

## ОТЗЫВ

на диссертацию "Динамика и оптимизация параметров и алгоритмов управления движением шагающих машин со сдвоенными шагающими движителями", представленную Александром Васильевичем Малолетовым на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.01 "Теоретическая механика"

Диссертация посвящена актуальной теме создания новых перспективных средств повышенной проходимости на основе шагающего движителя. Представители живой на своем примере показывают, что передвижение с помощью ног позволяет демонстрировать существенно более высокую профильную и грунтовую проходимость по сравнению с колесными и гусеничными машинами. Несмотря на гениальное не имеющее аналогов в живой природе изобретение колеса длительное время предпринимаются попытки создания машин, передвигающихся с помощью ног, которые до сих пор не привели к созданию конкурентоспособных образцов подобных машин народно-хозяйственного назначения. Это указывает на принципиальные трудности научно-технического характера, обусловленные тем, что конструктивные материалы и элементная база, используемые при создании технических систем и в живой природе существенно отличаются. Копирование природы, по-видимому, не является лучшим направлением исследований в этой области, как и во многих других. Самолеты не летают, как птицы. Подводные лодки не плавают, как рыбы. Системы технического зрения не анализируют изображение, как глаз человека.

Тем не менее необходимо предпринимать попытки создания устройств, обладающих высокими характеристиками приспособляемости к условиям окружающей среды, характерными для представителей живой природы.

Одним из таких направлений науки является проблема создания машин, передвигающихся с помощью ног, которой посвящена рассматриваемая диссертация.

В диссертации эта проблема сводится к существенно более простой проблеме создания статически устойчивых машин со сдвоенными шагающими движителями.

Наиболее простым с точки зрения управления является создание именно статически устойчивых шагающих машин, при управлении которыми можно не учитывать динамические факторы. Автор диссертации, а точнее его научные руководители выбрали в рамках этого направления еще одно очень интересное и перспективное направление, связанное с созданием шагающих машин со сдвоенными шагающими движителями. В этих машинах каждый шагающий движитель, состоит из двух ног, работающих в противофазе. Одна нога находится в опоре, а другая, совмещенная с ней в фазе переноса. Это позволяет практически освободить систему

управления движением от проблемы обеспечения статической устойчивости шагающей машины. Платой за эту простоту системы управления движением является существенное усложнение конструкции, которое приводит к удвоению количества ног. Такое решение представляется весьма целесообразным в конструкциях шагающих машин с цикловым приводом, в которых ноги одного движителя, приводятся в движение одним приводом, а сдвиг по фазе разных ног одного движителя осуществляется механикой редуктора. Однако такие машины способны демонстрировать только высокую грунтовую проходимость, но не способны показать высокую профильную проходимость, которая на мой взгляд является основным преимуществом шагающих машин, по сравнению с другими наземными средствами передвижения.

Автор диссертации рассматривает, как шагающие машины с цикловыми движителями, традиционные для школы Волгоградского технического университета, так и машины высокой профильной проходимости, с ортогональными шагающими движителями. В последнем случае использование сдвоенных шагающих движителей лично мне представляется не оправданным. На мой взгляд следовало бы усложнить систему управления и упростить конструкцию машины, что бы позволило в два раза сократить количество приводов в шарнирах ног. Однако, тем не менее подход предлагаемый автором и его коллегами безусловно заслуживает огромного интереса.

Диссертационная работа А.В.Малолетова является составной частью работ по механике и управлению движением шагающих машин, проводимых начиная с 80-х годов Волгоградском техническом университете и ПО "Баррикады". В диссертации развивается новое актуальное научное направление, связанное с разработкой методов многокритериальной оптимизации структуры, параметров и алгоритмов управления движением шагающих машин со сдвоенными шагающими движителями.

Диссертация А.В.Малолетова состоит из введения, пяти глав и заключения.

Первая глава диссертации состоит из трех разделов. В разделе 1.1. приведен обзор работ по механике и управлению движением шагающих машин и предложена классификация шагающих машин по конструкционным признакам, способам организации движения и проходимости. В разделе 1.2. разработана система показателей качества шагающих машин с точки зрения их конструкции, маневренности, проходимости, воздействия на грунт и динамических параметров движения. В разделе 1.3 обсуждаются общие вопросы многокритериальной оптимизации шагающих машин с использованием интегрального критерия качества, являющегося линейно взвешенной комбинации частных критериев качества.

Во второй главе описывается, разработанная и реализованная на ЭВМ автором, система построения модели динамики движения шагающих машин различной конструкции. Фактически это существенно более общая система моделирования движения динамики механических систем, состоящих из взаимодействующих абсолютно твердых тел. Созданный А.В.Малолетовым программный комплекс

моделирования динамики движения шагающих машин является инструментом, необходимым для дальнейших исследований по оптимизации движения шагающих машин.

Третья глава, состоящая из двух разделов, посвящена оптимизации алгоритмов и законов управления движением шагающих машин.

В разделе 3.1 рассматриваются общие вопросы использования уравнений Эйлера при решении вариационных задач с интегральным критерием качества, зависящим от старших производных. Рассматриваются частные случаи существования первых интегралов уравнений Эйлера. Решены задачи: а) оптимизации закона управления линейным электромеханическим приводом, использованного в приводах шагающей машины "Ортоног"; б) оптимизации движения циклового шагающего движителя машины "Восьминог"; в) оптимизации движения шагающих машин с цикловыми движителями. В этих задачах в качестве частных критериев качества используются энергопотребление и комфортабельность движения.

В разделе 3.2 разработан метод прямого задания программных движений, который используется в тех случаях, когда не удается получить аналитическое решение вариационной задачи, а численное решение на ЭВМ представляется затруднительным. В результате использования этого метода определяется выбор лучшего закона управления из ограниченного числа заранее заданных законов управления на основе численных оценок, выставляемых экспертом. Эти оценки используются в качестве интегрального критерия качества. При этом для вычисления частных критериев качества используется модель динамики движения шагающей машины, построенная в главе 2. Решена задача построения программного движения шагающей машины "Ортоног" по плоской поверхности с учетом необходимости обхода непреодолимых препятствий и наличия зон, запретных для постановки ног.

В четвертой главе рассматривается метод решения задач многокритериальной оптимизации на основе поиска на многомерных кубах и его использование для решения задач оптимизации конструкции (структуры) и параметров шагающих машин. Для решения этих задач используется метод  $ЛП_{\tau}$  последовательностей, разработанный И.М.Соболев. При решении этих задач учитывается, что, что некоторые параметры могут принимать конечное число значений (например, принимать только целочисленные значения). Решена задача оптимизации цикловых шагающих движителей, использованных в машине "Восьминог" за счет увеличения количества ног в движителе и введения механизма корректора. Решены задачи организации движения (походки) шагающей машины с сдвоенными ортогональными шагающими движителями с учетом возможности увеличения или уменьшения количества движителей в конструкции машины, а также с учетом возможности выхода из строя части приводов в шарнирах ног или одной из ног любого из движителей. Допускается нештатная работа ног движителей, когда обе ноги одного движителя могут либо одновременно находиться в фазе переноса или в фазе опоры.

Обсуждаются вопросы оптимизации запаса статической устойчивости при движении шагающей машины.

В пятой главе рассмотрены задачи: а) оптимизации формы составной дождевальная машины с шагающими движителями; б) оптимизации структуры и алгоритмов управления движением шагающей машины "Восьминог-М" с подъемно-поворотными движителями; в) обеспечения курсовой устойчивости шагающим машин с цикловыми движителями; г) управления движением циклового движителя с изменяемой длиной коромысла.

По работе можно сделать следующие замечания:

1. Раздел 1.1 это обзор работ и классификация шагающих машин содержит в заметной степени цитирование из моего (в соавторстве) обзора по машинам, работы [147, 149, 198] в списке литературы диссертации А.В.Малолетова.

Кроме того в этой части ошибочно на стр. 46 утверждается, что один из наиболее удачных проектов шагающей машины ASV (Adaptive Suspension Vehicle) это аппарат с зооморфной кинематикой ног. В конструкции этой машины был использован пантографный механизм шагающего движителя, представленный на рис 1.55 диссертации, дополненный приводом поворота, вокруг продольной оси аппарата. В то же время на стр. 66 диссертации верно отмечается про пантографный механизм в конструкции ноги этой машины. Следует отметить, что инициатором и основным руководителем работы являлся R.V.McGhee (один из пионеров в области шагающих машин), который и предложил кинематику ноги на основе пантографного механизма. Однако за этот проект R.V.McGhee впал в неоправданную опалу, и завершать проект пришлось K.J.Waldodn, которого автор называет руководителем проекта. На самом деле K.J.Waldodn в начале проекта был основным конкурентом R.V.McGhee и предлагал кинематику ноги на основе циклового механизма шагания.

2. Непонятно в чем заключается новизна главы 2 по сравнению с известными системами моделирования динамики системы твердых тел? Зачем потребовалось создавать свою систему, что безусловно потребовало весьма значительных затрат времени и сил? Есть ли у нее преимущества по сравнению с известными системами с точки зрения моделирования движения именно шагающих машин?

Кроме того в качестве пожеланий хотелось бы видеть развитие этой системы с учетом динамики приводов шагающего движителя. Динамика привода, как известно в робототехнике может оказаться сопоставимой или даже более существенной, чем динамика механической части системы.

Следовало бы развить модель контакта стопы с опорной поверхностью. Отмечу здесь два аспекта. Во-первых, при учете возможности проскальзывания ноги по опорной поверхности следовало бы учитывать сочетание трения скольжения и трения качения (модель трения Контессу-Журавлева). Во-вторых, следовало бы рассмотреть

модель контакта ноги с опорной поверхностью на основе обобщенной контактной задачи Герца с учетом изменения площади пятна контакта стопы с опорой.

3. Следует отметить излишне лаконичный стиль изложения материала в диссертации. Такой стиль изложения характерен для журнальных статей и существенно затрудняет понимание полученных в диссертации результатов. Объем же диссертации позволяет изложить материал существенно более подробно. Автор, по-видимому, не пожелал взять на себя труд по написанию именно текста диссертации, как отдельного и важного для научного работника вида научной публикации, а воспользовался компиляцией текста ранее опубликованных им статей. На это также указывают отдельные ошибки редакционного плана.

На стр. 65 вместо работы в списке литературы стоит фраза "Ошибка: источник перекрестной ссылки не найден". На стр. 86 упоминается пункт 1.2.6. - показатель запаса статической устойчивости, которого нет в диссертации. На стр. 87 в формуле (1.9) речь идет об энергозатратах, а не о мощности, как это утверждает автор. На стр. 223 упоминается рис. 7, которому в тексте диссертации соответствует рис. 4.10.

4. Проблему многокритериальной оптимизации, по-видимому, в ряде случаев следовало бы заменить на проблему минимизации одного из критериев (основного) при наличии ограничений типа неравенства по другим критериям.

5. В ряде случаев вместо минимизации интегральных критериев качества более естественным являлось бы решение существенно более сложной задачи минимизации максимального значения некоторой функции. Например, в качестве критерия комфортабельности движения целесообразно было бы искать не минимум среднеквадратичного ускорения, а минимум максимального значения модуля ускорения.

6. Основным достоинством диссертационной работы на мой взгляд является наличие экспериментальных образцов шагающих машин, созданных в ВГТУ, которые прошли успешное испытание в натуральных условиях. Усилия диссертанта в основном были направлены на поиск оптимальных конструктивных решений и оптимизацию алгоритмов управления движением именно этих машин. Однако об этом в тексте диссертации имеются лишь эпизодические упоминания. Следовало бы посвятить отдельную главу описанию экспериментального исследования движения созданных образцов шагающих машин и их сопоставлению с положениями теории, изложенной в диссертации. Да и в представленном тексте уделить этому существенно большее внимание.

Оценивая работу в целом отметим, что в диссертации А.В.Малолетова разработана теория и методы многокритериальной оптимизации конструкции и алгоритмов управления шагающих машин со сдвоенными шагающими движителями, которые дают исследователям и инженерам средства, необходимые для проектирования машин народно-хозяйственного назначения. Они нашли практическое использование при создании различных шагающих машин, в том числе

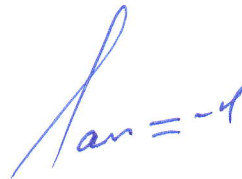
дождевальная машины "Кубань" с шагающим двигателем, шагающих машин "Восьминог", "Восьминог-М" и "Ортоног".

Результаты диссертационной работы являются новыми и в достаточной степени обоснованными. Они опубликованы и многократно докладывались на всероссийских и международных конференциях. А.В.Малолетов хорошо известен и пользуется авторитетом среди специалистов в области механики и управления движением шагающих машин. Результаты работы используются в учебном процессе в Волгоградском государственном техническом университете при обучении студентов.

Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

Считаю, что диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне и ее автор Александр Васильевич Малолетов заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.01 "Теоретическая механика".

Официальный оппонент,  
доктор физико-математических наук,  
профессор



В.В.Лапшин

Подпись В.В.Лапшина заверяю

Руководитель НУК ФН МГТУ им. Н.Э.Баумана,  
доктор физико-математических наук, профессор



В.О.Гладышев.