

Сотникова М.В.¹, Севостьянов Р.А.¹

АДАПТИВНЫЙ АЛГОРИТМ ЦИФРОВОГО УПРАВЛЕНИЯ С ПРОГНОЗОМ КОНТРОЛИРУЕМЫМИ ПЕРЕМЕННЫМИ В ЗАДАННОМ ДИАПАЗОНЕ

Рассматривается проблема синтеза цифрового алгоритма управления контролируемыми переменными динамического процесса в заданном диапазоне. Цель управления состоит в удержании контролируемых переменных внутри установленных границ. При этом качество процессов характеризуется интенсивностью управляющих воздействий.

Математическая модель динамики объекта управления представляется нелинейной системой разностных уравнений в нормальной форме с многомерными входом и выходом, а также с запаздыванием по управлению. Помимо ограничений на контролируемые переменные, вводятся ограничения на величину и скорость изменения управления. В начальный момент времени контролируемые переменные могут находиться как внутри заданного диапазона, так и вне его границ. Во втором случае требуется как можно быстрее перевести контролируемые переменные из начального положения внутрь диапазона.

В основе предлагаемого подхода к синтезу лежит теория управления с прогнозирующими моделями [1]. Вводятся дополнительные переменные, позволяющие перейти к эквивалентной модели без запаздывания [2]. Достижение цели управления обеспечивается минимизацией заданного функционала качества, включающего слагаемые, отвечающие за интенсивность управления и штраф за нарушение границ диапазона контролируемыми переменными. Показано, что решение задачи оптимизации в общем случае сводится к задаче нелинейного программирования, решаемой на каждом такте дискретного времени при формировании управления.

Особое внимание уделяется вопросам обеспечения адаптивных свойств алгоритма управления, а именно возможности настройки допустимых границ диапазонов для контролируемых переменных, изменения ограничений для управляющих переменных, а также включения или выключения части переменных в процессе функционирования замкнутого контура в режиме реального времени. Важным требованием при этом является отсутствие резких динамических всплесков в замкнутом контуре, то есть безударность в процессе функционирования.

Возможность изменения допустимых границ диапазонов для контролируемых переменных в процессе функционирования обеспечивается наличием штрафного слагаемого в функционале качества, отвечающего за выход переменных из диапа-

¹ Санкт-Петербургский государственный университет, Российская Федерация, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7–9.

зона, а также пересчетом допустимого множества управляющих воздействий в режиме реального времени.

В случае изменения ограничений на управляющие переменные предлагаемый подход к синтезу алгоритма управления основан на введении дополнительного штрафного слагаемого в квадратичный функционал качества, которое равно нулю, если ограничения не нарушены, и резко возрастает при выходе управляющих переменных за допустимые границы.

При включении или выключении части управляющих или контролируемых переменных предлагаемая стратегия управления состоит в фиксации ограничений для соответствующей переменной так, чтобы нижняя и верхняя граница были равны и совпадали с текущим значением этой переменной.

В качестве практического приложения рассматривается задача управления процессом переработки нефти в ректификационной колонне [3]. Существо этой задачи состоит в том, чтобы обеспечить требуемое качество нефтепродуктов на выходе системы, а для этого достаточно удерживать контролируемые переменные процесса в пределах установленных границ. Проведено численное моделирование процессов управления с использованием предложенного алгоритма. Полученные результаты показали работоспособность и эффективность разработанного подхода.

Ключевые слова: цифровое управление, прогноз, оптимизация, контролируемые переменные, адаптивность, нефтепереработка.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 20-07-00531.

Список литературы

1. Lahiri S.K. Multivariable predictive control: Applications in industry. John Wiley & Sons Publ., Hoboken, NJ, USA, 2017, 304 p.
2. Сотникова М.В., Севостьянов Р.А. Цифровое управление контролируемыми переменными в заданном диапазоне с учетом запаздывания // Вестник Санкт-Петербургского университета. Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. 2021. Т. 17, № 4. С. 449–463.
3. Burdick D.L., Leffler W.L.: Petrochemicals in nontechnical language. 4th edn. PennWell Corp., Oklahoma, USA, 2010, 401 p.