

УДК 621.924

*Д.И. ЯКУНИН*, НТУ «ХПИ» (г. Харьков)

## **НАГРУЗОЧНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕХАНИЗМА НАКЛОНА КУЗОВА**

У статті розглянуто математичну модель, що дозволяє отримати характеристику навантаження механізму нахилу кузова транспортного засобу із заданими параметрами. Показано якісний характер зміни сили залежно від кута нахилу екіпажа та оцінено її величину. Поставлено задачу обрання лінійного електромеханічного перетворювача енергії, тягова характеристика якого найбільш відповідає отриманій характеристиці навантаження.

In article the mathematical model is considered, allowing to receive the loading characteristic of the mechanism of an inclination of a vehicle's body with the set of parameters. Qualitative character of change of force depending on a corner of an inclination of crew is shown and its size is estimated. The task in view of a choice of the linear electromechanical converter of the energy, which traction characteristic most corresponds to the received loading characteristic

Сеть железных дорог, расположенная на территории Украины, по праву считается одной из самых разветвленных железнодорожных сетей Европы. Её общая протяженность составляет 22050 км. Железнодорожным транспортом сегодня осуществляется 82% перевозки грузов и 48% пассажирских перевозок от общего объема. 400 млн. пассажиров пользуются услугами железнодорожного транспорта в течение года [1].

Начало строительства железнодорожных линий Украины произошло весьма давно, поэтому для них характерны большое число кривых малого радиуса. Технические параметры пути также относительно низкие и в настоящее время, как и в ближайшей перспективе, коренная реконструкция таких линий маловероятна. Тем не менее, эти линии играют важную роль в экономическом и социальном развитии регионов, по территории которых они проходят.

Следовательно, целесообразным представляется заострить внимание на создании подвижного состава с наклоняемыми кузовами, поскольку такие поезда предназначены, в первую очередь, для увеличения скорости движения в кривых участках пути. Поэтому такие поезда представляют собой рациональный способ сокращения длительности поездок и, следовательно, улучшения транспортного обслуживания населения [2].

В качестве силового привода механизма принудительного наклона кузова в таких поездах в настоящее время используются гидравлические, пневматические, электрогидравлические и электромеханические системы.

Наиболее распространенным в мировой практике является гидравлический силовой привод. По сравнению с ним, меньшую стоимость имеет только пневматический привод, поскольку он, как и гидравлическая система, может быть собран из стандартных компонентов, выпускаемых серийно. Обслуживание гидравлического привода наиболее сложно в силу

его конструкции, здесь выгоднее использовать электромеханический или электрогидравлический приводы. По массогабаритным показателям и простоте конструкции также лидируют электромеханический и электрогидравлический приводы. Их быстродействие сопоставимо с гидравлическим приводом, и значительно опережает пневматический привод.

Наибольшие опасения вызывает тот факт, что электромеханический привод в случае неисправности не обеспечивает самовозврат в исходное положение, что может привести к диагональной разгрузке колесных пар. Демпфирование колебаний в этом приводе также неудовлетворительное.

Следовательно, широкому применению электромеханического привода препятствует недостаточное демпфирование и отсутствие самовозврата, что обусловлено наличием в его составе винтовой пары. Это приводит к тому, что преобразование электрической энергии в механическую происходит опосредованно. Непосредственное преобразование электрической энергии в механическую энергию перемещения штока можно обеспечить, используя в качестве силового привода линейный электромеханический преобразователь энергии (ЛЭМПЭ). Обладая всеми достоинствами электромеханического привода, такая система будет лишена пары вращения и, следовательно, вышеупомянутых недостатков.

Приступая к выбору типа ЛЭМПЭ, необходимо определить, какую силу для наклона кузова на заданный угол необходимо развить на его штоке, а также характер изменения этой силы, то есть определить нагрузочную характеристику линейного двигателя. В связи с этим, в данной работе была поставлена задача – определить нагрузочную характеристику ЛЭМПЭ  $F_H(\theta)$ , приводящего в движение систему наклона кузова, аналогичную используемой на поезде X2000.

Для оценки силы, которую необходимо приложить для наклона кузова типичного вагона на угол до  $8^\circ$  и характера ее изменения, требуется определить реакции в подвесах и найти их проекции на ось наклоняемой балки (рис. 1). Разность указанных проекций будет равна искомой возвращающей силе, приведенной к центру наклоняемой балки [3]. Эту силу необходимо уравновесить силой привода для того, чтобы наклонить кузов на заданный угол.

При расчете также следует учесть, что за счет возвышения наружного рельса  $h_B$  весь экипаж по отношению к горизонту будет наклонен внутрь кривой на угол  $g = \arcsin(h_B/2S)$ .

Поскольку возвышение наружного рельса ограничено величиной 150 мм, а ширина колеи по кругам катания  $2S = 1600$  мм, то максимальное значение угла уклона пути составит  $\gamma_{\max} = 0,094$  рад ( $5,4^\circ$ ).

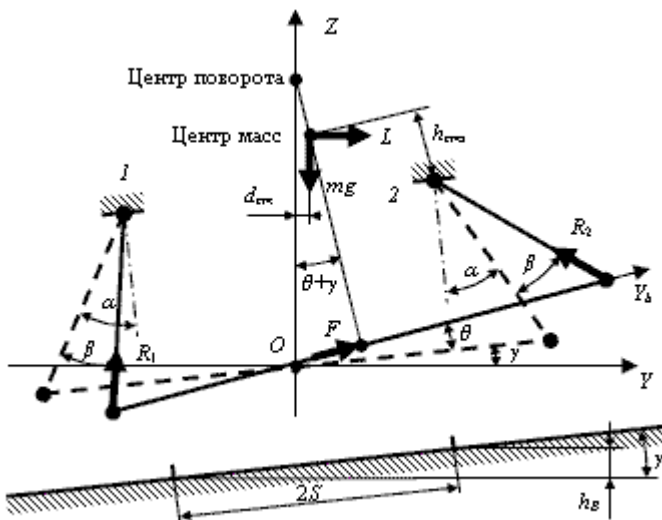


Рисунок 1 – Схема механизма привода наклона кузова

Смещение центра масс от вертикальной оси в результате поворота кузова на угол  $\theta$

$$d_{cm} = h_{cpr} \tan(q + g)$$

где  $h_{cpr}$  - высота центра поворота над центром масс.

В квазистатически уравновешенной системе сумма моментов сил относительно верхних шарниров подвеса и сумма проекций сил на ось балки равны нулю. В этом случае математическая модель имеет вид

$$\begin{aligned} m \cdot g(b_r + d_{cm}) + L \cdot h_{cms} - F \cdot L_p \cos(a - b + q) - R_2 \cdot 2b_r \cos(a + b) &= 0; \\ -m \cdot g(b_r - d_{cm}) + L \cdot h_{cms} - F \cdot L_p \cos(a + b - q) + R_1 \cdot 2b_r \cos(a - b) &= 0; \\ R_1 \sin(a - b + q) + F + L \cos q - R_2 \sin(a + b - q) &= 0; \end{aligned}$$

где  $h_{cms}$  – высота центра масс над осями верхних шарниров подвеса

Решая данную систему уравнений, получаем интересующую нас силу  $F_H$  исполнительного механизма при движении поезда при заданных условиях и отклонении кузова на требуемый угол  $\theta$ .

С помощью данной математической модели произведен расчет трех вариантов зависимостей силы исполнительного механизма от угла наклона кузова. В первом случае предполагалось, что экипаж принятой массы и геометрии остановлен и возвышение наружного рельса в кривой –

отсутствует. Во втором случае было добавлено возвышение наружного рельса 150 мм, в третьем случае экипаж также условно двигался по кривой радиусом 600 м со скоростью 160 км/ч (рис. 2).

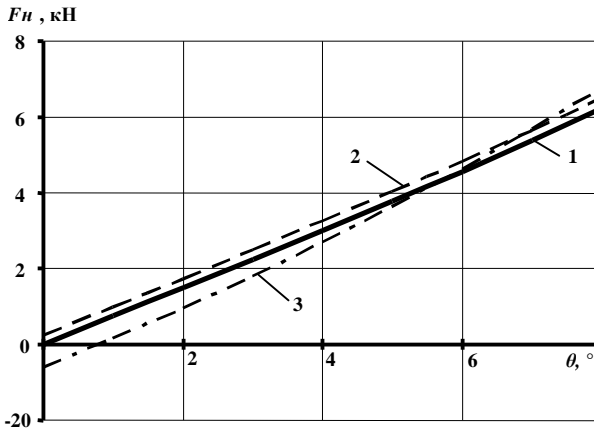


Рисунок 2 – Зависимость силы исполнительного механизма от угла наклона кузова: 1 – воздействия центробежной силы и возвышения наружного рельса нет; 2 – имеется возвышение наружного рельса  $h=150$  мм; 3 – имеет место воздействие центробежной силы, обусловленное движением поезда по кривой  $R=600$  м со скоростью  $V=160$  км/ч; возвышение наружного рельса  $h=150$  мм.

Анализ приведенных зависимостей показывает, что в пределах изменения угла наклона кузова от 0 до 8°, сила имеет гравитационную природу и ее величина, требуемая для удержания механизма в текущем положении монотонно, по закону, близкому к линейному, нарастает от 0 до 65 кН, что составляет около 20% от веса экипажа, приходящегося на одну тележку. Гиперболичность полученной кривой на данном участке выражена слабо. Очевидно, что центробежная сила оказывает некоторое влияние на характер изменения силы, реализуемой исполнительным механизмом. Однако это влияние незначительно, и им можно пренебречь.

Таким образом, следует выбрать такой электромеханический преобразователь энергии, чтобы его тяговая характеристика в наибольшей мере соответствовала приведенной нагрузочной характеристике механизма.

**Список литературы:** 1. Корниенко В.В., Омеляненко В.И. Высокоскоростной электрический транспорт. Мировой опыт. – Харьков, НТУ «ХПИ», 2007. – 159 с. 2. Омеляненко В.И., Криваякин Г.В., Якунин Д.И., Редченко Е.С. Поезда с наклоняемыми кузовами для скоростного пассажирского движения // Локомотив-информ. – Харьков: Техностандарт. – 2008. – №5 С. 12-17. 3. Вериго М.Ф. Динамика вагонов. / ГУУЗ МПС. – М.: ВЗИИЖТ, 1971. – 176 с.

Поступила в редколлегию 23.11.2009