

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МАШИНОВЕДЕНИЯ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
(ИПМаш РАН)



В.О., Большой пр-т, д. 61, Санкт-Петербург, 199178  
Тел.: +7 (812) 321-47-78, факс: +7 (812) 321-47-71;

<https://ipme.ru>, e-mail: [ipmash@ipme.ru](mailto:ipmash@ipme.ru)

ОКПО 04850273 ОГРН 1037800003560 ИНН 7801037069 КПП 780101001

Исх.№ 125.10/118 от «10» июня 2016 г.



УТВЕРЖДАЮ

Директор

доктор технических наук

10.06.2016

В.А. Полянский

**ОТЗЫВ**

ведущей организации

федерального государственного бюджетного учреждения науки

Институт проблем машиноведения Российской академии наук

на диссертационную работу Хомутова Дмитрия Константиновича

«Методы согласования характеристик в многоагентных системах с запаздыванием и  
несвязной сетью»,

представленную на соискание ученой степени

кандидата физико-математических наук по специальности

2.3.1. «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика»

**Актуальность темы диссертационной работы**

Многоагентные системы с информационными влияниями занимают центральное место среди всех многоагентных систем, а анализ сходимости протоколов консенсуса в таких системах – одна из классических задач теории многоагентных систем. Однако в силу физических и прочих ограничений при передаче информации между агентами возникает запаздывание, что существенно усложняет поставленную задачу. Параметр запаздывания оказывает влияние как на устойчивость, так и на асимптотическое поведение многоагентных систем. При этом в общем случае сеть информационных влияний может быть несвязной, из-за чего теряется свойство достижимости консенсуса при любом векторе начальных значений. Таким образом, тема диссертационной работы является актуальной и важной для развития как теории многоагентных систем, так и теории устойчивости.

**Краткий анализ содержания диссертационной работы**

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, включающего 128 наименований. Диссертация изложена на 128 страницах основного текста, содержит 12 рисунков.

Во введении обоснована актуальность темы работы, сформулированы цель и задача исследования, представлены основные результаты работы, определены их научная новизна, теоретическая и практическая значимость.

**В первой главе** приведены основные определения и известные результаты из теории многоагентных систем. Приведен подробный обзор состояния современных исследований в области теории многоагентных систем с информационными влияниями: модели согласования характеристик с запаздыванием, условия устойчивости, асимптотическое поведение. Отдельно затронуты проблемы характеристики скорости сходимости в многоагентных системах с запаздыванием и достижения консенсуса в многоагентных системах с несвязной сетью.

**Во второй главе** разработан новый метод нахождения значения запаздывания в базовом протоколе управления в многоагентных системах с запаздыванием и действительным спектром соответствующей лапласовской матрицы, при котором достигается максимальная степень сходимости, что может привести к увеличению скорости сходимости. Данный метод использует  $W$ -функцию Ламберта и связывает полученное значение запаздывания со спектральными свойствами соответствующей лапласовской матрицы. С помощью операционного исчисления и алгебраической теории графов получено асимптотическое поведение базовой модели консенсуса с запаздыванием и условие достижения консенсуса. Доказано, что предельный вектор характеристик не зависит от параметра запаздывания, а найденное выражение обобщает полученные ранее результаты для многоагентных систем со связной сетью.

**В третьей главе** найдены условия независимости устойчивости от запаздывания и граничное значение запаздывания для обобщенного и дополненного протоколов консенсуса в многоагентных системах с частичным запаздыванием. Данные результаты были получены с помощью расширения метода Цыпкина анализа устойчивости систем с запаздывающей обратной связью, вследствие чего была установлена связь со спектральными свойствами соответствующих лапласовских матриц. Для рассматриваемых устойчивых протоколов получен метод вычисления предельных характеристик агентов, позволяющий установить условие достижения консенсуса.

**В четвертой главе** рассматриваются способы достижения консенсуса в многоагентных системах с несвязной сетью. Получена графовая интерпретация метода ортогональной проекции и показано, что данный метод является естественным обобщением базового протокола консенсуса. Для протокола латентного консенсуса со слабыми фоновыми связями и запаздыванием получены методы вычисления граничного значения запаздывания и предельных характеристик агентов. Доказано, что при применении данного протокола в многоагентных системах с запаздыванием и несвязной сетью достигается консенсус при любой постоянной функции, соответствующей начальным условиям.

**В заключении** сформулированы основные научные и практические результаты, полученные при выполнении диссертационной работы.

Диссертация написана грамотным языком, аккуратно оформлена с соблюдением четкой структурой изложения, приведены строгие математические доказательства полученных результатов. Результаты диссертационной работы изложены в 13 научных работах, в том числе 2 в рецензируемых изданиях, относящихся к категории К1 Перечня ВАК, 3 статьи в изданиях, индексируемых в международных базах данных, приравненных к журналам Перечня ВАК категории К1, и 8 публикаций в сборниках трудов международных и всероссийских конференций.

Содержание автореферата в полной мере соответствует содержанию диссертации.

#### **Научные результаты диссертационного исследования**

В диссертационной работе получены следующие основные результаты, обладающие научной новизной:

- 1) Разработан метод нахождения значения запаздывания, при котором достигается максимальная степень сходимости в базовом протоколе управления в многоагентных системах с запаздыванием с действительным спектром лапласовской матрицы. Найденное значение зависит только от минимального ненулевого и максимального собственных значений соответствующей лапласовской матрицы. Полученные результаты могут лежать в основе оценки скорости сходимости в многоагентных системах.



2) Получено условие независимости устойчивости от запаздывания и граничное значение запаздывания для протоколов управления в многоагентных системах с частичным запаздыванием, зависящие от спектральных свойств соответствующей лапласовской матрицы.

3) Проведен анализ асимптотического поведения и предложен метод вычисления предельных характеристик агентов в многоагентных системах с запаздыванием с помощью собственного проектора соответствующей лапласовской матрицы, что позволяет получить условие достижения консенсуса.

4) Приведена графовая интерпретация метода ортогональной проекции в общем случае с небазовыми агентами и получено представление выражения для консенсуса с помощью псевдообратной матрицы при его применении.

5) Проведен анализ протокола латентного консенсуса с добавлением слабых фоновых связей и предложен метод вычисления граничного значения запаздывания и предельных характеристик агентов в многоагентных системах с несвязной сетью и запаздыванием при любой постоянной функции, соответствующей начальным условиям.

#### **Соответствие паспорту специальности**

Научные результаты диссертационной работы соответствуют паспорту специальности 2.3.1 – «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика» по следующим пунктам:

1. Теоретические основы и методы системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта;

3. Разработка критериев и моделей описания и оценки эффективности решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта;

4. Разработка методов и алгоритмов решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта.

#### **Теоретическая и практическая значимость**

Диссертационное исследование содержит результаты, которые в основном имеют теоретическую значимость и развивают теорию многоагентных систем с информационными влияниями и запаздыванием. Например, полученные результаты могут быть применены при исследовании протоколов управления в многоагентных системах второго порядка, а также при исследовании систем с запаздыванием и устойчивой матрицей. Однако полученные в диссертационном исследовании результаты обладают и практической значимостью и могут быть применены при исследовании технических, социально-экономических и биологических систем.

#### **Замечания по диссертационной работе**

1. В условиях теоремы 2.2 можно рассмотреть более широкий класс функций, соответствующих начальным условиям.

2. Не приведен сравнительный анализ дополненного протокола из раздела 3.2 и протокола латентного консенсуса из раздела 4.2, хотя оба протокола приводят к консенсусу при любом векторе  $x_0$ .

3. В теореме 3.5 получено асимптотическое поведение дополненного протокола консенсуса для разных функций, соответствующих начальным условиям. Однако в схожих теоремах для остальных протоколов рассматривается лишь одна функция.

4. Возможно ли в теореме 4.3 уточнить с какой стороны стремится граничное значение запаздывания к значению, полученному в теореме 1.1?

Сделанные замечания не имеют принципиального характера и не влияют на общую положительную оценку работы.

#### **Заключение**

Диссертационная работа Хомутова Д.К. представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой решена актуальная научная задача согласования характеристик в многоагентных системах с запаздыванием и несвязной сетью и которая

вносит существенный вклад в развитие теории многоагентных систем с информационными влияниями.

На основании вышеизложенного следует, что диссертационная работа «Методы согласования характеристик в многоагентных системах с запаздыванием и несвязной сетью» соответствует требованиям Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Хомутов Д.К. заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 2.3.1. «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика».

Отзыв ведущей организации обсужден и одобрен на научном семинаре лаборатории «Адаптивное и интеллектуальное управление сетевыми и распределенными системами», протокол № 01/06 от «08» июня 2026 г.

Руководитель лаборатории «Адаптивное и интеллектуальное  
управление сетевыми и распределенными системами»,  
главный научный сотрудник  
ИПМаш РАН,  
доктор технических наук,  
профессор РАН



Фуртат Игорь Борисович

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт проблем машиноведения Российской академии наук»

Лаборатория «Адаптивное и интеллектуальное управление сетевыми и распределенными системами»

Адрес: Россия, 199178, Санкт-Петербург, Большой пр. ВО, дом 61

Официальный сайт: <https://ipme.ru/>

Телефон: +7 812 321-47-78

E-mail: [ipmash@ipme.ru](mailto:ipmash@ipme.ru)

Фуртат Игорь Борисович:

Телефон: +7-911-082-34-63

e-mail: [fib@ipme.ru](mailto:fib@ipme.ru)



*Фуртата И.Б.*

Помощник Директора

*И.Б. Андреева С.И.*

2026 г.