

ОТЗЫВ официального оппонента
на диссертацию на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
Мосоловой Юлии Михайловны
на тему: «Стабилизация переключаемых систем в условиях
неопределенности»
по специальности 1.1.2 – «Дифференциальные уравнения и
математическая физика»

Актуальность темы исследования. В последние десятилетия можно отметить повышенный интерес к исследованию систем дифференциальных уравнений с разрывными правыми частями. Неполный, но внушительный список авторов работ по этой тематике приведен в диссертации и в автореферате диссертации Мосоловой Ю.М. Ее диссертационная работа посвящена исследованию задачи построения стабилизирующих регуляторов для переключаемых линейных интервальных систем при различных предположениях относительно этих переключаемых систем и регуляторов. Рассматривается случай, когда переключаемый сигнал зависит от времени и не доступен для наблюдения в процессе функционирования системы. Отметим, что переключаемые системы представляют собой разновидность гибридных систем, задаваемых некоторым семейством подсистем и логическим правилом, которое управляет переключением между этими подсистемами. Гибридная система – это динамическая система, эволюция которой определяется взаимодействием непрерывной динамики и дискретных событий и характеризуется непрерывным и дискретным состояниями. Переключаемые системы широко встречаются в прикладных проблемах управления механическими, электроэнергетическими системами, в управлении летательными аппаратами, технологическими процессами и во многих других областях теории автоматического управления. В диссертации Мосоловой Ю.М. наряду с переключаемыми системами, различные режимы которых имеют одинаковый набор переменных состояния, рассматривается также особый класс переключаемых систем, задаваемых режимами с разными размерностями вектора состояния. Такие системы характеризуются

разрывными траекториями и удобны для описания реальных процессов, при которых может происходить либо упрощение, либо усложнение соответствующей математической модели.

Интервальная неопределённость математической модели может возникнуть в случаях, когда нет возможности точно измерить параметры исследуемого объекта управления, а известны лишь диапазоны, в которых эти параметры лежат. В этом случае точное число заменяют интервальным числом, т.е. соответствующим диапазоном. В связи с этим, весьма актуальным представляется исследование автором переключаемых линейных систем, функционирующих в условиях интервальной неопределенности.

Поскольку любой управляемый процесс должен быть, прежде всего, устойчивым, а для переключаемых интервальных систем характерно неконтролируемое скачкообразное изменение динамики, решение задачи стабилизации для таких систем стоит особенно остро.

Широкое использование цифровых вычислительных устройств в системах управления техническими объектами объясняет важность задачи разработки методов построения дискретных регуляторов для непрерывных динамических систем. Решению именно этой задачи посвящена значительная часть диссертационной работы Мосоловой Ю.М.

Содержание и основные результаты диссертации. Диссертационная работа включает введение, 4 главы, заключение, список литературы по исследуемой тематике и 2 приложения.

В первой главе диссертации впервые предложен метод построения дискретного регулятора по выходу, который стабилизирует непрерывную переключаемую интервальную систему. Применяется подход, заключающийся в переходе от исходной непрерывной переключаемой системы к ее точной дискретной модели при условии, что на её входе используется фиксатор нулевого порядка. Важным результатом первой главы является разработанный Мосоловой Ю.М. метод построения интервального расширения для точной дискретной модели. Необходимость перехода к интервальному расширению объясняется тем, что структура полученной точной дискретной модели достаточно сложна для исследований. В основу полученного алгоритма перехода к интервальному расширению положен

метод внешнего оценивания пучка траекторий из работы Л.Т. Ащепкова и Д.В. Давыдова. Одним из основных результатов первой главы является достаточное условие устойчивости непрерывно-дискретной переключаемой интервальной системы, замкнутой дискретным динамическим регулятором. Доказательство данной теоремы основано на существовании общей квадратичной функции Ляпунова для вершинных систем замкнутой дискретной переключаемой интервальной системы. Данная теорема дает возможность строить численные процедуры для нахождения дискретного регулятора. Для некоторого частного случая теорема 1.10 дает достаточное условие существования стабилизирующего дискретного динамического регулятора, заключающееся в разрешимости системы нелинейных матричных неравенств. В основу доказательства данной теоремы положен результат работы Д.В. Баландина и М.М. Когана.

Во второй главе диссертации изложено решение задачи сверхстабилизации переключаемой интервальной линейной системы дискретным статическим регулятором. Основные шаги решения, связанные с дискретизацией исходной системы, совпадают с изложенными в первой главе для поиска динамического регулятора. Главным же отличием предложенного алгоритма является сведение задачи стабилизации переключаемой дискретной системы к задаче одновременной сверхстабилизации конечного набора дискретных режимов этой системы. Как известно, основная сложность, связанная с использованием одновременно стабилизирующих регуляторов для стабилизации переключаемых систем, заключается в том, что устойчивость каждого режима переключаемой системы является лишь необходимым, но не достаточным условием ее устойчивости. Но в случае, если одновременно стабилизирующий регулятор обеспечивает монотонность переходных процессов, замкнутых этим регулятором систем, то тогда он обеспечивает и устойчивость переключаемой системы при произвольных переключениях. Известно, что таким свойством обладает регулятор, обеспечивающий сверхустойчивость замкнутых им систем. Для численной реализации указанного подхода привлечены пакеты прикладной математики Matlab. В разделе 2.2 данной главы проиллюстрирован полученный результат на

конкретном численном примере.

В третьей главе решается более сложная задача, чем предыдущие, так как в ней рассматривается переключаемая интервальная система, при переключении режимов которой может скачкообразно меняться размерность вектора состояния и набор фазовых переменных. Относительно данной системы ставится задача стабилизации по состоянию с помощью статической обратной связи. Для решения указанной задачи Мосоловой Ю.М. введена необходимая терминология и достаточно подробно описано применение метода расширения динамического порядка для сведения данной задачи к задаче стабилизации переключаемой интервальной системы с режимами одинаковых порядков. Также в третьей главе для таких систем впервые получено конструктивное достаточное условие существования стабилизирующего регулятора в форме статической обратной связи по состоянию.

В четвертой главе также рассматривается задача стабилизации переключаемой интервальной системы по состоянию, но принципиальным отличием результата данной главы от предыдущих в том, что предлагается использовать переключаемый регулятор. Основная идея при этом состоит в построении стабилизирующих регуляторов для каждого режима с последующим синхронным переключением регулятора в зависимости от переключений в самой системе. Но так как основным предположением в работе является то, что переключающий сигнал не доступен для измерения в реальном времени, Мосоловой Ю.М. предлагается использовать наблюдатель активного режима, выходом которого является оценка неизвестного значения переключающего сигнала. В качестве такого наблюдателя автором предложено использовать нейронную сеть. Научную новизну здесь представляет результат, позволяющий на основе анализа ошибки наблюдения сделать выводы о стабилизирующих свойствах построенного регулятора.

Таким образом, диссертация Мосоловой Ю.М. является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи, имеющей важное прикладное значение. Достоверность результатов обеспечивается корректностью поставленной задачи и правильным использованием научных методов для достижения результата. В работе

доказано 23 новые теоремы. Их строгие математические доказательства потребовали от автора высокой квалификации в исследуемой области.

Приведенные выводы были апробированы Мосоловой Ю.М. во время выступлений на восьми международных и всероссийских научных конференциях. По теме диссертации ею опубликовано 7 научных статей в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ, из них одна написана ею без соавторов, а переводные версии 6 статей опубликованы в журнале, индексируемом в базах данных Web of Science и Scopus.

Работа выполнена на высоком научном уровне и хорошо структурирована. Стил ь изложения материала ясный и четкий. Автореферат соответствует требованиям и полностью отражает содержание диссертации.

По тексту диссертации имеются следующие замечания:

1. В разделе 1.1.2 главы 1 при формулировке необходимой терминологии для постановки задачи допущена опечатка. В фразе “расстояние между двумя соседними промежутками” должно было автор имел ввиду “расстояние между двумя соседними переключениями”.
2. В разделе 1.1.4 главы 1 автором не проанализировано, насколько грубыми могут оказаться оценки нижних и верхних границ диапазонов интервальных коэффициентов для построенного интервального расширения дискретной модели переключаемой системы. Этот вопрос может быть важен с точки зрения последующего решения задачи стабилизации.
3. В третьей главе для переключаемых интервальных линейных систем с режимами различных динамических порядков сформулировано достаточное условие существования стабилизирующего регулятора в форме статической обратной связи по состоянию, но при этом ничего не сказано про возможность получения такого же условия для случая динамического регулятора.

Вместе с тем, указанные замечания не влияют на общую положительную оценку работы и не умаляют значимости проделанного глубокого исследования.

Диссертационная работа Мосоловой Юлии Михайловны отвечает

требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует специальности 1.1.2 – «Дифференциальные уравнения и математическая физика» (физико-математические науки), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова. Диссертация также оформлена согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Таким образом, соискатель Мосолова Юлия Михайловна безусловно заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.2 – «Дифференциальные уравнения и математическая физика».

Официальный оппонент:

Доктор физико-математических наук,
профессор кафедры математического моделирования
Московского государственного технического
университета имени Н.Э. Баумана, доцент
Четвериков Владимир Николаевич

Контактные данные:

тел.: +7 (916) 306-60-46, e-mail: chetverikov.vl@yandex.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом
защищена диссертация:

05.13.01- Системный анализ, управление и обработка информации

Адрес места работы:

105005, Россия, г. Москва, 2-я Бауманская улица, 5, стр. 1.

Подпись сотрудника Московского государственного технического
университета имени Н.Э. Баумана
Владимира Николаевича Четверикова удостоверяю:

Дата 29.10.2024г.