

Д. И. ЯКУНИН, канд. техн. наук, доц. НТУ «ХПИ»;
Е. Ю. ЗВЕРЕВ, студент НТУ «ХПИ»;
А. Н. СРИБНИК, студент НТУ «ХПИ»

ПРЕДПОСЫЛКИ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ПО РЕЛЬСОВОМУ ПУТИ ЭКИПАЖА, ОБОРУДОВАННОГО УСТРОЙСТВАМИ ДЛЯ НАКЛОНА КУЗОВА

В статье предложено с помощью оценки минимального времени движения экипажа участком рельсовой колеи выявить целесообразность максимального угла наклона кузова. Рассчитано ограничение скорости движения. Получена зависимость минимального времени движения от угла наклона кузова.

Ключевые слова: минимальное время движения, угол наклона кузова.

Строительство высокоскоростных магистралей представляет собой весьма затратный способ повышения пропускной способности пассажирских перевозок. Менее затратной технологией является использование подвижного состава с наклоняемыми кузовами. Применение этой технологии на железнодорожном подвижном составе имеет уже 40-летнюю историю [1]. В настоящее время поезда из вагонов с наклоняемыми кузовами эксплуатируются во многих странах мира. Численность их парка измеряется сотнями единиц. Постройка таких поездов освоена многими крупнейшими компаниями – поставщиками подвижного состава, использующими при этом разные технические решения.

Вместе с тем, недостаточно материалов, касающихся теоретического обоснования того или иного технического решения, что затрудняет выбор и разработку таких систем для железных дорог Украины. В связи с этим, формулировка предпосылок для компьютерного моделирования динамики движения по рельсовому пути скоростного пассажирского экипажа, оборудованного устройствами для наклона кузова, представляется актуальной задачей.

В частности, одним из путей определения рациональности применения поездов с наклоняемыми кузовами является решение тяговой задачи по определению времени движения подвижного состава на участке пути и расходу энергии на это движение. При постановке этой задачи с позиций подвижного состава в первую очередь необходимо определиться как с ограничениями по скорости на всем протяжении пути, так и с ограничениями по скорости наклона кузова. Здесь остановимся лишь на определении ограничений по скорости движения.

На экипаж, движущийся по кривой, действуют ускорение силы

тяжести g и центробежной силы $a_{ц}$.

Наибольший дискомфорт у пассажиров вызывают ускорения *боковых сил*, т.е. такие, плоскость действия которых параллельна плоскости пола экипажа, а вертикальные составляющие воспринимаются лишь как некоторое изменение веса [2]. Чтобы уменьшить влияние бокового ускорения, в кривых участках пути внешний рельс укладывают выше внутреннего на величину h , называемую *возвышением наружного рельса*. Это возвышение приводит к тому, что железнодорожный путь оказывается наклонен относительно горизонта на угол α . Благодаря этому, часть ускорения центробежной силы оказывается скомпенсирована ускорением силы тяжести, поскольку в плоскости, параллельной плоскости пола экипажа, теперь действуют проекции ускорений центробежной $a_{ц1}$ и силы тяжести $a_{г1}$, направленные диаметрально противоположно. Результатом сложения этих сил будет некоторое *непогашенное боковое ускорение* $a_{н}$, максимальное допустимое значение которого составляет $0,7 \text{ м/с}^2$ [3].

Из условия обеспечения наибольшего комфорта для пассажиров, непогашенное боковое ускорение должно быть скомпенсировано не менее чем на 75%, поэтому в дальнейших расчетах принимаем его равным $a_{н75\%} = 0,175 \text{ м/с}^2$.

Дополнительный наклон кузова на угол θ увеличивает степень компенсации центробежного ускорения ускорением силы тяжести (рис. 4)

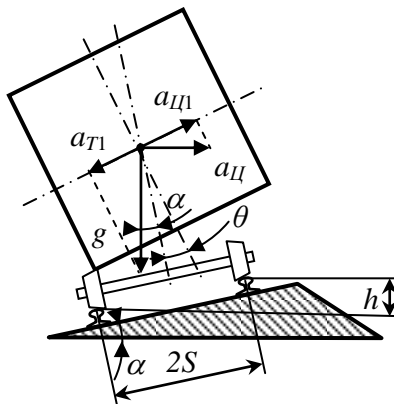


Рис. 1 – Движение экипажа с наклоном кузова:

h – возвышение наружного рельса, ограничено величиной $0,15 \text{ м}$;

$2S$ – ширина рельсовой колеи по пятнам контакта колес с рельсами, в расчетах принимается равной $1,6 \text{ м}$.

В этом случае выражение для определения непогашенного бокового ускорения имеет вид:

$$a_H = \frac{V^2}{R} \cdot \cos(\alpha + \theta) - g \cdot \sin(\alpha + \theta)$$

Отсюда, предельная скорость движения по кривой с учетом 75% компенсации непогашенного бокового ускорения:

$$V = \sqrt{\frac{R \cdot (a_{H75\%} + g \cdot \sin(\alpha + \theta))}{\cos(\alpha + \theta)}}$$

В силу малости $\alpha + \theta$, $\cos(\alpha + \theta) \approx 1$. Тогда выражение примет вид:

$$\begin{aligned} V &= \sqrt{R \cdot \left\{ a_{H75\%} + g \cdot \sin \left[\arcsin \left(\frac{h}{2S} \right) + \theta \right] \right\}} = \\ &= \sqrt{R \cdot \left\{ 0,175 + 9,81 \cdot \sin \left[\arcsin \left(\frac{h}{1,6} \right) + \theta \right] \right\}} \end{aligned}$$

Используя данную формулу, можно составить график ограничений скорости по участкам железнодорожного пути заданного профиля. Например, для исследуемого участка длиной 80755 м, включающего 89 кривых радиусом от 322 до 2249 м, с возвышением наружного рельса в них от 10 до 140 мм, в случае движения по нему поезда с конструкционной скоростью 160 км/ч, такой график будет иметь вид, показанный на рис. 2 – 4.

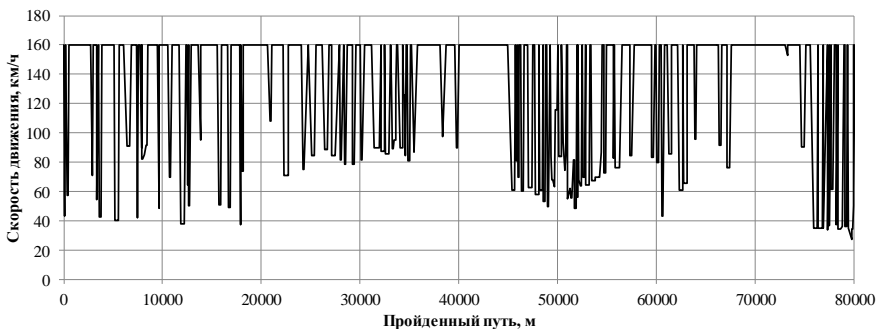


Рис. 2 – Предельные ограничения скорости по участкам при отсутствии наклона кузова

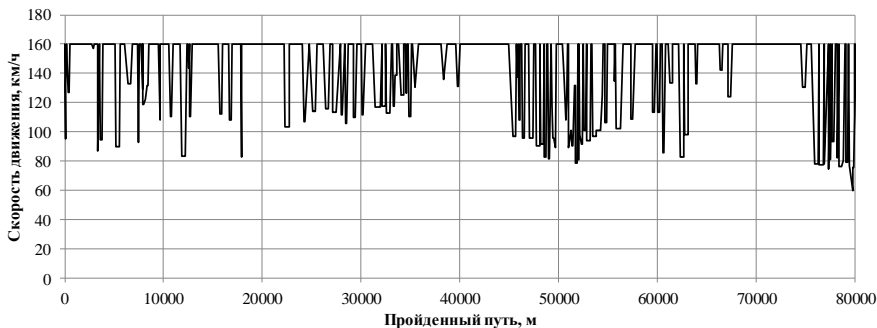


Рис. 3 – Предельные ограничения скорости по участкам при наклоне кузова до 4°

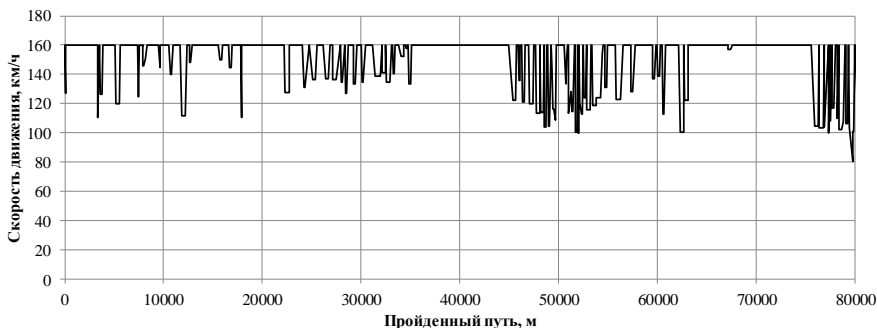


Рис. 4 – Предельные ограничения скорости по участкам при наклоне кузова до 8°

Проанализировав полученные зависимости, можно оценить влияние угла наклона на время прохождения поездом указанного участка пути (рис. 5)

Предельно минимальное (без учета динамики поезда) время прохождения составляет 2825 сек. Как видно, наклон кузова на угол до 4 градусов приводит к снижению минимального времени движения на 357 сек. и составляет 2170 сек., тогда как наклон кузова на угол до 8 градусов приводит к снижению минимального времени движения до 1977 сек. Таким образом, наклон с 4 до 8 градусов обеспечивает снижение времени движения лишь на 193 сек., что в 1,85 раза меньше, чем при наклоне от 0 до 4° .

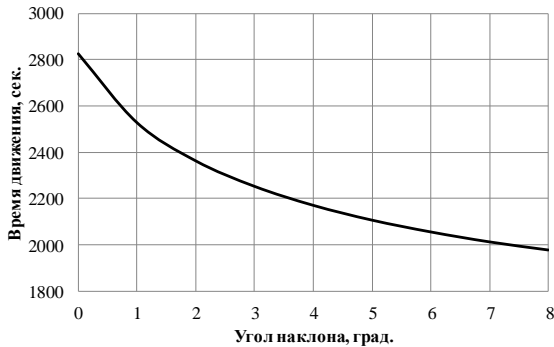


Рис. 5 – Зависимость минимального времени движения от предельного угла наклона кузова

Проведенные исследования могут быть использованы в процессе принятия решения о целесообразной величине угла наклона кузова экипажа и, как следствие повлиять на выбор конструкции привода наклона [4].

Список литературы: 1. Корниенко В. В., Омеляненко В. И. Высокоскоростной электрический транспорт. Мировой опыт. – Харьков, НТУ «ХПИ», 2007. – 159 с. 2. Förstberg J. Ride comfort and motion sickness in tilting trains / J.Förstberg.– Department of Vehicle Engineering.– Royal Institute of Technology.– KTH Högskoletrycket, Stockholm, 2000. – 234 p. 3. Profillidis V. A. Railway management and engineering / V. A. Profillidis.– Farnham; Burlington: Ashgate, 2009.– 202 p. 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 «ХПИ», 2011.– №4.– С.47-52.

Поступила в редколлегию 30.04.2013

УДК 625.282:625.032.07

Предпосылки для моделирования движения по рельсовому пути экипажа, оборудованного устройствами для наклона кузова / Д. И. Якунин, Е. Ю. Зверев, А. Н. Срибник // Вісник НТУ «ХПИ». Серія: Транспортне машинобудування. – Х. : НТУ «ХПИ», 2013. – № 32 (1005). – С. 76–80. – Бібліогр.: 4 назв.

У статті запропоновано за допомогою оцінки мінімального часу руху екіпажу ділянкою рейкової колії виявити доцільність максимального куту нахилу кузова. Розраховано обмеження швидкості руху. Отримано залежність мінімального часу руху від кута нахилу кузова.

Ключові слова: мінімальний час руху, кут нахилу кузова.

In the article suggests using estimates of minimum time motion crew plot of rail track to discover the feasibility of maximum tilt of the body. Calculated speed limit. The dependence of the minimum time of motion on the angle of the body.

Keywords: minimum time motion, the angle of the body.