

для їди повинні бути ізольовані від робочої зони. Гардероб, вмивальні і туалети повинні знаходитися не дуже далеко від робочих місць, але і не повинні заважати.

Дослідження провідних фінансових інститутів миру свідчить про ширше застосування і подальший розвиток нових типів банківських установ, особливо в розвинених країнах, робота яких повністю заснована на застосуванні спеціалізованих технічних засобів тих, що є продуктом наукового прогресу у області цифрових технологій. Впровадження в технологію банківського виробництва передових способів роботи вимушує переглядати і шукати нові способи організації функціональних структур в нині чинних традиційних типах банківських установ. Кардинально міняється організаційна і експлуатаційна діяльність всієї системи банківських установ, що надають масові послуги банківського обслуговування.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Альберти Л.-Б. Десять книг о зодчестве. – М.: 1935.
2. Нормали планировочных элементов жилых и общественных зданий: Вып. нп. 7.2.3. – 77 Учреждения Госбанка, сберкассы. – М.: Стройиздат. – 26с.
3. ВБН В.2.2-00032106-1-2001. Будинки і споруди. Проектування банків і банківських сховищ.
4. ДБН 360-92**. Містобудування. Планування і забудова міських і сільських поселень.
5. ДБН В.2.2-9-99. Громадські будинки та споруди. Основні положення.
6. ДБН Д.1.1-1-2000. Правила визначення вартості будівництва.

УДК 621.351

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ МАГНИТНОЙ РАЗГРУЗКИ РОТОРА В ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ

*А.А. Буряк, н.с., В.А. Дзензерский, д.т.н., проф., Э.А. Зельдина, с.н.с., к.т.н., С.В. Тарасов, к.т.н., с.н.с.
Институт транспортных систем и технологий НАН Украины,
Днепропетровск*

Одним из важных и перспективных направлений в энергосберегающих технологиях является использование нетрадиционных источников энергии.

Существуют различные конструкции ветроэнергетических установок. Подробно, некоторые из них, описаны в работе [1,2].

Отличительной особенностью этих установок является широкий диапазон мощности преобразования механической энергии в электрическую.

Одной из серьезных проблем, связанных с разработкой ветровых энергоустановок, является проблема экономичной подвески ротора

генераторного узла. Эта проблема особенно серьезна при создании ветроэнергетической установки большой мощности.

Мощные ветроэнергетические установки имеют не осевую кинематическую схему, а кольцевую, в которой силовые элементы представляют собой многолопастный кольцевой ротор, движущийся по кольцевой эстакаде. Скольжение тяжелого ротора по эстакаде происходит с серьезными фрикционными потерями, если осуществляется на механических опорах.

Одним из наиболее эффективных путей уменьшения фрикционных потерь при работе ветроустановки, на наш взгляд, является магнитный подвес.

Применение магнитных полей дает возможность упростить решение данной проблемы. Различные комбинации размещения источников магнитного поля на узлах ветроустановки дают, при ее работе, силовые эффекты в диапазоне от частичного уменьшения давления на статор со стороны кольцевого ротора до получения полностью бесконтактного опирания.

Известно значительное количество систем магнитного подвешивания и левитации тел.

Для магнитного подвешивания ротора ветроэнергетической установки может быть использована электромагнитная система подвешивания с применением автономного регулирования тока, «магнитоямные» подвесы [3-6], подвесы, основанные на эффекте Мейсснера, комбинированные сверхпроводящие подвесы [7, 8], либо электродинамические системы левитации и подвешивания [9, 10], использующие магнитные поля вихревых токов, наводимых при движении магнита.

Наибольшей технической простотой и высокой надежностью обладают системы электродинамических левитации и подвешивания. В системе электродинамического подвешивания можно наилучшим образом использовать нормальную составляющую силы взаимодействия ротор-статор. Однако, при подвешивании ротора ветроэнергетической установки эта система, надежная в вертикальном направлении, является неустойчивой в отношении боковых сдвигов. Электромагнитной же подвес, обладая необходимой боковой жесткостью, неустойчив по вертикали.

Таким образом, электродинамический и электромагнитный подвесы могут быть использованы, если задачей не является полностью бесконтактный подвес, а только разгрузка ротора, частичное уменьшение фрикционных потерь.

В данной работе предлагается для подвешивания ротора ветроэнергетической установки использовать комбинированный магнитный подвес [11], сочетающий электродинамическое и обычное магнитное взаимодействие. Этот магнитный подвес организуется без использования сверхпроводящих или управляющих магнитов, что не только упрощает конструкцию и технологию эксплуатации, но и повышает надежность их работы.

Схема рассматриваемого подвеса представлена на (рис.1).

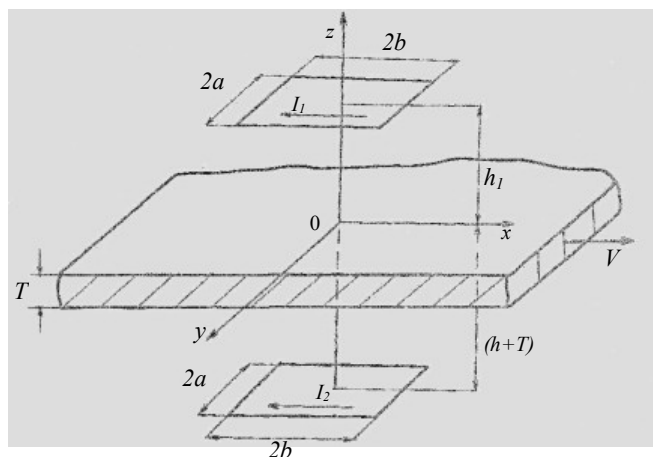


Рис. 1. Расчетная схема магнитного подвеса

Свободная рамка с током I_2 притягивается к закрепленной рамке с током I_1 . Между рамками находится движущееся в горизонтальном направлении со скоростью V проводящее неферромагнитное полотно. При определенных скоростях движения рамка с током I_2 устойчиво зависает под ней.

Неотъемлемой частью магнитного подвешивания ветроэнергетической установки является требование того, чтобы одной из составляющих сил подвешивания должна быть нормальная составляющая силы взаимодействия статор-ротор.

Расчет этой составляющей силы наряду с электротехническим расчетом генератора составляет основу для проектирования системы магнитного подвешивания.

Методы расчета силовых взаимодействий токовых рамок с вихревыми токами, наводимыми в проводящем полотне, достаточно хорошо известны [11].

Для расчета нормальной составляющей силы взаимодействия в данной системе магнитного подвеса были приняты следующие допущения.

Движущееся проводящее полотно толщиной T с проводимостью σ и магнитной проницаемостью μ_0 рассматривается как бесконечно плоское полотно.

Уравнения диффузии магнитного поля в подвижной системе координат, связанной с движущимся вдоль оси x со скоростью V полотном, в стационарном случае имеют вид

$$\begin{cases} \Delta \vec{H}^{(1)} = 0; \\ \Delta \vec{H}^{(2)} = \mu_0 \sigma V \frac{\partial \vec{H}^{(2)}}{\partial x}, \\ \Delta \vec{H}^{(3)} = 0. \end{cases} \quad (1)$$

Здесь $\vec{H}^{(1)}, \vec{H}^{(2)}, \vec{H}^{(3)}$ - соответственно напряженность магнитного поля над полотном, в полотне и под полотном

Для решения системы уравнений (1) используется метод преобразования Фурье по координатам x, y [11]

V

$$\begin{aligned} \vec{H}^{(1)} &= \vec{a} e^{ik_y y} e^{ik_x x} e^{-kz} + \vec{H}_0^{(1)}; \\ \vec{H}^{(2)} &= \vec{b} e^{ik_y y} e^{ik_x x} e^{\alpha z} + \vec{c} e^{ik_y y} e^{ik_x x} e^{-\alpha z}; \\ \vec{H}^{(3)} &= \vec{d} e^{ik_y y} e^{ik_x x} e^{kz} + \vec{H}_0^{(3)}; \\ \alpha &= \beta_1 + i\beta_2, \quad k = \sqrt{k_x^2 + k_y^2}; \\ \beta_{1,2} &= \left[\left(\frac{\mu_0^2 \sigma^2 V^2 k_x^2}{(k_x^2 + k_y^2)^2} + 1 \right)^{1/2} \pm 1 \right]^{1/2}. \end{aligned}$$

Здесь $\vec{H}_0^{(1)}$ - магнитное поле, создаваемое токовой рамкой над верхней плоскостью полотна при $V=0$; $\vec{H}_0^{(3)}$ - магнитное поле, создаваемое токовой рамкой под нижней плоскостью полотна при $V=0$.

Связь между коэффициентами $\vec{a}, \vec{b}, \vec{c}, \vec{d}$ находится из условия сопряжения нормальных и тангенциальных составляющих индукции и напряженности магнитного поля на границах раздела сред

$$\begin{aligned} B_z^{(1)} &= B_z^{(2)} \Big|_{z=0}; & H_{x,y}^{(1)} &= H_{x,y}^{(2)} \Big|_{z=0}; \\ B_z^{(2)} &= B_z^{(3)} \Big|_{z=-T}; & H_{x,y}^{(2)} &= H_{x,y}^{(3)} \Big|_{z=-T}. \end{aligned}$$

Кроме того, используется условие соленоидальности индукции магнитного поля и равенство нулю z -компоненты тока. В общем случае равенство нулю j_z имеет место на границах проводящей области при $z=0$ и $z=-T$. Так как толщина полотна T значительно меньше его остальных линейных размеров, то можно положить $j_z=0$ во всей проводящей области.

При расчете электродинамических сил магнитное поле вихревых токов в области 1 не учитывалось, размеры токовых рамок и токи в них считались

одинаковыми.

В таком случае выражение для подъемной силы F_L при таких допущениях имеет вид

$$F_L = -\frac{8\mu_0 I^2}{\pi^2} \int_0^\infty \int_0^\infty \frac{\sin^2(k_x b) \sin^2(k_y a) k^2}{k_x^2 k_y^2} \times \left\{ e^{-k(h+h_1+T)} - \left(e^{-2kh} + e^{-2k(h_1+T)} \right) \left(1 - \frac{2(\beta_1 + 1)}{(\beta_1 + 1)^2 + \beta_2^2} \right) \right\} dk_x dk_y.$$

Расчеты силы F_L выполнялись при следующих значениях параметров $\mu_0=1,257 \cdot 10^{-6}$ Гн/м; $\sigma=\sigma_0=3,13 \cdot 10^7$ (Ом·м)⁻¹; $2a=0,3$ м; $2b=1$ м; $h_1=0,1$ м

Зависимость безразмерной силы F_L/F_0 ($F_0 = \frac{8\mu_0 I^2}{\pi^2}$) от линейной скорости движения V при значениях параметра $h=0,01$ м и $h=0,05$ показана на рис.2. Область устойчивого равновесия системы заштрихована.

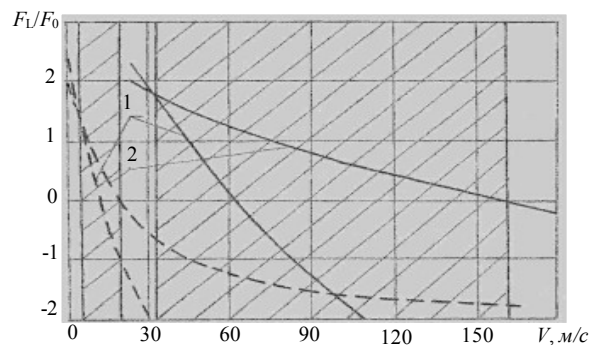


Рис.2. Зависимость левитационной силы от скорости движения полотна

На подвешенную токовую рамку также действует увлекающая сила F_D , направленная вдоль движения полотна. При скорости движения $V \rightarrow \infty$ сила $F_D \rightarrow 0$.

Кроме того, сила увлекающая сила F_D уменьшается при уменьшении толщины проводящего полотна T .

Описанное устойчивое подвешивание было продемонстрировано на вращающемся алюминиевом диске с применением постоянных магнитов [12].

Данная система магнитного подвешивания интересна не только в концептуальном отношении, но может быть эффективно использована в ветросиловых установках.

Проанализируем перспективы технического внедрения разработанного подвеса. Предварительно укажем, что данный принцип может быть осуществлен в двух модификациях: с движущейся диамагнитной пластиной и свободным нижним магнитом и с движущимся, но связанным нижним магнитом. Эти системы эквивалентны, но в первой схеме нижний магнит не имеет кинематических связей с агрегатом и левитирует, а во второй схеме он связан с валом ветроколеса и его вес может быть только уменьшен на величину силы магнитного взаимодействия с верхним магнитом. Кинетическую энергию свободно левитирующего магнита нельзя забрать для использования потребителем, поэтому ветроэнергетические установки можно построить только на основе второй схемы со связанным нижним магнитом.

Вертикальная устойчивость нижнего магнита по оси z несимметрична, (сила, препятствующая смещению вниз, быстро уменьшается при смещении) поэтому и эта система подвеса нуждается в роликовых упорах с устройством трека скольжения, жестко связанного с эстакадой. Боковая устойчивость теоретически обнаружена, однако ее жесткость не может быть рассчитана в общем виде без конструктивной конкретики. Что же касается величины подъемной силы, то она есть функция скорости вращения диска и при эксплуатации ветроустановок является величиной переменной. Более того – полностью бесконтактный подвес появляется только с некоторой пороговой скорости вращения, а до этого наблюдается только уменьшение веса ротора на величину компенсирующей силы.

Учитывая вышеизложенные обстоятельства, можно предложить жизнеспособную схему ветроэнергетической установки с возможностью частичной компенсации давления ротора на эстакаду.

Схема такой ветроэнергетической установки показана на рис.3.

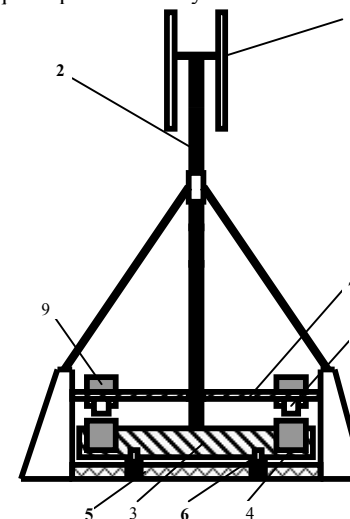


Рис.3. Схема ветроэнергетической установки.

Ветроколесо 1 установлено на валу отбора мощности 2, который напрямую (безредукторным путем) связан с ротором 3 магнитозлектрического генератора. Ротор представляет собой круговой диск, на котором установлены постоянные магниты возбуждения 4, оснащенные опорными роликами 5, скользящими по эстакаде. Статор 6 генератора состоит из жестко закрепленного на эстакаде кольца 7, выполненного из диамагнитного материала, на плоскости которого, обращенной к полюсным граням магнитов ротора, установлены модули 8, состоящие из катушек с шихтованными сердечниками. На противоположной плоскости установлены постоянные магниты 9.

Дорожка неподвижных магнитов 9 и кольцо подвижных магнитов 4 разделены зазором, состоящим из диамагнитного и воздушного слоев.

Полярность магнитов противоположна, поэтому ротор притягивается к статору. Сила притяжения увеличивается за счет того, что в воздушном зазоре на плоскости диамагнитной пластины расположены элементы (модули), уменьшающие магнитное сопротивление зазора. Первоначальный зазор подбирают таким, чтобы сила притяжения была равна весу ротора. В этом случае в момент пуска ротор не оказывает давления на эстакаду и фрикционные потери малы. Вращающий момент ветроколеса 1 передается на ротор 3 и этому противодействует только момент инерции. Растущая угловая скорость изменяет условия магнитного взаимодействия ротора и трехслойного статора. Вихревые токи, наводимые в диске 7, действуют в направлении к эстакаде. Этот эффект устраняет опасность залипания ротора на сердечниках модулей, из-за аномально близкого их расположения. Но малый стартовый зазор увеличивает коэффициент полезного действия генератора. Существенным преимуществом описанного варианта ветроэнергетических установок является то, что зазор не требует коррекции при различных режимах работы, то есть установка не нуждается в позиционном управлении подвижным узлом.

Кроме того, катушки статора находятся в магнитном зазоре между противоположными полюсными гранями сильных магнитов, поэтому могут давать максимальную эффективность преобразования энергии без концентраторов магнитного потока. Плотность потока магнитной индукции в разнополюсном зазоре максимальна, причем в данной конфигурации элементов происходит еще и электродинамическое сжатие потока.

Единственным недостатком описанного варианта технической реализации является невозможность укладки магнитов с чередованием полюсности, но в данном случае можно использовать укладку с пассивным промежутком. При этом эксплуатируется не эффект изменения направления потока, а только пульсация интенсивности. Но большая протяженность магнитного трека линейного генератора, не ограниченная объемным лимитом свернутого генератора, снимает связанные с этим конструкционные трудности.

Полученные в рассматриваемой работе результаты позволяют сделать следующие выводы.

Комбинированные системы, интегрирующие магнитозлектрическое, магнитостатическое и магнитодинамическое взаимодействие, дают

возможность получить устойчивую область подвеса (левитации) одного из узлов системы. То есть, всегда согласовать параметры узлов для эффективного баланса сил.

Рассмотренная система магнитного подвешивания позволит частично разгрузить ротор ветроэнергетической установки. Полностью бесконтактный подвес ротора можно получить только с некоторой пороговой скорости вращения, а до этого наблюдается только уменьшение веса ротора на величину компенсирующей силы.

Эти свойства изученной системы дают возможность разработки на ее основе технических устройств, в частности линейных генераторов ветроэнергетических установок с частичной компенсацией веса ротора.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Ляхтер В.М. Экологически чистое преобразование энергии атмосферных, речных и океанических течений // Гидротехническое строительство. 1989, №8. С. 10-18.
2. Ляхтер В.М. Ветровые электростанции большой мощности. М.: Информэнерго. 1987.
3. Козорез В.В. Динамические системы магнитовзаимодействующих тел. - К.:Наук. Думка, 1981. -140 с.
4. Gorsky Oleg, Dzenzersky Victor, Zeldina Ella. Static and dynamic potential wells, counterflux electrodynamic levitation as possible alternative maglev systems. The 16 international conference on magnetically levitated systems and linear driver, Maglev'2000, Rio de Janeiro, Brazil, 2000, p.225-229.8.
5. Горский О.И., Дзензерский В.А., Зельдина Э.А. «Подвешивание в динамической потенциальной "яме" на основе противопоточной дискретизации путевых контуров» // Вестник Херсонского государственного университета. -2001, №12. -С. 92-95.
6. Горский О.И., Зельдина Э.А. Об устойчивости вертикальных колебаний тела в динамической "потенциальной" яме. // Прикладная механика.- 2000.-Т.36, №10. - С.137-142.
7. Горский О.И., Дзензерский В.А., Зельдина Э.А., Кулиненко В.О. Электродинамическая система подвешивания на двухслойном ферромагнитном полотне.// ЖТФ. -1991. Т.61, вып. 11.- С. 1-5.
8. Горский О.И., Дзензерский В.А., Зельдина Э.А., Кулиненко В.О. Левитационные характеристики системы электродинамического подвеса над двухслойным полотном. //Известия АН СССР «Энергетика и транспорт». -1991. Т.37, № 4.- С. 101-105.
9. Кочетков В.М. О левитационном качестве системы электродинамического подвешивания со сплошной путевой структурой //Иzv. Вузov. Электромеханика.-1983. №2.- С.5-10.
10. Горский О.И., Дзензерский В.А., Зельдина Э.А. Система электродинамической левитации на основе противопоточной дискретизации путевых контуров // Математическое моделирование в

- образовании, науке и промышленности.-2000. МАН ВШ. Санкт-Петербург -С.53-55.
11. Reitz J.R., Davis L.C. Force on rectangular coil moving above a conducting slab. //J. Appl. Phys. -1972. -V.43, №4. -P.15-47.
12. Горский О.И., Дзензерский В.А., Зельдина Э.А., Кулиненко В.О. Устойчивое электродинамическое подвешивание тел без использования сверхпроводников. //Письма в ЖТФю-1990. -Т. 18, №16. –с.4-6.

УДК 538.3:621.313.3

О ВОЗМОЖНОСТИ САМОСТАБИЛИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ ЛЕВИТАЦИИ

*А.А. Буряк, н.с, В.А. Дзензерский д.т.н., проф., Э.А. Зельдина, к.т.н., с.н.с,
И.И. Финагина, м.н.с.*

*Институт транспортных систем и технологий НАН Украины,
Днепропетровск*

Хорошо известным и установленным фактом в теории электродинамической левитации является неустойчивость вертикальных колебаний движущегося магнита [1, 2].

Как показали исследования, неустойчивость вертикальных колебаний не может быть устранена без использования дополнительных механических демпфирующих устройств. Однако, такие устройства [3] увеличивают массу электродинамической системы, что неизбежно приводит к дополнительным энергетическим затратам, а также усложняют ее конструкцию. В работе [4] была предпринята попытка изменения частотных и амплитудных характеристик вертикальных колебаний за счет увеличения числа сверхпроводящих токовых контуров без применения вторичного демпфирования.

Целью данной работы является исследование принципиальной возможности самостабилизации вертикальных колебаний экипажа высокоскоростного наземного транспорта (ВСНТ) без использования механических демпфирующих устройств. Авторы, на основе общепринятых моделей, попытались применить энергетический подход.

Экипаж, рассматриваемый как объект, аккумулирующий энергию относительно путевого полотна, должен, в принципе, точно двигаться по заданной траектории. Даже случайные малые отклонения от траектории превращают перемещение экипажа в сложное движение с переменной компонентой по той координате, по которой произошло возмущение. Гашение поперечных движению ускорений, получаемых от случайных (конструкционных дефектов) или от регулярных (дискретности путевого уклада) воздействий, представляет проблему, так как при левитации экипажа любое возмущение приводит к незатухающим колебаниям. Особенно опасны низкочастотные колебания. Высокочастотные колебания достаточно быстро рассеиваются в массивных деталях экипажа.

Теоретические проблемы, связанные с устойчивостью движения бесконтактного экипажа ВСНТ, усложняются пропорционально степени идеализации силовой системы подвеса. Это в значительной степени объясняется тем, что переход от реального физического устройства к модельному аналогу происходит в два этапа.

Существуют общепринятые приемы упрощения магнитных систем. К ним относится, в первую очередь, отображение габаритов контуров индуктивности, как путевых обмоток, так и бортовых магнитов, простыми геометрическими фигурами. Для этого множество связанных витков обмоточного жгута заменяется одним элементарным витком. При таких упрощениях теряется реальное распределение токов по всему объему жгута. В одновитковом путевом контуре течет однородный ток, по величине равный результирующему значению всех индуцированных токов. Реальное дискретное и неравномерное распределение токовых вихрей сложной топографии представляется как токовый трек. Следовательно, из описания и исследования выводятся процессы, от которых зависит величина энергии, рассеиваемой в путевом контуре на самом деле. При реальном взаимодействии в обмоточном жгуте возбуждаются разнонаправленные вихри, которые можно суммировать согласно правилу аддитивности однокачественных компонент одного процесса. Тогда интегральная интенсивность тока будет достоверным аналогом интенсивности параметра. Процесс тепловой диссипации электрической энергии зависит от объемного распределения вихрей. Энергия не пропорциональна интегральному току, а складывается из порций тепловых потерь на каждом вихре независимо от его ориентации в объеме проводника. Сложная картина путей, ориентаций и интенсивностей вихревых токов отображается, как правило, так, что при этом занижается суммарная длина путей, проходимых токами и их действительные интенсивности.

Известны некоторые разработки методики учета этих характеристик переходного процесса [5]. На наш взгляд, занижение в физической модели значения некоторых «второстепенных» подробностей процесса для «строгости» или же ради упрощения математической модели может стать причиной неточных интерпретаций получаемых результатов.

Как правило, в теоретических исследованиях систем ВСНТ с дискретной путевой структурой для моделирования силового узла используется одноточечная модель, представленная в виде рамки с током, летящей над дискретной цепочкой короткозамкнутых токовых контуров. Прямое перенесение результатов, полученных с использованием этой модели, на реальное транспортное средство ставит конструкторов в трудное положение, а, именно, вертикальные колебания экипажа оказываются неустраняемыми. Следовательно, обеспечение устойчивого движения экипажа, становится проблемой, требующей усложнения конструкции транспортного средства, например, разбиения кузова на две части (тележку и салон) [6] и фактического перенесения рессорной группы из кинематической схемы колесных транспортных средств. На наш взгляд, некорректность использования механических демпферов для гашения колебаний экипажа ВСНТ заключается