

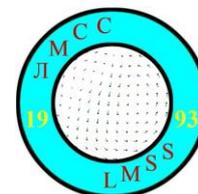
УДК 550.388.2

О лаборатории моделирования самоорганизующихся систем

Крот Александр Михайлович

*заведующий лабораторией самоорганизующихся систем,
доктор технических наук, профессор
E-mail: alxkrot@newman.bas-net.by*

Лаборатория моделирования самоорганизующихся систем (ЛМСС) создана доктором технических наук А. М. Кротом 1 апреля 1993 г. на базе группы ученых из лаборатории имитационного моделирования, занимающихся анализом и моделированием дискретных динамических систем. ЛМСС – структурное подразделение ОИПИ НАН Беларуси, специализирующееся в области разработки и исследования моделей сложных динамических систем и процессов самоорганизации.



В течение всего периода своей деятельности в ЛМСС трудились от 6 до 15 научных сотрудников, в том числе один доктор наук (заведующий лабораторией, д-р техн. наук, профессор А. М. Крот) и восемь кандидатов наук (вед. науч. сотр., канд. техн. наук Е. Б. Минервина; науч. сотр., канд. техн. наук Б. Х. Абдурахманов; ст. науч. сотр., канд. физ.-мат. наук В. Ф. Дайлюденко; ст. науч. сотр., канд. техн. наук В. М. Демко; ст. науч. сотр., канд. техн. наук М. Н. Долгих; науч. сотр., канд. физ.-мат. наук Н. А. Романовская; науч. сотр., канд. физ.-мат. наук В. А. Балдин; ст. науч. сотр., канд. техн. наук Г. А. Прокопович).

Указом Президента Республики Беларусь от 25 июля 2013 г. д-р техн. наук, профессор А. М. Крот был назначен на должность Первого заместителя Председателя ВАК, в которой работал до 25 июля 2016 г., одновременно оставаясь заведующим ЛМСС на общественных началах. В связи с необходимостью дальнейшего развития информационных технологий в области робототехники 18 ноября 2013 г. в ЛМСС был создан сектор «Робототехника». В его состав вошли три научных сотрудника ЛМСС, имеющих профильное инженерное образование в области разработки робототехнических комплексов. В декабре 2017 г. группа сотрудников сектора «Робототехника» выделилась в самостоятельную лабораторию робототехнических систем (заведующий лабораторией В. А. Сычев).

В настоящее время в ЛМСС работают восемь сотрудников: заведующий лабораторией, д-р техн. наук, профессор А. М. Крот; ст. науч. сотр., канд. техн. наук В. М. Демко; аспирант А. С. Шапкин; магистрант И. Э. Савиных; инженеры-программисты М. О. Фомин, А. С. Крамич, Е. И. Пехота и В. О. Басацкий.

Основные направления деятельности. Основным научным направлением ЛМСС является разработка и исследование моделей сложных динамических систем и процессов (нелинейных динамических систем с процессами самоорганизации). Реализация этого научного направления приводит к решению ряда задач:

- исследование фундаментальных вопросов и развитие теоретических основ сложных (самоорганизующихся) систем;
- разработка и исследование моделей сложных динамических систем, полученных на основе методов математического и имитационного моделирования;
- синтез новых алгоритмов нелинейного анализа и идентификации состояний сложных динамических систем;
- создание и развитие математических методов моделирования активных сред (в частности, космических газопылевых сред, аэрогидродинамических потоков, потоков заряженных частиц в ионосферной плазме, электрических импульсов в нервных волокнах) для исследования общих закономерностей возникновения, формирования и развития в них самоорганизующихся структур;

– разработка эффективных алгоритмов моделирования динамического поведения, диагностики и предсказания состояний сложных динамических объектов в машиностроении, космических исследованиях и медицине.

В настоящее время в ходе решения перечисленных задач выполняются следующие прикладные стратегические исследования:

– разработка методов и программно-аппаратных средств изучения волновых процессов и явлений в ионосфере с использованием зондирующих радиосигналов от спутниковых систем;

– разработка алгоритмических и программных средств автоматизированных систем управления динамическими испытаниями изделий машиностроения, а также автоматизированных систем цифровой обработки сигналов и изображений, внедренных на предприятиях России и Беларуси (1993–2002);

– развитие и применение компьютерных технологий численного моделирования и виртуального анализа аэрогидродинамических и электродинамических процессов в проточных частях реальных и проектируемых изделий машиностроения (2003–2016);

– разработка алгоритмических и программных средств анализа и моделирования волновых процессов и явлений в ионосфере на основе цифровой обработки зондирующих радиосигналов от спутниковых космических систем (2017–2026).

Основные научные результаты.

1. Разработана статистическая теория формирования гравитирующих космогонических тел, в рамках которой предложены модели и эволюционные уравнения статистической механики формирования гравитирующих космогонических тел:

– решена известная проблема гравитационной конденсации бесконечной распыленной космической материи на основе предложенной статистической модели антидиффузионного процесса, позволившая разрешить гравитационный парадокс для бесконечных однородных космических сред. Известно, что теория гравитационной неустойчивости Джинса не объясняет причину достижения критического значения длины волны возмущения, т. е. сам механизм возрастания длин волн возмущений в покоящейся однокомпонентной газовой среде. Между тем предложенная статистическая модель показала, что гравитационная неустойчивость газопылевого облака возникает в связи с возрастанием плотности массы конденсационных возмущений однокомпонентной космической газовой среды;

– в рамках разработанной статистической модели антидиффузионного процесса предложен новый закон распределения планетарных расстояний в Солнечной системе в зависимости от среднего значения удельного момента импульса сплошной среды в допланетном облаке. Предложенный закон обобщает знаменитый закон академика О. Ю. Шмидта. Кроме того, по сравнению с другими известными законами планетарных расстояний новый закон дает достаточно хорошую оценку наблюдаемых планетарных расстояний в Солнечной системе;

– выведено нелинейное времязависимое Шредингер-подобное волновое уравнение, описывающее возникающие нелинейные явления вследствие процессов самоорганизации в формирующемся космогоническом теле;

– выведен и обоснован закон звездного мироздания для внесолнечных планетарных систем, связывающий температуру, размер и массу каждой звезды. Анализ модифицированного закона звездного мироздания показал, что большая часть звезд соответствует категории идеальных (или классических) звезд (соответственно, внесолнечных планетарных систем) вне жесткой зависимости от их принадлежности к спектральным классам O, B, A, F, G, K, M, хотя имеется некоторая погрешность оценивания параметров звезд, зависящая от их спектральной принадлежности: наблюдается более низкая точность модифицированного закона звездного мироздания либо для очень ярких звезд, принадлежащих к спектральным классам высших порядков O, B и A, либо для наиболее тусклых звезд, принадлежащих к нижнему спектральному классу M или классу красных гигантов;

– выведен и обоснован комбинированный закон звездного мироздания и третьего закона Кеплера для внесолнечных планетарных систем и дана оценка на его основе параметров планетарных орбит;

– разработаны аналитические модели (конгломерационная модель «холодного синтеза» и термоэмиссионная модель «горячего синтеза») формирования протопланет в Солнечной и внесолнечных системах. Новая термоэмиссионная модель «горячего синтеза» объясняет известный парадокс Тер Хаара о неравномерном распределении момента импульса в нашей Солнечной системе.

2. Предложена теория матричной декомпозиции хаотических аттракторов в пространстве состояний сложных динамических систем, в рамках которой разработаны новые методы нелинейного анализа динамических систем:

– выведены аналитические выражения для декомпозиции операторов нелинейной динамической системы на основе векторно-матричных рядов в пространстве состояний;

– дается представление оператора сдвига по траекториям нелинейной динамической системы через соответствующие операторы сдвига по траекториям многомерных линейных динамических систем;

– развит количественный анализ известных аттракторов (Лоренца, Энона, Рёсслера, Фитц-Хью, Чжуа и др.) сложных динамических систем на основе предложенных матричных рядов;

– представлен метод оценивания характеристических показателей Ляпунова на основе теорий матричной декомпозиции;

– выполнен анализ динамических состояний нейронной сети Хопфилда с использованием матричной декомпозиции.

3. Разработан алгоритм определения минимальной размерности вложения аттрактора нелинейной динамической системы посредством локально-топологического анализа фазовых траекторий. Сформулированы необходимые и достаточные условия существования топологической стабилизации для исследуемого аттрактора, показана эффективность представленного алгоритма в вычислительном аспекте (в среднем на порядок) по сравнению с известными корреляционно-топологическими алгоритмами (Грассберга – Прокаччиа, Шустера и др.).

4. Разработан оригинальный подход к распознаванию хаотических сигналов с использованием нелинейной декомпозиции сигналов посредством оценивания ядер Винера. В частности, предложено новое решение проблемы распознавания речевых фонем на основе расчета ядер Винера и синтезирована структура банка цифровых нелинейных фильтров для распознавания речевых фонем.

5. Построена новая аналитическая модель, основанная на системе нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений и описывающая переход от ламинарного режима к турбулентному через периодический, а также возникающие при этом переходы динамические состояния жидкости в гидродинамической системе Куэтта – Тейлора (вращающихся коаксиальных цилиндров). Показано ее применение для исследования аэродинамических режимов функционирования роторных механизмов в проточных частях машиностроительных конструкций.

6. Разработана эволюционная модель хаотических волновых процессов в сложных динамических системах на основе теории матричной декомпозиции операторов нелинейных систем. Предложенная модель показала, что эффект самоорганизации в сложных системах различной физической природы заключается во взаимодействии нелинейных процессов высших порядков, приводящем к стабилизации (к конечной величине) амплитуды хаотического волнового процесса. Математически это выражается в синхронном «противодействии» нелинейных процессов четных и нечетных порядков. Векторно-матричная модель позволила найти более общие условия возникновения и эволюции хаотических волновых процессов по сравнению с моделью начальной турбулентности Л. Д. Ландау и, как следствие, объяснить возникновение согласованных нелинейных явлений в сложных системах.

Завершенные разработки.

1. Алгоритмические и программные средства цифровой спектральной обработки сигналов и изображений внедрены в состав автоматизированных систем:

– управления динамическими испытаниями машиностроительных конструкций на Волжском автомобильном заводе «АвтоВАЗ» (Тольятти);

– цифровой фильтрации, сжатия и корреляционно-экстремальной привязки полутоновых изображений в НПО «Точные приборы» и НПО «Геофизика» (Москва);

– двумерного цифрового спектрального анализа радиоастрономических изображений в Институте прикладной астрономии (Санкт-Петербург);

– спектральной обработки информации в реальном масштабе времени в НИИ «Алгоритм» УзНПО «Кибернетика» (Ташкент).

2. Развитие и применение компьютерных технологий численного моделирования и виртуального анализа аэрогидродинамических процессов в проточных частях реальных и проектируемых изделий машиностроения, внедренных на промышленных предприятиях Республики Беларусь:

– программное обеспечение вычислительной аэродинамики для компьютерного моделирования течений воздушных и газовых потоков в корпусах турбокомпрессоров ТКР6 и ТКР9 на РУП «Борисовский завод агрегатов»;

– программное обеспечение вычислительной аэродинамики для компьютерного моделирования движения технологической массы (твердых частиц) в воздушных потоках внутри механизмов кормоуборочного комбайна КВК-800 на РКУП «ГСКБ по зерноуборочной и кормоуборочной технике» (Гомель);

– программное обеспечение вычислительной гидродинамики для компьютерного моделирования на вращающихся расчетных сетках гидродинамических потоков, возникающих в рабочей области гидротрансформатора ТГД-340А на ОАО «Амкодор» (Минск);

– программное обеспечение вычислительной аэродинамики для компьютерного моделирования и анализа потоков сплошной среды с целью совершенствования системы очистки зерна и транспортировки зерновой массы в зерноуборочном комбайне КЗС-1218 на РКУП «ГСКБ по зерноуборочной и кормоуборочной технике» (Гомель);

– программное обеспечение вычислительной гидродинамики для компьютерного моделирования пароводяных потоков внутри рабочей камеры микротурбины и оценивания коэффициента полезного действия с целью усовершенствования конструкции турбоагрегата Р-0,25–1,4–25–250/0,6 на ООО «Промпривод» (Минск);

– программное обеспечение вычислительной аэродинамики для компьютерного моделирования и анализа потоков частиц в сплошной среде с целью совершенствования молотильно-сепарирующего устройства и транспортировки зерновой массы в зерноуборочном комбайне на РКУП «ГСКБ по зерноуборочной и кормоуборочной технике» (Гомель).

Для демонстрации результатов деятельности и поиска новых партнеров ЛМСС принимала участие в международных специализированных выставках: MILEX-2005, ТИБО-2007 (с экспонатом «Вычислительная аэрогидродинамика проточных частей машиностроительных конструкций»), MILEX-2017, а также в Молодежном инновационном форуме «ИНТРИ»–2010 (с экспонатом «Разработка интеллектуальной системы управления мобильным роботом для мониторинга помещений»).

3. Разработка алгоритмических и программных средств анализа и моделирования волновых процессов и явлений в ионосфере на основе цифровой обработки зондирующих радиосигналов от спутниковых космических систем.

С 2017 г. в ЛМСС развивается новое научное направление – методы и программно-аппаратные средства исследования волновых процессов и явлений в ионосферной плазме с использованием сигналов спутниковых радионавигационных систем. Предварительные исследования в области моделирования электродинамических процессов в плазме были выполнены в рамках проекта БРФФИ № Ф17-122 «Аналитическое и компьютерное моделирование нелинейных процессов, возникающих в устройствах плазменной эмиссионной электроники» (2017–2019 гг.), а с 2020 г. в ЛМСС выполнялся совместный российско-белорусский проект БРФФИ № Ф20Р-329 «Теоретические основы исследования волновых процессов и явлений в ионосфере с использованием сигналов спутниковых радионавигационных систем» (2020–2022 гг.) в кооперации с Самарским национальным исследовательским университетом (НИУ) им. академика С. П. Королева. На сайте Самарского НИУ (<https://ssau.ru>) содержится информация о научных исследованиях в рамках данного проекта. В частности, отмечается, что разрабатываются методы и средства обработки и преобразования информации, поступающей от систем ГЛОНАСС и GPS, с помощью которых можно построить динамические модели состояния ионосферы. Ре-

шение этой задачи важно для прогнозирования возможных перебоев в работе систем радиосвязи. Кроме того, понимание природы физических процессов, происходящих в ионосфере, открывает возможности для новых перспективных технологий передачи информации. Научным руководителем проекта со стороны Самарского НИУ стал заведующий межвузовской кафедрой космических исследований, доктор технических наук, профессор Игорь Белоконов, со стороны ОИПИ НАН Беларуси – заведующий ЛМСС, доктор технических наук, профессор Александр Крот. *«Предполагается исследование волновых процессов и выявление локальных флуктуаций плотности электронной концентрации, что позволит расширить знания о механизмах процессов, происходящих в ионосфере. Это первый совместный проект представителей научных сообществ России и Беларуси, который будет реализован в Самарском университете. Работы по этому гранту будут востребованы при реализации проекта консорциума российских вузов по созданию группировки наноспутников для изучения ионосферы, организатором которого является Самарский университет»*, – отметил И. Белоконов. Как продолжение и дальнейшее развитие проекта БРФФИ № Ф20Р-329 в настоящее время в ЛМСС реализуются два договора:

№ 220/12 на выполнение ОКР «Разработать алгоритмические и программные средства обработки радиотомографических данных низкоорбитального контроля ионосферы» (2022–2025 гг.), заключенный с УП «Геоинформационные системы» в рамках проекта «Разработать космическую систему радиометрического контроля околоземного пространства на базе малого космического аппарата и специализированных наземных средств» по мероприятию 8 подпрограммы 6 «Исследование и использование космического пространства в мирных целях» ГП «Научоемкие технологии и техника»;

№ 9СГ3.3–220 на выполнение НИР по заданию «Разработать аппаратно-программный и алгоритмический комплекс радиометрического анализа динамических состояний ионосферы» (2023–2026 гг.) в рамках мероприятия 3.3 НТП Союзного государства «Комплекс-СГ», предназначенный для радиометрического анализа динамических состояний ионосферы с целью оценки текущих данных и прогнозирования результатов гелио- и геофизической активности.

Международные научные контакты. В 1997–2000 гг. в ЛМСС был успешно выполнен крупный международный научный проект МНТЦ В-95 "Theory and methods of discrete dynamical systems in digital signal processing applications", профинансированный США и Швецией (руководитель проекта – профессор А. М. Крот, коллабораторы проекта – лауреат Нобелевской премии И. Пригожин (Бельгия/США), профессор М. Веттэрли (США/Швейцария), профессор С. Холм (Норвегия) и профессор П. Дюамель (Франция)).

Сотрудники ЛМСС активно участвуют в различных международных конференциях, проводимых такими известными научными организациями, как AIAA, IAF, IEEE, SPIE, EURASIP, URSI, ASME, EGU, IAU (среди них Генеральная ассамблея EGU, конгрессы COSPAR, IAC и симпозиум AeroSense, конференции EUSIPCO, Chaos, MeleCon, ICECS, IASTED, ANNIE, DSP, MAVEBA и др.). Заведующий ЛМСС, д-р техн. наук, профессор А. М. Крот был докладчиком, членом программных комитетов и руководителем сессий ряда международных симпозиумов и конференций, проводимых под эгидой международных научных обществ за рубежом: в США (1998, 1999, 2000, 2001), Греции (1997, 1998, 2002), Италии (1999, 2001), Германии (1998, 2006, 2009, 2016), Финляндии (2000), Кипре (2000), Дании (2002), Австрии (2006, 2009). В частности, в период с 1997 по 2003 г. он был членом программных комитетов и руководителем сессий конференций:

- 13th, 14th International Conferences on Digital Signal Processing (DSP), Greece, 1997, 2002;
- 2nd, 3rd IMACS/IEEE International Conferences on Circuits, Systems and Computers, Greece, 1998, 1999;
- 10th Mediterranean Electrotechnical Conference (MeleCon), Cyprus, 2000;
- 14th, 15th International Symposium AeroSense, Orlando, Florida, USA, 2000, 2001;
- 2nd, 3rd International Workshops on Models and Analysis of Vocal Emission for Biomedical Applications (MAVEBA), Florence, Italy, 2001, 2003.



Д-р техн. наук, профессор А. М. Крот – руководитель сессии и докладчик на 13th International Conferences on Digital Signal Processing (DSP), 1–6 июля 1997, о. Санторини, г. Фира, Греция



Участники IX European Signal Processing Conference (EUSIPCO-98), 8–11 сент. 1998, о. Родос, Греция (слева направо: д-р техн. наук, профессор А. М. Крот; д-р, профессор А. Скодрас (Греция), вед. науч. сотр., канд. техн. наук Е. Б. Минервина и канд. физ.-мат. наук, доцент БГУ Е. И. Бовбель)



Профессор В. Н. Касьянов (Новосибирск, СО РАН) и профессор А. М. Крот – руководители сессии и докладчики на 2nd IMACS/ IEEE International Conference on Circuits, Systems and Computers (IMACS-CSC'98), 26–29 окт. 1998, Афины, Греция



Д-р техн. наук, профессор А. М. Крот – член программного комитета и докладчик на 14th International Symposium AeroSense, 24–28 апр. 2000, Орландо, шт. Флорида, США





Участники 10th Mediterranean Electrotechnical Conference (Meleson 2000), 27 мая – 1 июня 2000, о. Кипр, г. Лимассол, г. Никосия (слева направо: вед. науч. сотр., канд. техн. наук Е. Б. Минервина; д-р техн. наук, профессор А. М. Крот и канд. филол. наук, доцент П. П. Ткачева)



Профессор А. М. Крот и доцент П. П. Ткачева – докладчики на Международной школе-семинаре "Vocal Emissions for Biomedical Applications" (MAVEBA), 12–18 сент. 2001, Флоренция, Италия



Профессор А. Крот обсуждает с коллегами возможности нового турбокомпрессора // СБ. Беларусь сегодня. – 2005. – 15 окт. – С. 16–17. (слева направо: вед. науч. сотр., канд. техн. наук Е. Б. Минервина, канд. филол. наук, доцент П. П. Ткачева и д-р техн. наук, профессор А. М. Крот)



На XIV Международной специализированной выставке ТИБО-2007, 24–27 апр. 2007, Минск, с экспонатом «Вычислительная аэрогидродинамика проточных частей машиностроительных конструкций» (слева направо: науч. сотр. А. М. Криштофик и сотрудники ЛМСС: д-р техн. наук, профессор А. М. Крот; канд. филол. наук, доцент П. П. Ткачева; ст. науч. сотр., канд. техн. наук В. М. Демко и науч. сотр., канд. физ.-мат. наук В. А. Балдин)



Доктор технических наук Александр Крот и аспирант Александр Калиновский в сотрудничестве с российскими коллегами участвуют в реализации союзных программ // СБ. Беларусь сегодня. Вкладка «Союз Беларусь–Россия». – 2009. – 12 мар. – С. 7.



Д-р техн. наук, профессор А. М. Крот – организатор Международной научной сессии PS9 "Extrasolar planets and planet formation, exoplanetary magnetospheres and radio emissions" под эгидой European Geosciences Union General Assembly, 19–24 апр. 2009, Вена, Австрия



Д-р техн. наук, профессор А. М. Крот – член организационного комитета и докладчик на Международном симпозиуме "Satellite & Space Missions" – Satellite-2016, 21–23 июля 2016, Берлин, Германия



В период с 2006 по 2022 г. А. М. Крот являлся *организатором* международных научных сессий в рамках Генеральной ассамблеи Европейского союза геонаук (European Geosciences Union General Assembly) и Европейского конгресса планетарных наук (European Planetary Science Congress):

- PS 15 "Models of Solar system forming" (2–7 апреля 2006 г., Вена, Австрия);
- PS7.1 "Extrasolar Planets and Planet Formation" (16–20 апреля 2007 г., Вена, Австрия);
- PS 8 "Extrasolar Planets and Planet Formation" (13–18 апреля 2008 г., Вена, Австрия);
- PS9 "Extrasolar planets and planet formation, exoplanetary magnetospheres and radio emissions" (19–24 апреля 2009 г., Вена, Австрия);

ON1 "Planetary formation and the origin of the Solar System" (18–22 сентября 2006 г., Берлин, Германия);

OG1 "Origin and Evolution" (14–18 сентября 2009 г., Потсдам, Германия);

членом программных и организационных комитетов международных научно-технических конференций и симпозиумов:

– членом организационного комитета Международной школы-семинара "Vocal Emissions for Biomedical Applications" (Флорентийский университет, Италия);

– членом программного комитета Международного симпозиума "The Issues of Calculation Optimization" (Институт кибернетики им. В. М. Глушкова НАН Украины, Киев);

– членом организационного комитета Международного симпозиума "Satellite&Space Missions", в частности "2nd International Conference and Exhibition on Satellite&Space Missions" – Satellite-2016 (Берлин, Германия, 21–23 июля 2016 г.);

– членом программного комитета International Conference on Digital Signal Processing (DSP) (Лондон, Великобритания, 25–29 августа 2017 г.),

а также *руководителем сессий* международных научно-технических конференций, проводимых под эгидой международных организаций IEEE, EGU, IAU и *докладчиком* на многих международных научно-технических конференциях и симпозиумах.

Участие в подготовке специалистов. Заведующий ЛМСС, д-р техн. наук А. М. Крот работал по совместительству в должности профессора в БГУИР (с 1993 по 1997 г.) и БГУ (с 1996 по 1998 г.). В 1997 г. ему присвоено ученое звание профессора. С 2008 по 2016 г. работал по совместительству в должности профессора кафедры математической физики и кафедры компьютерных технологий физики БГУ, где читал курсы лекций по дисциплинам «Основы аналитической и компьютерной аэрогидродинамики» и «Методы математического моделирования и анализа сложных динамических систем».

Под его научным руководством были подготовлены восемь кандидатов наук:

канд. техн. наук Е. Б. Минервина (диссертация «Разработка эффективных алгоритмов спектрального анализа и генерирования процессов в системах управления испытаниями», 1989 г.);

канд. техн. наук Б. Х. Абдурахманов (диссертация «Разработка и применение методов двумерной цифровой фильтрации в системах идентификации изображений», 1992 г.);

канд. техн. наук М. Н. Долгих (диссертация «Развитие и реализация быстрых алгоритмов дискретных ортогональных преобразований с рекурсивной структурой в системах обработки изображений», 1993 г.);

канд. физ.-мат. наук Н. А. Романовская (диссертация «Разработка быстрых алгоритмов дискретных преобразований и сверток на основе алгебраического подхода в задачах сжатия и цифровой фильтрации», 1996 г.);

канд. физ.-мат. наук В. Ф. Дайлюденко (диссертация «Построение математических моделей процессов самоорганизации в активных средах для задач обработки экспериментальных данных», 1997 г.);

канд. техн. наук В. М. Демко (диссертация «Быстрые алгоритмы собственных преобразований процессов в цифровых системах управления и обработки сигналов», 2001 г.);

канд. физ.-мат. наук В. А. Балдин (диссертация «Модели образования аэрогидродинамических структур и их аттракторное представление в задачах анализа и компьютерного моделирования течений с кривизной линией тока», 2010 г.);

канд. техн. наук Г. А. Прокопович (диссертация «Нейросетевые модели интеллектуальных систем управления робототехническими аппаратами», 2013 г.).

Подготовлена кандидатская диссертация девятого ученика В. А. Сычева. В настоящее время А. М. Крот руководит аспирантом (А. С. Шапкин), магистрантом (И. Э. Савиных) и тремя соискателями (В. А. Сычев, А. Г. Иванов, В. С. Кожух).

Публикации

Монографии

1. Крот, А. М. Дискретные модели динамических систем на основе полиномиальной алгебры / А. М. Крот. – Минск : Наука і тэхніка, 1990. – 312 с.

2. Крот, А. М. Быстрые алгоритмы и программы цифровой спектральной обработки сигналов и изображений / А. М. Крот, Е. Б. Минервина. – Минск : Наука і тэхніка, 1995. – 407 с.

3. Крот, А. М. Статистическая теория формирования гравитирующих космогонических тел / А. М. Крот. – Минск : Беларуская навука, 2012. – 448 с.

4. Krot, A. M. A Statistical Theory of Gravitating Body Formation in Extrasolar Systems / A. M. Krot. – Newcastle upon Tyne (UK) : Cambridge Scholars Publishing, 2021. – 817 p.



Статьи

1. Крот, А. М. О классе дискретных квазистационарных линейных динамических систем / А. М. Крот // Доклады Академии наук СССР. – 1990. – Т. 313, № 6. – С. 1376–1380. (Переиздана в США: Krot, A. M. On a class of discrete quasistationary linear dynamic systems / A. M. Krot // Soviet Physics Doklady. – 1990. – Vol. 35, no. 8. – P. 711–713.)
2. Крот, А. М. О мультипликативной сложности билинейных форм, для которых преобразование Вандермонда является собственным / А. М. Крот // Доклады Академии наук СССР. – 1990. – Т. 314, № 6. – С. 1312–1315. (Переиздана в США: Krot, A. M. On the multiplicative complexity of bilinear forms for which the Vandermonde transformation is an eigentransformation / A. M. Krot // Soviet Mathematics Doklady. – 1991. – Vol. 42, no. 2. – P. 646–650.)
3. Крот, А. М. Об одном классе операторов обобщенного сдвига в теории сигналов и систем / А. М. Крот // АН СССР. Радиотехника и электроника. – 1986. – Т. 31, № 8. – С. 1563–1570. (Переиздана в США: Krot, A. M. On a class of generalized shift operators in the theory of signals and systems / A. M. Krot // Soviet Journal of Communications Technology and Electronics. – 1986. – Vol. 31, no. 12. – P. 110–118.)
4. Крот, А. М. Синтез алгоритмов дискретного преобразования Фурье для действительных последовательностей на основе полиномиальной алгебры / А. М. Крот, Е. Б. Минервина // АН СССР. Радиотехника и электроника. – 1987. – Т. 32, № 5. – С. 1217–1229. (Переиздана в США: Krot, A. M. Synthesis of digital Fourier transformation algorithms for real sequences on the basis of polynomial algebra / A. M. Krot, H. B. Minervina // Soviet Journal of Communications Technology and Electronics. – 1987. – Vol. 32, no. 11. – P. 9–19.)
5. Крот, А. М. Анализ линейных динамических систем на основе полиномиальных преобразований числовых последовательностей / А. М. Крот // АН СССР. Радиотехника и электроника. – 1988. – Т. 33, № 7. – С. 1458–1466. (Переиздана в США: Krot, A. M. Analysis of linear dynamic systems based on polynomial transformations of numerical sequences / A. M. Krot // Soviet Journal of Communications Technology and Electronics. – 1989. – Vol. 34, no. 1. – P. 6–13.)
6. Крот, А. М. Об одном классе дискретных случайных процессов, нестационарных относительно оператора обобщенного сдвига / А. М. Крот // АН СССР. Радиотехника и электроника. – 1988. – Т. 33, № 12. – С. 2515–2523. (Переиздана в США: Krot, A. M. Class of discrete random processes, nonstationary relative to a generalized shift operator / A. M. Krot // Soviet Journal of Communications Technology and Electronics. – 1989. – Vol. 34, no. 8. – P. 23–31.)
7. Крот, А. М. Алгоритмы быстрого преобразования Фурье для действительных и эрмитово-симметричных последовательностей / А. М. Крот, Е. Б. Минервина // АН СССР. Радиотехника и электроника. – 1989. – Т. 34, № 2. – С. 369–376. (Переиздана в США: Krot, A. M. Fast Fourier transform algorithms for the real and Hermitian-symmetrical sequences / A. M. Krot, H. B. Minervina // Soviet Journal of Communications Technology and Electronics. – 1990. – Vol. 34, no. 12. – P. 122–129.)
8. Крот, А. М. Метод собственных преобразований в различных полях для вычисления циклических сверток и дискретного преобразования Фурье / А. М. Крот // АН СССР. Журнал вычислительной математики и математической физики. – 1989. – Т. 29, № 5. – С. 675–692. (Переиздана в Великобритании: Krot, A. M. The method of eigentransforms in different fields for computing cyclic convolution and discrete Fourier transforms / A. M. Krot // Computational Mathematics and Mathematical Physics. – 1989. – Vol. 29, no. 3. – P. 23–34.)

9. Крот, А. М. Синтез алгоритмов БПФ по расщепляемому основанию для действительных и эрмитово-симметричных последовательностей / А. М. Крот, Е. Б. Минервина // Известия ВУЗов СССР. Радиоэлектроника. – 1989. – Т. 32, № 12. – С. 12–17. (Переиздана в США: Krot, A. M. Synthesis of fast-Fourier-transform (FFT) split-radix algorithms for real-valued and Hermite-symmetrical series / A. M. Krot, H. B. Minervina // Radioelectronics and Communication Systems. – 1989. – Vol. 32, no. 12. – P. 10–15.)

10. Крот, А. М. Синтез быстрых алгоритмов собственных преобразований дискретных сверток в рациональном и действительном полях / А. М. Крот // АН СССР. Радиотехника и электроника. – 1990. – Т. 35, № 2. – С. 372–381. (Переиздана в США: Krot, A. M. Synthesis of fast proper transformation algorithms for discrete convolution in rational and real fields / A. M. Krot // Soviet Journal of Communications Technology and Electronics. – 1990. – No. 15. – P. 16–25.)

11. Крот, А. М. Единый подход к вычислению сверток и дискретного преобразования Фурье на основе собственных преобразований в рациональном и действительном полях / А. М. Крот // АН СССР. Радиотехника и электроника. – 1990. – Т. 35, № 4. – С. 805–815. (Переиздана в США: Krot, A. M. A Unified approach to calculating convolutions and the discrete Fourier transform based on proper transforms in rational and real fields / A. M. Krot // Soviet Journal of Communications Technology and Electronics. – 1991. – No. 2. – P. 26–34.)

12. Крот, А. М. О вычислительной сложности обобщенных K_N -сверток и алгоритмов быстрого преобразования Вандермонда / А. М. Крот // АН СССР. Журнал вычислительной математики и математической физики. – 1990. – Т. 30, № 11. – С. 1625–1637. (Переиздана в Великобритании: Krot, A. M. Computational complexity of generalized K_N -convolutions and the fast Vandermonde transform algorithm / A. M. Krot // Computational Mathematics and Mathematical Physics. – 1990. – Vol. 30, no. 6. – P. 17–26.)

13. Krot, A. M. Comment: Conjugate pair fast Fourier transform / A. M. Krot, H. B. Minervina // Electronics Letters. – 1992. – Vol. 28, no. 10. – P. 1143–1144.

14. Крот, А. М. Быстрый алгоритм вычисления обратной свертки для восстановления сигналов и изображений / А. М. Крот, А. Т. Касько, Е. Б. Минервина // Журнал вычислительной математики и математической физики. – 1996. – Т. 36, № 2. – С. 164–175. (Переиздана в Великобритании: Krot, A. M. A fast algorithm for calculating the inverse convolution for signal and image reconstruction / A. M. Krot, A. T. Kas'ko, H. B. Minervina // Computational Mathematics and Mathematical Physics. – 1996. – Vol. 36, no. 2. – P. 269–277.)

15. Крот, А. М. Синтез быстрых алгоритмов для решения задач оптимального дискретного управления методом полиномиальных уравнений / А. М. Крот // Автоматика и телемеханика. – 1996. – № 8. – С. 22–35. (Переиздана в США: Krot, A. M. Synthesizing fast algorithms for optimal discrete control by the method of polynomial equations / A. M. Krot // Automation and Remote Control. – 1996. – Vol. 57, no. 8. – P. 1079–1090.)

16. Krot, A. M. New approach to speech signal recognition using nonlinear signal decomposition by measuring Wiener kernels / A. M. Krot, P. P. Tkachova, B. A. Goncharov // Smart Engineering System Design. – 2002. – Vol. 4. – P. 265–276.

17. Krot, A. M. The development of model for boundary layers past a concave wall with usage of nonlinear dynamics methods / A. M. Krot, V. A. Baldin, H. B. Minervina // Advances in Space Research. – 2006. – Vol. 37, no. 3. – P. 501–506.

18. Krot, A. M. A statistical approach to investigate the formation of the solar system / A. M. Krot // Chaos, Solitons and Fractals. – 2009. – Vol. 41, no. 3. – P. 1481–1500.

19. Krot, A. M. On the principal difficulties and ways to their solution in the theory of gravitational condensation of infinitely distributed dust substance / A. M. Krot // Proc. of IAG General Assembly in the book "Observing our Changing Earth" / ed. M. G. Sideris. – Springer, Berlin, Heidelberg, 2009. – Vol. 133. – P. 283–292.

20. Krot, A. M. On the universal stellar law for extrasolar systems / A. M. Krot // Planetary and Space Science. – 2014. – Vol. 101C. – P. 12–26.

21. Krot, A. M. A model of stabilization of chaotic wave processes in complex dynamical systems from the point of view of the matrix decomposition theory / A. M. Krot // Chapter in the book "Springer Proc. in Complexity : 13th Chaotic Modeling and Simulation Intern. Conf. (CHAOS 2020)" / ed.: C. H. Skiadas, Y. Dimotikalis. – Springer, Cham, 2021. – Ch. 32. – P. 413–429. – DOI: 10.1007/978-3-030-70795-8_32.

22. Krot, A. M. On the analytical models of protoplanetary formation in extrasolar systems / A. M. Krot // Space: Science & Technology. – 2022. – Vol. 2022, article ID 9862389. – 19 p. – DOI: 10.34133/2022/9862389.

23. Krot, A. M. The generalized nonlinear Schrödinger-like equation of cosmogonical body forming: Justification and determination of its particular solutions / A. M. Krot // Partial Differential Equations in Applied Mathematics. – 2022. – Vol. 5 (June), ID 100376. – 13 p. – DOI: 10.1016/j.padiff.2022.100376.