

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертацию Мосоловой Юлии Михайловны

«Стабилизация переключаемых систем в условиях неопределенности»

на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук

по специальности 1.1.2 – «Дифференциальные уравнения и математическая физика»

Целью диссертационной работы Мосоловой Юлии Михайловны является разработка конструктивных методов построения стабилизирующих регуляторов для непрерывных скалярных переключаемых интервальных линейных систем. Вообще говоря, интерес к переключаемым системам обусловлен тем, что многие управляемые системы демонстрируют неконтролируемое скачкообразное изменение (переключение) своей динамики и структуры в процессе функционирования, причем такие переключения могут происходить в достаточно высоком темпе. Можно выделить две основные проблемы, которые автор решает в своей работе: первая проблема связана с вопросами использования дискретных регуляторов для непрерывных переключаемых интервальных систем. Вторая же проблема связана с необходимостью обеспечивать работоспособность стабилизирующего регулятора в условиях быстрых переключений режимов переключаемых систем и возможных параметрических неопределённостей в исходных моделях. Важность разработки методов управления динамическими системами в условиях неопределенности обусловлена повышением требований к качеству современных систем управления.

Актуальность исследования диссертационной работы Мосоловой Ю.М. следует из того, что рассмотренные постановки задач стабилизации являются достаточно общими и поэтому их решения могут найти применения в практических приложениях.

Новизна полученных автором результатов подтверждается системностью проведенной Мосоловой Ю.М. обзорной проработки и последовательной увязкой впервые достигнутых ею результатов с ранее известными, а также надлежащим указанием ссылок на научные работы других авторов.

Обоснованность полученных в диссертационной работе результатов обусловлена понятным и полным описанием используемых терминов, предположений и ограничений, а также подробным изложением доказательств полученных теоретических результатов.

Достоверность результатов диссертации подтверждается грамотным применением классических и современных методов теории автоматического управления, теории устойчивости и теории переключаемых систем. Также достоверность обусловлена

корректным построением расчетных примеров с использованием компьютерных вычислений (что, в частности, наглядно продемонстрировано в приложениях).

Перечень опубликованных работ соискателя удовлетворяет требованиям п.2.4 «Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова».

Тематика работы, её содержание и методы исследования соответствуют специальности 1.1.2 – «Дифференциальные уравнения и математическая физика».

Диссертация оформлена в соответствии с требованиями п.2.2 «Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова», а её содержание должным образом отражено в автореферате.

Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы, двух приложений. Общий объем диссертации составляет 170 страниц текста, включая 5 иллюстраций. Список литературы содержит 113 наименований.

Во введении обоснована актуальность диссертационной работы, сформулирована цель исследования, отражена научная новизна полученных результатов и показана их практическая значимость. Кроме того, во введении представлены выносимые на защиту научные положения, реферативное описание имеющихся результатов по теме диссертации, приводятся ссылки на ключевые работы и монографии, позволяющие составить представление о текущем состоянии исследуемой работы.

В первой главе диссертации формулируется задача поиска дискретного динамического регулятора по выходу для переключаемой интервальной линейной системы, обеспечивающего глобальную равномерную асимптотическую устойчивость соответствующей замкнутой непрерывно-дискретной системы. В работе предлагается подход к решению данной задачи, заключающийся в переходе от исходной непрерывной переключаемой системы к её дискретной модели с помощью метода точной дискретизации и последующем поиске стабилизирующего дискретного регулятора для полученной дискретной системы. Сложность структуры этой дискретной системы потребовало разработки метода перехода к её интервальному расширению. Основным результатом первой главы сформулирован в теореме 1.5, которая представляет собой проверяемое достаточное условие устойчивости непрерывной переключаемой интервальной системы, замкнутой дискретным регулятором. Также приводится менее жёсткое достаточное условие устойчивости, чем задаваемое теоремой 1.5, которое предполагает существование функций Ляпунова для каждого режима рассматриваемой переключаемой системы в отдельности. Далее, на языке матричных неравенств сформулировано достаточное условие существования стабилизирующего регулятора для переключаемой линейной системы в случае, когда один из ее параметров не содержит интервальной неопределенности.

Во второй главе решается задача синтеза стабилизирующего дискретного регулятора по состоянию для переключаемой интервальной линейной системы. Изложены основные шаги решения поставленной задачи, аналогичные первой главе. В полученной теореме 2.3 отражен один из результатов, заключающийся в сведении проблемы обеспечения устойчивости непрерывно-дискретной замкнутой системы к задаче одновременной сверхстабилизации семейства дискретных интервальных объектов. Доказательство данной теоремы основывается на свойствах сверхустойчивых систем, а именно монотонности их переходных процессов. При наличии данного свойства, из устойчивости каждого режима следует устойчивость переключаемой системы. Поиск параметров стабилизирующей обратной связи при этом сведен к решению задачи линейного программирования. Кроме того, в диссертации представлен разработанный программный модуль SFMCS (Stabilizing Feedback and Modeling Closed System) для расчета стабилизирующей линейной статической обратной связи для переключаемых интервальных систем. Результатами работы данного программного модуля SFMCS являются рассчитанные коэффициенты вектора обратной связи, графики норм решений замкнутой переключающей системы и переключающих сигналов.

В третьей главе диссертационной работы решается задача стабилизации переключаемой системы с режимами различных динамических порядков. В связи с тем, что при стабилизации такой системы используется статическая обратная связь по состоянию, которая зависит от вектора состояния, а размерность вектора состояния и набор переменных состояния исходной системы могут скачкообразно меняться, то в данной главе диссертации прежде всего решается вопрос: как такой статической обратной связью замыкать систему? Для этого вводится вспомогательный вектор, включающий все переменные состояния переключаемой системы, от которого и зависит обратная связь, при этом управляющее воздействие на каждый режим оказывают только те переменные состояния, которые фигурируют в этом режиме. Согласование начальных условий при скачкообразном изменении вектора состояния системы определяется с помощью так называемых матриц преемственности. Основная идея решения поставленной в данной главе задачи состоит в том, чтобы свести решение этой задачи к решению задачи построения регулятора для переключаемой системы с режимами одинаковых порядков. Для этого Мосоловой Ю.М. используется метод динамического расширения переключаемой системы. На основе лемм 3.2, 3.3 и теоремы 3.1 в диссертации сформулировано достаточное условие устойчивости расширенной переключаемой интервальной системы. Получен конструктивный алгоритм для проверки, является ли обратная связь стабилизирующей для исходной системы. Указанный алгоритм позволяет разрабатывать различные численные

процедуры поиска вектора стабилизирующей обратной связи. Это могут быть либо обычные сеточные методы поиска, либо методы интеллектуального поиска на множестве параметров обратной связи. В теореме 3.5 сформулировано достаточное условие существования статического регулятора, которое сводится к разрешимости некоторой системы линейных матричных неравенств.

В четвёртой главе для стабилизации переключаемой интервальной линейной системы предлагается использовать регулятор переменной структуры, каждый режим которого является стабилизатором для соответствующего режима переключаемой системы. При этом, основная проблема использования такого регулятора заключалась в том, что переключающий сигнал предполагается ненаблюдаемым. Для того чтобы использовать такой регулятор автором диссертации предложен подход, заключающийся в построении наблюдателя для переключающего сигнала, который позволяет синхронизировать переключения регулятора с переключениями режимов стабилизируемой системы. Для случая идеального наблюдателя (точно оценивает значения переключающего сигнала) предложена методика получения оценок времени задержки для обеспечения устойчивости переключаемой интервальной системы с устойчивыми режимами. Для случая неидеального наблюдателя в работе вводится понятие ошибки наблюдения. На основе этой ошибки наблюдения сформулировано и доказано достаточное условие устойчивости замкнутой переключаемой системы (теорема 4.4). Данная теорема устанавливает допустимое количество ошибок на некотором конечном промежутке, которое не нарушает устойчивость замкнутой переключаемой системы.

В заключении подводятся итоги проведённой работы и кратко формулируются основные результаты.

К работе имеется несколько замечаний:

1. В подведении итогов каждой главы автореферата допущены опечатки в ссылках на основные публикации автора.
2. В первой главе сформулировано достаточное условие существования стабилизирующего регулятора для исходной системы в случае, когда вектор e "точечный". При этом ничего не сказано о тех трудностях, которые не позволяют сформулировать аналогичный результат для общего случая.
3. Во второй главе работа программной реализации предполагает исследование стабилизируемости произвольной переключаемой системы второго порядка. Однако, в работе ничего не сказано о том, каким образом можно устанавливать для программного модуля различное число режимов переключаемой системы.
4. В четвертой главе предложен метод построения регулятора переменной структуры с использованием нейросети в качестве неидеального наблюдателя. Возникает

вопрос, в чем преимущество такого регулятора по сравнению, например, с классическим адаптивным регулятором.

Приведенные замечания не ставят под сомнение достоверность результатов диссертации и не влияют на её общую положительную оценку.

Диссертация Мосоловой Ю.М. удовлетворяет требованиям пп. 2.1-2.5 «Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова», предъявляемых к кандидатским диссертациям, а её автор Мосолова Юлия Михайловна заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.2 – «Дифференциальные уравнения и математическая физика».

Официальный оппонент:

Доктор физико-математических наук,
доцент кафедры дифференциальных уравнений
механико-математического факультета
ФГБОУ ВО «Московский государственный
университет имени М.В. Ломоносова»

Быков Владимир Владиславович

Контактные данные:

тел.: +7 (916) 349-53-84, e-mail: vvbykov@gmail.com

Специальность, по которой официальным оппонентом
защищена диссертация:

01.01.02 – «Дифференциальные уравнения, динамические системы и оптимальное управление»

Адрес места работы:

119234, Россия, г. Москва, Ленинские горы, д.1.
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
механико-математический факультет,
кафедра дифференциальных уравнений

Подпись сотрудника механико-математического факультета
Московского государственного университета
имени М.В. Ломоносова Быкова В.В. удостоверяю:

дата: 26.10.2024г.