

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИКИ



МЯСНИЦКАЯ УЛ., Д. 20, МОСКВА, РОССИЯ, 101000, ТЕЛ: 8 (495) 771-32-32, ФАКС: 8 (495) 628-79-31, E-MAIL: HSE@HSE.RU, WWW.HSE.RU
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: Б. ТРЕХСВЯТИТЕЛЬСКИЙ ПЕР., Д. 3, МОСКВА, РОССИЯ, 109028, ТЕЛ: 8 (495) 916-88-29, ФАКС: (495) 916-88-29
E-MAIL: INFO@MIEM.HSE.RU, WWW.MIEM.HSE.RU

МИЭМ

МОСКОВСКИЙ ИНСТИТУТ ЭЛЕКТРОНИКИ И МАТЕМАТИКИ
НАЦИОНАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
«ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИКИ»

08.09.2014 № 2.38.20-14/143

на № _____ от _____

«УТВЕРЖДАЮ»

Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики»
Московский институт электроники и математики
Заместитель директора
Доктор технических наук, профессор
В.Н. Азаров



ОТЗЫВ

ведущей организации

на диссертацию Селиванова Антона Антоновича «Адаптивное и робастное управление динамическими системами с запаздыванием на основе пассивации», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.01.09 – «Дискретная математика и математическая кибернетика»

Актуальность работы. Непрерывно расширяющаяся сфера применения систем автоматического управления есть результат, отражающий достижения в области науки и бурного развития различных технических средств. Практика и появляющиеся возможности технической реализации непрерывно "генерируют" новые или/и модифицируют старые постановки задач анализа и синтеза систем управления. В последний четверть века появился новый класс объектов с распределенной сетевой структурой. Особенностью таких объектов является неполнота информации о состоянии, параметрах и взаимодействии со средой. Кроме того, скорость передачи информации в таких структурах, как правило, ограничена и

вследствие этого возникают запаздывания в приеме, передаче и обработки информации.

Фундаментальные результаты в области теории систем с запаздыванием и теории адаптивных систем были получены во второй половине прошлого столетия. Однако появление новых задач с сетевой структурой требуют разработки новых подходов, расширяющих возможности общей теории систем управления. Этой актуальной проблеме и посвящена диссертация А.А. Селиванова «Адаптивное и робастное управление динамическими системами с запаздыванием на основе пассивации».

Цель диссертации состоит в построении и анализе регуляторов, обеспечивающих синхронизацию динамических сетей при наличии запаздываний в состояниях, измерениях и управлениях.

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи:

1. нахождение условия синхронизации сетей с запаздыванием с использованием децентрализованного адаптивного управления в условиях отсутствия возмущающих воздействий и при наличии ограниченных возмущений;
2. нахождение условия синхронизации сетей с использованием консенсусного регулятора по измерениям с запаздыванием;
3. получение условия стабилизации линейной стационарной системы с помощью адаптивного регулятора при наличии переменных запаздываний в измерениях и управлениях и проверка эффективности полученных теоретических результатов путем математического моделирования;
4. применение метода скоростного градиента к задаче параметрической настройки сети осцилляторов Ландау- Стюарта и исследование сходимости алгоритма в сети из четырех осцилляторов, соединенных в кольцо.

Методы исследования. Для достижения поставленной цели в работе применяются методы теории управления, к которым относятся методы исследования устойчивости систем с запаздыванием Ляпунова-Красовского и Ляпунова-Разумихина, метод скоростного градиента,.

Научная новизна представленных в диссертации исследований заключается в разработке адаптивного подхода к решению задач управления объектами, которыми являются сетевые системы с запаздыванием.

Теоретическая и практическая значимость полученных в работе результатов, обосновывают возможность применения адаптивных регуляторов в задачах стабилизации и обеспечения синхронизации сетевых систем различного физической природы при наличии запаздывания.

Достоверность полученных результатов диссертационных исследований определяется строгими доказательствами, опирающимися на методы теории устойчивости систем с запаздыванием и результатами соответствующего математического моделирования

Апробация работы. Основные положения диссертации прошли апробацию на научных симпозиумах, конференциях, семинарах различного уровня.

Публикации. Материалы диссертационной работы содержатся в 12 работах, в том числе в 7 опубликованных в изданиях из перечня изданий, рекомендованных ВАК РФ.

Структура и объем работы. Диссертация включает введение, 5 глав, заключения, списка литературы из 114 наименований источников отечественных и зарубежных авторов. Диссертация содержит 76 страниц машинописного текста.

Обзор диссертационной работы

Во введении дается обоснование актуальности темы диссертации и характеристика области исследований, а также приводится обзор научных результатов, непосредственно относящихся к теме работы. Формулируется

цель работы, и ставятся задачи, решение которых должно обеспечить достижения цели. Приводится краткое изложение содержания работы по главам.

Глава 1. Предварительные сведения

В этой главе приводятся вспомогательные сведения, относящиеся к системам с запаздыванием и необходимые для доказательств результатов исследований.

Глава 2. Децентрализованное адаптивное управление взаимосвязанными системами с запаздыванием

В этой главе диссертации рассматривается задача синхронизации с лидерами связанных систем Лурье с нелинейными системами, что отличает данную работу от многих других, с запаздыванием и без запаздывания. В разделе 2.3 сформулированы условия синхронизации и для заданных возможных значений запаздывания и ее производной найдены границы постоянных Липшица, при которых выполняются условия синхронизации. Приведен пример решения задачи синхронизации для системы из четырех стационарных объектов

Глава 3. Робастная синхронизация сетей с помощью консенсусного регулятора

В данной главе рассматривается задача синхронизации « N изолированных» линейных систем с запаздыванием «с помощью консенсусного регулятора», т.е. регулятора, управляющий сигнал которого строится как взвешенная сумма разностей выходов соседних узлов. Получены условия на локальную динамику подсистем и топологию сети, обеспечивающие синхронизацию при «достаточно малом запаздывании и достаточно большом коэффициенте усиления в консенсусном регуляторе».

Глава 4. Адаптивное управление с переменным запаздыванием в управлении и измерениях

В четвертой главе рассматривается задача адаптивной стабилизации линейной системы при наличии переменного неизвестного запаздывания в управлении и измерениях. Основным результатом, звучащий достаточно тривиально (стр.49. «...меньшее запаздывание приводит к большей допустимой области начальных значений системы и коэффициента усиления алгоритма адаптации»), получен с использованием функции Ляпунова-Красовского (4.10). В разделе 4.3 рассмотрена задача адаптивного управления стационарными линейными системами в сети с неполной информацией о состояниях и с запаздыванием в каналах связи (выход-регулятор, регулятор-объект). В качестве примера реализации полученных результатов приведено математическое моделирование системы управления «поперечного движения летательного аппарата».

Глава 5. Адаптивная синхронизация сети осцилляторов Ландау-Стюарта

В этой главе работы рассматривается сеть осцилляторов Ландау-Стюарта, описывающая слабо нелинейную динамику в окрестности точки бифуркации Андронова-Хопфа. Под задачей стабилизации системы понимается «асимптотическая устойчивость по Ляпунову». Для использования метода скоростного градиента в задаче адаптивного управления вводится квадратичный функционал вида (5.3) и его аналог (5.8). Результаты адаптивного управления сети из шести осцилляторов продемонстрированы путем математического моделирования. В разделе 5.3 рассмотрена задача адаптивной кластерной и фазовой синхронизации с функционалом (5.12). Приведены результаты численного моделирования фазовой и кластерной синхронизации в сети из шести осцилляторов.

В заключении приведены основные результаты диссертационных исследований, к которым относятся:

1. получены условия синхронизации сетей с запаздывающими нелинейными связями с помощью децентрализованного регулятора (теоремы 2.1-2.4);
2. для подобных сетей с ограниченными возмущениями предложен алгоритм адаптации, получены условия предельной ограниченности разностей состояний подсистем (теоремы 2.5, 2.6);
3. для сетей с липшицевыми нелинейностями получены условия синхронизации с помощью двух типов консенсусных регуляторов по выходам с переменным ограниченным запаздыванием (теоремы 3.1, 3.2);
4. получены условия стабилизации линейных систем с помощью адаптивного регулятора при наличии переменного неизвестного запаздывания в измерениях и управлении (теорема 4.1);
5. для линейных систем, адаптивно управляемых через сеть, получены условия на границы периода дискретизации и сетевых запаздываний, обеспечивающих асимптотическую устойчивость;
6. предложен алгоритм адаптивной подстройки фазы связей в сети осцилляторы, обеспечивающий устойчивость кластерных синхронных состояний;
7. проведено математическое моделирование управляемых сетей, подтверждающее эффективность теоретических исследований.

Замечания к диссертации

1. стр.11-12. Следовало бы сделать предположение о наблюдаемости и управляемости линейной системы (1.9).
2. стр.13-14. Нелинейная система «общего вида» (1.14) $x'(t) = f(t, x, \theta)$. Зависимость вектор функции f от времени означает изменение параметров этой вектор функции во времени, т.е. $f(\alpha(t), x(t), \theta(t))$, где $\alpha(t)$ – параметры, как правило, изменяются по неизвестному закону и принадлежат замкнутому ограниченному множеству. Тогда и

«неотрицательный целевой функционал» будет иметь вид $Q = Q(\alpha(t), \theta(t))$. Будет ли алгоритм вида (1.15) эффективен при действии параметрических возмущений $\alpha(t)$? Сказанное выше о вектор функции относится и к «кусочно-непрерывным по t » (стр.20 и далее) φ и ψ .

3. стр. 18. «Система (2.1) управляется не полностью....Поэтому цель управления, вообще говоря, не всегда может быть достигнута». В теории управления определение «управляется не полностью» нет. Нужно было сделать предположение об управляемости не стр. 12.

4. стр.19. «Замечание 2.3». О матрице Γ , определяющей скорость сходимости: «В то же время, $\theta(t)$ со слишком большими нормами могут привести к нежелательным колебаниям... ». Не точно. Тем более, что на стр.26 говорится, что «коэффициенты $\theta(t)$... могут уходить (!) на бесконечность: $\|\theta(t)\| \rightarrow \infty$ при $t \rightarrow \infty$ ».

5. стр.20, выражение (2.17) и далее. Очевидно, что λ есть $\text{Re}[\lambda]$.

6. стр.21, 23. Доказательство теорем 2.1 и 2.2 основано на положительности параметра « $\mu_\xi = \varepsilon_\xi - 2L_0\lambda_{\max}(P_\xi) - \bar{L}\lambda_{\max}(P_\xi) - \bar{M}\lambda_{\max}(P_\xi) > 0$ в силу неравенства (2.15)». Как получено это условие, следовало бы пояснить. Если воспользоваться выражением (2.15), то получается, что

$$\mu_\xi = \varepsilon_\xi - \left[\inf_{\xi \in E} \varepsilon_\xi \lambda_{\max}^{-1}(P_\xi) \right] \lambda_{\max}(P_\xi). \text{ Будет ли при этом } \mu_\xi > 0?$$

7. стр.20-25 (теоремы 2.1, 2.2, 2.3). «...стремление настраиваемых параметров $\theta(t)$ к постоянным значениям» справедливо, если функции φ и ψ (т.е. параметры этих функций) в явном виде не зависят от времени. Это обстоятельство и демонстрирует пример на стр. 29-32.

8. стр. 43. «Если выполнено Предположение 4.2, существуют P и k_0 , удовлетворяющие (1.12)». Параметры P и k_0 в правой части $V_0(x, k)$ никак

не связаны с Предположением 4.2. Выражение (1.12) не содержит параметра k_0 .

9. стр.51. «...применим полученные результаты к следующей модели поперечного движения летательного аппарата [45]». В терминологии теории и практики авиации такого определения углового движения летательного аппарата нет. Есть продольное и боковое движения.

10. стр.54. Какой смысл в задаче стабилизации («...будем понимать асимптотическую устойчивость по Ляпунову...»), вводя «простейшую целевую функцию» $Q_1(x(t),t)$ (5.3), зависящую в явном виде от текущего времени t ?

Общий вывод по диссертационной работе

Полученные в диссертации результаты являются новыми и имеют практическую значимость при решении задач управления и исследования устойчивости нелинейных динамических сетевых систем с запаздыванием. Разработанные методы применимы для исследования устойчивости и построения синхронизирующих и стабилизирующих управлений экологическими и экономическими процессами, механическими и робототехническими сетевыми системами.

Автореферат адекватно и достаточно полно отражает содержание диссертации.

Отмеченные выше замечания не снижают значимости работы и не влияют на общую положительную оценку диссертации.

Диссертационная работа Селиванова А.А. является законченным целостным научным исследованием и выполнена автором самостоятельно на достаточном научном уровне. Эта работа вносит существенный вклад в развитие методов адаптивного управления нелинейными динамическими сетевыми системами с запаздыванием и анализа их устойчивости.

Диссертационная работа «Адаптивное и робастное управление динамическими системами с запаздыванием на основе пассивации» удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым диссертациям по специальности 01.01.09 – «Дискретная математика и математическая кибернетика», а автор диссертации, Антон Антонович Селиванов, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по указанной специальности.

Работа А.А. Селиванова «Адаптивное и робастное управление динамическими системами с запаздыванием на основе пассивации» обсуждалась на заседании научного семинара кафедры кибернетика (Протокол № 1-09-14 от 09 сентября 2014 года)

Доктор технических наук, профессор,
зав. кафедрой «Кибернетика»



В.Н. Афанасьев