

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Александра Васильевича МАЛОЛЕТОВА «ДИНАМИКА И ОПТИМИЗАЦИЯ СТРУКТУРЫ, ПАРАМЕТРОВ И АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ШАГАЮЩИХ МАШИН СО СДВОЕННЫМИ ШАГАЮЩИМИ ДВИЖИТЕЛЯМИ», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.01 «Теоретическая механика»

Достоинства шагающих машин и актуальность их применения определяются в первую очередь потенциально более высокой проходимостью и лучшими экологическими свойствами по сравнению с машинами, использующими традиционные типы двигателей. Шагающие машины способны двигаться и работать на очень слабых грунтах. При этом в частности, в силу довольно низкой энергоэффективности, внедрение шагающих машин и роботов испытывает трудности. Всего несколько разработок достигли уровня, при котором возможно их практическое использование. Среди таких разработок можно назвать машины Plustech (Финляндия), Dante, ASV и BigDog (США), Asimo (Япония) и ряд машин, разработанных в ВолгГТУ (Россия). При участии автора и с использованием результатов, изложенных в диссертации, разработаны шагающие машины «Восьминог», «Восьминог М», «Ортоног», шагающие опоры для дождевальная машины «Кубань».

Особенностью шагающих машин, разработанных в ВолгГТУ и рассматриваемых в диссертации Александра Васильевича Малолетова, является использование сдвоенных шагающих двигателей, состоящих из двух механизмов шагания, кинематически связанных друг с другом. Каждый шагающий двигатель одной из своих двух стоп всегда опирается на грунт, что повышает устойчивость машины и упрощает алгоритмы управления ею.

Основные результаты и выводы диссертации.

1. Предложена и обоснована система показателей качества шагающих машин, и построена функция механического состояния шагающей машины со сдвоенными двигателями, используемая при решении задач многокритериальной оптимизации.
2. Разработаны теоретико-механические модели шагающих машин со сдвоенными двигателями, реализованные в виде программно-алгоритмических комплексов.
3. Предложены методы многокритериальной оптимизации параметров шагающих машин; разработаны приемы выбора структуры машин – взаиморасположения и связи их составных частей, их устройства, и организации управления ими на этапе проектирования и эксплуатации.

4. Разработаны методы повышения эффективности аппаратов со сдвоенными шагающими двигателями на основе целенаправленного изменения их параметров и структуры.

Структура и объём работы, публикация результатов. Диссертация состоит из введения, пяти глав, основных выводов, списка литературы. Общий объём диссертации 316 страниц, в тексте имеется 8 таблиц и 127 рисунков. Список литературы состоит из 460 наименований. Основные положения диссертации отражены в 106 публикациях, в том числе в 2 монографиях, 18 статьях в журналах по перечню ВАК; представлены 3 патента на изобретения, 5 программ для ЭВМ. Результаты работы также отражены в 16 научно-исследовательских отчётах, имеющих государственную регистрацию. Автореферат согласован с диссертацией.

В первой главе выполнен анализ и предложена классификация шагающих машин и роботов с учетом областей их применения. Предложена система механических показателей шагающих аппаратов, характеризующих их состояние и функциональные возможности. Построена функция механического состояния шагающего аппарата, основанная на системе предложенных показателей и предназначенная для формирования критериев при решении задач оптимизации алгоритмов движения, структуры и параметров шагающих машин. Оценку качества в случае, когда образцы техники изготавливаются в малом количестве экземпляров, приходится строить исключительно на технических показателях. Многокритериальная оптимизация параметров, структуры и функционального предназначения машины, которую строит А.В.Малолетов, заключается в поиске минимума общего критерия качества, который вводится в виде линейной взвешенной комбинации частных критериев или технических показателей качества. Целью многокритериальной оптимизации является поиск оптимальных по Парето решений по частным критериям и выбор исследователем одного из этих решений на основе анализа соответствующих значений совокупности критериев. Выбор оптимального программного движения, по замыслу А.В.Малолетова, происходит в интерактивном режиме в форме диалога разработчика с компьютером. (Множество допустимых решений в целом в диссертации не определяется и не анализируется). Разработчик выбирает из ограниченного количества решений, каждое из которых является оптимальным в смысле Парето, — по одному на каждую итерацию.

Во второй главе сформированы теоретико-механические модели шагающих машин, рассматриваемых как системы твёрдых тел, и программное обеспечение для моделирования динамики управляемого движения шагающих аппаратов и расчёта значений показателей,

характеризующих механическое состояние машины. При составлении теоретико-механических моделей движения шагающих машин в диссертации используется техника общих теорем динамики. Внешние силы, действующие на моделируемую систему твёрдых тел, считаются известными и трактуются как силы взаимодействия между средой и телами системы. В частности, силы реакции, возникающие при контакте стоп шагающей машины с опорной поверхностью, представлены в виде упруго-вязко-пластичного взаимодействия. Проведена проверка системы разработанных теоретико-механических моделей на экспериментальных образцах шагающих машин. В зависимости от решаемых задач движение машин в диссертации задается либо как результат воздействий, реализуемых приводными двигателями, либо в виде геометрических или кинематических программных законов. Из-за требования согласованности работы механизмов шагания и требования обеспечения необходимых условий взаимодействия с грунтом (например, отсутствие проскальзывания) количество независимых законов управления (фактическое число степеней свободы), как правило, меньше числа приводных двигателей.

В третьей главе описаны применяемые автором методы оптимизации алгоритмов и законов управления шагающими машинами со сдвоенными шагающими движителями. Ставится задача разработки методов многокритериальной оптимизации параметров, структуры и законов управления движением шагающих роботов, с учётом функционального предназначения машины. Ищется минимум общего критерия качества, который вводится в виде линейной взвешенной комбинации частных критериев или показателей качества. Выбор из возможных программных законов движения робота производится на основании значений частных критериев по следующему алгоритму: задаются весовые коэффициенты; назначается обобщённый критерий качества; определяются параметры и структура шагающей машины, соответствующие максимуму или минимуму обобщённого критерия качества; находятся значения частных показателей; если они удовлетворяют разработчика, то программное движение выбрано. Практическое применение разработанных методов иллюстрируется на примере шагающих машин Восьминог и Ортоног.

В четвёртой главе описаны разработанные методы структурно-параметрической оптимизации шагающих машин, включающие в себя добавление новых механизмов или звеньев механизмов, изменение числа степеней свободы механизмов, удаление или отключение механизмов или приводов. Методы структурной оптимизации особенно актуальны для машин, построенных на модульном принципе, который использовался при

разработке машины Ортоног и дождевальная машины с шагающими двигателями. Автором разработаны методы определения необходимого количества и типа приводных модулей, позволяющих осуществлять программное движение корпуса машины. Практическая реализация движения с использованием меньшего количества механизмов шагания представляет определённые сложности, связанные, в частности, с необходимостью контролировать положение центра масс машины относительно опорного многоугольника. Развитие такого подхода вынуждает автора рассматривать задачу об оценке отказоустойчивости шагающего аппарата.

В пятой главе разработаны методы структурно-алгоритмической оптимизации шагающих машин. В качестве критерия оптимальности здесь принимается минимум механической работы сил, реализуемых приводами. К задачам структурно-алгоритмической оптимизации относится применение разнотипных двигателей в одной шагающей машине и построение алгоритмов управления ими. Примерами аппаратов с разнотипными двигателями является шагающая машина Восьминог М, которая отличается от ее первоначального варианта – машины Восьминог наличием дополнительных подъёмно-поворотных двигателей. Хотя дополнительные двигатели увеличивают сложность конструкции машины и системы управления, но значительно увеличивают её проходимость и снижают энергозатраты при выполнении некоторых манёвров.

Замечания оппонента.

1. В подробном обзоре отечественных работ по созданию шагающих роботов (стр.38) не упомянут А.В. Ленский, автор конструкций колесно-шагающей машины «Рикша», представленной в Политехническом музее, шагающего робота «МаШа» (НИИ механики МГУ), во многом повторенного в Институте Фраунгофера (Магдебург, Германия) при создании робота «Катарина».
2. Отсутствует существенное для принятия решения об эффективности кинематической схемы механизма шагания сравнение инсектоморфной и зооморфной схем шагающих машин.
3. Определение «коэффициента режима» шагания приведено на стр.62, а его использование начинается на стр.58.
4. При обсуждении проблемы связи линейных и угловых перемещений корпуса мобильных роботов надо было бы наряду с традиционными колесными и гусеничными транспортными системами (стр.74) рассмотреть машины с омни- и механум- колесами, которые позволяют осуществлять поступательное движение корпуса при произвольных перемещениях шасси аппаратов.

5. На стр.108 не полно описана процедура составления уравнений динамики при представлении голономных связей в виде ограничений, наложенных на обобщенные скорости тел системы.
6. При чтении стр.108-109 диссертации остается неясно, как фактически решается алгебро-дифференциальная система: или все уравнения представлены в дифференциальной форме, или на каждом шаге решения дифференциальных уравнений приходится решать систему алгебраических уравнений.
7. На стр.185 обсуждается вопрос о возможности рекуперации кинетической энергии машины. Действительно, рекуперация, в принципе, возможна, но данное в диссертации объяснение этого факта не вполне адекватно. Истинная причина возможности рекуперации – смена знака горизонтальной составляющей реакции подстилающей поверхности в режиме одноопорного шагового цикла будет происходить и при «безмассовом» механизме шагания.
8. Картина управления цикловым движителем с изменяемой длиной коромысла, представленная рисунками на стр.258, не полностью разъясняется. Не очевидно, что рисунок 5.18 «горизонтальная составляющая скорости стопы», согласуется с рисунком 5.16. «закон управления».

В целом диссертация представляет собой выполненное в едином стиле обстоятельное законченное научное исследование, удовлетворяющее требованиям ВАК. Результаты, представленные в диссертации, можно оценить как существенный вклад в развитие важного научного направления в современной теоретической механике – разработку и исследование моделей крупногабаритных шагающих машин со сдвоенными движителями и разработку Критической Технологии создания транспортной техники нового поколения. Считаю, что представленная диссертация на соискание ученой степени доктора физико–математических наук по специальности 01.02.01 – теоретическая механика удовлетворяет требованиям Постановления Правительства РФ «О порядке присуждения ученых степеней», а ее автор А.В. МАЛОЛЕТОВ заслуживает присуждения ему искомой ученой степени.

Официальный оппонент – доктор физико-математических наук профессор

Подпись профессора А.И. Кобрин удостоверяю.
Ученый секретарь Ученого совета МЭИ (ТУ)



А.И. Кобрин

05.10.2015

И.В. Кузовлев