

В 2017/18 уч.г. на заседаниях семинара

**“Динамика относительного движения”
имени В.В.Белецкого**

(руководители:

проф. Ю.Ф.Голубев, проф. В.Е.Павловский, доц. К.Е.Якимова, доц. Е.В.Мелкумова)

были сделаны следующие доклады:

2.10.2016. **Е.И.Кугушев, М.А.Левин, Т.В. Попова** (механико-математический факультет МГУ им. М.В.Ломоносова)

О голономных механических системах с быстрыми периодическими возмущениями.

Рассматриваются два типа механических систем с быстрыми периодическими по времени возмущениями, а именно: голономная система, расположенная на вибрирующем основании, и голономная система, на которую наложена дополнительная вибрирующая связь. Получены уравнения движения системы с вибрациями в форме уравнений Гамильтона. Показано, что структура гамильтониана системы имеет специальный вид удобный для вывода усредненных уравнений. Использование метода усреднения позволяет получить предельные уравнения движения системы при стремлении частоты вибраций к бесконечности и доказать равномерную сходимость решений уравнений Гамильтона к решениям предельных уравнений на конечном отрезке времени. Для голономных систем, находящихся в однородном поле силы тяжести на вертикально вибрирующем основании, показано что, все положения равновесия, имевшиеся у системы в отсутствие вибраций, сохраняются и у предельной системы, причем все такие невырожденные положения равновесия предельной системы будут устойчивыми при достаточно большой амплитуде скорости вибраций. Аналогичное утверждение справедливо и для стационарных движений систем с циклическими координатами. Приводятся примеры.

9.10.2017 **Ю.Ф. Голубев^{1,2}, Е.В. Мелкумова²** (¹Институт прикладной математики имени М.В. Келдыша РАН, ²механико-математический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова)

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ ДОПУСТИМЫХ ОБЛАСТЕЙ ТОЧЕК ОПОРЫ ДВУНОГОГО РОБОТА НА НАКЛОННОМ ЦИЛИНДРЕ

Исследуется задача о существовании заданного движения шагающего робота состоящего из корпуса и ног, опирающихся о шероховатый цилиндр, радиуса R , с коэффициентом k сухого трения, в n точках опоры. Предполагается, что ноги робота совершают заданное движение относительно корпуса робота.

Пусть \mathbf{F} – сумма даламберовых сил инерции и внешних активных сил, \mathbf{M} – сумма моментов этих сил относительно неподвижной точки O . Ограничимся случаем, когда \mathbf{F} не равно нулю и перпендикулярно \mathbf{M} . Система $\{\mathbf{F}, \mathbf{M}\}$ приводится к равнодействующей в точке C . Точка C будет также точкой приложения равнодействующей реакций. Далее рассматривается задача о распределении реакций по точкам опоры в некоторый фиксированный момент времени в предположении, что \mathbf{F} приложена в точке C , а силовой момент в этой точке отсутствует. Заметим, что эта задача эквивалентна задаче об удержании цилиндра пальцами руки робота манипулятора. Пусть ось цилиндра составляет угол a с \mathbf{F} . Работа продолжает исследования, в которых была рассмотрена проблема поиска решения задачи о распределении реакций при произвольном a . Уравнения кинестатики дополняются квадратичными неравенствами, относительно параметра p , где p – разность компонент реакций вдоль оси цилиндра, E совпадающий и не зависящий от a коэффициент при p в квадрате. Заметим, что для произвольной поверхности структура и свойства этих неравенств сохраняются. Аналитическое выражение четырёх компонент нормальных и касательных составляющих реакций лежащих в основании цилиндра, в двух точках опоры, через одну из продольных составляющих реакций, до её замены на параметр p , теряет симметрию по параметру a для наклонного цилиндра, что обусловлено тем, что одна из точек опоры становится выше другой по углу a .

Проведено численное исследование, в котором по заданному положению ног и точки C определяется, существует ли решение задачи о распределении реакций и строятся области существования решений этой задачи. Например, для двуопорной фазы, рассмотрены конфигурации робота симметричные относительно точки C вдоль, и поперек оси цилиндра. Для первых из перечисленных конфигураций рассмотрены три случая с неотрицательным коэффициентом E , для расстояния x , между точкой C и опорными точками: $0,9$, 1 и $1,1$ при R и k равным 1 , a от 0 до π (всего 13 различных величин угла наклона цилиндра). Построены области существования решения задачи о распределении реакций на плоскости двух углов, отвечающих проекциям точек опоры на основание цилиндра и трёхмерные области, дополняющие указанную плоскость высотой центра масс. При $a: 0$, $x: 1$, область состоит из трёх отдельно расположенных связных областей. На плоскости углов каждая из двух параллельных прямых соответствуют опоре на диаметр ортогональной оси цилиндра. Между этими прямыми расположена связная область. Она содержит отрезок прямой, соответствующий равенству углов, робот опирается на прямую параллельную оси верхнего полуцилиндра удовлетворяющей ограничению на отклонения от направления силы. Указанный отрезок на графиках исчезает при x равном $0,9$ для a равном $\pi/4$, а при увеличении x , позже, при $4\pi/9$. Это соответствует тому, что робот начинает скользить вниз по цилиндру. При x равном $1,1$ для a равном $\pi/3$ в трёхмерных областях заметны расслоения из отдельных точек, что показывает более резкое изменение высоты расположения точки C при изменении углов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект №16-01-00131 а)

16.10.2017 **Ицкович М.О., Кулешов А.С.** (Механико-математический факультет МГУ им. М.В.Ломоносова)

О движении по горизонтальной плоскости тел, имеющих с ней одну или две точки соприкосновения (по материалам кандидатской диссертации М.О. Ицковича)

Задачи о качении тел по твердой поверхности без проскальзывания считаются классическими задачами механики неголономных систем. Исследованию двух таких задач и посвящена данная работа. Первой задачей, рассмотренной в работе, является задача о качении без проскальзывания по неподвижной горизонтальной плоскости тяжелого динамически симметричного эллипсоида вращения. Представлено дифференциальное уравнение второго порядка, к интегрированию которого сводится задача о движении эллипсоида. При помощи алгоритма Ковачича доказываем, что соответствующее дифференциальное уравнение не имеет лиувиллевых решений для почти всех физически допустимых значений параметров задачи.

Другой задачей, рассмотренной в работе, является задача о движении по неподвижной горизонтальной плоскости твердого тела, состоящего из двух соединённых между собой одинаковых симметричных пластинок. Данное тело при движении по горизонтальной плоскости в каждый момент времени касается ее двумя точками. Найдены все возможные положения равновесия данного тела на плоскости и получены условия их устойчивости. Рассмотрены частные случаи, когда движущееся тело состоит из двух одинаковых эллиптических пластинок, а также из двух одинаковых круговых пластинок. В этих частных случаях удается построить траектории точек касания тела с опорной плоскостью.

23.10.2017 **А. Д. Сергеев (известный как Диевич)** (Институт проблем машиноведения РАН, Санкт-Петербург, Большой проспект 61) dievich@rambler.ru

Неприменимость принципа Даламбера к описанию динамики открытых систем.

1. История вопроса и приложения;

1.1. Динамические эффекты, обусловленные вытеканием жидкости из трубы. Неустойчивость консольной трубы — реальное проблемное явление

1.2 Постановка задачи от В.И. Феодосьева на основании принципа Даламбера.

- 1.3 Плагиат от М.П.Пайдосиса. Объявление опарадоксе
1.4 Разрешение КУЛЬТОВОГО результата теории устойчивости трубопроводов — так называемого парадокса немонотонности от Пайдосиса (1966 г.р.).
2. Демонстрация неприменимости принципа Даламбера к описанию динамики открытых трубопроводных систем.
3. Современная теория сегнерова колеса.
4. Тезис Я.Г. Пановко о демпфировании колебаний трубопровода кориолисовыми силами.
5. Опровержение тезиса Я.Г. Пановко. Парадокс от Пановко для книги Я.Г.Пановко о парадоксах.

30.10.2017. **А.С. Самохин^{1,2,3}** . Научные руководители: доц., **к.ф-м.н. И.С. Григорьев^{1,3}**, **проф., к.ф-м.н. М.П. Заплетин^{1,2,3}** (¹МГУ им. М.В. Ломоносова, Россия, Москва, Ленинские горы, д. 1, 119991; ²РУДН, Россия, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6, 117198; ³ООО НТА «Космоэкспорт», Россия, Москва, ул. Профсоюзная, д. 84/32, с. 1, 117485) *Построение оптимальных траекторий экспедиций с возвращением к Земле КА с комбинированной тягой* E-mail: SamokhinAlexander@yandex.ru (по материалам кандидатской диссертации). Аннотация в дополнительном файле.

13.11.2017. **Н.В.Петровская** (кафедра теоретической механики и мехатроники МГУ). **Предметная олимпиада по робототехнике и другие форматы инженерно-технических состязаний.**

В последние годы существенно возросло внимание к проблемам развития инженерного образования в России. Подготовка инженеров немислима без обучения умению решать разнообразные технические задачи в условиях реальной жизненной ситуации. При этом специалистами лишь отчасти могут быть использованы стандартные технологические приемы, готовые узлы, известные конструктивные элементы.

В рамках семинара проанализировано современное состояние олимпиадного движения в таком инновационном инженерно-технологическом направлении, как робототехника. На примере Московской молодежной олимпиады по робототехнике и других инженерных олимпиад представлена модель организации метапредметной междисциплинарной олимпиады на стыке перспективных областей знаний. Рассматриваются особенности проведения робототехнической олимпиады, такие как: наличие теоретической и практической части, а также обеспечение основных олимпиадных принципов.

Представлены регламенты некоторых международных робототехнических соревнований, особенности решения соревновательных задач в рамках образовательного процесса.

20.11.2017. **О.М.Капустина** (кафедра робототехники, мехатроники, динамики и прочности машин, Национальный исследовательский университет “Московский энергетический институт”)

Аналитическое решение обратной задачи кинематики и сингулярные конфигурации робота KUKA youBot.

При планировании движений и в процессе управления манипуляционными роботами решается обратная задача кинематики и проводится исследование сингулярных конфигураций. Обратная задача кинематически избыточного мобильного манипулятора KUKA youBot имеет бесконечно много решений, которые могут быть представлены в точной аналитической форме. В работе построено учитывающее плоское движение платформы робота всё множество аналитических решений обратной задачи кинематики. В качестве параметров используются любые две обобщённые координаты мобильной платформы, задавая которые можно получать отдельные подмножества решений и выбирать решения, удовлетворяющие нужным критериям. Математическое

моделирование реализовано в системе Mathematica. Результаты подтверждены экспериментами на реальном роботе, фотографии которого представлены в докладе. Используемые подходы могут быть применены при решении обратных задач кинематики различных мобильных манипуляторов.

Сингулярные конфигурации KUKA youBot найдены на основе аналитического исследования матрицы Якоби отображения пространства обобщённых координат мобильного манипулятора в пространство параметров локации его рабочего органа. Определен характер движения рабочего органа, неосуществимого в этих конфигурациях.

27.11.2017. **О.Э.Васюкова** (аспирантка 4 г.о., механико-математический факультет МГУ) ***Идентификация параметров модели трения в шарнире управляемого физического маятника по характерным свойствам периодических движений.***

Рассматривается модель плоского управляемого физического маятника. Предполагается, что в шарнире маятника приложен управляющий момент, зависящий от знака угловой скорости, и момент трения, который имеет сухую и вязкую компоненты, при этом момент сухого трения зависит от величины нормальной реакции в шарнире.

При помощи метода Понтрягина поиска периодических решений систем, близких к гамильтоновым, построен такой программный закон колебаний управляемого маятника, что тестовые режимы движения являются установившимися и орбитально устойчивыми. Тестовые режимы движения предлагается использовать для идентификации коэффициентов сухого и вязкого трения в шарнире.

Построены бифуркационные диаграммы периодических траекторий рассматриваемой системы. Было выявлено три типа качественного вида диаграмм, в зависимости от значения параметров модели. Предложена стратегия идентификации коэффициентов трения в шарнире, основанная на наблюдении тестовых движений, для каждого из представленных типов качественного поведения системы. Проведено численное моделирование движения системы, иллюстрирующее диапазон значений параметров системы, для которого предложенный в работе метод идентификации можно считать достаточно точным.

Предложенный подход к идентификации параметров модели трения по амплитудам установившихся движений не требует наличия информации о траектории движения в каждый момент времени. Это большое преимущество перед имеющимися на данный момент времени методами идентификации трения в шарнире манипулятора, в которых используются сведения об угловой скорости и угловом ускорении звена в каждый момент времени.

4.12.2017. **Н.Г. Шаронов** (с.н.с. каф. теоретической механики ВолгГТУ, Волгоград). ***Дискретно взаимодействующие с опорной поверхностью движители мобильных роботов.***

Рассматриваются движители мобильных роботов: роторно-ортогональный, заклинивающе-поворотный, якорно-тросовый. Для каждого из них определены возможные области применения, поставлены некоторые задачи управления движением.

Особенность *роторно-ортогонального движителя* состоит в том, что основным приводом курсового движения является привод, совершающий в маршевом режиме вращательное движение. Роторно-ортогональный движитель является развитием ортогонально-поворотного движителя шагающей машины «Ортоног».

Робот с *поворотным-заклинивающим движителем* может перемещаться по вертикальному или наклонному столбу за счет периодического заклинивания одной из втулок и скольжении другой. Если с одной из втулок связать стержень с управляемой длиной и возможностью его поворота вокруг своей оси, то реализуется возможность и вращательного движения в пространстве.

Для перемещения в плотных средах рассматривается использование *якорно-тросовых движителей*, взаимодействующих с неподвижным грунтом посредством «якорей», положение которых изменяется дискретно за счет их управляемого переноса в новое положение. Применение такого типа движителей позволяет осуществлять непрерывное перемещение под водой платформы с положительной плавучестью.

11.12.2017 **Голицына М.В.** (кафедра прикладной механики и управления, мехмат МГУ им. М.В.Ломоносова). **Анализ, управление и оптимизация движения вибрационного робота.**

В работе рассматривается прямолинейное движение вибрационного робота по шероховатой плоскости в поле силы тяжести, представленного корпусом и маятником, закрепленном в его центре. Управление роботом происходит за счет выбора углового ускорения маятника. В результате исследования была построена математическая модель движения робота, и для него было найдено несколько законов управления, каждый из которых реализует перемещение робота в указанном направлении и отвечает наложенным ограничениям на систему.

В том числе было построено два периодических режима управления, таких что один период соответствует одному обороту маятника, и на одном периоде есть две фазы: движение корпуса робота вперед и покой. Для одного из режимов управления предполагалось, что наложено ограничение как на минимум, так и на максимум значения углового ускорения маятника, для второго - ограничение есть только на максимальное значение углового ускорения. На фазе покоя управление выбрано таким образом, чтобы обеспечить максимально быстрый переход из фазы покоя в фазу движения, на фазе движения управление подбирается так, чтобы на максимально большом промежутке движения корпус перемещался с нулевым трением.

Для предложенных законов управления определены параметры управления, максимизирующие среднюю скорость робота. А также определены границы значений параметров системы и управления, при которых робот может совершать движение с предложенным законом управления.

Кроме того, в работе оценены энергетические затраты двигателя, обеспечивающего вращение маятника. Показано преимущество найденного закона перед релейным типом управления.

В работе также представлена модификация алгоритма, позволяющая роботу выходить из состояния покоя (угловая скорость маятника и скорость корпуса равны нулю, ось маятника направлена вниз) на указанный режим, а также возвращаться на него при небольших отклонениях. В том числе, полученная модификация позволяет адаптироваться к переменному значению коэффициента трения, а также определять его, если оно заранее неизвестно.

19.02.2018 **Ю.Ф.Голубев, Е.В.Мелкумова, А.В.Родников** О международной научной конференции “Восьмые Поляховские чтения”, посвященной Владимиру Васильевичу Белецкому (1930-2017) (С.-Петербург, 30 января-2 февраля 2018 г.)

На конференции (председатель: академик РАН Н.Ф.Морозов, сопредседатели чл.-корр. РАН Г.А.Леонов, проф. Е.В.Кустова, проф. М.П.Юшков) обсуждались современные проблемы теоретической и прикладной механики, динамики космического полёта, механики жидкости и газа, механики деформируемого твёрдого тела, электромеханики, мехатроники и робототехники, биомеханики, физической механики, а также истории механики.

Конференция открылась пленарным докладом А.В.Грушевского (ИПМ им. М.В.Келдыша) “Владимир Васильевич Белецкий, балетмейстер вальсирующих орбит, непреходящий классик российской и всемирной науки”.

Из 10-ти пленарных докладов конференции три были сделаны сотрудниками МГУ им. Ломоносова и кафедры теоретической механики и мехатроники:

1. Т.В. Сальникова, С.Я. Степанов Влияние фотогравитационных и электромагнитных сил на формирование облаков Кордылевского;
2. Yu.F. Golubev, E.V. Melkumova Two-legged walking robot prescribed motion on a rough cylinder
3. В.М. Морозов, В.И. Калёнова Линейные нестационарные системы и их приложения к задачам космической динамики

12.03.2018. **Ю.Ф. Голубев, В.В. Корянов** (ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, Москва, Россия) **Транспортировка груза на плоту шестиногим роботом при переправе через небольшую водную преграду**

Построено и отработано средствами программного комплекса «Универсальный механизм» движение шестиногого робота, позволяющее осуществить его переправу на прямоугольном плоту на другой берег небольшой водной преграды. Рассматривается простейший случай, когда робот сообщает плоту начальный толчок от берега. В процессе переправы робот может транспортировать груз. Изначально груз находится на исходном берегу, робот переносит его на плот, затем, после отталкивания от берега, последовательно перемещает груз к противоположному краю плота. После причаливания робот переносит груз на целевой берег.

Колебания плота на воде при переправе создают возмущения движения робота, и осложняют переносы груза.

Уравнения движения механической системы выводятся автоматически программным комплексом «Универсальный механизм». Комплекс дополняется алгоритмом управления, моделью воздействия воды на плот, а также моделью электроприводов в шарнирах, которая должна отслеживать программные значения шарнирных углов. Роботу доступна вся точная информация о положении механической системы на каждом шаге интегрирования.

19.03.2018 В.А.Катасонова, А.С.Кулешов. **О СУЩЕСТВОВАНИИ ЛИУВИЛЛЕВЫХ РЕШЕНИЙ В ЗАДАЧЕ О КАЧЕНИИ ТЕЛА ВРАЩЕНИЯ ПО СФЕРЕ**

Рассматривается задача о качении без проскальзывания динамически симметричного тела, ограниченного поверхностью вращения, по неподвижной сфере. Предполагается, что силы, приложенные к твердому телу, имеют равнодействующую, приложенную к центру масс G тела, направленную к центру O опорной сферы, и зависящую только от расстояния между точками G и O . В этом случае решение задачи сводится к интегрированию линейного дифференциального уравнения второго порядка относительно компоненты угловой скорости тела в проекции на его ось динамической симметрии. С помощью алгоритма Ковачича доказано существование лиувиллевых решений в задаче о качении по сфере неоднородного динамически симметричного шара

26.03.2018 В.А. Александров, А.И. Кобрин (НИУ МЭИ) **О разрешении и предотвращении коллизий при кооперации в рамках группы гомогенных роботов на ограниченной территории.** В докладе рассматривается процесс совместного функционирования группы мобильных роботов в ограниченном пространстве. Особое внимание уделено разрешению конфликтов и коллизий в процессе работы. Излагаются основы разработанного группового алгоритма поиска целевых точек в неизвестной нестационарной реальной плоской среде для группы роботов, а также рассматриваются

алгоритмы покрытия территории с использованием распределения целей и разбиения территории. Проводится сравнительный анализ различных вариантов разрешения коллизий. Затрагиваются вопросы компьютерного моделирования групповых робототехнических систем и применения рассматриваемых алгоритмов в реальных прикладных задачах.

2.04.2018. **А.В. Панченко (Науч. Рук. проф., д.ф.-м.н., В.Е. Павловский.)** (Кафедра теоретической механики и мехатроники МГУ). **Шестиногий шагающий робот с трехзвенным корпусом. Преодоление роботом с многозвенным корпусом препятствия типа "Уступ"**.

Построена математическая модель шагающего робота с трехзвенным корпусом. Решена прямая и обратная кинематические задачи по управлению корпусом робота. Исследована устойчивость робота при преодолении препятствия типа "Уступ" в режиме квазистатического движения.

Последовательность маневров робота при преодолении препятствия типа "Уступ" отработана в программном комплексе "Универсальный Механизм".

9.04.2018. Заседание в рамках молодежной конференции «Ломоносов-2018». Аннотации докладов – в файле Ломоносов 2018.rar .

16.04.2018. Заседание в рамках конференции «Ломоносовские чтения - 2018».

Состоятся два доклада:

I. Проф. В.Е.Павловский^{1,2}, Н.А. Гречишкин². (¹Институт прикладной математики имени М.В. Келдыша РАН, Москва, ²Механико-математический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва) **ОБУЧЕНИЕ С ПОДКРЕПЛЕНИЕМ В ЗАДАЧЕ ДВУНОГОЙ ХОДЬБЫ**

II. Проф. Ю.Ф. Голубев^{1,2}, доц. Е.В. Мелкумова². (¹Институт прикладной математики имени М.В. Келдыша РАН, Москва, ²Механико-математический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва) **АНАЛОГИЯ ЗАДАЧИ О РАВНОВЕСИИ ДВУНОГОГО РОБОТА НА НАКЛОННОМ ШЕРОХОВАТОМ ЦИЛИНДРЕ ЗАДАЧЕ О ПЕРЕНОСЕ МАНИПУЛЯТОРОМ С ДВУХПАЛЬЦЕВЫМ СХВАТОМ ШЕРОХОВАТОГО ЦИЛИНДРА**

Исследуется задача об удержании хрупкого прямого кругового шероховатого цилиндра пальцами рук робота манипулятора. Каждый из пальцев имеет одну точку в контакте с цилиндром. Численно и аналитически получены возможные области расположения точек контакта на цилиндре, для которых существует решение задачи кинестатики при переносе цилиндра двумя пальцами.

Задача о переносе объекта m -пальцевым схватом робота имеет аналогии задаче о равновесии шагающего n -ногого робота на поверхности объекта такой формы. Шагающий робот состоит из корпуса, l рук с m пальцами и n ног, опирающихся о шероховатый цилиндр, радиуса R , с коэффициентом k сухого трения, в $n+m$ точках опоры. Предполагается, что руки, пальцы и ноги робота совершают заданное движение относительно корпуса робота. Для того чтобы заданное движение могло быть реализовано, реакции в точках опоры должны удовлетворять уравнениям кинестатики. Пусть \mathbf{F} – сумма даламберовых сил инерции и внешних активных сил, \mathbf{M} – сумма моментов этих сил относительно неподвижной точки O . Ограничимся случаем, когда \mathbf{F} не равно нулю и перпендикулярно \mathbf{M} . Система $\{\mathbf{F}, \mathbf{M}\}$ приводится к равнодействующей в точке C . Точка C будет также точкой приложения равнодействующей реакций. Далее рассматривается задача о распределении реакций по точкам опоры в некоторый фиксированный момент времени в предположении, что сила \mathbf{F} приложена в точке C , а силовой момент в этой точке отсутствует. Хрупкость цилиндра означает ограничение на

модуль нормальных составляющих реакций. Пусть a – угол между силой \mathbf{F} и осью цилиндра.

Уравнения кинестатики дополняются неравенствами, отвечающими за попадание реакций в соответствующие конусы трения. Первая группа неравенств есть следствие того, что цилиндр – неудерживающая поверхность. При внутреннем захвате объекта скалярное произведение реакции на главную нормаль к поверхности в точке опоры должно быть неотрицательно. При внешнем захвате, указанные неравенства имеют обратный знак. Если число точек контакта чётно, и они попарно расположены в совпадающих точках опоры по разные стороны поверхности практически нулевой толщины, то указанные неравенства выполняются. Вторая группа неравенств это условие того, что касательные компоненты реакций ограничены предельным значением кулоновского сухого трения. Как только модули касательных реакций превышают предельное значение, возникает проскальзывание ноги или пальца относительно поверхности. Это квадратичные неравенства, относительно параметра p , где p – разность компонент реакций вдоль оси цилиндра, E совпадающий и не зависящий от a коэффициент при p в квадрате. Заметим, что для произвольной поверхности структура и свойства этих неравенств сохраняются.

Робот может удерживать хрупкий объект с произвольной поверхностью, например цилиндр, одним пальцем с внутренней или внешней стороны, так, что центр масс поверхности располагается, соответственно под или над точкой контакта. При этом наклон линии действия силы \mathbf{F} к нормали не должен превышать угла трения. Схват может удерживать хрупкий цилиндр двумя пальцами, расположенными на одном диаметре. И несколькими парами пальцев расположенных по разные стороны от тонкой поверхности объекта в совпадающих точках.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект №16-01-00131 а).

23.04.2018 **Я.В.Калинин** (Кафедра теоретической механики Волгоградского государственного технического университета (ВолгГТУ)). **Повышение энергетической эффективности многоногих шагающих роботов за счет управления физико-механическими эффектами при ходьбе**

Рассматривается математическая модель многоногого статически устойчивого шагающего робота, совершающего поступательное движение с прямолинейным перемещением центра масс, и его механизмов шагания, перемещающихся в вертикальной плоскости. Предполагается, что приводы курсового перемещения, горизонтального и вертикального переноса движителей обеспечивают оптимальные, по критерию минимума потерь энергии в обмотках электродвигателей постоянного тока, движения изучаемой механической системы.

Исследуется согласованная работа системы приводов при перемещении робота в целом и преодолении препятствий движителем. При помощи методов классического вариационного исчисления определяются оптимальные режимы движения, по критерию минимума тепловых потерь энергии, для каждого движителя.

Исследуются физико-механические эффекты, возникающие при взаимодействии опорного движителя с грунтом, как в касательном, так и в нормальном направлении. Ставится и решается задача о необходимости учета этих явлений при движении робота. Установленные явления позволяют осуществлять оптимальное управление взаимодействием в системе опорная нога-стопа-грунт и обеспечивать минимум энергозатрат робота на передвижение.

28.04.2018 **А.С. Кулешов, Д.С. Зуева** (Механико-математический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова). **О ДВИЖЕНИИ ТЕЛА ВРАЩЕНИЯ ПО ПОВЕРХНОСТИ СФЕРЫ**

Рассматривается задача о качении без проскальзывания динамически симметричного тела, ограниченного поверхностью вращения, по неподвижной сфере.

Предполагается, что силы, приложенные к твердому телу, имеют равнодействующую, приложенную к центру масс G тела, направленную к центру O опорной сферы, и зависящую только от расстояния между точками G и O . В этом случае решение задачи сводится к интегрированию системы двух линейных уравнений первого порядка относительно компонент ω_3 и n угловой скорости тела в проекции на его ось динамической симметрии и на нормаль к поверхности сферы соответственно. Изучается вопрос о том, какой поверхностью должно быть ограничено катящееся тело, чтобы для него уравнение на ω_3 интегрировалось при помощи разделения переменных.

14.05.2018 **Б.С.Бардин, А.С.Панев** (Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), Кафедра мехатроники и теоретической механики). **О динамике тела, движущегося по шероховатой горизонтальной плоскости посредством перемещения внутренней массы.**

Рассматривается движение твердого тела (корпуса) по горизонтальной поверхности. Внутри корпуса по окружности, центр которой совпадает с его центром тяжести, перемещается точечная масса. Угловая скорость кругового движения точечной массы постоянна. Предполагается, что между корпусом и поверхностью действуют силы сухого трения, причем корпус движется поступательно без отрыва от поверхности.

Выполнено полное качественное аналитическое исследование характера движения корпуса при произвольной начальной скорости. В частности, установлено, что всегда существует единственный периодический режим движения, тип которого зависит от значений параметров системы. Показано, что в общем случае корпус либо асимптотически приближается к периодическому режиму движения, либо переходит в периодический режим за конечный промежуток времени.

21.05.2018 **К.В. Герасимов, А.А. Зобова, И.И. Косенко** (механико-математический факультет МГУ им. М.В.Ломоносова) **Моделирование динамики экипажа с омни-колесами**

Изучается движение экипажа с омни-колесами по горизонтальной плоскости. Конструкция позволяет экипажу двигаться в любом направлении, не поворачиваясь, за счет роликов, расположенных на ободе колеса, свободно вращающихся вокруг осей касательных к ободу. Аналитическое решение затруднено количеством твердых тел.

Рассматривается два варианта точечного контакта: 1) опорная плоскость абсолютно шероховатая, либо 2) действует сухое трение Кулона.

В неголономном случае составляются уравнения движения для систем с дифференциальными связями в форме Я.В. Татаринова, а в моменты перехода колес между роликами решается задача теории удара. Вывод и решение уравнений выполняется в системе компьютерной алгебры Maxima.

В случае с трением применяется подход объектно-ориентированного моделирования на языке Modelica. Представлена пошаговая реализация разработки динамической модели системы тел, составляющих экипаж.

См. также файл **omni.pdf** в архиве семинара

Планируется

КАНИКУЛЫ ДО ОСЕНИ !!!