

## СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ С ЗАПАЗДЫВАНИЕМ

А.М. Помазов<sup>1</sup>, А.С. Ягодкин<sup>1</sup>, О.Н. Чередникова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет  
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В работе рассматривается общее представление запаздывания в автоматических системах управления, общее описание проблем, связанных с задержкой и возможные решения этой проблемы. Рассматривается как данная проблема может повлиять на скорость работы автоматической системы регулирования. Приводится пример как сильно запаздывание влияет на систему. Проводится разбор причин запаздывания и рекомендаций для решения проблемы. Привели будущие возможные методы для решения проблем с запаздыванием.

Ключевые слова: автоматическое регулирование, задержка, запаздывание, запаздывание в системе

## AUTOMATIC CONTROL SYSTEM WITH DELAY

A.M. Pomazov<sup>1</sup>, A.S. Yagodkin<sup>1</sup>, O.N. Cherednikova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The paper considers the general idea of delay in automatic control systems, a general description of the problems associated with delay and possible solutions to this problem. It is considered how this problem can affect the speed of the automatic control system. An example is given of how much the delay affects the system. The reasons for the delay and recommendations for solving the problem are being analyzed. Future possible methods for solving problems with lag were given.

Keywords: automatic control, delay, delay, delay in the system

Определение и основные принципы системы автоматического регулирования с запаздыванием:

Автоматическое регулирование (от нем. regulieren – регулировать, от лат. regula – норма, правило), автоматическое поддержание постоянства или изменения по заданному закону некоторой физической величины, характеризующей,

как правило, производственный или технологический процесс; один из видов автоматического управления. Современные системы автоматического регулирования применяются в производственных, энергетических, транспортных, технологических и других процессах, а также в динамических системах управления не только технического характера (например, социальных) [2].

Основные виды задержек с САУ:

- Временные задержки. Этот вид задержек связан со временем, который необходим для передачи информации или выполнения операций.
- Амплитудные задержки. Задержки, вызванные инерционностью и демпфированием в механических системах.
- Фазовые задержки. Возникают при индуктивности, емкости или реактивности в электрических цепях.
- Дифференциальные задержки. Возникают из-за разницы во времени между сигналами или воздействиями
- Дискретные задержки. Задержки, связанные с временем дискретизации сигналов в цифровых системах управления.

Основные принципы автоматического регулирования:

- Обратная связь. Принцип работы заключается в непрерывном сравнении текущего состояния системы с желанным или заданным значением для уменьшению различия между ними.
- Управление. Система сама принимает решение о корректировке параметров или действий для достижения какого-то результата.
- Модель системы. Модель помогает предсказывать реакцию системы на управляющие воздействия для оптимизации процесса.
- Задание и референсное значение. Это желаемый результат, который стремится достичь система.
- Датчики. Они позволяют предоставить обратную связь. Данные используются в корректировке.
- Актуаторы. Это сигналы для преобразования в физические действия или воздействия на систему.
- Алгоритмы управления. Это программные и аппаратные компоненты для определения действий, которые должны быть приняты на основе обратной связи.
- Стабильность и устойчивость. Система должна быть способна выполнить все требования и сохранить стабильность, не смотря на различные факторы.

Моделирование системы автоматического регулирования с запаздыванием:

Линейные стационарные системы с запаздыванием по своей физической сути являются системами с распределенными параметрами. Например, простейшая САУ с запаздыванием (рис. 1) описывается характеристическим уравнением

$$1 + ke^{-st}$$

имеющим бесконечное множество корней ( $k$  — коэффициент усиления). В связи с этим анализ и синтез стационарных линейных САУ с запаздыванием наиболее известными аналитическими методами линейной теории практически невозможны.

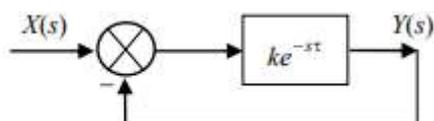


Рисунок 1

Исключение составляют только частотные методы, которые достаточно подробно представлены в учебниках по теории автоматического управления. Что касается линейных нестационарных САУ с запаздыванием, тем более нелинейных, то аналитические исследования.

Рассмотрим пример запаздывания и влияние на систему (табл. 1):

Таблица 1 – Исходные данные

Параметры	
$k_0$	2
$T$	0.4
$\xi$	0.7
$t_{рег}, c \leq$	1.5
$\sigma, \% \leq$	10

Передаточная функция исследуемой системы имеет вид:

$$W(p) = \frac{k_0}{T^2 p^2 + 2T\xi p + 1}$$

Математическая модель САУ с запаздыванием (рис. 2):

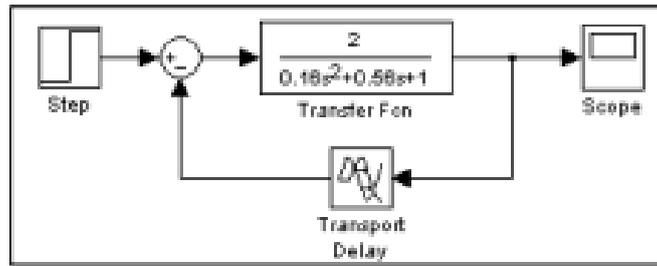


Рисунок 2 – Математическая модель САУ с запаздыванием

Далее указано, как ведет себя САУ без задержек (рис. 3). Мы создаем искусственную задержку для САУ в  $t=0.5$  с (рис. 4).

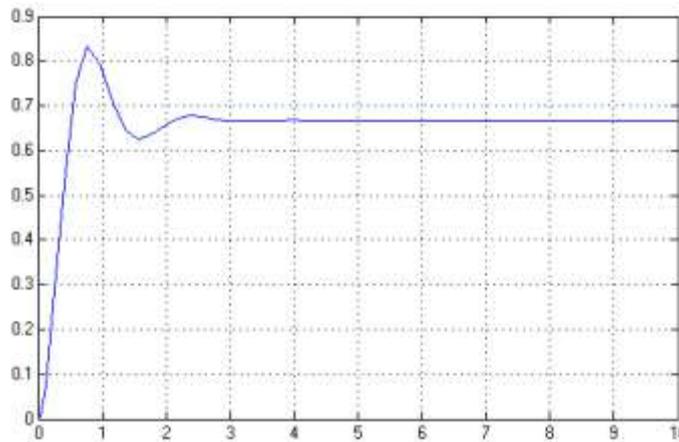


Рисунок 3 – Характеристика переходного процесса исходной САУ

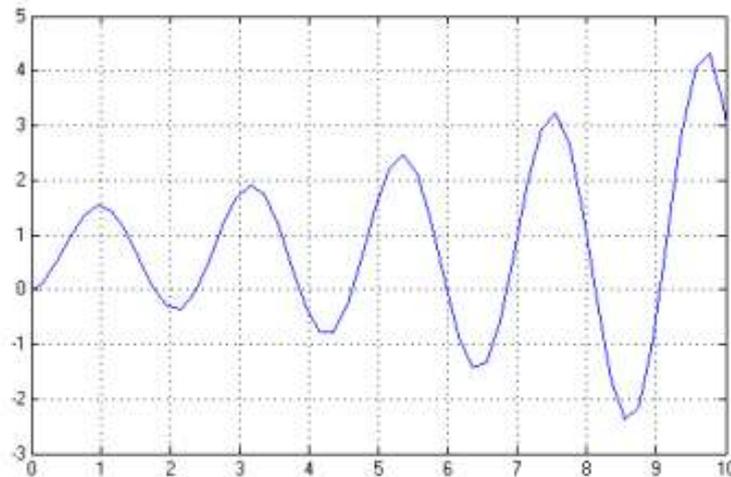


Рисунок 4 – Характеристика переходного процесса САУ с запаздыванием (при  $t = 0.5$  с)

Исходя из полученных характеристик, можно сделать вывод о том, что под воздействием блока задержки сигнала система теряет устойчивость. Но следует учесть, что это происходит с определённого значения времени запаздывания  $\tau$ .

Сравним характеристики исходной САУ и системы с блоком задержки сигнала (время задержки установим равным 0,5 с).

## Методы для снижения уровня задержек

Сокращение задержек является необходимым действием для высокой производительности и стабильности. Для этого ниже приведены методы для борьбы с задержками в САУ:

- Использовать методы компенсации задержек. К ним относятся предиктивное управления или метод сдвига фазы.
- Применение прогнозирующих алгоритмов. Используется для будущих состояний системы на основе данных, которые система получила в текущих данных.
- Параллельное выполнение операций. Нужно это для использования многопоточности, чтобы сократить общее время обработки.
- Оптимизация алгоритмов управления. Меньше вычислительная затрата – меньше задержка.

## Будущие возможные решения проблем с задержками

Технологии постоянно развиваются и так же постоянно находятся новые методы борьбы с задержками. Уже сейчас уже можно использовать предсказательные алгоритмы на основе нейронных сетей, которые все точнее определяют возможные задержки и методы, чтобы свести их к минимуму. Интеграция искусственного является одной из самых важных факторов для уменьшения задержек. Это стоит наряду с такими методами, как созданием сетей с более низкой задержкой, оптимизирование программ, создание новых математических моделей, уменьшение вычислительных затрат, создание более мощного оборудования, использование интеллектуальных датчиков и актуаторов. Но при использовании всего этого можно достичь низкой задержки.

## Заключение

В заключении хочется подчеркнуть, что проблема запаздывания является очень серьезным фактором, на который нужно обращать внимание и бороться с этой проблемой. Задержки могут сильно повлиять на использование САУ. Они влияют на точность, производительность и способность к эффективному управлению. Однако, технологии не стоят на месте и постоянно появляются новые инновационные подходы к этой проблеме, чтобы создать более эффективную систему автоматического управления. Таким образом, решение проблемы запаздывания в системах автоматического регулирования требует совместных усилий инженеров, ученых и разработчиков, и является важным шагом к созданию более интеллектуальных и адаптивных технологий управления, способных эффективно справляться с вызовами современного мира.

## Список литературы

1. Власов К. П. «Теория автоматического управления. Основные положения. Примеры расчёта»
2. Большая российская энциклопедия (bigenc.ru)
3. Франклин У., Паттерсон Д., Форд Д. (2019). “Систематическое мышление для решения проблем и автоматического управления”. Издательство Кембриджского университета.
4. Олссон Х., Лагерквист А., Линдаль К., Риссен У. (2020). “Автоматическое управление с использованием MATLAB и Simulink”. Прентис Холл.
5. Беллман Р., Гросс О., Лекуат Г. (1972). “Исследования по теории управления и оптимизации”. Издательство Принстонского университета.
6. Бард Й. (2007). “Нелинейное автоматическое управление”. Нью-Йорк: Вили.
7. Браун М. (2012). “Введение в автоматическое управление”. Оксфорд: Издательство Оксфордского университета.
8. Полуэктов А.В., Макаренко Ф.В., Ягодкин А.С. Использование сторонних библиотек при написании программ для обработки статистических данных // Моделирование систем и процессов. – 2022. – Т. 15, № 2. – С. 33-41.

## References

1. Vlasov K. P. "Theory of automatic control. The main provisions. Calculation examples".
2. The Great Russian Encyclopedia (bigenc.ru)
3. Franklin W., Patterson D., Ford D. (2019). “Systematic thinking for problem solving and automatic control.” Cambridge University Press.
4. Olsson H., Lagerkvist A., Lindahl K., Rissen U. (2020). “Automatic control using MATLAB and Simulink”. Prentice Hall.
5. Bellman R., Gross O., Le couat G. (1972). “Research on the theory of management and optimization”. Princeton University Press.
6. Bard Y. (2007). “Non-linear automatic control”. New York: Wili.
7. Brown M. (2012). “Introduction to automatic control”. Oxford: Oxford University Press.
8. Poluektov A.V., Makarenko F.V., Yagodkin A.S. The use of third-party libraries when writing programs for processing statistical data // Modeling of systems and processes. - 2022. – Vol. 15, No. 2. – pp. 33-41.