, точность и интенсивность процесса ректификации влияют следующие параметры: количество, состав и температура исходной смеси, скорость движения паров и давление и температура в колонне.

Управление колонной ректификации бинарной смеси осуществляется автоматическим регулированием разных параметров по показателю качества дистиллята, т. е. по концентрациям готового продукта и кубового остатка.

В работе [4] исследована зависимость оптимизируемой величины от важнейших параметров процесса ректификации. Показатель экстремума

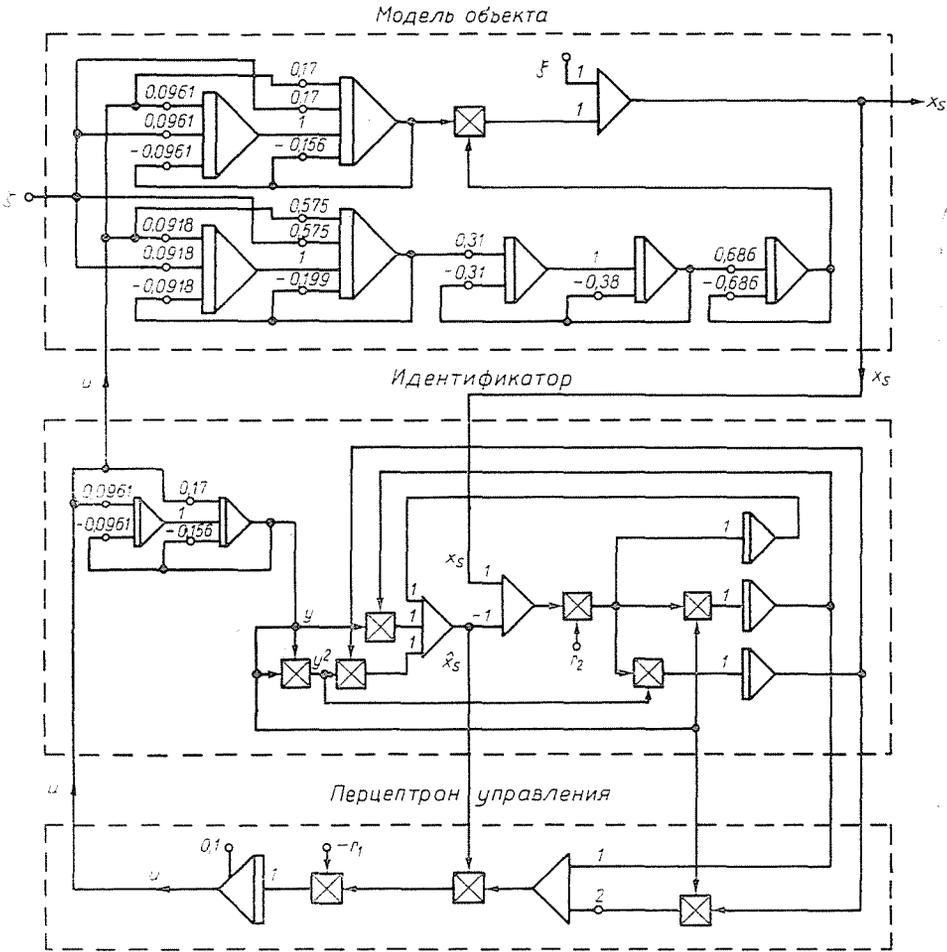


Рис 1

— удельный расход греющего пара, поступающего в кипятильник, — должен быть минимальным при заданном качестве продуктов:

$$x_s = \frac{Q_2}{Q_1} = \min_u, \quad (7)$$

- где  $Q_1$  — расход дистиллята;
- $Q_2$  — расход греющего пара;
- $x_s$  — показатель экстремума;
- $u$  — управляющее воздействие.

Концентрация этилового спирта в исходной смеси изменяется в пределах  $48\% \leq h_Q \leq 52\%$ , при этом необходимо соблюдение следующих условий:

а) концентрация дистиллята должна быть  $h_1 \geq 94\%$ ;

б) концентрация кубового продукта должна быть  $h_2 \leq 1,25\%$ .

Экстремальное регулирование возможно по одному каналу — по параметру  $T$  (температура в колонне на 5-ой тарелке). Величина расхода исходной смеси стабилизируется обычным образом. Экспериментальным путем были найдены приближенные передаточные функции каналов: температура-давление и температура-расход греющего пара (постоянные времени даны в минутах):

$$W_{T,p_1}(p) = 6,4 \frac{\Gamma}{\text{см}^2 \cdot \text{°C}} \frac{(1,77p + 1)e^{-p}}{10,42p^2 + 1,625p + 1}, \quad (8)$$

$$W_{T,Q_2}(p) = 0,767 \frac{\text{кг}}{\text{мин} \cdot \text{°C}} \times \\ \times \frac{(6,28p + 1)e^{-p}}{(10,88p^2 + 2,175p + 1)(3,23p^2 + 1,225p + 1)(1,46p + 1)}, \quad (9)$$

при этом, при нормальном режиме колонны действительна следующая зависимость:

$$p_1 = \frac{k}{Q_1} \quad k = 31 \frac{\text{ГМ}^3}{\text{мин} \cdot \text{см}^2} \quad (10)$$

### Результаты экспериментов

С целью определения границы устойчивости адаптивной системы были проведены эксперименты с помощью цифровой вычислительной машины МИНСК—22. Программы на ЦВМ были составлены с использованием блокорIENTATIONНОЙ программной системы БОКС.

По уравнениям (1)—(10) была составлена схема экспериментов (рис. 1). Как это видно на рис. 1, модель объекта рассматривается в первом приближении без элемента задержки; суммарный коэффициент усиления объекта был избран на единицу, при этом в ур. (5) передаточная функция  $W(p)$  была выбрана произвольно:

$$W(p) = \frac{1,77p + 1}{10,42p^2 + 1,625p + 1}. \quad (11)$$

В ходе экспериментов на выходе помех не было ( $\xi = 0$ ), а на вход системы был подан единичный скачок ( $\zeta(t) = I(t)$ ) и регистрировались значения величин  $x_s$ ,  $(x_s - \hat{x}_s)$ ,  $u$ .

Сначала коэффициенты сходимости были выбраны постоянными и рассматривались 4 разных случая:

$r_1$	0,5	0,5	1	0,1
$r_2$	1	5	5	5

Результаты (рис. 2, рис. 3) показали, что адаптивная система при выборе постоянных коэффициентов сходимости предрасположена к колебаниям. При уменьшении коэффициента сходимости идентификатора или управляющего перцептрона система более устойчива.

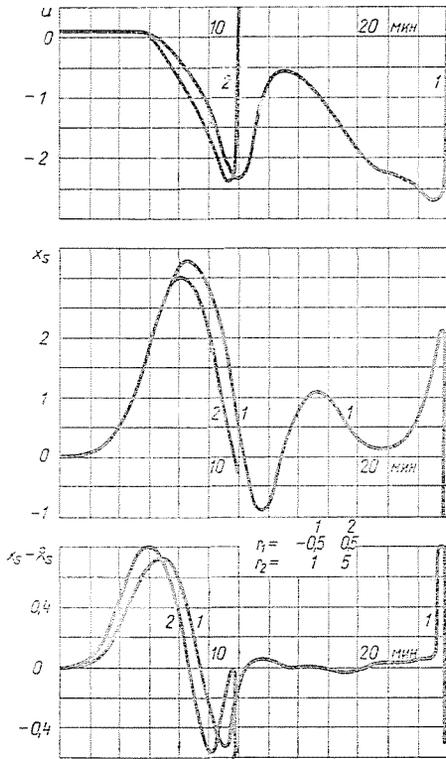


Рис. 2

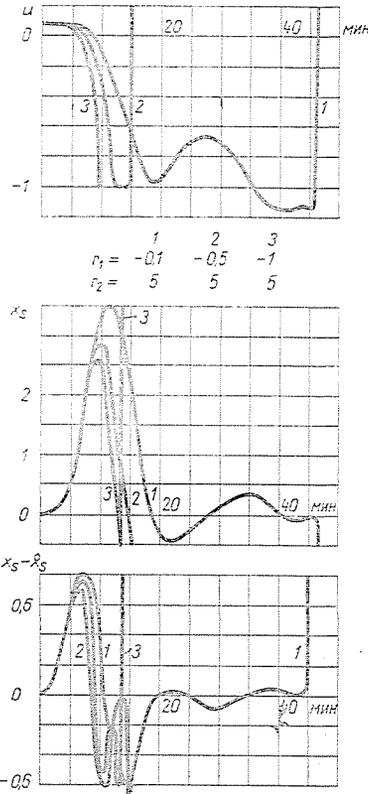


Рис. 3

С целью достижения устойчивого процесса адаптации были поставлены следующие три эксперимента:

$$r_1(t) = 0,5 \frac{0,5}{t + 0,05} \frac{0,5}{t + 0,05},$$

$$r_2(t) = 5 \frac{5}{t + 5,05} \frac{5}{\int_0^t (1 + y^2 + y^4) dt + 0,05},$$

где в третьем эксперименте коэффициент идентификатора интуитивно был выбран близко к оптимальному значению. Результаты (рис. 4) показали, что в идентификаторе преимущественно используется представленный выше

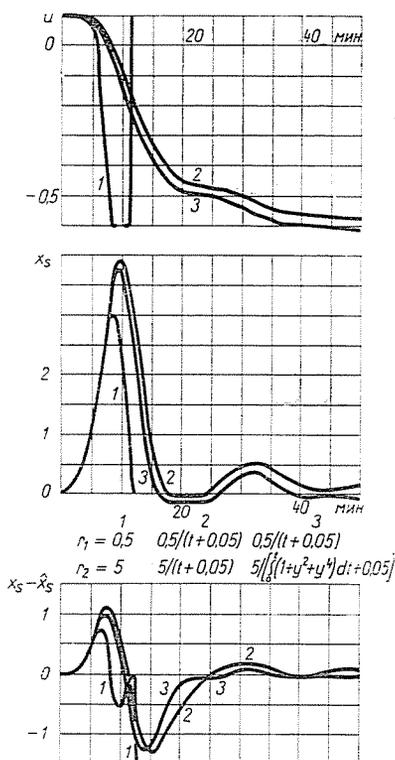


Рис. 4

коэффициент сходимости. Процессы стали устойчивыми при выборе гармонических коэффициентов сходимости.

С целью определения окончательных коэффициентов сходимости рассматривались еще 4 случая:

$$r_1(t) = f_1(t) \quad f_1(t) \quad 0,5f_1(t) \quad 0,5f_1(t),$$

$$r_2(t) = 5f_2(t) \quad f_2(t) \quad f_2(t) \quad 5f_2(t),$$

где

$$f_1(t) = \frac{1}{t + 0,05}; \quad f_2(t) = \frac{1}{\int_0^t (1 + y^2 + y^4) dt + 0,05}.$$

Результаты (рис. 5, рис. 6) показали, что при таком адаптивном подходе возможно получить устойчивый процесс восстановления экстремальной рабочей точки в системе, при этом лучшим выбором коэффициентов сходимости (см. рис. 6, кривые «2») являются следующие функции:

$$r_1(t) = \frac{1}{t + 0,05}; \quad r_2(t) = \frac{5}{\int_0^t (1 + y^2 + y^4) dt + 0,05}$$

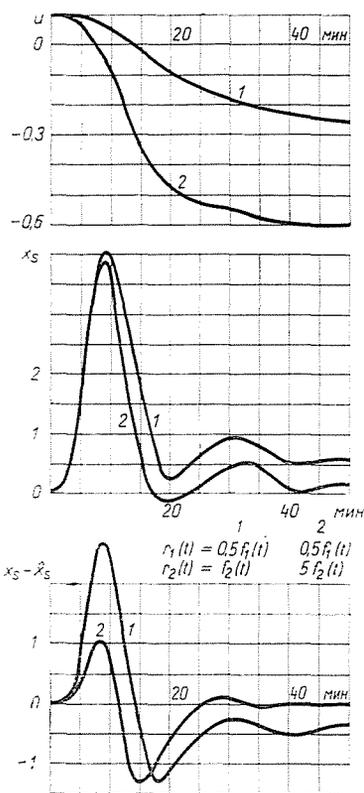


Рис. 5

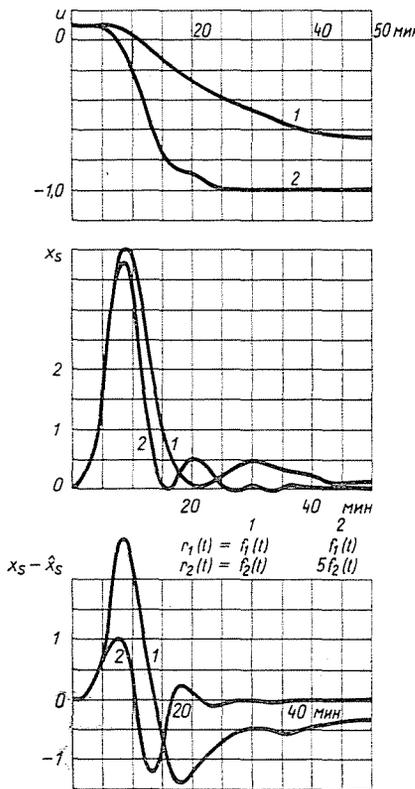


Рис. 6

При таком выборе коэффициентов адаптивный экстремальный регулятор быстро и однозначно восстанавливает экстремальную рабочую точку в системе со сложной динамикой по истечению первого колебания переходного процесса, появившегося под влиянием скачкообразного дрейфа экстремума.

### Резюме

В статье определены оптимальные значения коэффициентов сходимости идентификатора и управляющего перцептрона в адаптивном регуляторе.

Исследование проведено с точки зрения устойчивости переходного процесса в экстремальной системе. И хотя исследование адаптивной системы экстремального регулирования посвящено вопросам конкретного объекта — дистилляционной колонне — изложенный метод экспериментального определения границы устойчивости адаптивной СЭР применим также и для других, аналогичных объектов.

**Литература**

1. Кочиш, Я.: Алгоритмы одномерного адаптивного экстремального регулятора. *Periodica Polytechnica*, 1969 (в печати).
2. Цыпкин, Я. З.: Адаптация и обучение в автоматических системах. Издательство «Наука», Москва, 1968.
3. KÁLMÁN R., Kocsis J.: Desztillációs oszlop adaptív irányítása a sztochasztikus approximáció módszere alapján. V. Aut. Konf., Budapest, 1968.
4. Крамер, З.: Экстремальное регулирование технологического процесса ректификации бинарной смеси. Диссертация МЭИ, Москва, 1965.

János Kocsis Budapest XI., Egrы József u. 18. Венгрия