

УДК 67.05

***АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМЫ
УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ТРАНСМИССИЕЙ МНОГООСНЫХ
МАШИН***

Еличев К.А.

к.т.н., доцент,

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства,

Пенза, Россия

Пинт Э.М.

к.т.н., профессор,

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства,

Пенза, Россия

Романенко И.И.

к.т.н., доцент,

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства,

Пенза, Россия

Аннотация

Анализируется система управления электрической трансмиссией с целью возможности ее модернизации и совершенствования. Рассматривается колесное шасси из восьми независимых электроприводов, каждый из которых содержит тяговый электродвигатель и систему управления. Оценивается возможность влияния на работу трансмиссии путем регулирования величины тока фазы. Анализируется работа разрабатываемой системы автоматического управления в условиях переезда исследуемого шасси через единичное синусоидальное препятствие. Предложенный закон регулирования системы автоматического адаптивного управления позволяет решить задачу повышения эффективности работы рассматриваемого шасси с электро трансмиссией индивидуального привода его ведущих колес в условиях переезда им через единичное синусоидальное препятствие, а также в других подобных случаях эксплуатации.

Ключевые слова: интеллектуальная система управления, многоосные колесные машины, специальные колесные шасси, система управления

исполнительными механизмами, тяговый электродвигатель, электрическая трансмиссия.

ANALYSIS OF THE POSSIBILITY OF IMPROVING THE CONTROL SYSTEM OF ELECTRICAL TRANSMISSION OF MULTIPLE MACHINES

Elichev K.A.

*candidate of technical sciences, associate professor,
Penza State University of Architecture and Construction,
Penza, Russia*

Pint E.M.

*candidate of technical sciences, professor,
Penza State University of Architecture and Construction,
Penza, Russia*

Romanenko I.I.

*candidate of technical sciences, associate professor,
Penza State University of Architecture and Construction,
Penza, Russia*

Annotation

The electric transmission control system is analyzed with the aim of its modernization and improvement. The wheeled chassis of eight independent electric drives is considered, each of which contains a traction motor and a control system. The possibility of influencing the operation of the transmission by regulating the magnitude of the phase current is estimated. The work of the developed automatic control system is analyzed in the conditions of moving the investigated chassis through a single sinusoidal obstacle. The proposed law of regulation of the system of automatic adaptive control allows solving the problem of increasing the efficiency of the considered chassis with the electric transmission of the individual drive of its driving wheels under conditions of moving them through a single sinusoidal obstacle, as well as in other similar cases of operation.

Key words: intelligent control system, multi-axle wheeled vehicles, special wheeled chassis, control system for executive mechanisms, traction electric motor, electric transmission.

В качестве объекта рассматривается колесное шасси с электрической трансмиссией (ЭТ), состоящей из восьми независимых электроприводов [1,3]. Каждый из этих электроприводов (рис.1) содержит тяговый электродвигатель (ТЭД) и его штатную систему управления (СУ)[2]. Эта система управления ЭТ на основании сигнала задания U_3 , используя возможности общей системы питания (U_d и I_d), формирует сигнал управления ТЭД в виде некоторого значения тока фазы I_ϕ . Таким образом, данный электропривод обеспечивает индивидуальный регулируемый привод ведущих колес рассматриваемого шасси.

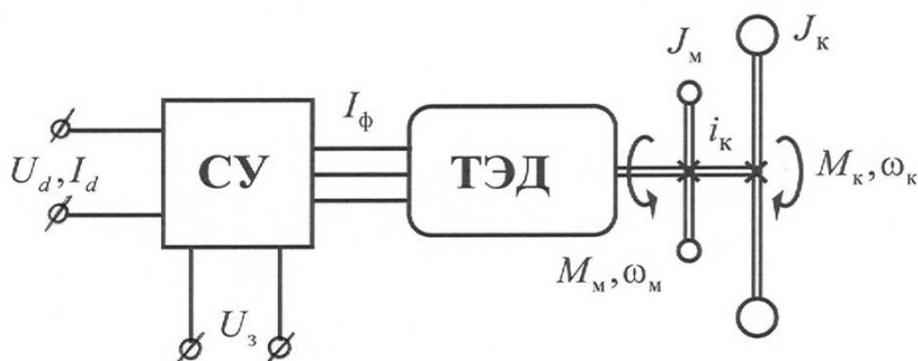


Рис.1 – Схема электропривода ведущего колеса рассматриваемого шасси

Имеется принципиальная возможность влиять на работу ЭТ путем регулирования величины тока фазы I_ϕ за счет использования дополнительных корректирующих цепей в СУ, которую в сочетании с ними можно рассматривать как систему автоматического адаптивного управления. В частности рассмотрен вариант системы автоматического адаптивного управления, имитирующей действия идеального водителя, обеспечивающего

при ограниченной величине потребляемой ЭТ мощности достижение заданной продольной скорости движения исследуемого шасси. V_0 .

На основании исследований в работах [1,2] сформулированы рекомендации по проектированию такой системы автоматического адаптивного управления режимом работы ЭТ исследуемой машины, обеспечивающие заданные требования к работе шасси при трогании и разгоне. При этом система автоматического адаптивного управления ЭТ с периодичностью через каждые 0,1 секунды вычисляет необходимую в данный момент времени величину приращения тока фазы ΔI_ϕ в обмотках каждого ТЭД для достижения требуемой скорости V_0 движения машины по формуле (1):

$$\Delta I_\phi = k_V \cdot (V_0 - V_x) - k_a \cdot \dot{V}_x \quad (1)$$

где: V_0 – скорость машины, которую стремится обеспечить водитель;

V_x – скорость движения машины в данный момент времени;

k_V – коэффициент, характеризующий чувствительность СУ ЭТ к сигналу рассогласования по величине скорости машины;

\dot{V}_x – величина продольного ускорения машины;

k_a – коэффициент обратной связи по ускорению машины.

Анализ выражения (1) позволяет сделать вывод о том, что построенная в соответствии с ним система автоматического адаптивного управления может также выполнять функцию стабилизации продольной скорости движения рассматриваемого автомобиля в случае ее изменений, обусловленных влиянием внешних возмущений.

Проанализируем работу разрабатываемой системы автоматического адаптивного управления в условиях переезда исследуемого шасси через единичное синусоидальное препятствие (рис.2), имеющее высоту $2 \cdot q_0 = 20$ см и длину $l_q = 1$ м.

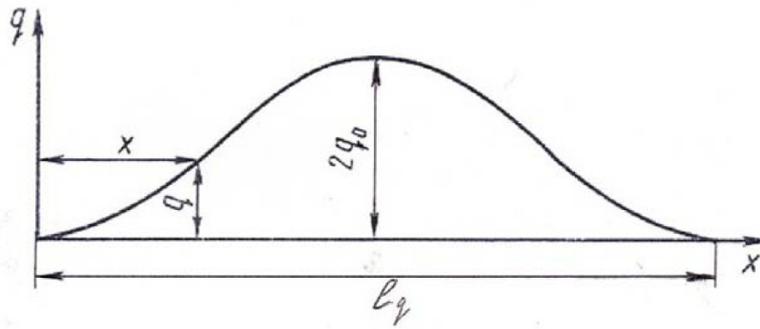


Рис. 2 – Принятый профиль преодолеваемого единичного синусоидального препятствия

Характер изменения рельефа (вертикальной координаты $q(x)$), оказывающее возмущающее воздействие на колеса рассматриваемого шасси при моделировании, для такого препятствия определяется выражением:

$$q = q_0 \cdot \left[1 - \cos\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot x}{l_q}\right) \right]. \quad (2)$$

С целью выявления возможных негативных факторов в работе ЭТ и получение рекомендаций, которые необходимо учесть при проектировании системы автоматического адаптивного управления, для повышения ее эффективности.

Математическое моделирование переезда, исследуемого шасси через принятое единичное синусоидальное препятствие проводилось при его движении на скорости 3,6 км/ч. Результатом проведенного математического моделирования являются графики, приведенные на рис. 3 и 4.

На рис. 3 приведены графики, иллюстрирующие вертикальные перемещения центров колес z_i [м] (здесь и далее: i – номер оси шасси) каждой из осей шасси центра масс его поддрессоренной части z_m [м], а также продольно-угловые клевки его остова F_i [рад], построенные в функции пути X [м], пройденном колесами передней оси шасси при переезде им через препятствие.

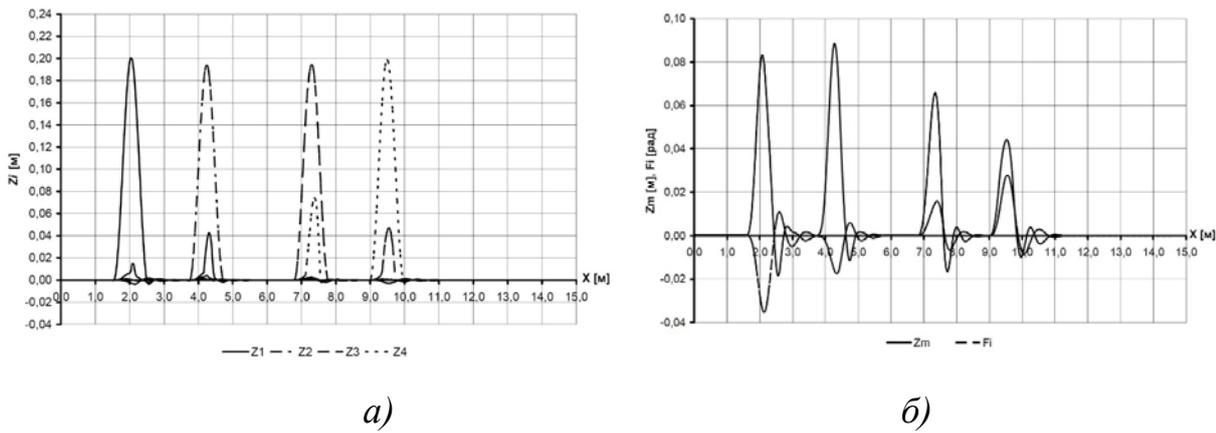


Рис. 3 – Вертикальные перемещения центров масс неподрессоренных (Z_1, Z_2, Z_3, Z_4) (а) и поддрессоренной (Z_m) (б) частей, а также продольно-угловые клевки (F_i) (б) остова шасси при переезде им через препятствие

На рис.4 приведены соответствующие графики изменения вертикальных усилий R_{zi} [кН], возникающих в контакте эластичных колес каждой оси исследуемого четырехосного шасси с опорной поверхностью. На графике эти изменения также приведены в функции пути X [м], пройденном колесами передней оси этого автомобиля. Следует отметить, что, в соответствии с принятыми начальными условиями, на ровной дороге распределение веса, исследуемого шасси таково, что на две передние оси приходится ~ 120 кН (на колесо ~ 30 кН), а на две задние – ~ 80 кН (на колесо ~ 20 кН).

Из анализа графика на рис. 3 следует, что при переезде автомобиля через принятое препятствие с продольной скоростью 3,6 км/ч вертикальная нагрузка на колеса второй оси может достигать ~ 68 кН, а также в некоторые моменты колеса какой-то из осей разгружаются от вертикальной нагрузки полностью (происходит их отрыв от опорной поверхности). Очевидно, при этом существенно изменяются условия взаимодействия колес с опорной поверхностью, что не может не сказаться на работе ЭТ шасси.

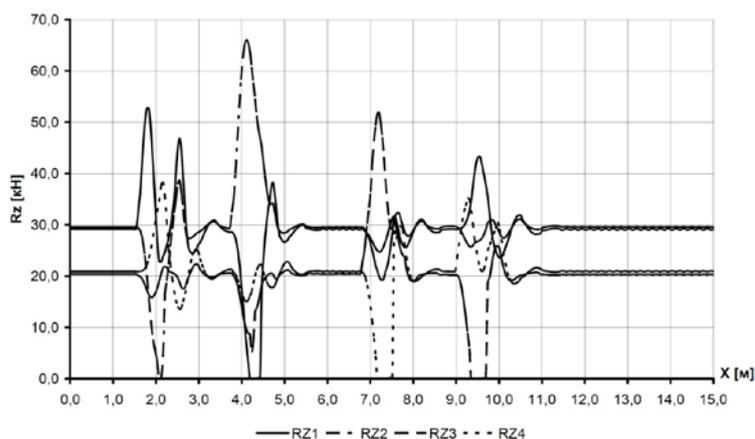


Рис.4 – Изменения вертикальных усилий R_{zi} [кН], возникающих в контакте эластичных колес каждой оси четырехосного шасси с опорной поверхностью, при переезде им через препятствие

Кроме этого принятое препятствие создает для рассматриваемого автомобиля дополнительное сопротивление движению, которое обуславливает изменение величины его продольной скорости V_x . Подтверждением этого являются графики, приведенные на рис. 5.

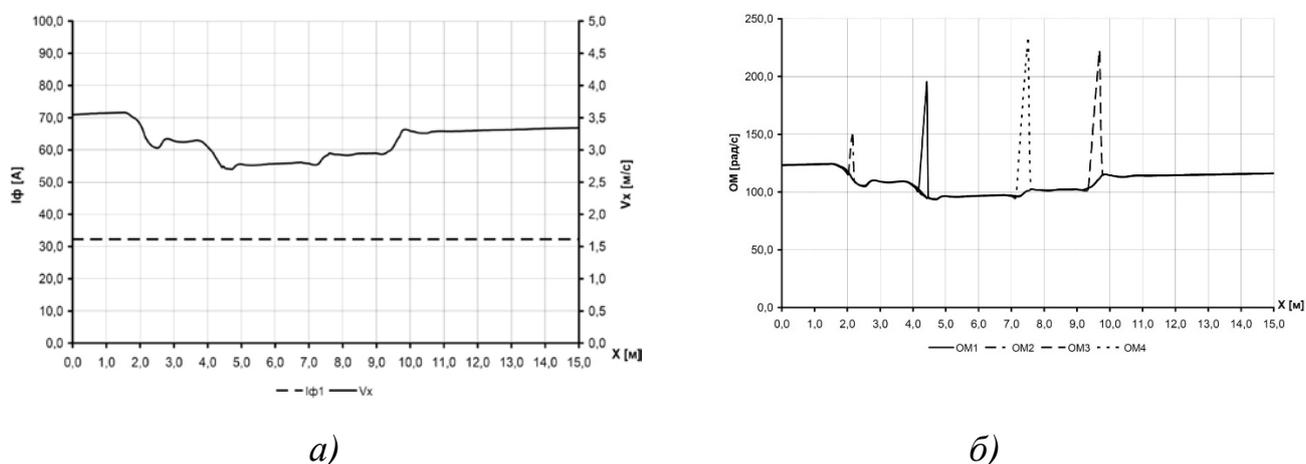


Рис. 5 – Движение без использования системы стабилизации продольной скорости

Из графика, приведенного на рис. 5а видно, что возросшее сопротивление движению шасси вызвало существенное (более чем на 20%) снижение величины его продольной скорости V_x . Эти графики получены при

моделировании рассматриваемого случая движения шасси при неизменном значении тока фазы I_ϕ в обмотках ТЭД (см. рис.5а). Такой вариант работы системы автоматического адаптивного управления возможен, если система стабилизации продольной скорости V_x при моделировании не используется.

Из графика на рис.5б видно, что изменение угловой скорости вращения ведущих колес шасси в большинстве случаев повторяет характер изменения OM_i . Исключением являются моменты, в которые происходит отрыв соответствующего колеса от опорной поверхности. Из графика видно, что в зависимости от продолжительности этого отрыва происходит разная по своей интенсивности раскрутка колеса. Так, колеса четвертой оси при этом приобретают частоту вращения, почти в 2 раза превышающую частоту, необходимую для движения шасси с заданной скоростью V_0 . При этом, как показывают результаты исследований, не только непроизводительно растрачивается энергия, реализуемая через ЭТ для движения шасси, но и происходит повышенный износ шин. Он обусловлен повышенным буксованием раскрученного ведущего колеса, возникающим в момент его контакта с опорной поверхностью.

Исходя из этого, для использования в системе автоматического адаптивного управления предлагается следующий вариант закона регулирования:

$$I_{\phi_i} = I_\phi \cdot \frac{R_{zi}}{R_{zcp}} - k_\omega \cdot (\omega_i - \omega_{cp}) - k_\varepsilon \cdot \dot{\omega}_i \quad (3)$$

где: I_{ϕ_i} – величина тока фазы в обмотке i -ого ТЭД;

I_ϕ – необходимая величина тока фазы в данный момент времени, заданная водителем или вычисленная с учетом формулы (1);

R_{zi} – нормальное усилие в контакте i -ого ведущего колеса с опорной поверхностью;

R_{zcp} – средняя величина нормального усилия в контакте колес с опорной поверхностью;

ω_i – частота вращения i -ого ведущего колеса;

ω_{cp} – среднее значение частоты вращения колес автомобиля;

k_{ω} – коэффициент, характеризующий чувствительность системы автоматического адаптивного управления ЭТ к величине отклонения частоты вращения ведущих колес машины от среднего значения;

$\dot{\omega}_i$ – величина углового ускорения i -ого ведущего колеса;

k_{ε} – коэффициент обратной связи по величине углового ускорения ведущего колеса.

Таким образом, предложенный закон регулирования системы автоматического адаптивного управления в форме выражения (3) позволяет решить задачу повышения эффективности работы рассматриваемого шасси с ЭТ индивидуального привода его ведущих колес в условиях переезда им через единичное синусоидальное препятствие, а также в других подобных случаях эксплуатации.

Библиографический список:

1. Красневский Л.Г. Прецизионное управление автоматическими трансмиссиями: итоги 50 лет развития/ Красневский Л.Г., Поддубко С.Н.// Механика машин, механизмов и материалов. 2015. № 4 (33). С. 5-13.
2. Кулаков Н.А. Разработка и исследование математической модели полноприводного четырехосного автомобиля с электротрансмиссией / Кулаков Н.А., Лепешкин А.В., Черанев С.В.// М., МАМИ. Научный рецензируемый журнал Известия МГТУ «МАМИ», № 2 (12), 2011. С. 95-105.
3. Лепешкин А.В. Структура системы автоматического адаптивного управления бесступенчатой трансмиссией многоприводного транспортного средства / Лепешкин А.В.//– М., МАМИ. Научный рецензируемый журнал Известия МГТУ «МАМИ», № 1 (11), 2011, С. 51-59.
4. Тарасов А.В. Специальные колесные шасси. // Военный парад, №2, 2009. – С.16-23.