

**МЕТОД УПРАВЛЕНИЯ ПО ВЫХОДУ НЕЛИНЕЙНЫМИ ОБЪЕКТАМИ С  
ЗАПАЗДЫВАНИЕМ**

Данг Тхе Донг (Университет ИТМО)

Научный руководитель – д.т.н, профессор Фуртат Игорь Борисович (Университет ИТМО)

**Введение.** В последние годы проблема управления нелинейными системами с запаздыванием привлекает активное внимание. В работах [1-5] авторы предложили использовать предиктор для прогноза управляемой переменной с учетом времени запаздывания. Однако у этих методов есть некоторые недостатки, такие как стабильность системы при малых запаздываниях в реализации интегрирующего компонента и чрезмерная сложность предикторов пропорционально-интегрального типа. В работе [6-7] Фуртат и Гушин обобщили алгоритм управления, синтезированный с использованием предикторов. Этот метод упрощает реализацию техники и расчет параметров. Однако работы [6-7] применимы только для линейных систем с управлением по состоянию. В работе [8] рассматривался алгоритм [6-7] для нелинейных объектов. В настоящем докладе предлагается обобщить результаты [8] для нелинейных объектов с методом управления по выходу.

**Основная часть.** Предложен алгоритм управления нелинейными объектами, который основывается на выходном сигнале и учитывает известную постоянную степень нелинейности, а также запаздывание в управляющем канале. Для синтеза закона управления применяется наблюдатель Льюендергера, который определяет параметры выходного сигнала. Затем используется предиктор регулируемой переменной для прогнозирования вектора состояния с учетом запаздывания. С применением методов Ляпунова–Красовского и S-процедуры установлены достаточные условия для устойчивости замкнутой системы в виде разрешимых линейных матричных неравенств (ЛМН). Доказана асимптотическая сходимость вектора состояния к нулю и предельная ограниченность всех сигналов в замкнутой системе. Показано, что полученные ЛМН зависят от параметров объекта и границ области нелинейности и запаздывания, что позволяет вычислять их предельные значения при условии устойчивости системы. Эти задачи могут быть связаны с вычислением предельных значений области нелинейности или запаздывания в процессе дистанционного управления. Приведены результаты компьютерного моделирования, которые иллюстрируют эффективность предложенных методов.

**Выводы.** Синтезирован алгоритм управления по выходу нелинейными системами с запаздыванием, предполагая, что запаздывание является постоянной. Алгоритм основан на использовании предиктора регулируемой величины. Получены достаточные условия устойчивости замкнутой системы в виде разрешимых линейных матричных неравенств. Эффективность алгоритма продемонстрирована с помощью результатов симуляции. Показано, что ошибка наблюдателя стабилизируется в окрестности нуля.

**Список использованных источников:**

1. **Smith J.M.** Closer Control of Loops with Dead Time // Chem. Eng. Prog. 1959. No. 53. P. 2217–2219.
2. **Manitius A.Z., Olbrot A.W.** Finite Spectrum Assignment Problem for Systems with Delays // IEEE Trans. Autom. Control. 1979. V. AC-24. No. 4. P. 541–553.
3. **Van Assche V., Dambrine M., Lafay J.F., Richard J.P.** Some Problems Arising in the Implementation of Distributed-Delay Control Laws // Proc. 38th IEEE Conf. On Decision and Control, Phoenix, 1999.
4. **Engelborghs K., Dambrine M., Rose D.** Limitations of a Class of Stabilization Methods for Delay Systems // IEEE Trans. Autom. Control. 2001. V. AC-46. No. 2. P. 336–339.

5. **Mondi'e S., Dambrine M., Santos O.** Approximation of Control Laws with Distributed Delays: a Necessary Condition for Stability // *Kybernetika*. 2002. V. 38. No. 5. P. 541–551.
6. **И. Б. Фуртат, П. А. Гущин** Алгоритм управления объектами с запаздывающим входным сигналом на базе субпредикторов регулируемой величины и возмущения // *Автоматика и телемеханика*. 2019. № 2. С. 3–23.
7. **Furtat I., Gushchin P.** Tracking control algorithms for plants with input time-delays based on state and disturbance predictors and sub-predictors // *Journal of the Franklin Institute*. 2019. Vol. 356. P. 4496–4512.
8. **Тхе Д.Д., Ба Х.Н., Суан К.Н.** Управление нелинейными системами с запаздыванием в канале управления. *Мехатроника, автоматизация, управление*. 2024;25(11):568-574.

Автор \_\_\_\_\_ Данг Т.Д

Научный руководитель \_\_\_\_\_ Фуртат И.Б.