

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ВИБРИРУЮЩЕГО РОБОТА

Смирнов В.А. (ФГАОУ ВО Университет ИТМО), **Сенникова Д.В.** (ФГАОУ ВО Университет ИТМО), **Бузаков М.К.** (ФГАОУ ВО Университет ИТМО)

Научный руководитель – к.ф.-м.н. Олехно Н.А. (ФГАОУ ВО Университет ИТМО)

Аннотация: Работа посвящена исследованию динамики одиночного вращающегося робота, приводимого в движение за счёт преобразования вибрации мотора эластичными щетинками в поступательное смещение. В ходе экспериментов проанализирован спектр колебаний робота и произведено исследование зависимости угловой частоты вращения робота от угла наклона щетинок. Результаты экспериментов сопоставлены с разработанной теоретической моделью.

Введение. Активная материя (*active matter*) - одно из интенсивно развивающихся направлений современной физики, изучающее свойства систем, структурные элементы которых могут преобразовывать внутренние запасы энергии в механическое движение и которые можно описывать как единую среду. Большие скопления частиц, каждая из которых может преобразовывать внутренние запасы энергии в механическое движение, демонстрируют ряд интересных эффектов и являются предметом исследования физики активной материи. Одной из популярных платформ для экспериментальной реализации таких систем являются скопления движущихся роботов, простейший вариант которых -- роботы с вибромоторами. Для исследования систем из большого скопления роботов важно понимать динамику одиночного робота, чтобы в дальнейшем применять усредненные параметры в качестве свойств системы.

Основная часть. Исследуемый робот состоит из корпуса (распечатанного на 3D-принтере Flying Bear Ghost 5 из пластика PLA), платы управления (включающей вибромотор QX-6A, микроконтроллер ATtiny13, аккумулятор Robiton, ИК-фотодиод для приёма команд включения и выключения с пульта управления, светодиодов для индикации состояния робота, а также необходимой периферии для корректной работы этих компонентов) и эластичных щетинок, расположенных под наклоном к поверхности, на которой движется робот, и располагаемых в его нижней части. Щетинки также выполнены с помощью печати на 3D-принтере.

Экспериментальные исследования включают изучение вибрации робота с помощью акселерометра IMVVP-4200 (располагаемого на корпусе робота сверху) с последующим проведением дискретного преобразования Фурье для извлечения спектра частот вибраций робота, а также исследование угловой частоты вибрации робота в зависимости от угла наклона щетинок с помощью анализа видеозаписей движения робота. При этом, в целях статистического усреднения измерения повторялись для нескольких роботов одинаковой конструкции (чтобы исключить влияние индивидуальных особенностей робота). Результаты измерения показывают, что у всех роботов есть основная гармоника колебаний на частоте около 90 Гц, а также набор побочных гармоник на более высоких частотах. Также видно, что побочные гармоники могут отличаться для различных роботов, и характеризуют влияние сложной геометрии корпуса робота и различных отклонений в производстве роботов.

Теоретическая модель для описания движения робота основана на предположении, что в первом приближении робот состоит из мотора с эксцентриком и ряда щетинок, закрепленных на основании робота, а цикл работы состоит из следующих событий: (i) эксцентрик движется из точки нижней точки в верхнюю точку. Под действием возрастающей вертикальной силы щетинки сгибаются (максимум изгиба щетинок достигается при прохождении эксцентриком верхнего положения); (ii) перемещение эксцентрика из верхнего положения в нижнее вызывает разгибание щетинок, которое, в свою очередь, вызывает непосредственное перемещение робота; (iii) как только эксцентрик достигает нижнего положения, щетинки полностью разгибаются, после этого цикл начинается заново. Рассчитанные в рамках такой модели значения угловой частоты вращения робота в зависимости от угла наклона щетинок хорошо согласуются с экспериментальными результатами. Оптимальным вариантом угла щетинок является наклон в 10 градусов.

Выводы. В данной работе исследованы динамические свойства вибрирующих роботов, которые вращаются вокруг своей оси за счёт преобразования эластичными щетинками вибрации электромотора в поступательное смещение. В частности, извлечен спектр частот вибрации для нескольких роботов в ходе измерения их колебаний с помощью акселерометра с последующим выполнением дискретного преобразования Фурье. Также, проанализирована теоретическая модель для описания движения подобных роботов и экспериментально исследована зависимость угловой частоты вращения робота от угла наклона щетинок.