На правах рукописи



**Аль-Еззи Абдулракеб Саид Яхья**

**ДИНАМИКА НЕУСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМОВ ДВИЖЕНИЯ МОБИЛЬНОГО КОЛЕСНОГО РОБОТА ПО ПРЯМОЛИНЕЙНОЙ И КРИВОЛИНЕЙНОЙ ТРАЕКТОРИЯМ**

01.02.06 –Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Курск 2011

Работа выполнена на кафедре Теоретической механики и мехатроники

государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Юго-Западный государственный университет», г. Курск

|  |  |
| --- | --- |
| Научный руководитель | заслуженный деятель науки РФ,  доктор технических наук, профессор  Яцун Сергей Федорович |
| Официальные оппоненты: | доктор технических наук, профессор  Савин Леонид Алексеевич    кандидат технических наук  Сапронов Константин Александрович |
| Ведущая организация | ГОУ ВПО «Воронежский  государственный технический  университет» |

Защита состоится «29» июня 2011 г. в 12.00 на заседании совета по

защите докторских и кандидатских диссертаций Д 212.105.01 при Юго-Западном государственном университете по адресу: г. Курск, ул. 50 лет

Октября, 94, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Юго-Западного

государственного университета.

Автореферат разослан «27» мая 2011 г.

Ученый секретарь совета

по защите докторских и

кандидатских диссертаций

Д 212.105.01 к.т.н., доцент Б.В.Лушников

**ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

**Актуальность темы.** В настоящее время в мире интенсивно расширяется область использования мобильных роботов. Для успешного выполнения обширного круга задач роботы должны обладать высокой маневренностью, быстродействием и точностью движения по заданным траекториям. Кроме этого робот должен обладать способностью к интерпретации, планированию и автоматическому выполнению полученных заданий, используя как бортовую, так и внешнюю вычислительные системы.

Область применения колесных мобильных роботов чрезвычайно разнообразна и включает такие важные сферы человеческой деятельности, как автоматизированное производство, строительство, космос, оборона, медицина, сельское хозяйство и т.д. Особенно высокие требования предъявляются к сервисным роботам, выполняющим технологические задачи в условиях взаимодействия с человеком. При этом важно обеспечить возможность достижения заданной цели в неопределенной внешней среде, избегая столкновения со стационарными препятствиями и подвижными объектами.

Активное поведение колесных роботов в сложном окружении достигается при использовании новых кинематических схем, а также развитых систем измерения, очувствления и управления. Исследованию движения колесных роботов посвящены работы многих отечественных исследователей, в том числе В.М. Буданова, Е.А. Девянина, С.Л. Зенкевича, Ю.Г. Мартыненко, Д.Е. Охоцимского, В.Е. Павловского, Ю.В. Подураева, А.М. Формальского, а также и зарубежных ученых: G. Bastin, G. Campion, C. Canudas de Wit, W. Dixon, Y.H. Fung, A. Isidori и др.

В то же время вопросы быстрого пуска робота, разгона и выхода на заданный уровень скорости изучены недостаточно. Однако именно здесь скрываются резервы повышения быстродействия робота.

Таким образом, актуальность темы исследования определяется необходимостью создания более совершенных систем управления пусковыми режимами колесных роботов, удовлетворяющих современным требованиям к качественным и количественным характеристикам движения и учитывающих нелинейные свойства математических моделей управляемых объектов.

**Объектом исследования** является колесный мобильный робот с двумя ведущими колесами, оснащенный системой форсированного управляемого

пуска.

**Целью диссертации** является повышение эффективности движения мобильного робота за счёт разработки и создания методов расчёта неустановившихся режимов.

**Методы исследования.** Для решения поставленных задач использовались различные разделы теоретической механики, теории механизмов и машин, теории автоматического управления, методы математического моделирования динамических систем. При создании программных продуктов использованы математические пакеты MathCAD, Matlab/Simulink.

Для достижения поставленной цели решены следующие **задачи**:

1. Разработка математической модели движения робота при пуске по прямолинейной и криволинейной траекториям. Моделирование и исследование динамики движения робота при различных стратегиях управления пуском робота.

2. Разработка системы управления движением робота в период пуска и при различных стратегиях управления, обеспечивающих быстрый разгон робота.

3. Разработка математической модели движения мобильного колесного робота по прямолинейной траектории с учетом упруговязкого элемента в подвеске и трения качения и скольжения. Определение условий равновесия робота в процессе пуска. Выявление закономерностей, определяющих разгон робота для различных законов управления.

4. Моделирование системы управления движением робота по различным траекториям.

5. Синтез регулятора, использование которого может обеспечить управление движением по траектории с заданной точностью.

6. Разработка конструкции экспериментального мобильного колесного робота для реализации алгоритмов управления движением.

7. Разработка системы навигации для решения задачи управления движением робота по заданной траектории.

**Достоверность научных положений и результатов.** Основные научные результаты диссертации получены на основе математического аппарата неголономной механики, теории автоматического управления, а также методов экспериментальных исследований. Результаты экспериментальных исследований согласуются с теоретическими результатами.

**Научная новизна работы заключается** в совершенствовании математических моделей, описывающих динамику управляемого движения робота при пуске по прямолинейной и криволинейной траекториям и с учетом упруговязкого элемента в подвеске, выявлении параметров движения робота, соответствующих различным его режимам: с проскальзыванием и без проскальзывания ведущих колес, с отрывом и без отрыва ведущего колеса от плоскости опоры.

**Основные положения, выносимые на защиту:**

1. Математическая модель движения робота при пуске по прямолинейной и криволинейной траекториям, отличающаяся тем, что учтены трение качения и трение скольжения и используется электропривод

ограниченной мощности.

2. Зависимость времени пуска от закона управляющего напряжения в системе управления движением робота в период пуска и предложена стратегия форсированного управления, обеспечивающая быстрый разгон робота, что повышает быстродействие в 3,5 раза по сравнению с традиционным пуском.

3. Зависимости скорости разгона робота от параметров управляющего напряжения, позволившие синтезировать регулятор, использование которого обеспечивает управление движением по траектории с погрешностью до 5%.

4. Математическая модель движения мобильного робота с учетом упруговязкого элемента в подвеске, позволяющая установить, что с уменьшением жесткости упругого элемента время переходного процесса возрастает.

**Практическая ценность работы** состоит в разработке экспериментального образца, оснащенного системой навигации и планирования траектории на основе инфракрасного локатора, для решения задачи управления движением робота по заданной траектории. Этот робот спроектирован на основе методики расчета пусковых режимов предложенных в работе. Этот образец может быть использован для проведения экспериментальных исследований в рамках решения задач мехатроники. Созданные методики расчета роботов могут применяться при проектировании сервисных роботов, роботов по борьбой с чрезвычайными ситуациями, а также может применяться в учебном процессе.

**Апробация работы.** Основные результаты работы докладывались и обсуждались на вузовской научной конференции студентов и аспирантов в области научных исследований «Молодежь и XXI век» (г. Курск, 2009), IV Международной научно-технической конференции «Вибрация-2010» (г. Курск, 2010), V научно-технической конференции аспирантов и молодых ученых (г. Ковров, 2010), II Международной молодёжной научной конференции «молодёжь и XXI век»(г. Курск, 2010), Всероссийской научной школе для молодежи «Мехатроника, робототехника. Современное состояние и тенденции развития» (г. Курск, 2011), Всероссийской научно-технической конференции Новые технологии в научных исследованиях, проектировании, управлении, производстве (г. Курск, 2011).

**Публикации.** По теме диссертационной работы опубликовано 17 научных работ в том числе: 15 статей (из них 3 статьи в изданиях, рекомендованных перечнем ВАК РФ), 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ и 1 патент на полезную модель.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы (103 наименования). Текст диссертации изложен на 158 страницах машинописного текста, включает 118 рисунков, 1 таблицу.

**ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи диссертации, показана новизна и практическая значимость полученных результатов.

**В первой главе** рассмотрены различные типы роботов, приведена структура исполнительных систем мобильных роботов, проведен анализ существующих моделей колесных модулей мобильных роботов.

**Во второй главе** разработана математическая модель движения трехколёсного робота по прямолинейной траектории с двумя ведущими колесами. Расчетная схема робота показана на рис.1.Рассматриваемый в работе робот, движется в неподвижной системе координат *Oxyz*, причем предполагается, что робот находится все время в вертикальной плоскости *Oxy* с координатой *z*=0.

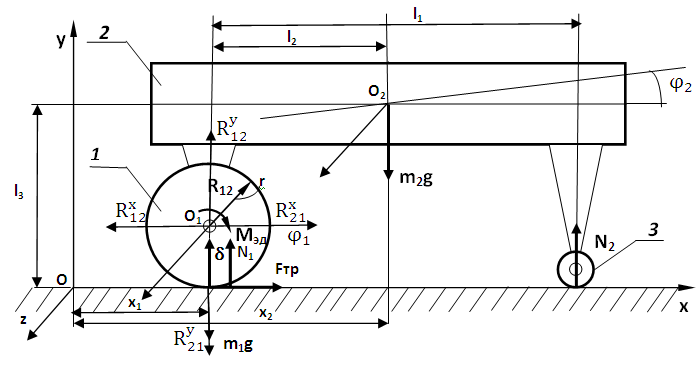
******

Рис. 1. Расчетная схема колесного робота

Робот состоит из ведущего колеса 1, установленного на валу управляемого электродвигателя постоянного тока, который неподвижно закреплен на корпусе робота 2, и поддерживающего рояльного колеса 3. В дальнейшем принято, что элементы робота – недеформируемые твердые тела, а при взаимодействии ведущего колеса с шероховатой поверхностью возникают нормальная реакция, сила трения и момент трения качения. На рояльное колесо действует только нормальная реакция. Пусть вес корпуса робота с электроприводом и рояльным колесом приложен в точке О2 , а вес ведущего колеса приложен в точке О1 , являющейся геометрическим центром колеса. Вектор обобщенных координат для принятой расчетной схемы имеет вид

. Так как , то вектор псевдоскоростей представим в виде . Вектор обобщенных скоростей связан с вектором псевдоскоростей с помощью следующего соотношения: , где *H*матрица, имеющая вид: . Если  ,

тогда вектор обобщенных сил имеет вид . Подставим соответствующие функции в уравнения Маджи, переписав их в виде:

После соответствующих преобразований получим дифференциальные уравнения, описывающие движение робота с учетом свойств электродвигателя и момента трения качения без учета проскальзывания колеса:

|  |  |
| --- | --- |
| J | (1) |

где приведенный момент инерции; угловое ускорение колеса, коэффициент трения качения,N1– нормальная реакция, *L*– индуктивность, *R*– сопротивление якоря электродвигателя, постоянная электродвигателя, угловая скорость колеса и напряжение.

Система дифференциальных уравнений (1) позволяет определить закономерности пускового режима робота при отсутствии проскальзывания для любого закона управляющего напряжения.

Для определения N1  и Мэд необходимо рассмотреть уравнения движения робота с применением принципа Даламбера.

Если момент трения качения меньше предельного , где- предельный коэффициент трения качения, то робот не двигается. То есть, если выполняется условие , то .

При описании пускового режима нормальная реакция изменяется в силу того, что прикладываемый к колесу момент электродвигателя возрастает по заданному закону, поэтому необходимо найти величину коэффициента трения качения в покое и нормальную реакцию:

, где δ).

Дифференциальные уравнения движения робота при пуске с учетом проскальзывания:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2) |

В соответствии с законом Кулона, условием перехода к движению робота с проскальзыванием колеса является . При отсутствии скольжения, то есть при *V*=0, . Если , то переходим к уравнениям (2).

Рассчитываем функции x1(t), φ1(t) и i(t) в соответствии с системой уравнений (2), при этом на каждом временном шаге контролируем и . Если , процесс скольжения прекращается и мгновенный центр скоростей перемещается в точку контакта колеса с поверхностью.

Рассмотрим различные способы управления в пусковом режиме. На рис. 2 приведен график зависимости напряжения питания, поступающего на обмотки якоря электродвигателя. Далее рассматривается кусочно-постоянный 2-этапный алгоритм управления.

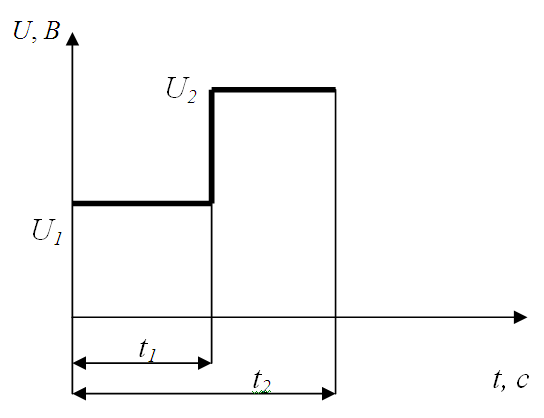


Рис. 2. Зависимость управляющего напряжения от времени

Данный алгоритм характеризуется 4-мя параметрами: *U1, U2, t1, t2*,

изменение которых влияет на разгон робота.

Далее приведены примеры вычисления основных параметров робота в зависимости от времени. На первом этапе рассматривается традиционный пуск робота при постоянном управляющем напряжении, равном 12 В (рис.3.,а). Время выхода на заданную угловую скорость 40 р/с составляет 12 с, а ток в цепи якоря не превышает 3,8 А (рис.3,в).

Для уменьшения времени разгона применим двухэтапный алгоритм кусочно-постоянного напряжения, приведенный на рис.4.

На первом этапе на обмотки якоря поступает напряжение 15 В. Далее, на втором этапе напряжение в течение 2 с увеличивается до 30В, а потом остается постоянным на уровне 12 В. Анализируя график, приведенный на рис. 4,б видим, что время пуска равно 3,5 с, а уровень тока не превышает 8,5 А.

Анализ полученных результатов показал, что форма управляющего напряжения существенно влияет на характер изменения угловой скорости ведущего колеса и скорости корпуса робота. Выбирая рациональный закон управления, удается снизить время пуска приблизительно в 3,5 раза, по сравнению с пуском при постоянном напряжении. При этом значительно увеличивается пиковое значение пускового тока, что предъявляет повышенные требования к электродвигателю ведущих колес. Также выявлено, что время пускового режима незначительно зависит от последовательности уровней управляющего напряжения в двухэтапном алгоритме управляющего напряжения.

|  |  |
| --- | --- |
| а) | б) |

в)

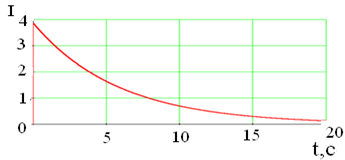


Рис.3. Зависимости управляющего напряжения (а), угловой скорости вращения ведущего колеса (б) и тока в цепи якоря электродвигателя (в) от времени

|  |  |
| --- | --- |
| а)  в) | б) |

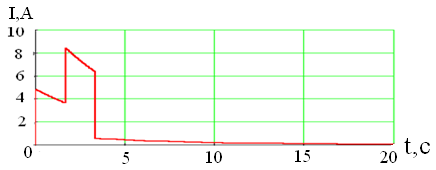


Рис.4. Зависимости управляющего кусочно-постоянного напряжения (а), угловой скорости вращения ведущего колеса (б) и тока в цепи якоря электродвигателя (в), от времени

Для обеспечения гарантированной заданной скорости как в пусковых, так и установившихся режимах предлагается оснастить робот системой управления с обратной связью (рис.5).

Система работает следующим образом. Для пуска робота использован двухэтапный алгоритм управления напряжением. При подаче управляющего напряжения U, которое зависит от отклонения реальной скорости от заданной, происходит корректировка угловой скорости ведущего колеса. При этом на этапе разгона, то есть при ω<ωзад , реализуется двухэтапный алгоритм подачи управляющего напряжения.

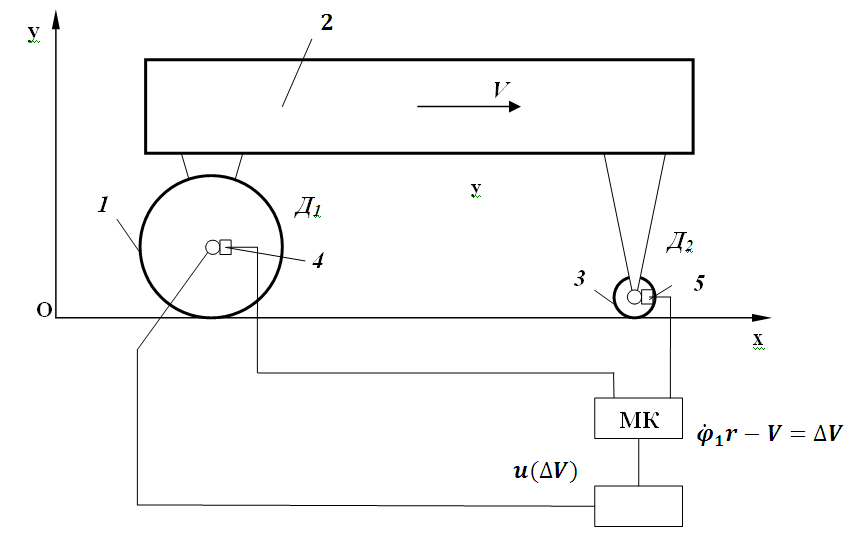


Рис.5. Схема робота с системой управления, оснащенной обратной связью

|  |  |
| --- | --- |
| а) | б)    *U,В*  Δt  0,002 с  t  0  10  20 |

|  |  |
| --- | --- |
| в) | *I,А*  0,002 с  Δt  0  2  3  t |

Рис.6. Зависимости управляющего напряжения (а), угловой скорости вращения

ведущего колеса (б) и тока в цепи якоря электродвигателя (в) от времени

В интервале 0<ω <ω1 ,напряжение равно *U*1 , а в интервале ω1 <ω <ω2 напряжение равно *U2*. После выхода параметра угловой скорости на заданный уровень ω= ωзад система автоматического управления отрабатывает задачу стабилизации заданной угловой скорости с минимальным отклонением. Алгоритм управления при этом следующий: если ω<ωзад,то *U =2U*ном (12 В).

В противном случае, при ω>ωзад , *U =U*ном.

После того как робот достигает заданной угловой скорости система управления осуществляет стабилизацию этого значения с ошибкой не более 0,01. Далее приведены диаграммы, иллюстрирующие пуск робота с автоматической системой управления (рис.6).

**В третьей главе** разработана математическая модель, описывающая движение колесного робота, оснащенного упруговязким элементом в подвеске. При перемещении робота по неровным поверхностям необходимо обеспечить демпфирование колебаний корпуса робота. Для этого корпус робота должен быть связан с ведущими колесами с помощью упруговязкого элемента. Схема такого робота представлена на рис. 7. Робот состоит из корпуса O1E заданного геометрического размера, рычага OD, шарнирно установленного на корпусе и связанного с ним упруговязким элементом, и ведущего колеса О. Все элементы робота совершают плоскопараллельное движение без отрыва от поверхности. Ведущие колеса двигаются без проскальзывания. Масса рычага OD равна нулю.

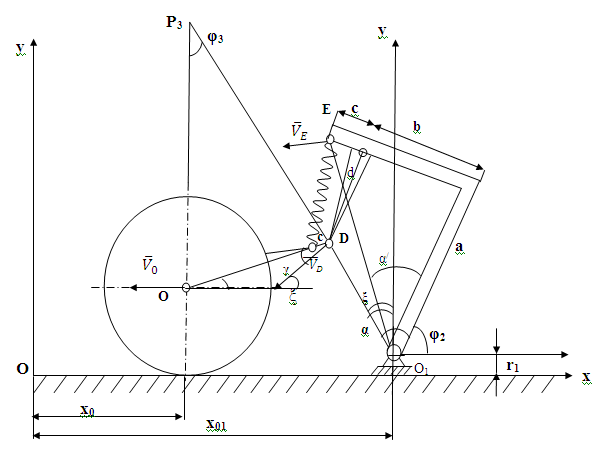


Рис.7. Схема робота с упруговязким элементом в подвеске

Для описания движения робота обобщенными координатами являются

Величины деформации

, (3)

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4) |

Анализ формул (3) и (4) показывает, что деформация пружины зависит от угла поворота корпуса робота : .

Уравнения, позволяющие найти нормальную реакцию и силу упругости , имеют вид:

;

;

Для построения математической модели робота с учетом упруго элемента использованы уравнения Лагранжа 2-го рода. Дифференциальные уравнения движения робота с учетом упругого звена в подвеске будут иметь вид:

;

,

где А1=2 , А2=

В1=,

B2=

В12=,

B22=

Если предположить, что мало отклоняется от 900, то можно рассмотреть только одно уравнение:

В частном случае, когда робот неподвижен, а на электродвигатель поступает управляющее напряжение, движение начнется только при достижении коэффициентом предельного значения .

Формула, позволяющая рассчитать коэффициент трения качения в

покое:

В главе также установлены закономерности движения с учетом свойств упруговязкого элемента, установленного в подвеске робота. Получены зависимости изменения скорости робота для различных параметров упруговязкого подвеса.

Зависимости углового ускорения, скорости и угла поворота ведущего колеса и корпуса робота от времени приведены на рисунках 8, 9.

|  |  |
| --- | --- |
| а) | б) |
| в) | г) |
| д) | е) |

Рис.8. Зависимости углового ускорения (а,б), скорости (в,г), и угла поворота (д,е) ведущего колеса и корпуса робота соответственно от времени при использовании с = 50 Н/М

|  |  |
| --- | --- |
| а) | б) |
| в) | г) |
| д) | е) |

Рис.9. Зависимости углового ускорения (а,б), скорости (в,г), и угла поворота (д,е) ведущего колеса и корпуса робота соответственно от времени при использовании с = 500 Н/М

Анализ зависимостей угловых ускорений, скоростей и углов поворота ведущего колеса и корпуса робота показал, что с ростом жесткости упругого элемента возрастает частота колебаний корпуса, а время этих колебаний уменьшается

**В четвертой главе** построена математическая модель, описывающая поведение мобильного колесного робота с двумя ведущими колесами, рассмотрены принципы организации движения по программной траектории.

Общий вид прототипа мобильного робота с двумя независимыми ведущими колесами и общий вид прототипа робота с упруго вязким элементом в подвеске показаны на рисунке 10. Этот робот спроектирован на основе методики расчета пусковых режимов предложенных в работе. Результаты экспериментальных исследований подтверждают теорию того что, стратегия форсированного управления, обеспечивающая быстрый разгон робота, повышает быстродействие в 3,5 раза по сравнению с традиционным пуском, а также подтверждает тот факт что, жесткость упруговязкого элемента в подвеске, существенно изменяет время переходного процесса увеличивая его с уменьшением жесткости.

|  |
| --- |
| а) б)  1  C:\Documents and Settings\Гость\Рабочий стол\Новая папка\IMG_3257.jpg  6  5  4  2  3 |

Рис. 10 Общий вид прототипа мобильного робота с двумя независимыми ведущими колесами (а), общий вид прототипа робота с упруговязким элементом в подвеске (б): 1-ИК локатор, 2- упруговязкий элемент, 3-ЭД, 4-корпус, 5-ведушие колеса, 6-рычаг

Было смоделировано и исследовано движение робота по сложной криволинейной траектории. Рассмотрим движение робота М по траектории, представляющей собой кривую, состоящую их двух четвертей окружности; причем точка М движется по этой.

Результаты моделирования при различных начальных значениях курсового угла приведены на рис. 11, радиус четвертей окружности, из которых состоит траектория, R=0,5 м.

Из графиков видно, что на первой половине траектории характер поведения системы различен, это объясняется наличием начального угла поворота в ориентации робота относительно неподвижной системы координат XOY.

На второй половине траектории характер движения робота не зависит от начального угла поворота относительно неподвижной системы координат.

Графики напряжений, которые необходимо подать на двигатели робота, для обеспечения движения по заданной траектории представлены на

рис. 12.

Анализируя полученные графики, можно сделать вывод, что для робота с указанными параметрами можно реализовать заданное программное движение с высокой точностью до 95%.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| а) | б) | в) |

Рис. 11. Зависимости курсового угла (а), угловой скорости (б) и линейной скорости робота (в) от времени при различных начальных условиях: 1 – ψ0=0°, 2 – ψ0=10°,

3 – ψ0=45°, 4 – ψ0=-25°

|  |  |
| --- | --- |
| а) | б) |

Рис. 12. Зависимости напряжения на левом(а), и на правом двигателе(а), от времени при различных начальных условиях: 1 – ψ0=0°, 2 – ψ0=10°, 3 – ψ0=45°, 4 – ψ0=-25°

###### ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

В диссертации предложено решение актуальной задачи повышения эффективности движения мобильного робота, оснащенного системой управляемого пуска, за счёт разработки и создания методов расчёта неустановившихся режимов. Проведенные исследования позволили получить следующие результаты:

1. Разработана математическая модель движения мобильного колесного робота по прямолинейной траектории с учетом трения качения и скольжения. Сформулированы условия пуска и проскальзывания ведущего колеса. Выявлены закономерности, определяющие разгон робота для различных законов управления, установлено, что импульсное форсированное управление при пуске повышает быстродействие (в 3,5 раза).

2. Разработана математическая модель движения мобильного колесного робота по прямолинейной траектории с учетом упруговязкого элемента в подвеске и трения качения и скольжения с использованием уравнения Лагранжа 2-го рода. Выявлены закономерности, определяющие разгон робота при различных значениях жесткости упругого элемента. Установлено, что увеличение жесткости снижает время колебательного процесса робота.

3. Разработана математическая модель движения мобильного колесного робота по криволинейной траектории для различных управляющих параметров, рассматриваемая как неголономная система, в основе которой используются уравнения Маджи. В состав модели входят механическая, электрическая и управляющая подсистемы. Предложены различные стратегии форсированного управления при повороте.

4. Методом численного моделирования исследована динамика движения колесного мобильного робота по S-образной траектории; выявлены параметры системы, обеспечивающие максимально точное прохождение заданной траектории при различных начальных условиях.

5. Разработана система управления движением по заданной траектории и проведено компьютерное моделирование движения мобильного колесного робота по типовым траекториям. Предложена методика определения отклонения от заданной траектории.

6. С учетом результатов моделирования разработана конструкция колесного мобильного робота с двумя ведущими колесами, отличающегося тем, что блок питании позволяет кратковременно создавать напряжение питания, превышающее номинальное в три раза.

7. Рассчитаны необходимые конструктивные параметры. Построена система управления, позволяющая осуществлять движение робота как в режиме пуска и разгона, так и по траектории, определяемой системой локальной навигации на базе инфракрасного локатора.

###### Основное содержание диссертации изложено в следующих работах:

###### Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ

1. **Аль-Еззи, А.С**. Исследование пусковых режимов движения колесного транспортного агрегата [Текст] / А.С. Аль-Еззи, А.С. Яцун, И.М. Ахмадулин // Вестн. Курск. гос. С.-х. акад. – Курск,2011. № 2. – С. 78-80.

2. **Аль-Еззи, А.С.** Мобильный робот с двумя ведущими колесами и управлением по инфракрасному маяку [Текст] / А.С. Аль-Еззи, С.Ф. Яцун // Изв. ЮЗГУ. – Курск, 2011.–№3. – С. 115-127.

3. Бартенев, В.В. Математическая модель движения мобильного робота с двумя независимыми ведущими колесами по горизонтальной шероховатой плоскости [Текст] / В.В. Бартенев, С.Ф. Яцун, **А.С. Аль-Еззи** // Изв. Самар. науч. центра РАН. –2011. – №4 – С. 68-74.

###### Статьи, материалы конференций:

4. **Аль-Еззи, А.С.** Анализ методов и способов движения мобильных роботов [Текст] / А.С. Аль-Еззи, С.И. Савин //Молодёжь и XXI век: материалы I Междунар. молодёжной науч. конференции. – Курск, 2009. – 4.3. – С. 34-37.

5. Савин, С.И. Проектирование конструкции мобильного робота, оснащенного системой технического зрения [Текст] / С.И. Савин, **А.С. Аль-Еззи** // Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации: материалы VII Междунар. Науч.-техн. конф. – Курск, 2010. – С. 165-169.

6. Савин, С.И. Конструкция и система автоматического управления мобильного робота, оснащенного системой технического зрения [Текст] / С.И. Савин, **А.С. Аль-Еззи** // управляемые вибрационные технологии и машины: сб. науч. ст. Курск. гос. техн. ун-т. – Курск, 2010. – Т.2 – С. 258-161.

7. Савин, С.И. Мобильный робот, оснащенный системой ориентации, основанной на использовании видеосенсора [Текст] / С.И. Савин, **А.С. Аль-Еззи** // Вооружение, технология, безопасность, управление: материалы V науч.-техн. конф. аспирантов и молодых ученых: в 6 ч. – Ковров, 2010. – ч. 1.– С. 38-46.

8. Савин, С.И. Моделирование движения мобильного колёсного робота [Текст] /С.И. Савин, **А.С. Аль-Еззи** // Молодёжь и XXI век: материалы II Междунар. молодёжной науч. конф.: в 3 ч. – Курск, 2010.– ч.1. – С. 196-200.

9. Савин, С.И. Методы распознавания препятствий мобильного робота, оснащенного системой технического зрения [Текст] / С.И. Савин, **А.С. Аль-Еззи,** И.А. Томакова // Молодёжь и XXI век: материалы II Междунар. молодёжной науч. конф.: в 3 ч. – Курск, 2010. –ч.1. – С. 200-204.

10. Савин, С.И. Система автоматического управления мобильного колёсного робота [Текст] / С.И. Савин, **А.С. Аль-Еззи** // Применение инновационных технологий в научных исследованиях: материалы Междунар. Науч.-практи. конф. – Курск, 2010. – С. 280-284.

11. Савин, С.И. Программное обеспечение мобильного робота [Текст] / С.И. Савин, **А.С. Аль-Еззи**, С.Ф. Яцун // В мире научных открытий. – 2010. №4 (10), Ч. 7. С.142-144

12. Бартенев, В.В. Динамика управляемого движения мобильного робота с двумя независимыми ведущими колесами [Текст] / В.В. Бартенев, **А.С. Аль-Еззи**, С.Ф. Яцун // Мехатроника, робототехника: Современное состояние и тенденции развития: Сб. науч. ст. Всерос. науч. школы для молодежи – Курск 2011. – С. 156-178.

13. **Аль-Еззи, А.С.** Моделирование управляемого движения робота в повороте колесами [Текст] /А.С. Аль-Еззи // Всерос. Науч. школы для молодежи Мехатроника, робототехника. Современное состояние и тенденции развития: Сб. науч. ст. – Курск 2011. – С. 41–53.

14. **Аль-Еззи, А.С.** Исследование пусковых режимов колесного мобильного робота [Текст] / А.С. Аль-Еззи // Известия ЮЗГУ. Серия «Техника и технологии» – 2011–№3. – С. 40-49.

15. Пат. на полезную модель №99253 Российская Федерация: МПК H01S 3/00. Мобильный робот с оптронной матрицей [Текст] / Яцун С.Ф., Бартенев В.В., Савин С.И., **Аль-Еззи А.**; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Юго-Западный государственный университет». – №2010124311/28; заявл. 15.06.2010; опубл. 10.11.2010, Бюл. №31.

16. **Аль-Еззи, А.С.** Исследование и моделирование пусковых режимов колесного мобильного робота [Текст] / А.С. Аль-Еззи // Новые технологии в научных исследованиях, проектировании, управлении, производстве: материалы Всерос. Науч.-техн. конф. – Воронеж, 2011. – С. 119-121.

17. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2011613404. Управлияющая программа мобильного колесного робота Vision Robot / Савин С.И., **Аль-Еззи А.С.;** правообладатель ГОУ ВПО «Юго-Западный государственный университет». № 2011611739; заявл. 16.03.2011; зарегистр. 29.04.2011.

Подписано в печать 01.05.2011. Формат 60х84 1/16.

Печ. Л. 1,0. Тираж 130 экз. Заказ

Юго-Западный государственный университет

305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94

Отпечатано в ЮЗГУ.