**Наименование проекта:** Разработка методов синтеза интеллектуальных алгоритмов управления и оценки состояния нелинейных динамических систем с использованием объединенного принципа максимума

**Наименование заказчика:** ФГБУ «Российский фонд фундаментальных исследований» (РФФИ)

**№ Соглашения или Договора:** 18-01-00385\20

**Сроки выполнения:** 07.02.2018-26.12.2020

**Наименование этапов работ и что по ним выполнено:**

Достижение цели Проекта основано на использовании объединенного принципа максимума для получения структур управляемых многорежимных динамических систем с точностью до синтезирующей функции. Процедура ее построения требует анализа структуры фазового пространства и условий трансверсальности на поверхности переключения. В результате получены квазиоптимальные решения задачи синтеза управлений. Интеллектуализация на основе инструментов нечетко-логического вывода осуществляется за счет использования новых структурных элементов, что составляет отличие предлагаемых интеллектуальных алгоритмов от известных. Применение поэтапной оптимизации позволяет использовать в основе решения задач оценки параметров состояния управляемых динамических систем адаптивные модели. Это обеспечивает интеллектуализацию измерительных систем на базе адаптации к возникающим нестационарным внешним возмущениям.

По результатам исследований получены следующие новые научные результаты:

1. Метод синтеза управлений многорежимными динамическими системами на основе объединенного принципа максимума, отличающийся от известных за счет учета инерционности объекта управления и регулятора системы на основе использования принципа Гамильтона-Остроградского.

2. Метод синтеза алгоритмов оценки в условиях нестационарных возмущений, отличающийся от известных новой математической моделью динамических процессов, построенной с применением разработанных законов управления.

3. Метод синтеза интеллектуальных управлений, отличающийся от известных использованием объединенного принципа максимума для построения TS-модели типа MISO.

4. Метод интеллектуализации измерительных процедур на основе процедуры поэтапной оптимизации, отличающийся от известных использованием объединенного принципа максимума при синтезе адаптивной математической модели измерительного процесса.

5. Метод синтеза квазиоптимальных многорежимных законов управления, который отличается использованием условий максимума функции обобщенной мощности и трансверсальности, что обеспечивает формирование оригинальной базы правил для TS-модели типа MISO.

6. Метод квазиоптимального синтеза адаптивных алгоритмов оценки параметров динамических систем, отличающийся от известных за счет использования условий максимума обобщенной мощности и стационарности инвариантов движения для модели оцениваемой системы.

7. Научно-обоснованные рекомендации по применению синтезированных новых алгоритмов управления и оценки, полученные на основе математического моделирования.

Всего по результатам исследований опубликовано и принято в печать 11 наиболее значимых работ: 6 статей в журналах из перечня ВАК (одна из которых принята в печать, справка приложена к копии публикации) и 5 в изданиях, индексируемых в международной базе Scopus (WoS) (одна из которых принята в печать, копия личного кабинета Easy Chair прикреплена, работа рекомендована к публикации в журнале Symmetry (2-ой квартиль)). Заявлено 3 статьи в журналах из перечня ВАК и 3 в изданиях, индексируемых в международной базе Scopus (WoS). Таким образом, поставленные цели и заявленные результаты достигнуты.

**Перечень основных публикаций по результатам работ**:

1. Костоглотов А. А., Лазаренко С. В., Агапов А. А., Лященко З. В. Анализ эффективности многорежимного управления с нелинейной коррекцией на основе структурного синтеза с использованием асинхронной вариации расширенного функционала. 2020. – 6. – 1, 115–119.
2. Агапов А. А., Костоглотов А. А., Лазаренко С. В., Лященко З. В. Анализ эффективности закона управления с нелинейной коррекцией на основе объединенного принципа максимума в задаче управления системой обратного маятника. 2020, 1, 14–17.
3. Костоглотов А. А., Лазаренко С. В., Агапов А. А., Лященко З. В. Синтез квазиоптимальных многорежимных законов управления на основе условия максимума функции обобщенной мощности и условия трансверсальности. Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения, 2020.
4. Andrey Kostoglov, Sergey Lazarenko, Igor Nikitin, Alexander Agapov. Method for the quasi-optimal synthesis based on asynchronous variation with the construction of TS-model of the MISO type. Journal of Physics: Conference Series, 2020.
5. Kostoglotov Andrey, Penkov Anton, Lazarenko Sergey. Quasi-optimal synthesis of an adaptive filter in the problem of estimating the state of dynamic systems. E3S web of conferences, 2020, 210, 01002.
6. Костоглотов А. А., Андрашитов Д. С., Лазаренко С. В. Метод синтеза интеллектуальных управлений на основе анализа поведения динамических мер на гиперповерхности переключения в областях фазового пространства с нечеткими границами. Нейрокомпьютеры: разработка, применение, 2020. – 22. – 1, 46–54.
7. Kostoglotov Andrey A., Agapov Alexander A., Lazarenko Sergey V. Method for Synthesis of Intelligent Controls Based on Fuzzy Logic and Analysis of Behavior of Dynamic Measures on Switching Hypersurface. Advances in Intelligent Systems and Computing, 2020, 1156, 531-540
8. Агапов А. А., Лященко З. В., Костоглотов А. А., Мамай В. И. Применение методов нелинейной коррекции в задачах управления неустойчивым объектом. 2019, 1, 89–92.
9. Kostoglotov A. A., Lazarenko S. V., Pugachev I. V. Method of synthesis of multi-mode control under the expected uncertainty using the analysis of the phase-space decomposition on the basis of the generalized power maximum condition. AIP Conference Proceedings, 2019, 030005.
10. Костоглотов А. А., Агапов А. А., Пеньков А. С., Лосев В. А., Лазаренко С. В., Кузнецов А. А. Метод интеллектуализации измерительных процедур на базе использования адаптивных моделей динамических процессов объединенного принципа максимума и теории регуляризации. Инженерный вестник Дона, 2019, 9.
11. Агапов А. А., Костоглотов А. А., Лазаренко С. В., Лященко А. М., Лященко З. В. Анализ и синтез нелинейных многорежимных законов управления с использованием объединенного принципа максимума. Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения, 2019, 1, 119–125.
12. Кириллов И. Е., Агапов А. А. Синтез интеллектуальных управлений на основе анализа динамических мер на гиперповерхности переключения в фазовом пространстве с нечеткими границами. Vestnik molodëžnoj nauki Rossii, 2019, 4.
13. Лазаренко С. В., Салих Б. А., Гежа И. В. Интеллектуальный итеративный алгоритм обработки измерительной информации. 2019, 1, 72.
14. Агапов А. А., Костоглотов А. А., Лазаренко С. В. О синтезе многорежимных инерционных регуляторов на основе объединенного принципа максимума. Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения, 2018. – 69. – 1. – С. 152–159.
15. Костоглотов А. А., Корнев А. С., Лазаренко С. В., Пугачев И. В. Метод синтеза алгоритмов оценки при нестационарных возмущениях измерительных процессов методом объединенного принципа максимума. Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения, 2018. – 70. – 2, 148–154.
16. Костоглотов А. А., Лазаренко С. В., Пугачев И. В., Ячменов А. А. Synthesis of Intelligent Discrete Algorithms for Estimation with Model Adaptation Based on the Combined Maximum Principle. Advances in Intelligent Systems and Computing, 2019, 874, 116-124
17. Дерябкин И. В., Костоглотов А. А., Манаенкова О. Н. Об особенностях численных алгоритмов решения некорректных задач идентификации параметров динамических систем. Тезисы докладов ХХII Всероссийской конференции «Теоретические основы и конструирования численных алгоритмов решения задач математической физики», посвященной памяти К. И. Бабенко, 2018, 55–56.
18. Кузнецов А. А., Костоглотов А. А., Лазаренко С. В. Синтез интеллектуальных управлений лагранжевыми системами на основе объединенного принципа максимума. Воронежский научно-технический вестник, 2018, 25 - 3, 56-60.
19. Медведев Я. В., Лосев В. А., Ценных Б. М. Синтез терминальных систем управления с использованием энергии ускорений. Транспорт: наука, образование, производство: сб. ст. по материалам междунар. науч.-практ. конф., 2018, 3, 138-141.

**Перечень конференций:**

1. Международная научно-практическая конференция «Транспорт: наука, образование, производство», 17 апреля 2018 г., г. Ростов-на-Дону, Россия; секционный доклад; Медведев Я.В.

2. Всероссийская конференция «Теоретические основы и конструирование численных алгоритмов решения задач математической физики», 3-8 сентября 2018 г., г. Новороссийск, Абрау-Дюрсо, Россия; секционный доклад; Дерябкин И.В., Костоглотов А.А.

3. 3rd International Scientific Conference “Intelligent Information Technologies for Industry”, September 17-21, 2018, Sochi, Russia; секционный доклад; Костоглотов А.А., Лазаренко С.В.

4. Международная научно-практическая конференция «Транспорт: наука, образование, производство», 23 – 26 апреля 2019 г., г. Ростов-на-Дону, Россия; секционный доклад; Агапов А.А., Костоглотов А.А.

5. 4rd International Scientific Conference “Intelligent Information Technologies for Industry”, December 2 – 7, 2019, Ostrava-Prague, Czech Republic; секционный доклад; Костоглотов А.А., Лазаренко С.В., Агапов А.А.

6. International Scientific-Technical Conference "Dynamics of Technical Systems", September 11-13, 2019, Rostov-on-Don, Russia; секционный доклад; Костоглотов А.А., Лазаренко С.В.

7. XVII Всероссийская научная конференция «Нейрокомпьютеры и их применение», 19 марта 2019 г., г. Москва, Россия; секционный доклад; Лазаренко С.В.

8. International Scientific-Technical Conference "BIG DATA & AI CONFERENCE", September 17-18, 2020, Moscow, Russia; секционный доклад; Агапов А.А., Костоглотов А.А., Лазаренко С.В.

9. VIII International Scientific and Practical Conference "Innovative technologies in science and education", August 19-30, 2020, Divnomorskoe, Russia; секционный доклад; Костоглотов А.А., Лазаренко С.В.

10. VII Международная научно-практическая конференция "Современные тенденции развития и перспективы внедрения инновационных технологий в машиностроении, образовании и экономике", 16-17 мая 2020 г., г. Азов, Россия; секционный доклад; Агапов А.А., Костоглотов А.А., Лазаренко С.В.

11. Международная научно-практическая конференция "Транспорт: наука, образование, производство", 20-22 апреля 2020 г., г. Ростов-на-Дону, Россия; секционный доклад; Агапов А.А., Костоглотов А.А., Лазаренко С.В.