

ОТЗЫВ официального оппонента  
на диссертационную работу А.А. Селиванова  
«Адаптивное и робастное управление динамическими сетями 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 темы диссертационного исследования**

Тема диссертации А.А. Селиванова – сетевое децентрализованное управление – одна из самых популярных в современной теории управления. Направление, связанное с разработкой робастных и адаптивных процедур управления для моделей с запаздыванием, нелинейными связями и неполной информацией, относится к числу наиболее практически значимых и интересных. Диссертация А.А. Селиванова посвящена решению ряда задач, поставленных в рамках этого направления. Цель диссертационного исследования определена автором как «построение и анализ регуляторов, обеспечивающих синхронизацию динамических сетей при наличии запаздываний в состояниях, измерениях и управлениях».

### **Научная новизна и основные результаты исследования**

Научная новизна диссертации А.А. Селиванова заключается в том, что получены следующие оригинальные результаты.

1. Найдены условия синхронизации сетей идентичных систем Лурье с помощью децентрализованного адаптивного регулятора – в случаях мгновенных и запаздывающих нелинейных связей.

2. Для тех же сетей с ограниченными возмущениями предложен адаптивный закон управления с регуляризацией и получены условия предельной ограниченности разностей состояний подсистем.

3. В случае таких сетей с липшицевыми нелинейностями и ограниченным запаздыванием получены условия синхронизации для двух типов консенсусных регуляторов.

4. Найдены условия полуглобальной стабилизации линейных систем с помощью адаптивного регулятора на основе пассивации при наличии переменного запаздывания в измерениях и управлении.

5. Для линейных систем, адаптивно управляемых через сеть, получены условия на параметры дискретизации и запаздывания, обеспечивающие асимптотическую устойчивость.

6. Предложен алгоритм, основанный на методе скоростного градиента, для адаптивной подстройки фазы связей в сети осцилляторов Ландау-Стюарта; этот алгоритм обеспечивает устойчивость кластерных синхронных состояний.

Эти результаты, при получении которых использованы достижения ленинградской/санкт-петербургской школы автоматического управления, являются заметным продвижением в анализе и синтезе процедур сетевого управления.

### **Достоверность исследования**

Достоверность проведенного автором исследования обеспечена строгостью доказательств полученных результатов и дополнительно подтверждена численным моделированием динамики ряда изучаемых систем.

### **Особенности исследования**

Математический уровень работы – очень высокий. Для нее характерны строгость, четкость и лаконичность. Постановки задач зачастую более общие, чем в большинстве известных работ, в частности, за счет рассмотрения целых классов нелинейностей. Формулировки выводов содержат ссылки на номера теорем и работы автора, где эти теоремы получены, что является признаком хорошего стиля. В целом диссертантом выполнено очень серьезное и качественное исследование.



## Замечания и рекомендации

По содержанию диссертации имеются следующие замечания.

1. Краткая первая глава посвящена изложению общих результатов, относящихся к системам с запаздыванием, а также описанию методов пассивации и скоростного градиента и используемых в доказательствах вспомогательных неравенств. Сведения о текущем состоянии исследований в сетевом управлении – области, к которой относится диссертация, – можно найти лишь в общем введении (5 страниц) и отдельных кратких замечаниях, сделанных по ходу изложения результатов диссертанта (напр., в главе 5). В целом работа, к сожалению, не дает достаточного материала для сравнения полученных результатов с достигнутым другими авторами при решении близких задач децентрализованного управления. Такое сравнение (например, в отношении результатов главы 3) было бы весьма полезно и позволило бы лучше оценить важность полученных продвижений и наметить направления дальнейших исследований.

По сетевому управлению в мире выходит порядка 2000 работ в год, и следить за всем этим потоком – практически неподъемная задача. Но отслеживать работы нескольких наиболее близких поднаправлений реально. В списке литературы диссертации – 114 работ, 102 из них – англоязычные, но бóльшая часть ссылок – в кратком общем введении. Автору можно порекомендовать в следующих его работах представить каждый из основных результатов на фоне «облака» работ, где решаются похожие задачи. Например, когда речь идет о консенсусных регуляторах с запаздыванием, имеет смысл обратить внимание на Münz U., Papachristodoulou A., Allgöwer F. Delay robustness in consensus problems // Automatica. 2010. V. 46. P. 1252-1265; относительно нелинейностей – на Hui Q., Haddad W. M., Bhat S.P. On robust control algorithms for nonlinear network consensus protocols // Intern. J. Robust Nonlin. Control. 2010. V. 20. P. 269-284 (можно взглянуть и Chopra N., Spong M.W. On exponential synchronization of Kuramoto oscillators // IEEE

Trans. Autom. Contr. 2009. V. 54, P. 353-357); в связи с дискретизацией – на Cao Y., Ren W. Sampled-data discrete-time coordination algorithms for double-integrator dynamics under dynamic directed interaction // Intern. J. Contr. 2010. V. 83. P. 506-515, на другие статьи и книгу тех же авторов; при рассмотрении систем с линейной динамикой общего вида – на Scardovi L., Sepulchre R. Synchronization in networks of identical linear systems // Automatica. 2009. V. 45, No. 11. P. 2557-2562 и др.; по ряду поднаправлений имеются и полезные обзоры.

2. Было бы интересно дать интерпретацию условиям теорем 3.1, 3.2 в случае ориентированного графа связей, а также, всегда, когда это возможно, – и другим условиям.

3. При чтении автореферата не совсем ясно, какие результаты получены в главе 5 (в которой нет теорем). Отмечено, что предложенные алгоритмы обеспечивают устойчивость кластерных синхронных состояний, но конкретный результат не сформулирован. В чем преимущества предложенной целевой функции? В завершение сказано, что «в качестве подтверждения работоспособности получаемых алгоритмов представлены результаты численного моделирования». Следовало бы яснее описать ситуацию с аналитическим подтверждением.

4. В диссертации и автореферате имеется несколько (меньше, чем обычно бывает) технических неточностей. Так, теорема 4.1 в автореферате обозначена как теорема 3.3. В разделе 1.1 говорится о «функциональном дифференциальном уравнении». Но функциональным принято называть уравнение, связывающее значения функции, которую нужно найти, при разных значениях аргумента. Замеченные опечатки не перечисляю; их мало.

Указанные замечания никоим образом не меняют общей высокой оценки данной диссертационной работы.



## Заключение

Диссертационная работа А.А. Селиванова представляет собой законченное научное исследование на актуальную тему, выполненное автором самостоятельно на высоком математическом уровне, и обладает бесспорной научной новизной. Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы.

Результаты должным образом опубликованы в научной печати; основное содержание диссертации отражено в 12 публикациях, в их числе 7 – в изданиях из перечня ВАК. Работа была представлена на самых престижных международных конференциях и отмечена рядом премий и стипендией Президента РФ.

Автореферат адекватно отражает основные результаты диссертации.

По моему мнению, данная диссертационная работа полностью отвечает требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней, а ее автор – Селиванов Антон Антонович – заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.01.09 – Дискретная математика и математическая кибернетика.

Г.н.с. ФГБУН Института проблем управления  
им. В.А. Трапезникова РАН, д.ф.-м.н.

П.Ю. Чеботарев

08.09.2014

Подпись

ЗАВЕРЯЮ

Зав. Общим отделом  
Довгоказ

