

## **СИНТЕЗ АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ ЛИНЕЙНЫМ ОБЪЕКТОМ С ИНЕРЦИОННЫМ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫМ ПРИВОДОМ НА БАЗЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО ПРЕДИКТОРА СМИТА**

Ле С. Д.<sup>1</sup>

**Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Пыркин А. А.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Университет ИТМО

[ledat888@gmail.com](mailto:ledat888@gmail.com)

### **Введение**

Одной из ключевых проблем в классической и современной теории автоматического управления является синтез регуляторов для систем с запаздыванием. Данная задача не теряет своей актуальности и даже приобретает новый интерес с развитием новых методов и подходов к управлению сложными динамическими процессами, где скорость принятия решений носит критический характер. Важным прорывом стал предиктор Смита [1, 2] - алгоритм, позволяющий исключить влияние запаздывания для устойчивых линейных систем с известными параметрами математической модели. В дальнейшем предиктор Манитиуса-Олброта [3] и его модификации [4, 5] применялись для систем с неизвестными параметрами, для нелинейных систем, а также для систем с распределенными параметрами, моделируемых уравнениями в частных производных [6, 7]. Тем не менее, эти результаты носят скорее теоретический характер. В работе [8] была изучена проблема скрытой неустойчивой динамики при использовании предикторов типа [3] и синтезирован закон управления для неустойчивых объектов с входным запаздыванием, обеспечивающий глобальную асимптотическую устойчивость замкнутой системы. Кроме этого, одной актуальной проблемой остается наличие инерционности исполнительного привода на входе линейной системы. Она вызывает дополнительное фазовое запаздывание и снижает быстродействие, что приводит к уменьшению запасов устойчивости вплоть до полной потери устойчивости линейной системы. В настоящей работе предлагается алгоритм управления линейной системой с инерционным исполнительным приводом, синтезированный на базе модифицированного предиктора Смита с добавлением корректирующих членов [9].

### **Основная часть**

Предлагаемое решение ориентировано на линейный объект с инерционным исполнительным приводом. Ключевая идея состоит в том, чтобы включить динамику привода в предиктор и компенсировать возникающее «скрытое запаздывание» с помощью модифицированного предиктора Смита [9].

Синтез алгоритма с входным исполнительным приводом, что позволяет явно учитывать фазовые потери и ограничения, вносимые исполнительным звеном. Далее выбираем закон управления по состоянию; регулятор формируется так, как воздействие на объект уже прошло через инерционное исполнительное звено, а выход объекта прогнозируется на интервале, соответствующем задержке.

Для повышения робастности используем корректирующие члены и периодические сбросы выбранных внутренних переменных. Сброс предотвращает медленное накопление рассогласования модели и реального объекта, которое особенно выражено при инерционном приводе. В результате подавляется инерционное исполнительное звено и улучшается устойчивость линейного объекта.

## Выводы

Показано, что учет инерционности исполнительного привода критичен для устойчивости и качества управления: она уменьшает фазовый запас и фактически эквивалентна дополнительной задержке в канале управления. Предложен подход синтеза управления линейной системой с инерционным исполнительным приводом на базе модифицированного предиктора Смита. Практическое использование результатов возможно в системах с электроприводами (робототехника, судовые и промышленно-технологические объекты), где требуется стабильная работа при запаздываниях и ограничениях. Для внедрения предлагается поэтапное испытание: (1) идентификация модели привода и верификация на стенде; (2) настройка базового регулятора; (3) включение предиктора и подбор периода сброса; (4) оценка робастности и качества.

## Литература

1. Smith O.J.M., Closer control of loops with dead time // Chem. Eng. Prog. — 1959. — N. 53. — P. 217–219.
2. Smith O.J.M., A controller to overcome dead time // ISA. — 1959. — Vol. 6. — P. 28–33
3. Manitius A.Z., Olbrot A.W., Finite spectrum assignment for systems with delays // IEEE Transactions on Automatic Control. — 1979. — Vol. 24. — P. 541–553.
4. Kwon W.H., Pearson A.E., Feedback stabilization of linear systems with delayed control // IEEE Transactions on Automatic Control. — 1980. — Vol. 25. — P. 266–269.
5. Arstein Z., Linear systems with delayed controls: A reduction // IEEE Transactions on Automatic Control. — 1982. — Vol. 27. — P. 869–879.
6. Krstic M., Smyshlyaev A., Backstepping boundary control for first-order hyperbolic PDEs and application to systems with actuator and sensor delays // Systems & Control Letters. — 2008, Vol. 57. — P. 750–758.
7. Kristic M., Delay compensation for nonlinear, adaptive, and PDE systems. — Birkhauser, 2009. — 466 p.
8. V. O. Nikiforov and D. N. Gerasimov, “Robust closed-loop state predictor for unstable systems with input delay,” in 2023 62nd IEEE Conference on Decision and Control (CDC). IEEE, 2023, pp. 5708–5713.
9. А.А. Пыркин, К.Ю. Калинин, Модифицированный предиктор Смита для неустойчивых линейных систем // Изв. ВУЗов Приборостроение. — 2025. — Т. 68. — № 9. — С. 1-12.

Автор: \_\_\_\_\_ Ле С. Д.

Научный руководитель: \_\_\_\_\_ Пыркин А. А.