

## ХРОНИКА

10 апреля 2024 г. на заседании секции теоретической и прикладной механики им. проф. Н. Н. Поляхова в Доме ученых им. М. Горького (Санкт-Петербург) выступил канд. физ.-мат. наук Д. С. Иванов (Институт прикладной математики им. М. В. Келдыша РАН) с докладом на тему «Исследование характеристик алгоритмов определения углового и относительного поступательного движения малых космических аппаратов».

Краткое содержание доклада:

Бурное развитие малых космических аппаратов обусловило возникновение новых задач в области определения углового движения в одиночных миссиях и относительного поступательного движения в миссиях группового полета. В докладе обсуждается аналитическая методика исследования точностных характеристик алгоритмов определения движения на основе расширенного фильтра Калмана для космических аппаратов с активной системой управления ориентацией и набором бортовых измерительных средств. Результаты аналитического исследования сравниваются с результатами численных и лабораторных исследований. Разработанные алгоритмы определения движения были реализованы на более чем 30 отечественных малых космических аппаратах, летные испытания показали адекватность полученных аналитических оценок и надежность предложенных алгоритмов для решения поставленных задач.

14–15 мая 2024 г. на заседании секции теоретической и прикладной механики им. проф. Н. Н. Поляхова в Доме ученых им. М. Горького (Санкт-Петербург) состоялся минисимпозиум по актуальным проблемам механики робототехнических систем.

14 мая 2024 г. заслушано два доклада:

1. Доклад канд. физ.-мат. наук, доц., вед. науч. сотр. Ю. Д. Селюцкого (НИИ механики МГУ имени М. В. Ломоносова) «О возможности робастной стабилизации движения квадрокоптера с подвешенным грузом».

Краткое содержание доклада:

В докладе рассмотрена задача о полете квадрокоптера, к которому на шарнирно закрепленном стержне подвешен груз. Система движется в вертикальной плоскости. Предполагается, что на груз действуют аэродинамические силы. Для их описа-

ния используется квазистатический подход. Обсуждается возможность построения управления квадрокоптером, позволяющего стабилизировать целевой режим полета в условиях неполной информации об аэродинамических силах, действующих на груз.

2. Доклад канд. физ.-мат. наук, директора НОЦ «Математическая робототехника и искусственный интеллект» К. С. Амелина (СПбГУ) «Автономное мультиагентное управление роём БПЛА».

15 мая 2024 г. заслушано два доклада:

1. Доклад канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр. А. П. Голуба (НИИ механики МГУ им. М. В. Ломоносова) «Ветроэнергетические установки на основе многозвенного маятника».

Краткое содержание доклада:

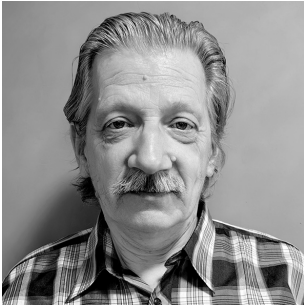
Исследования ветроэнергетических установок (ВЭУ) вызывают большой интерес. Обычно рассматриваются установки с горизонтальной или вертикальной осью симметрии. В докладе рассматриваются ВЭУ колебательного типа на основе двухзвенного и трехзвенного аэродинамических маятников. Это маятники с вертикальными осями вращения, на последнем звене которых расположены симметричные аэродинамические профили. В межзвенных шарнирах маятника закреплены пружины. Вся система помещена в поток воздуха, скорость которого на бесконечности постоянна. Исследуется влияние жесткости пружин и положения крыла на последнем звене на движение маятников. Предполагается использовать такую механическую систему для преобразования энергии ветра в механическую энергию. Преимуществами данной системы являются низкая скорость старта и способность работать при любом направлении ветра.

2. Доклад канд. физ.-мат. наук, вед. науч. сотр. М. З. Досаева, канд. физ.-мат. наук, вед. науч. сотр. Ю. Д. Селюцкого, канд. физ.-мат. наук, зав. лаб. робототехники В. М. Буданова, вед. инж. К. В. Климова (НИИ механики МГУ им. М. В. Ломоносова) «Стационарные режимы в динамике ветроэнергетической установки на основе ротора Савониуса».

Краткое содержание доклада:

Исследуется малая ветроэнергетическая установка, рабочим элементом которой является ротор Савониуса. Электрическая цепь установки содержит стабилизатор напряжения. Построена математическая модель рассматриваемой электромеханической системы. Показано, что при определенных условиях в системе возникает явление гистерезиса. Гистерезис обусловлен именно наличием стабилизатора напряжения. Проведена серия экспериментов. На основе полученных экспериментальных данных проведена идентификация параметров предложенной модели. Результаты экспериментов достаточно хорошо согласуются с результатами аналитического исследования. Предложен алгоритм регулирования нагрузочного сопротивления, позволяющий обеспечить максимальную выходную мощность.

## К 70-летию Алексея Серафимовича Матвеева



12 июня 2024 г. исполнилось 70 лет доктору физико-математических наук, профессору кафедры теоретической кибернетики Алексею Серафимовичу Матвееву. А. С. Матвеев окончил математико-механический факультет Ленинградского государственного университета в 1976 г. и аспирантуру по кафедре теоретической кибернетики в 1979 г. С 1979 г. работал младшим научным сотрудником, а затем научным сотрудником Научно-исследовательского института математики и механики (НИИММ), а с 1987 г. и по настоящее время преподает на кафедре теоретической кибернетики,

пройдя путь от ассистента до профессора и заведующего кафедрой теоретической кибернетики.

А. С. Матвеев — выдающийся специалист в области прикладной математики, теории управления, математической робототехники, автор более 250 публикаций, в том числе шести монографий, четыре из которых изданы за рубежом.

А. С. Матвеев является одним из блестящих учеников выдающегося российского математика, основателя Санкт-Петербургской школы математической кибернетики В. А. Якубовича. Вместе с В. А. Якубовичем он разработал абстрактную теорию оптимального управления, позволяющую единообразно и относительно просто получать необходимые условия оптимальности программных управлений (как правило, в виде «принципов максимума», аналогичных принципу максимума Понтрягина) для широкого класса систем, описываемых самыми разными уравнениями (дифференциальными, интегральными, в частных производных, с запаздывающим аргументом и др.) при разных типах ограничений. В 1993–1998 гг. опираясь на построенную им спектральную теорию скрытой выпуклости образов квадратичных отображений, А. С. Матвеев развил метод  $S$ -процедуры и теорию лагранжевой двойственности для важного для приложений класса задач невыпуклой глобальной оптимизации. Опираясь на этот фундамент, он предложил эффективные методы решения широкого класса невыпуклых линейно-квадратичных задач оптимального управления с невыпуклыми квадратичными ограничениями. Эти результаты легли в основу его докторской диссертации на тему «Критерии выпуклости образов квадратичных отображений в теории оптимального управления системами, описываемыми дифференциальными уравнениями», успешно защищенной в 1998 г. Цикл работ В. А. Якубовича и А. С. Матвеева по оптимальному управлению был удостоен премии Санкт-Петербургского университета 1996 г. за научные труды. В дальнейшем были получены новые необходимые, а также достаточные условия оптимальности, теоретические достижения применены к решению разнообразных задач оптимального управления. Результаты А. С. Матвеева по теории оптимального управления представлены в том числе в двух книгах, выпущенных в соавторстве с В. А. Якубовичем в издательстве

Санкт-Петербургского университета в 1994 и 2003 гг. и получивших заслуженное признание специалистов.

Для научной деятельности А. С. Матвеева характерно активное международное сотрудничество с ведущими научными центрами Швеции, Норвегии, Австралии, Нидерландов. В сотрудничестве с профессором Университета Нового Южного Уэльса А. В. Савкиным он разработал оригинальный вариант качественной теории динамических систем, являющихся гибридными в смысле сочетания взаимодействующих непрерывной и дискретной компонент динамики и представляющих собой математическую модель в том числе современных и перспективных автоматических систем, которые, с одной стороны, функционируют в мире непрерывных физических процессов, взаимодействуя с ними, и, с другой стороны, управляются цифровым процессором. В частности, для общего класса гибридных динамических систем переключаемого типа, т. е. систем, для которых «непрерывные» переменные состояния не претерпевают скачков, получены необходимые и достаточные условия сильной детерминированности системы, а также инвариантности заданной области. Предложен критерий, выделяющий системы, для которых динамика дискретной части становится периодической, начиная с некоторого момента времени. Найдены условия, гарантирующие, что заданная инвариантная область содержит периодическую траекторию, а также получена оценка снизу числа таких траекторий. Вскрыта неожиданная на первый взгляд связь между свойствами детерминизма системы и инвариантности дискретной динамики: для систем рассматриваемого класса детерминизм исключает влияние непрерывного состояния на порядок смены дискретных состояний, допуская влияние лишь на соответствующие моменты времени. В результате метод анализа гибридных динамических систем, основанный на идее алгебраической редукции дискретной части системы к конечному автомату, был впервые обоснован для общего класса гибридных динамических систем.

Выделены гибридные динамические системы с простой периодической динамикой. Другими словами, установлены условия, гарантирующие, что, с одной стороны, динамика дискретной части периодична и, с другой стороны, существует конечный (или счетный) набор лежащих в рассматриваемой инвариантной области предельных циклов таких, что любая траектория, лежащая в этой области, либо сама периодична начиная с некоторого момента времени  $t$ , либо стремится к одному из этих циклов при  $t \rightarrow \infty$ . На первый взгляд, более естественным было бы считать, что этот набор, помимо периодических, может содержать и стационарные траектории. Однако для исследуемого класса систем такие траектории отсутствуют. Обсуждаемые условия установлены для двумерных гибридных систем (в этом случае получены необходимые и достаточные условия), а также для систем произвольного порядка с кусочно-постоянными производными. Для систем второго типа разработан метод определения числа предельных циклов, а также области притяжения каждого из них. Дееспособность разработанной общей теории продемонстрирована исследованием целого ряда представляющих самостоятельный интерес моделей информационных, компьютерных и т. п. сетей, гибких производственных систем, биотехнологических и других процессов. Перечисленные результаты опубликованы в 1998–2000 гг. более чем в 15 статьях в трудах крупных международных научных конференций и в ведущих международных журналах и вошли в монографию Matveev A. S., Savkin A. V. “Qualitative theory of hybrid dynamical systems”. Birkhauser, Place City Boston (2000), — по-видимому, первую в мире исследовательскую работу по обсуждаемой тематике.

На рубеже тысячелетий в теории управления возникла новая область исследований, характеризуемая взаимодействием и взаимным проникновением методов теории управления, теории вычислений и теории связи и отражающая тенденцию к конвергенции этих предметных областей в направлении единой теории. Эту новую область обозначают  $C^3$  (Control-Communication-Computation). Она все больше определяет лицо современной кибернетики. А. С. Матвееву, совместно с А. В. Савкиным принадлежат пионерские результаты, относящиеся к ключевому результату этой области — теореме о скорости передачи данных (Data rate theorem), определяющей предельные возможности управления и оценивания при ограничениях на пропускную способность каналов связи. В частности, им сделаны принципиальные продвижения к определению места и границ применимости базовых концепций и подходов классической теории информации и связи К. Шэннона (в том числе, соответствующей концепции емкости зашумленного канала связи и метода блочного кодирования) в обсуждаемой тематике. Среди других важных достижений мирового уровня — аналоги теоремы о скорости передачи данных в случае распределенных сетевых систем управления и наблюдения, где установлены важные контакты с проблематикой передачи информации через многотерминальные системы связи. Многие из этих тонких и красивых результатов подытожены в монографии Matveev A. S., Savkin A. V. “Estimation and Control over Communication Networks”. Birkhauser, Place City Boston (2009), а также в высокоцитируемом обзоре «К единой теории управления, вычислений и связи» в журнале «Автоматика и телемеханика» в 2010 г. (совместно с Б. Р. Андриевским и А. Л. Фрадковым). Последующие исследования в этой области в основном касались нелинейных динамических систем и проводились в систематическом сотрудничестве с А. Ю. Погромским (Нидерланды) с опорой на методы анализа нелинейной динамики А. М. Ляпунова и Г. А. Леонова. Здесь А. С. Матвеев выдвинул и разработал новое понятие энтропии, развивающее концепцию топологической энтропии динамической системы и названной энтропией восстановления. Также были разработаны конструктивные методы оценивания этой характеристики и показано, что в рассматриваемых вопросах именно она является адекватной мерой скорости производства информации системой и мерой сложности системы, а предложенный метод оценивания в известном смысле является исчерпывающим.

В 2008–2013 гг. А. С. Матвеевым, совместно с сотрудниками Технического университета Эйндховена (Нидерланды) получены фундаментальные результаты в теории потоковых сетей. Ему принадлежит новый подход к синтезу оптимальных динамических протоколов распределенного управления сетевыми гибкими производственными, коммуникационными, транспортными и другими потоковыми сетями, основанный на разработанной им вместе с учениками строгой математической спектральной теории нелинейных операторов.

Значительный вклад в развитие современной робототехники внесли работы А. С. Матвеева и его научной группы в области робототехнических систем, развивающие основы математической робототехники, заложенные еще В. А. Якубовичем. Магистральное направление работ группы в этой области — автономная навигация мобильных роботов и их одноранговых ансамблей в априори неизвестных средах с препятствиями. Это направление с 2010-х гг. системно разрабатывается при участии выпускников кафедры теоретической кибернетики А. А. Семаковой, П. А. Коновалова, В. В. Магеркина, К. С. Овчинникова, В. А. Чернова и др., в том числе до 2017 г. — А. В. Савкина (Университет Нового Южного Уэльса, Австралия). Под руководством

Алексея Серафимовича был получен целый ряд фундаментальных результатов по алгоритмам навигации роботов, включая распределенные протоколы управления их одноранговыми роями, в сложных, в том числе подвижных и непредсказуемых средах. Частично полученные результаты систематизированы в двух монографиях: Savkin A. V., Cheng T. M., Xi Z., Javed F., Matveev A. S., Hguyen H. “Decentralized coverage control problems for mobile robotic”. Sensor and Actuator Networks, IEEE Press and John Wiley & Sons (2015); Hoboken N. J., Matveev A. S., Savkin A. V., Hoy M. C., Wang C. “Safe robot navigation among moving and steady obstacles”. Oxford: Elsevier and Butterworth Heinemann (2016) выпущенных ведущими мировыми издательствами научной литературы John Wiley and Sons и Elsevier. Основная специфика этих результатов — экономные с точки зрения используемых ресурсов (вычислительных, энергетических и др.), а также сенсорных и априорных данных о среде алгоритмы, рефлексоподобным образом конвертирующие текущее наблюдение в текущее управление (как следствие, с минимальными требованиями к бортовым процессорам). Разработанные алгоритмы управления отличаются от многих других математически строгими гарантиями достижения результата. По данным Web of Science, в 2021–2022 гг. из пяти наиболее цитируемых публикаций по робототехнике (со словом «robotics» в названии), аффилированных с РФ, четыре выполнены при участии А. С. Матвеева, в том числе наиболее цитируемая статья (Hoy M., Matveev A. S., Savkin A. V. Algorithms for collision-free navigation of mobile robots in complex cluttered environments: A survey. *Robotica*, 2015, 33 (3), p. 463–449), имеющая 323 цитирования в Web of Science на 05.04.2024.

В течение многих лет профессор А. С. Матвеев ведет активную педагогическую работу. Им разработан ряд авторских курсов лекций для отделений математики и прикладной математики и информатики математико-механического факультета СПбГУ. Его яркие лекции и выступления на семинарах завораживают не только студентов, но и профессоров. Разработанные под его руководством в 2019–2023 гг. образовательные программы магистратуры и аспирантуры по математической робототехнике и искусственному интеллекту успешно внедряются не только на математико-механическом факультете СПбГУ, но и на факультете прикладной математики и процессов управления СПбГУ, в Научно-технологическом университете «Сириус», Институте проблем машиноведения РАН. В 2012 г. многолетняя плодотворная работа А. С. Матвеева по развитию и совершенствованию учебного процесса и его значительный вклад в дело подготовки высококвалифицированных специалистов были отмечены благодарностью Министерства науки и образования Российской Федерации.

Работы А. С. Матвеева систематически представляются в трудах крупных международных научных конференций и в ведущих международных журналах. Он является одним из наиболее цитируемых российских специалистов в области кибернетики и теории управления (индекс Хирша по Scopus 31). Выдвинутый в 2022 г. Санкт-Петербургским университетом в члены-корреспонденты РАН по специальности «Процессы управления», А. С. Матвеев стал лидером по публикационной активности среди всех претендентов на это престижное звание по указанной специальности не только среди выдвинутых в члены-корреспонденты, но и среди выдвинутых в академики РАН.

А. С. Матвеев принимает активное участие в деятельности диссертационных советов и ведет международную экспертную деятельность: рецензирует статьи для ведущих международных журналов, оппонирует диссертации в ведущих универси-

татах ряда стран. Он принимал участие в организации стажировок аспирантов и магистрантов СПбГУ в российских и зарубежных научных центрах.

Алексей Серафимович — мягкий, отзывчивый человек, пользующийся глубоким уважением коллег и учеников и обладающий тонким чувством юмора.

Поздравляем Алексея Серафимовича с юбилеем, желаем ему крепкого здоровья и новых творческих успехов.

*От имени: Е. В. Кустовой, В. Н. Малоземова,  
А. Л. Фрадкова, А. И. Шепелявого  
главный редактор А. К. Беляев*