

ОТЗЫВ

члена диссертационного совета на диссертацию Волошина Михаила Витальевича на тему: «Анализ асимптотического поведения решений и синтез стабилизирующих управлений для нелинейных нестационарных разностных систем», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по научной специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (физико-математические науки).

В самом широком смысле диссертация посвящена качественному исследованию динамики нелинейных нестационарных разностных систем. В связи с возникновением нового технологического уклада с широким внедрением цифровой элементной базы в вычислительную технику и устройства управления актуальность темы диссертации не вызывает сомнений.

В более узком смысле диссертация посвящена исследованию нелинейных, нестационарных разностных систем по нелинейному приближению, которые описываются дискретной системой с обобщенно-однородной правой частью.

Диссертант во Введении достаточно подробно описывает историю вопроса, начиная с непрерывных систем обыкновенных дифференциальных уравнений с обобщенно-однородными правыми частями и выделяет идеи, которые потом используются им при доказательстве результатов, а именно, метод усреднения и метод функций Ляпунова. Основным методом, используемым диссертантом, это второй метод Ляпунова, который используется как при доказательстве результатов по равномерной асимптотической устойчивости, так и по равномерной диссипативности. Инструментом исследования является дискретный аналог второго метода Ляпунова. В работе рассматриваются те классы разностных систем, к которым не применима известная теорема об устойчивости по первому приближению.

В первой главе собраны все определения и результаты, необходимые для исследований, проведенных в диссертации. Во второй главе описаны классы обобщенно-однородных последовательностей, который затем использованы в последующих главах и излагаются формулировки и доказательства 9 лемм о свойствах этих последовательностей. В результате доказана Теорема 2.1 об эквивалентности 5-ти наборов условий для равномерной ограниченности и равностепенной непрерывности последовательностей обобщенно-однородных функций на любом непустом замкнутом множестве. Далее определяются достаточные условия равномерной асимптотической устойчивости нулевого решения на основании того, что нулевое решение усредненной системы асимптотически устойчиво, и равномерной диссипативности нестационарной разностной системы. Отметим, что предшествующими исследователями условия равномерной диссипативности были сформулированы только для специальных классов дискретных систем. Центральное место здесь занимает Теорема 2.2, которая в дальнейшем неоднократно используется в диссертации.

Далее в главе 3 решается нетривиальная задача построения стабилизирующих управлений для нестационарных разностных систем, обеспечивающих, кроме того, равномерную диссипативность. Закон управления строится в классе обобщенно-однородных функций. Рассматривается цепь последовательно соединенных интеграторов. На основании Теоремы 2.2 доказаны две теоремы о равномерной диссипативности с использованием неявных функций Ляпунова. В качестве приложений изучается дискретный аналог уравнения Релея. Не остался без внимания вопрос, когда у нестационарной разностной системы измеряется только часть переменных состояния, то есть она не наблюдаема по части переменных. Здесь системы с однородными и линейными правыми частями, для них тоже получено стабилизирующее управление, обеспечивающее равномерную диссипативность.

В 4-ой главе рассматриваются нестационарные системы разностных уравнений, у которых в правых частях стоят линейные комбинации фазовых переменных, причем степени — это рациональные числа с нечетными числителями и знаменателями. Функции Ляпунова строятся автором по уже отработанной им схеме на основании усредненной системы. Оценка приращения функции Ляпунова в силу системы приводит к достаточным условиям равномерной асимптотической устойчивости решений и равномерной диссипативности, рассматриваемого класса систем.

В заключительной 5-ой главе излагаются результаты, касающиеся систем с переключением или, иначе, гибридных систем. Для ранее не рассматривавшихся классов таких систем, получены условия глобальной асимптотической устойчивости. Предполагается, что в бесконечном множестве переключений правых частей разностных уравнений моменты переключения известны, а их порядок нет. Нелинейности удовлетворяют ограничениям секторного типа. Особо отметим, что строится общая для всех подсистем функция Ляпунова. Далее при аналогичном в целом подходе для решения поставленных задач рассматриваются системы разностных уравнений с линейными оценками и со степенными оценками на правые части уравнения системы. Так же рассматриваются системы с насыщением. В системах последнего вида правые части — это функции с насыщением, интегралы от которых имеют оценки сверху и снизу вида модуль координаты в степени < 2 . Доказана теорема о достаточных условиях на закон переключения для асимптотической устойчивости в целом, а равномерная асимптотическая устойчивость вытекает, как следствие этой теоремы. В Заключении еще раз перечислены результаты, выносимые на защиту.

Диссертант знаком со всем современным арсеналом методов построения функции Ляпунова для разностных систем. Все доказанные автором теоремы снабжены подробно рассмотренными примерами с рисунками в пространстве переменных и графиками норм полученных решений. Вопросы, рассматриваемые в диссертации, относятся к категории тонких вопросов качественной теории разностных систем. Диссертант в них хорошо разобрался и сумел получить новые результаты и усовершенствовать существующие.

Список литературы правильно отражает современное состояние рассматриваемой тематики. Все результаты автора, приведенные в диссертации опубликованы, в том числе шесть работ в изданиях рекомендованных ВАК.

Результаты диссертации имеют теоретический характер, но в диссертации рассмотрены также математические модели, используемые в теории автоматического регулирования и в нейронных сетях. В целом диссертация является законченным научным трудом. Все результаты строго математически доказаны, ошибок в доказательствах не обнаружено. Следует сделать следующие замечания:

1. В формулировке леммы 2.3 нужно напомнить, что $0 < r_1 \leq r_2$;
2. В формулировке леммы 2.7 целесообразно указать, как связаны величины r_0, r_1 и r_2 ;
3. В формулировке теоремы 5.1 нужно указать, чем характеризуется величина h_0 ;
4. Выбрана форма изложения материала, когда сначала излагаются все вспомогательные факты и предположения, а потом в доказательствах на все это идут ссылки. Очевидно, что это уменьшает объем текста, но затрудняет изучение материала.

Сделанные замечания несколько не снижают значимость полученных диссертантом результатов.

Диссертация Волошина Михаила Витальевича на тему: «Анализ асимптотического поведения решений и синтез стабилизирующих управлений для нелинейных нестационарных разностных систем» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 01.09.2016 № 6821/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», соискатель Волошин Михаил Витальевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по научной специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (физико-математические науки). Пункт 11 указанного Порядка диссертантом не нарушен.

Член диссертационного совета

Доктор физ.мат. наук, профессор,

профессор кафедры Высшей математики СПбГУ



Камачкин А.М.

26.04.2021