

**ОТЗЫВ официального оппонента**  
**на диссертацию на соискание ученой степени**  
**кандидата физико-математических наук Мастеровой Анны Андреевны**  
**на тему: «Моделирование динамики механических систем,**  
**содержащих ротор Савониуса»**  
**по специальности 01.02.01 – «Теоретическая механика»**

Диссертация Мастеровой А.А. посвящена изучению аэродинамических свойств ротора Савониуса и его применению в малых ветряных электрогенераторах и простейших самоходных колесных тележках.

Диссертация состоит из введения, трех глав и заключения, а также списка литературы из 98 наименований. Объем текста составляет 108 страниц (в том числе 31 иллюстрация).

Во введении приведен достаточно полный обзор литературы, касающейся свойств ротора Савониуса.

В первой главе представлены результаты экспериментального измерения сил и моментов, действующих на неподвижный и вращающийся ротор Савониуса (в последнем случае угловая скорость ротора поддерживалась постоянной с помощью электродвигателя). Вращение осуществлялось как в нормальном направлении, так и в противоположном ему. Эксперименты проводились в аэродинамической трубе Института механики МГУ. Предложена аппроксимация зависимости сил и крутящего момента от угла поворота ротора в виде двух слагаемых: постоянного члена и синуса двойного угла. Постоянный член, амплитуда и фаза представляются функциями угловой скорости.

Во второй главе рассматривается динамика ветряного электрогенератора с одноуровневым двухлопастным ротором Савониуса. Исследованы положения равновесия и условия их асимптотической

устойчивости. Показано, что для некоторых роторов одно из равновесий асимптотически устойчиво независимо от скорости потока и сопротивления в цепи генератора. Рассмотрен случай слабой зависимости величины крутящего момента от угла поворота ротора, что имеет место при большой угловой скорости ротора. Проведено моделирование динамики порождающей и полной системы. Показано, что временное уменьшение скорости ветра может приводить к остановке ротора.

В третьей главе исследована динамика прямолинейного неуправляемого движения колесной тележки. Предполагается, что скорость ветра составляет некоторый постоянный угол с прямой, вдоль которой движется тележка. Рассмотрены установившиеся движения тележки. Показано, что при некоторых значениях параметров в системе существует два притягивающих установившихся движения. Один из этих режимов соответствует ситуации, когда ротор Савониуса вращается в сторону, противоположную его нормальному вращению. В предположении о невесомости колес выписаны условия отсутствия опрокидывания тележки и проскальзывания. При этом трение между колесами и опорной плоскостью считается сухим.

В заключении диссертации изложены основные результаты, полученные в рамках исследования, и кратко описаны возможные направления дальнейшей работы.

Предложенная в первой главе эмпирическая формула для аэродинамических сил и момента, которая была получена в результате обработки экспериментов, проведенных в аэродинамической трубе, является **новой**. Использование этой формулы во многом определило эффективность дальнейших исследований.

**Актуальность** исследования свойств малых ветряных электрогенераторов с ротором Савониуса связана с растущим значением возобновляемых источников энергии в условиях сложной экологической ситуации. Применение таких установок может быть особенно полезно в отдаленных малонаселенных районах страны, в которых другие способы получения электроэнергии оказываются нерентабельными и оказывают серьезное воздействие на экологию.

Исследование динамики колесной тележки с ротором Савониуса в качестве двигателя представляется интересной теоретической задачей, хотя возможность практического применения таких тележек, особенно в условиях сложной аэродинамики достаточно плотной городской застройки, является проблематичной.

Результаты проведенного исследования **строго обоснованы** использованными точными математическими методами (в частности, методами теоретической механики, качественной теории динамических систем, теории устойчивости движения), поэтому **достоверность и научная значимость** полученных результатов и практических выводов не вызывает сомнений.

### Замечания

1. В некоторых частях текста ссылки на источники приведены со сдвигами разной величины относительно нумерации в списке литературы.
2. Рецензируемые статьи, составляющие основу диссертации, опубликованы в соавторстве. Во введении и в каждой главе приведена некоторая информация о вкладе некоторых из соавторов. Из обсуждений результатов диссертации на научных

семинарах оппоненту известно о личном вкладе диссертантки в работу. Однако в тексте диссертации этот вклад указан не достаточно конкретно.

3. На Рис. 10-13 имеется заметное расхождение результатов для положений ротора, отличающихся на  $180^{\circ}$ , что свидетельствуют об асимметрии механической модели. Рис.15 показывает сильную зашумленность измерений. При этом алгоритм вычисления средних значений по серии измерений и величины ошибок измерений в диссертации не приведен.
4. В исследуемой модели рассматриваются только двухлопастные роторы, но в ряде мест текста встречаются упоминания о роторах с большим числом лопастей (например, о трехуровневом шестилопастном роторе, стр. 73).
5. В тексте диссертации присутствуют довольно многочисленные опечатки, орфографические и стилистические погрешности, например: «информацию только мгновенном состоянии» (стр. 10), «теоретико-механической модель» (стр. 33), « $|\Omega| < 1$ » вместо « $|\Omega| > 1$ » (стр. 57), «снова сначала нарушаться условие» (стр. 90) и т.д.

Указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 01.02.01 – «Теоретическая механика» (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова. Диссертация оформлена согласно

приложениям № 5, 6 Положения о диссертационном совете Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Считаю, что соискатель Мастерова Анна Андреевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.01 – «Теоретическая механика».

Официальный оппонент:

Главный научный сотрудник,  
руководитель отдела Механики ФИЦ ИУ РАН,  
доктор физико-математических наук,

СТЕПАНОВ Сергей Яковлевич

07.06.2022

подпись

Дата подписания

Контактные данные:

тел.: +7 (499) 135 35 90, e-mail: stepsj@ccas.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом  
защищена диссертация: 01.02.01 – Теоретическая механика

Адрес места работы:

119991, г. Москва, ул. Вавилова, д. 44, корп. 2  
Федеральное государственное учреждение  
"Федеральный исследовательский центр "Информатика и управление"  
Российской академии наук",  
отделение 2, отдел 24 Механики

Тел.: +7 (499) 135-62-60; e-mail: frccsc@frccsc.ru

