

2. <https://www.enisa.europa.eu/publications/enisa-threat-landscape-2021> (дата доступа 13.10.2022)
3. The World Bank. Logistics Performance Index: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.worldbank.org/eca/russian/> (дата доступа 13.10.2022)
4. Шкардун В.Д. Роль аналитической функции маркетинга в процессе стратегического планирования на предприятии // Маркетинг и маркетинговые исследования. – 2008. – № 4 (76). – С. 312–324.

УДК 681.53

**Д.А. Гринюк, Н. М. Олиферович,
И.Г. Сухорукова, И.С. Шетько**

Белорусский государственный технологический университет
Минск, Беларусь

ПРОЯВЛЕНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ СВОЙСТВ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ДИНАМИКИ В КАНАЛАХ РЕГУЛИРОВАНИЯ

Аннотация. Для оценки влияния нелинейных свойств электрических приводов исполнительных механизмов было проведено имитационное моделирование при различных параметрах объекта и нелинейных свойствах привода. Определена степень влияния свойств на процесс идентификации.

D.A. Hryniuk, N.M. Oliferovich, I.G. Suhorukova, I.S. Shetko
Belarusian State Technological University
Minsk, Belarus

INFLUENCE OF NONLINEAR PROPERTIES OF ACTUATORS IN DETERMINING DYNAMICS IN CONTROL

Abstract. To assess the influence of non-linear properties of electric drives of actuators, simulation modelling for various parameters of the object and non-linear properties of the drive was carried out. The degree of influence of properties on the identification process is determined.

Несмотря на развитие частотных инверторов, которые позволили регулировать материальные потоки в технологических процессах, управляя частотой оборотов двигателей насосов, компрессоров и другим актуальным оборудованием, построение систем управления с

использованием регулирования материальных и тепловых потоков с помощью клапанов по-прежнему занимает высокий процент применения. Для управления регулирующими клапанами используют различные приводы. Для непосредственного перемещения и позиционирования штока используется энергия сжатого воздуха, жидкости или электродвигателя через механические передачи [1]. На производстве чаще всего можно встретить пневматические и электрические приводы. Статические и динамические характеристики приводов влияют на качество регулирования технологических параметров.

Результаты наблюдений за работой производственного процесса часто показывают, что изменение свойств регулирующих клапанов является самой частой причиной плохого функционирования контура управления и дестабилизации технологического процесса [1–2].

Идеальной ситуацией для построения систем регулирования являются линейные характеристики приводов, которые могут быть учтены в процессе настройки замкнутых и разомкнутых систем. Однако в той или иной степени нелинейными свойствами характеризуются все приводы. Меньше всего проявляются нелинейные свойства у пневматических исполнительных механизмов, что вместе с их низкой стоимостью и высокой точностью при использовании позиционера предопределило использование их на больших и средних промышленных предприятиях. За счет технического развития точность электрических приводов практически сравнялась, однако нелинейные свойства продолжают проявляться и влиять на качество регулирования. При этом нелинейные свойства этих устройств могут существенно отличаться ввиду развития силовой электроники, изменения подходов к управлению процессом пуска и остановки двигателей. Конструкции двигателей претерпевают изменения. Использование микропроцессоров в схемах управления двигателями исполнительных механизмов позволяет отказаться от типичного прямого пуска и реализовать различные кривые разгоны.

Одной из проблем, на которую может повлиять нелинейные свойства исполнительного механизма, является идентификация динамических характеристик каналов управления [3–5]. Для решения задачи была создана математическая модель объекта второго порядка (рис. 1) с наиболее существенной нелинейной характеристикой электрического привода клапана – трехпозиционного релейного элемента управления включением двигателя (рис. 2). Структура на рис. 1 не учитывает динамическую характеристику и особенности работы схемы управления двигателями, а также динамику механической

передачи между валом двигателя и непосредственно положением штока S .

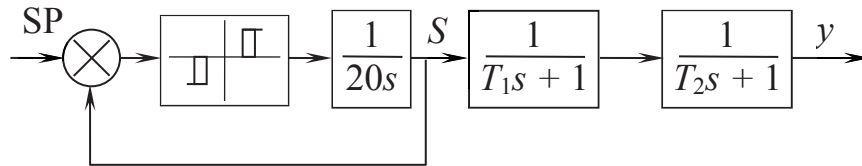


Рис. 1 - Структура системы

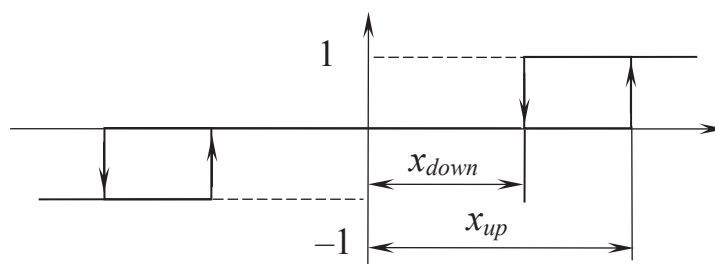


Рис. 2 - Статическая характеристика трехпозиционного элемента управления клапаном

При исследовании менялись следующие характеристики:

$$T_1 = [1 \ 2 \ 4 \ 6 \ 10 \ 18 \ 54 \ 162 \ 486];$$

$$k_T = T_2 / T_1 [1 \ 1,3 \ 3 \ 10];$$

$$SP = [0,33 \ 1 \ 3 \ 10];$$

$$k_x = x_{down} / x_{down0} [1,3 \ 1 \ 0,5 \ 0,1],$$

где $x_{down0} = 0,015$.

При идентификации использовался метод аппроксимации при минимизации среднеквадратичного отклонения путем вариации постоянными времени в шаблонах заданных передаточных функций [3]. В качестве таких шаблонов применялись два варианта:

$$W_1(s) = \frac{k}{(T_{10}s + 1)(T_{20}s + 1)}; \quad (1)$$

$$W_2(s) = \frac{k}{(T_{10}s + 1)(T_{20}s + 1)(20s + 1)}. \quad (2)$$

В последней формуле фиксированное значение 20 появилось для учета динамики исполнительного устройства.

Графики на рис. 3–6 демонстрируют основные области различия между разгонной характеристикой и результатом аппроксимации. Нелинейные свойства электрического исполнительного механизма

больше всего проявляются, когда динамика объекта более быстрая, чем непосредственно самого механизма.

Разность между исходным коэффициентом усиления и полученным имеет небольшие отличия и обусловлена влиянием численных методов и параметров нелинейности. Влияние соотношения между постоянными времени объекта на качество аппроксимации минимально. Различия между исходными и аппроксимированными параметрами больше всего наблюдаются, когда динамика объекта меньше постоянной времени исполнительного механизма.

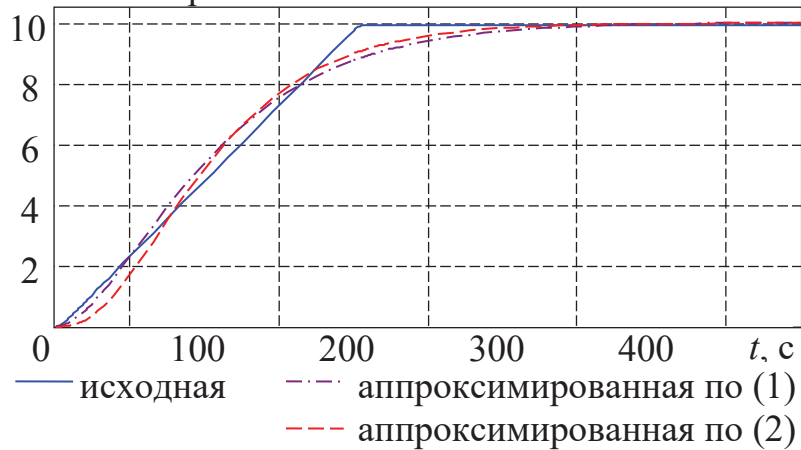


Рис. 3 - Разгонные характеристики и результат аппроксимации при $SP = 10$, $T_1 = 1$, $k_T = 3$ и $k_x = 1$

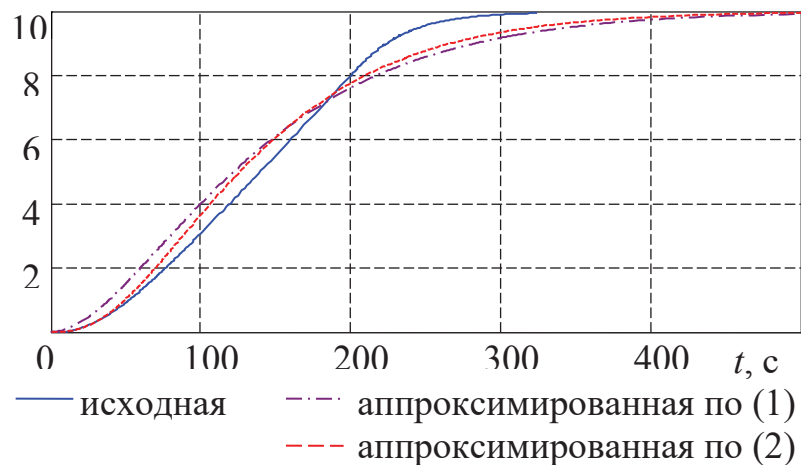


Рис. 4 - Разгонные характеристики и результат аппроксимации при $SP = 10$, $T_1 = 10$, $k_T = 3$ и $k_x = 1$

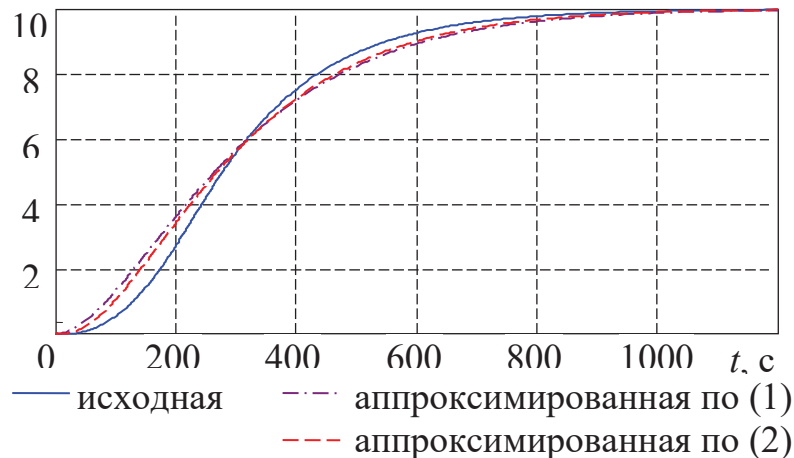


Рис. 5 - Разгонные характеристики и результат аппроксимации при $SP = 10$, $T_1 = 54$, $k_T = 3$ и $k_x = 1$

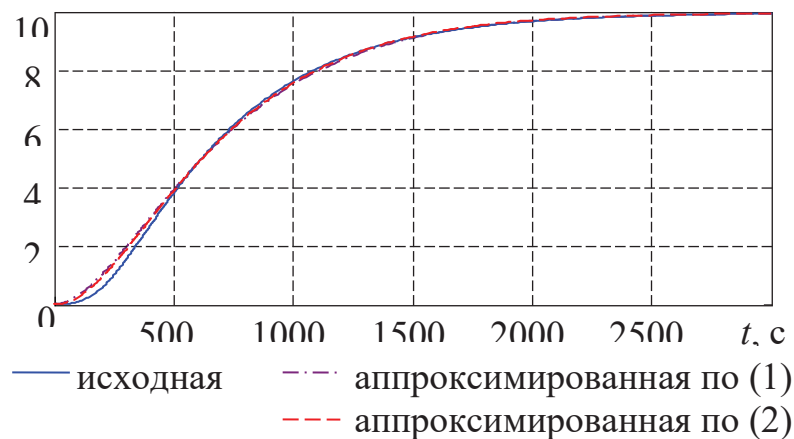


Рис. 6 - Разгонные характеристики и результат аппроксимации при $SP = 10$, $T_1 = 162$, $k_T = 3$ и $k_x = 1$

Влияние параметров нелинейности на качество аппроксимацию проявляется почти также. Однако ошибка аппроксимации при использовании шаблона (2) гораздо меньше, чем для шаблона (1). Кроме этого, незначительные изменения параметров нелинейности оказывают более существенное влияние на результат аппроксимации, чем изменение коэффициента k_T . Графики на рис. 3–6 демонстрируют существенное отличие между исходной кривой и результатом аппроксимации. Основная ошибка накапливается на начальном участке и при выходе к сигналу задания. При соотношении между постоянной времени объекта и исполнительного механизма, больше на порядок, основным источником ошибок является начальный участок кривой разгона. Тогда при обратном соотношении – нелинейные свойства больше проявляются на завершающем участке кривой разгона.

Увеличение параметра n в (2) повышает качество идентификации только при сравнимости динамики объекта и исполнительного

механизма. При более быстром объекте управления у шаблона (1) наблюдается преимущество. Для медленных объектов введение звена запаздывания скорее повысит качество аппроксимации, чем порядок.

Результаты работы позволяют сделать некоторые выводы.

1. Вид передаточной функции аппроксимации для объектов управления, которые используют электрические приводы, определяется соотношением между динамикой исполнительного механизма и объекта. 2. Высокий диапазон регулирования не позволяет качественно настраивать регулятор по одной передаточной функции.

Список использованных источников

1. Иткина Д. М. Исполнительные устройства систем управления в химической и нефтехимической промышленности. М.: Химия, 1984. 232 с.

2. Control Valve Dynamic Performance Specification Published on Friday 02-10-2020
<https://www.industrialautomationindia.in/articleitm/10687/Control-Valve-Dynamic-Performance-Specification/articles> (accessed 25.03.2022).

3. Oliferovich N., Hryniuk D., I. Orobei. Harmonic identification of technological objects in real time // Electrical, Electronic and Information Sciences (eStream): Open Conference, 2016, p. 1-4.

4. Oliferovich N., Hryniuk D., I. Orobei. The use of harmonic identification algorithms to air heat exchanger // Electrical Electronic and Information Sciences (eStream): Open Conference, 2017, p. 1-5.

5. Гринюк Д. А., Олиферович Н. М., Сухорукова И. Г., Оробей И. О. Моделирование и настройка систем с нелинейной динамикой // Труды БГТУ. Сер. 3, Физико-математические науки и информатика. 2021. № 2 (248). С. 65–71.

УДК 004.031.6

А.И. Гумиров, А.А. Горшков, Р. Салихов
Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А. Н. Туполева-КАИ
Казань, Россия

АППАРАТНО-ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОГРАММИРУЕМОГО ГЕНЕРАТОРА ПОЛИФОНИЧЕСКИХ ЗВУКОВ НА ПЛИС

Аннотация. В статье рассмотрены особенности проектирования встраиваемой системы в виде программируемого генератора полифонических