

Д.И. ЯКУНИН, канд. техн. наук, доц. НТУ «ХПИ»;

Б.Х. ЕРИЦЯН, ст. преп., НТУ «ХПИ»;

Д.Ю. ШАПОВАЛОВ, студент НТУ «ХПИ»

РАЗВИТИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРИВОДА НАКЛОНА КУЗОВОВ

В статье предложено устранить недостатки электромеханической системы привода с линейным двигателем для наклона кузовов за счет применения управляемого демпфера колебаний. Предложена схема управляемого демпфера с электроклапаном.

У статті запропоновано усунути недоліки електромеханічної системи приводу з лінійним двигуном для нахилу кузовів за рахунок застосування керованого демпфера коливань. Запропоновано схему керованого демпфера з електроклапаном.

In the article it is suggested to remove the lacks of the electromechanical system with a linear engine for inclination of trains due to application of the guided damper of vibrations. The scheme of the guided damper with an electrovalve is offered.

В настоящее время не вызывает сомнений необходимость повышения качества услуг, предоставляемых железнодорожным транспортом. Острой задачей является повышения средней скорости движения подвижного состава при перевозке пассажиров. Наряду с традиционными технологиями, представляется перспективным внедрение управляемого наклона кузовов скоростных поездов, что позволяет увеличить скорость прохождения кривых участков пути за счет компенсации непогашенного бокового ускорения составляющей ускорения силы тяжести [1].

В работах [2-4] рассмотрена система наклона кузова на базе линейного электромеханического преобразователя энергии.

Математическая модель (1), дополненная функциями связей (2) описывает работу исполнительного механизма, показанного на рис. 1.

$$\frac{di}{dt} = \frac{U - iR - KV}{L},$$
$$\frac{dx}{dt} = V, \quad (1)$$

$$U = f(U_y, U_u), \quad L = f(x, i), \quad K = f(x, i), \quad F = f(x, i),$$
$$\theta = f(F, x), \quad [U_y] = f\left(\theta, \frac{d\theta}{dt}, \theta_T, V_{\theta_{\max}}\right), \quad (2)$$

где U_u – напряжение источника питания, U – напряжение на ЛД, F – сила тяги ЛД, x – перемещение якоря ЛД, U_y – вектор управляющих напряжений преобразователя, θ – действительный угол наклона кузова, θ_T – требуемый (расчетный) угол наклона кузова, $V_{\theta \max}$ – максимальная скорость изменения угла наклона, t – время, i – ток обмотки ЛД, R – сопротивление обмотки ЛД, K – коэффициент противоЭДС ЛД, V – скорость перемещения якоря ЛД, L – индуктивность обмотки ЛД.

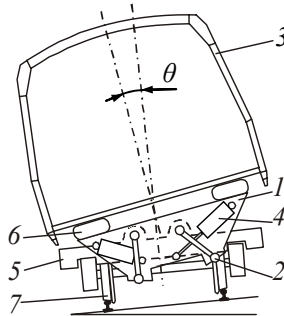


Рисунок 1 – Устройство вагона с наклоняемым кузовом:

1 – наклоняемая балка, 2 – рычаг подвеса, 3 – кузов, 4 – привод, 5 – рама тележки, 6 – вторичное подвешивание, 7 – колесная пара.

Функциональная схема привода показана на рис. 2.

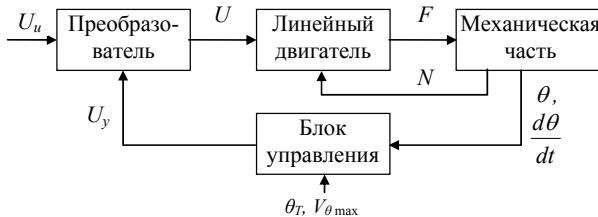


Рисунок 2 – Функциональная схема привода системы наклона

Интегрирование представленной математической модели сопряжено со значительными трудностями, обусловленными нелинейностью функций связей, а также тем обстоятельством, что данная система уравнений является жесткой. Использование современных средств имитационного моделирования позволяет более эффективно организовать процесс исследования электромеханической системы, исключив из него этап формирования системы дифференциальных уравнений в виде задачи Коши и процедуры численного интегрирования.

Поэтому на основе математической модели (1, 2) была составлена имитационная модель в пакете визуального программирования Simulink.

Имитационная модель включает преобразователь P, линейный двигатель LD, механизм наклона кузова MN и блок управления BU. Блок-схема общей имитационной модели представлена на рис.3.

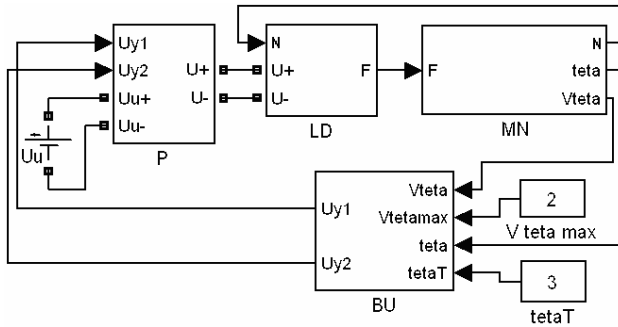


Рисунок 3 – Блок-схема общей имитационной модели устройства наклона кузова

Проведенные исследования имитационной модели доказали работоспособность предлагаемой системы. Натурное моделирование отдельных компонентов системы доказало адекватность модели протекающим в них физическим процессам.

Однако в процессе исследований, при моделировании прохождения кривого участка пути, были выявлены недостатки, присущий этой системе (рис. 4).

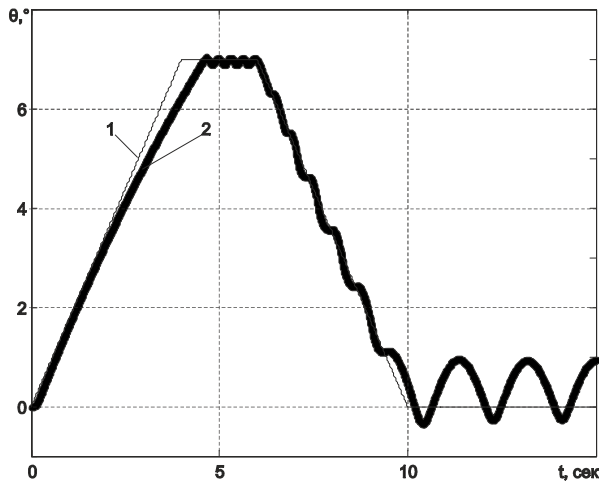


Рисунок 4 – Процесс достижения системой требуемого угла наклона:
1 – расчетный угол наклона θ_T , 2 – действительный угол наклона θ .

Вход в кривую требует установки кузова на расчетный угол, необходимый для компенсации непогашенного бокового ускорения. Поддержание кузова в таком положении также требует расхода энергии. Выход из кривой и, как следствие, необходимость вернуть кузов в исходное положение, сопровождаются колебаниями, обусловленными особенностями работы предложенной системы: самопроизвольный возврат механической части под воздействием силы тяжести, сдерживается периодическими включениями линейного двигателя.

По достижении исходного положения, под воздействием сил инерции, кузов вагона наклоняется в противоположную сторону, что также вызывает включение линейного двигателя. Вследствие этого, наблюдаются колебания, нежелательные при движении по прямому участку пути, следовательно, необходимо введение в систему устройства, предотвращающего развитие таких колебаний.

Установка демпфера позволяет уменьшить нежелательные колебания, однако приводит к росту потребления энергии, так как линейный двигатель вынужден помимо веса кузова, преодолевать еще и сопротивление демпфера.

Понижение коэффициента демпфирования не дает удовлетворительных результатов – колебания снижаются незначительно. Более того, необходимого демпфирования колебаний удастся достигнуть лишь при таких значениях коэффициента демпфирования, когда не обеспечивается работоспособность системы (рис. 5).

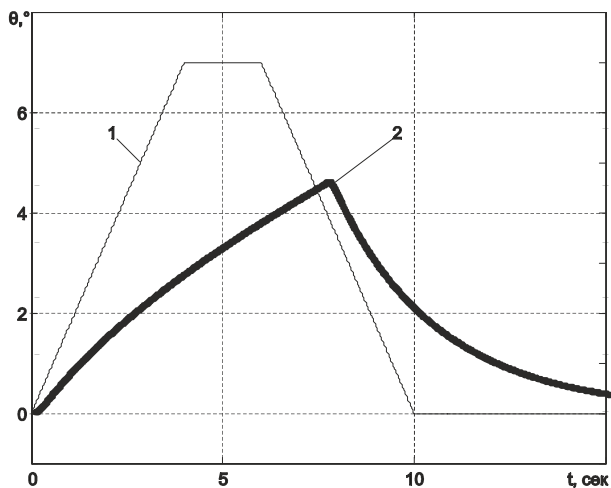


Рисунок 5 – Процесс достижения требуемого угла наклона при наличии демпфера:
1 – расчетный угол наклона θ_T , 2 – действительный угол наклона θ .

Устранить указанные недостатки предлагается путем введения в систему управляемого демпфера колебаний, схема которого приведена на рис. 6.

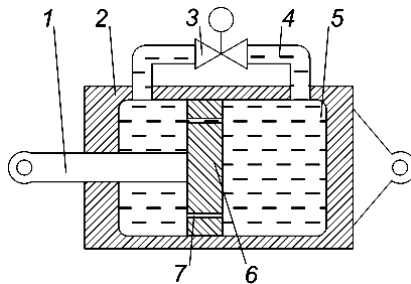


Рисунок 6 – Управляемый демпфер колебаний:

- 1 – шток, 2 – корпус, 3 – электроклапан, 4 – дополнительный канал,
5 – рабочая жидкость, 6 – поршень, 7 – дросселирующие отверстия.

Предлагаемый демпфер *отличается* от применяемых в настоящее время наличием дополнительного канала 4, сообщающего полости корпуса 2 демпфера в обход дросселирующих отверстий 7 его поршня 6. Дополнительный канал снабжен перекрывающим его электроклапаном 3. При отсутствии питания на электроклапане, он удерживается в открытом состоянии, а демпфер оказывает пренебрежимо малое сопротивление работе системы наклона. При включении электроклапана, дополнительный канал перекрывается и происходит дросселирование жидкости через отверстия поршня демпфера.

В процессе работы системы наклона кузова, управление клапаном демпфера осуществляется по следующему закону (3):

$$U_{ЭК} = -1 \cdot \text{sign}[\text{sign}(\theta_T - \theta) - 1], \quad (3)$$

где $U_{ЭК}$ – управляющий сигнал электроклапана (значение 0 соответствует открытому электроклапану, 1 – запертому), sign – сигнальная функция, принимающая значение «+1» при положительных, «- 1» при отрицательных и «0» при нулевых значениях ее параметра.

Таким образом, пока значение требуемого угла превышает значение угла достигнутого, электроклапан демпфера отключен и демпфер не оказывает существенного влияния на работу системы. Когда же значение угла θ достигнет или превысит θ_T , клапан перекроет дополнительный канал и демпфер включится в работу.

Результат работы предложенной системы показаны на рис. 7.

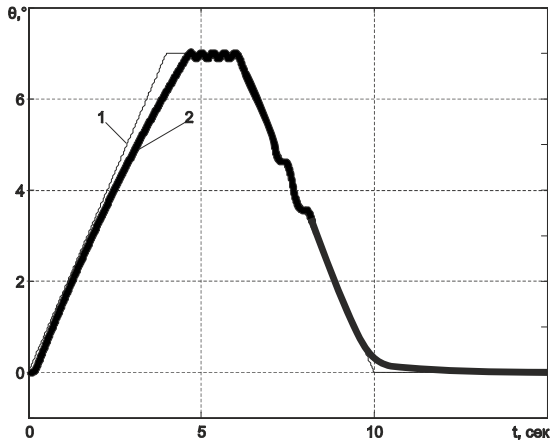


Рисунок 7 – Достижение требуемого угла при наличии управляемого демпфера:
 1 – расчетный угол наклона θ_T , 2 – действительный угол наклона θ .

Как видно из рисунка, требуемый угол наклона – достигается, при этом нежелательные колебания пренебрежимо малы.

Выводы

1. Предложен проект электромеханической системы привода с линейным двигателем для наклона кузовов, отличительной особенностью которой является наличие управляемого демпфера колебаний.
2. Предложена схема управляемого демпфера колебаний, имеющего дополнительный канал перетока рабочей жидкости, запираемый электроклапаном. Предложен закон его управления.
3. Показана работоспособность предлагаемой системы: требуемый угол наклона – достигается, нежелательные колебания пренебрежимо малы.

Список литературы: 1. Корниенко В.В., Омеляненко В.И. Высокоскоростной электрический транспорт. Мировой опыт. – Харьков, НТУ «ХПИ», 2007. – 159 с. 2. Омеляненко В.И. Привод наклона кузовов на базе линейного двигателя / В.И. Омеляненко, Д.И. Якунин, Е.С. Редченко // Залізничний транспорт України. – Київ: Транспорт України, 2010. – № 6. – С. 23-25. 3. Омеляненко В.И. Моделирование механизма наклона кузова с приводом на базе линейного электродвигателя / В.И. Омеляненко, Б.Г.Любарский, Д.И. Якунин // Залізничний транспорт України. – Київ: Транспорт України, 2011. – № 2. – С. 48-52. 4. Влияние параметров исполнительного механизма на показатели работы линейного двигателя в системе привода наклона вагонов скоростных поездов / В.И. Омеляненко, Б.Г. Любарський, Д.І. Якунін // Електротехніка і електромеханіка.– Харків: НТУ «ХПІ», 2011.– №4.– С.47-52.

Поступила в редколлегию 04.04.2012