

# ДИНАМИКА ДВИЖЕНИЯ ШАГАЮЩЕЙ МАШИНЫ В УСЛОВИЯХ НЕДОСТАТОЧНОГО СЦЕПЛЕНИЯ

Малолетов А.В., Волгоград, Россия

The method of calculation of dynamics of walking machines moving under conditions of the possible sliding feet on area of bearing are presents in this paper.

При рассмотрении перспектив использования шагающих машин на них возлагаются две основные задачи: обеспечить комфортабельное перемещение корпуса и высокую проходимость машины. Выполнение первой задачи требует задания программного движения. При расчётах динамики движения машины применяют следующий подход [1]. Сначала определяются законы движения шагающих движителей, рассчитываются силы сцепления ног шагающего аппарата с опорной поверхностью, необходимые для реализации заданного программного движения. Затем полученные силы сравниваются с максимально возможными силами сцепления и, если расчётные силы не превышают предельно допустимые, то делается вывод о реализуемости программного движения, в противном случае полагается, что заданное движение не возможно. В результате одновременно решается и вторая задача — обеспечивается проходимость машины.

Однако во многих эксплуатационных ситуациях вопрос о комфортабельности движения стоит менее остро (например, при транспортных операциях), а составление и следование программным движениям может быть неоправданно сложным (например, в случае транспортировки груза по заранее неизвестной поверхности). Тогда можно допустить движение машины со скольжением или буксованием<sup>1</sup> стоп по грунту, что затруднит выполнение наперёд заданного программного движения, но не лишит аппарат возможности двигаться и выполнять возложенные на него задачи. Следует отметить, что движение с буксованием типично для машин с традиционными движителями.

Предлагается способ расчёта динамики движения шагающей машины при возможном возникновении скольжения стоп по грунту. Шагающая машина моделируется системой абсолютно твёрдых и упруго деформируемых тел (упругими элементами могут быть резиновые подошвы стоп, механические рекуператоры энергии или отдельные звенья механизмов шагания). Программное движение корпуса не

---

<sup>1</sup> При рассмотрении взаимодействия колеса с грунтом различают эффекты скольжения и буксования. Для шагающего движителя такое различие можно не вводить.

задаётся. Вводятся уравнения движения исполнительных двигателей машины. В общем случае, это динамические уравнения, связывающие нагрузку на двигатель с его угловой скоростью. Однако, учитывая, что нагрузка на двигатель шагающей машины значительно меняется в течение цикла шагания (то есть большую часть времени нагрузка многократно меньше максимальной и не может оказывать существенного влияния на скорость вращения), а так же сложившуюся практику использования приводных асинхронных электродвигателей (скорость которых слабо зависит от нагрузки) [2], погрешность расчётов будет невелика и в случае задания кинематических уравнений.

Математическая модель движения шагающей машины составляется на основе уравнений Лагранжа (с учётом уравнений исполнительных двигателей) и дополняется уравнениями совместности деформаций в шагающих движителях. Интегрирование полученной системы производится численными методами, причём каждый шаг интегрирования рассчитывается в итерационном цикле. На первой итерации полагается, что скольжение стоп по грунту отсутствует, то есть на систему наложены голономные связи (ограничивающие движение стоп как в нормальном к опорной поверхности, так и в касательном направлениях), количество которых равно числу ног находящихся в контакте с грунтом в данный момент времени. Вычисляются силы сцепления под каждым движителем. Если все рассчитанные силы меньше предельно допустимых, цикл заканчивается. В противном случае, выбирается стопа сила сцепления для которой максимально отличается от допустимой. Связь под этой стопой в касательном направлении разрывается, соответствующее уравнение связи исключается из системы, а взамен вводится активная сила — сила сцепления стопы при скольжении, которая определяется например на основе модели сухого трения. Цикл повторяется до тех пор, пока либо не будут разрушены и заменены активными силами все связи, либо касательные реакции оставшихся связей не станут меньше предельно допустимых.

Недостатком данного метода является необходимость составления уравнений совместности деформаций, которые в общем случае зависят от упругих и пластических свойств грунта, определить параметры которых достаточно сложно. Однако данный подход может быть применён при движении по относительно жёсткой опорной поверхности.

### **Литература**

1. Охоцимский Д.Е., Голубев Ю.Ф. Механика и управление движением автоматического шагающего аппарата — М.: Наука, 1984 — 312 с.
2. Мобильный робототехнический комплекс на базе многоопорной шагающей машины /Брискин Е.С., Чернышев В.В., Малолетов А.В., Тельдеков А.В. //Мехатроника: Механика. Автоматика. Электроника. Информатика.—2001.—№3.— С.19–27.