

Научная статья

УДК 658.615

EDN KYDODS

**Методы определения математической модели
сложного объекта автоматического регулирования**

Роман Александрович Куницын¹, кандидат технических наук, доцент

Цезарь Иванович Калинин², кандидат технических наук, доцент

Дмитрий Александрович Соколов³, студент магистратуры

Олег Валерьевич Макаров⁴, студент магистратуры

^{1, 2, 3, 4} Алтайский государственный аграрный университет

Алтайский край, Барнаул, Россия

¹ kynizin_roman@mail.ru, ² kalinin_cezar@mail.ru,

³ dmitry.sokolov1999@mail.ru, ⁴ o.makarovv@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы построения математической модели многозвенного объекта промышленного регулирования при последовательном соединении звеньев. Приведен пример построения модели объекта из двух звеньев с нелинейной статической характеристикой по графической и аналитической зависимости. Сделаны выводы и даны рекомендации по решению задачи.

Ключевые слова: автоматическое управление, звенья систем автоматики, статические характеристики звеньев

Для цитирования: Куницын Р. А., Калинин Ц. И., Соколов Д. А., Макаров О. В. Методы определения математической модели сложного объекта автоматического регулирования // Актуальные вопросы энергетики в АПК : материалы всерос. (нац.) науч.-практ. конф. (Благовещенск, 19 декабря 2024 г.). Благовещенск : Дальневосточный ГАУ, 2025. С. 186–190.

Original article

**Methods for determining the mathematical model
of a complex automatic control object**

Roman A. Kunitsyn¹, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Tsezar I. Kalinin², Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Dmitry A. Sokolov³, Master's Degree Student

Oleg V. Makarov⁴, Master's Degree Student

^{1, 2, 3, 4} Altai State Agrarian University, Altai krai, Barnaul, Russia

¹ kynizin_roman@mail.ru, ² kalinin_cezar@mail.ru,

³ dmitry.sokolov1999@mail.ru, ⁴ o.makarovv@mail.ru

Abstract. The article discusses the issues of constructing a mathematical model of a multi-link industrial regulation facility with a sequential connection of links. An example of constructing a model of an object from two links with a nonlinear static characteristic based on graphical and analytical dependence is given. Conclusions are drawn and recommendations for solving the problem are given.

Keywords: automatic control, links of automation systems, static characteristics of links

For citation: Kunitsyn R. A., Kalinin Ts. I., Sokolov D. A., Makarov O. V. Methods for determining the mathematical model of a complex automatic control object. Proceedings from Current issues of energy in the agro-industrial complex: Vserossiiskaya (natsional'naya) nauchno-prakticheskaya konferentsiya. (PP. 186–190), Blagoveshchensk, Dal'nevostochnyi gosudarstvennyi agrarnyi universitet, 2025 (in Russ.).

Введение. Для упрощения задачи нахождения аналитической характеристики, описывающей работу системы в целом, систему разбивают на отдельные элементы (звенья) в статическом установившемся режиме и динамическом переходном режиме [1].

Нами рассматриваются процессы управления в установившихся режимах, которые характеризуются статической характеристикой. Рассмотрим процесс линеаризации в объекте регулирования температуры на примере кожухотрубного теплообменника.

Зависимость температуры от хода клапана подачи теплоносителя имеет вид выражения (1):

$$t_M^0 = f(h_{\Pi}(\%)) \quad (1)$$

где t_M^0 – температура молока на выходе парового теплообменника пастеризатора, °С;

$h_{\Pi}(\%)$ – ход парового клапана, %.

В простейшем случае система регулирования может быть рассмотрена в виде однозвенного объекта с линеаризацией в одной точке равновесия. Однако такой метод преобразования характеристики не позволяет провести линеаризацию всей характеристики с одинаковой погрешностью, что вносит дополнительные ошибки в процесс регулирования [2]. Наиболее совершенная методика

линеаризации характеристики объекта состоит в его представлении в виде двухзвенной модели регулирования [1].

Цель исследования – повышение точности системы автоматического регулирования температуры в кожухотрубном теплообменнике путем получения полной линейной модели статической характеристики объекта.

Результаты исследования. В случае представления теплообменника в виде двухзвенной модели его функциональная структурная схема имеет следующий вид (рис. 1).

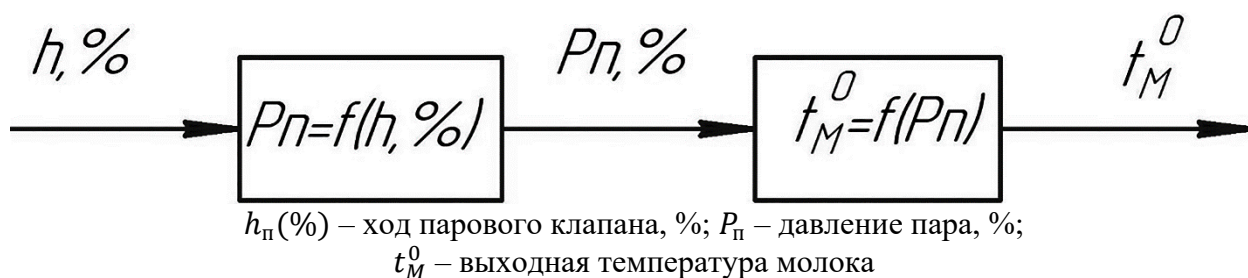


Рисунок 1 – Двухзвенная модель теплообменника

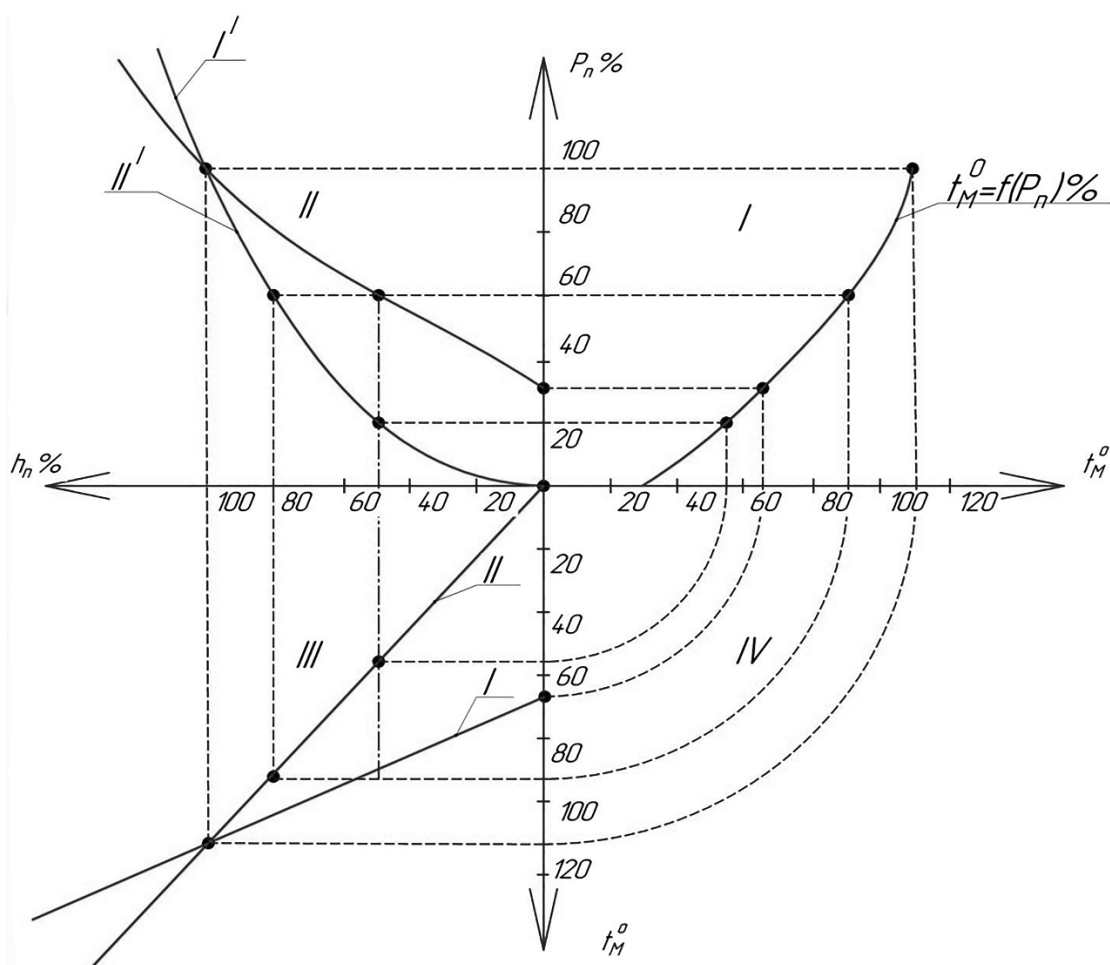
Выходная статическая характеристика объекта в этом случае находится путем графического сложения статических характеристик звеньев в последующих квадрантах путем построения в 4-квadrантной плоскости [2]. Статическая характеристика второго звена (теплообменника) строится в первом квадранте по экспериментальной зависимости (2):

$$t_M^0 = f P_{\Pi} \% \quad (2)$$

где t_M^0 – температура молока, °C;
 P_{Π} – давление пара, %.

Выходная линеаризованная статическая характеристика системы звеньев, то есть зависимость (1), строится в третьем квадранте по аналитическому выражению линейной модели следующего вида: $t_M^0 = 65 + 0,74h_{\Pi} \%$ (характеристика I). По выражению $t_M^0 = kh_{\Pi}(\%)$ (характеристика II) выходная статическая характеристика звена (клапана пара) строится во втором квадранте путем сложения координат характеристик во втором и четвертом квадрантах. Общий

вид характеристик представлен на рисунке 2.



$P_{II} \% = f h_{II}(\%)$ – статическая характеристика клапана пара;

I' – для уравнения модели $t_M^0 = 65 + 0,74h_{II}(\%)$, I'' – для уравнения модели $y = kx$;

$t_M^0 = f P_{II}(\%)$ – статическая характеристика нагрева молока паром;

$t_M^0 = f h_{II}(\%)$ – искомая статическая характеристика линеаризованной модели нагрева молока в теплообменнике от хода клапана пара;

I – для линейной модели вида $t_M^0 = 65 + 0,74h_{II}(\%)$;

II – для линейной модели вида $t_M^0 = k h_{II}(\%)$

Рисунок 2 – Линеаризация статической характеристики теплообменника по движущейся модели объекта

Полученные результирующие характеристики I' и II' во втором квадранте определяют показатели клапана пара, то есть зависимость $P_{II} \% = f h_{II}(\%)$. Зависимость I' позволяет получить характеристику по аналитической модели $t_M^0 = 65 + 0,74h_{II}(\%)$, а зависимость II' соответственно по аналитической модели вида $t_M^0 = k h_{II}(\%)$, то есть характеристику из начала координат [3].

Заключение. При линеаризации статических характеристик парового теплообменника по двухзвенной модели объекта, при последовательно соединенных звеньях путем их графического построения на квадрантной плоскости установлена рабочая характеристика клапана $P_{\Pi} \% = f h_{\Pi} (\%)$.

Данная методика линеаризации позволяет достаточно просто установить, а затем произвести выбор клапана по его рабочей характеристике и тем самым произвести полную линеаризацию, повысить точность автоматического регулирования во всем диапазоне рабочих характеристик объекта.

Список источников

1. Бородин И. Ф., Кирилин Н. И. Практикум по основам автоматики и автоматизации производственных процессов. М. : Колос, 1974. 255 с.
2. Ключев А. С. Автоматическое регулирование. М. : Энергия, 1973. 392 с.
3. Эриот П. Регулирование производственных процессов. М. : Энергия, 1967. 480 с.

References

1. Borodin I. F., Kirilin N. I. *Practicum on the basics of automation and automation of production processes*, Moscow, Kolos, 1974, 255 p. (in Russ.).
2. Klyuev A. S. *Automatic regulation*, Moscow, Energiya, 1973, 392 p. (in Russ.).
3. Eriot P. *Regulation of production processes*, Moscow, Energiya, 1967, 480 p. (in Russ.).

© Куницын Р. А., Калинин Ц. И., Соколов Д. А., Макаров О. В., 2025

Статья поступила в редакцию 09.12.2024; одобрена после рецензирования 23.12.2024; принята к публикации 04.02.2025.

The article was submitted 09.12.2024; approved after reviewing 23.12.2024; accepted for publication 04.02.2025.