

УДК 656.025.2

А. А. ЕРОФЕЕВ, кандидат технических наук, П. В. КОВТУН, кандидат технических наук, Т. А. ДУБРОВСКАЯ, старший преподаватель, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ПРОБЛЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ НА СУЩЕСТВУЮЩИХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ЛИНИЯХ

Проблема повышения скоростей движения поездов на железной дороге является важной задачей, стоящей перед Белорусской железной дорогой. Одним из направлений повышения скоростей является увеличение норматива непогашенного ускорения либо применение подвижного состава с наклоном кузова. Повысив величину допустимого непогашенного ускорения до $0,9 \text{ м/с}^2$, можно добиться увеличения скорости в среднем на 15 %. Применение подвижного состава с наклоном кузова типа Talgo позволяет увеличить скорость прохождения криволинейных участков на 8–12 % при составных кривых и малых радиусах и около 20 % – при одиночных кривых.

Повышение скоростей движения поездов – одна из важнейших задач совершенствования эксплуатационной работы и развития железнодорожного транспорта во всех индустриальных странах мира. Повысить допустимые скорости – это значит сократить время в пути, улучшить качество услуг и привлечь дополнительный пассажиропоток на железнодорожный транспорт.

Повышение скоростей может быть реализовано несколькими способами:

- строительством новых линий;
- реконструкцией существующих железных дорог;
- применением улучшенного подвижного состава.

Опыт строительства и эксплуатации железнодорожного транспорта показывает, что реконструкция существующих железнодорожных линий со смешанным движением грузовых и пассажирских поездов позволяет поднять скорости до 200–250 км/ч. Для достижения более высоких скоростей целесообразно сооружение специализированных высокоскоростных магистралей.

Для эффективного повышения скоростей на существующих железнодорожных линиях нужна и новая нормативная база. Например, норматив непогашенного ускорения на Белорусской железной дороге в настоящее время принят равным $0,7 \text{ м/с}^2$. На сегодняшний день после исследований ВНИИЖТа совместно с Центром подготовки космонавтов им. Ю.А. Гагарина, на некоторых линиях он повышен до $0,9 \text{ м/с}^2$. А для поездов «Ласточка» это повышение составляет 1 м/с^2 , для вагонов «Гальго» и локомотива ЭП20 – $1,1 \text{ м/с}^2$ [5]. Это означает, что повышение скорости пассажирских поездов возможно без миллиардных вложений в инфраструктуру [9].

Реконструкция участка железной дороги для повышения скоростей подразумевает: увеличение радиусов кривых малого радиуса в соответствии с намеченными максимальными скоростями движения пассажирских поездов; замену составных кривых на однорадиусные кривые; удлинение переходных кривых и прямых вставок; вынос из кривых стрелочных переводов, расположенных на главных путях; замену на главных путях обычных стрелочных переводов на скоростные; реконструкцию искусственных сооружений или строительство новых сооружений в связи со сдвижкой пути при переустройстве его плана; расширение или перенос пассажирских платформ; реконструкцию пешеходных мостов и тоннелей; усиление и реконструкцию систем сигнализации и связи; техническое перевооружение и замену

устройств систем автоматики и телемеханики; реконструкцию устройств тягового электроснабжения; устройство пересечений в разных уровнях на пересечениях с автодорогами, ограждение линии и другие мероприятия, связанные с обеспечением безопасности движения поездов и многое другое. Зачастую, увеличение скоростей движения сдерживает план линии. Практически все железные дороги на постсоветском пространстве проектировались еще в начале XX века, где с целью уменьшения объемов земляных работ применялись, в основном, кривые малых радиусов, которые и сдерживают повышение скоростей движения.

Максимальная скорость движения поезда в кривой зависит от центробежных сил во взаимодействии подвижного состава и пути, которые в свою очередь определяют устойчивость подвижного состава против опрокидывания, поперечную нагрузку на путь, уровень комфорта для пассажиров и сохранность груза. Первые два критерия непосредственно относятся к безопасности движения поездов, третий и четвертый – к качеству пассажирских и грузовых перевозок.

Для нейтрализации центробежной силы в кривых наружный рельс укладывают с некоторым возвышением относительно внутреннего.

Центробежная сила, действующая в кривой, за счет возвышения наружного рельса может быть погашена полностью, частично или даже чрезмерно (при этом результирующая сила действует в сторону внутреннего рельса). На практике для таких случаев в зависимости от степени компенсации центробежной силы используют понятия достаточного, недостаточного и избыточного возвышения.

Зная о воздействии центробежной силы, учитывая накопленный опыт, устанавливаются допустимые значения на геометрические параметры пути, в частности, на максимально допустимую величину возвышения наружного рельса в кривых и предельно допустимое значение непогашенного ускорения, при которых обеспечиваются достаточные уровень комфорта для пассажиров и сохранность грузов.

Целью данного исследования является повышение скоростей движения поездов на существующих линиях в круговых кривых без переустройства плана. Достижение поставленной цели рассматривается двумя путями:

– изменением предельной величины непогашенного ускорения при движении пассажирских поездов с $0,7$ до $0,9 \text{ м/с}^2$ при безусловном соблюдении требований по безопасности и комфортабельности движения;

– применением нового подвижного состава с наклоном кузова, для более быстрого прохождения криволинейных участков пути.

Экспериментальными исследованиями установлено, что длительное и повторное воздействие непогашенного центробежного ускорения величиной до $0,9 \text{ м/с}^2$ включительно большинство людей переносит удовлетворительно [7]. Непогашенное центробежное ускорение, равное 1 м/с^2 , переносится удовлетворительно при немногочисленных и непродолжительных воздействиях.

Таким образом, увеличение непогашенного ускорения до $0,9 \text{ м/с}^2$ не окажет существенного влияния на организм пассажиров, но может существенно сэкономить время в пути за счет более быстрого прохождения кривых.

Полученные данные позволяют выполнять расчеты при непогашенном ускорении, равном $0,9 \text{ м/с}^2$, и проанализировать влияние увеличения непогашенного ускорения на скорости прохождения пассажирским поездом кривых различных радиусов.

Исходя из вышесказанного, необходимо рассмотреть, как влияет изменение величины непогашенного ускорения в кривых до $0,9 \text{ м/с}^2$ на скорость прохождения и радиус кривой.

Согласно СТП [9], непогашенное ускорение в кривых определяется по формуле

$$a_{\text{нп}} = \frac{v_{\text{max}}^2}{3,6^2 R} - \frac{g}{s} h, \quad (1)$$

где v_{max} – максимальная скорость движения по данной кривой, км/ч; R – радиус кривой, м; g – ускорение свободного падения ($9,81$), м/с^2 ; s – ширина между осями рельсов (1600), мм; h – возвышение наружного рельса, мм.

Тогда путем преобразований h можно выразить как:

$$h = 12,5 \frac{v_{\text{max}}^2}{R} - 163[a_{\text{нп}}]. \quad (2)$$

В качестве опытного участка рассматривается один из перегонов Белорусской железной дороги длиной около 10 км , на котором имеется несколько кривых малого и среднего радиуса ($R_1 = 580 \text{ м}$; $R_2 = 620 \text{ м}$; $R_3 = 700 \text{ м}$; $R_4 = 720 \text{ м}$). Формула (3) показывает, какая максимальная скорость теоретически допускается на данном криволинейном участке пути:

$$v = 4,6\sqrt{R}. \quad (3)$$

В практике все скорости по кривым устанавливаются приказом начальника дороги [8] и зависят от многих факторов (наличия населенного пункта, состояния верхнего строения пути и т.д.). Реконструкция плана линии заключается в увеличении радиусов кривых и их переустройстве. Данное мероприятие длительное и дорогостоящее.

С целью увеличения скоростей на существующих железнодорожных линиях (без изменения геометрии плана) на первом этапе рассчитывается возвышение наружного рельса исходя из заданных радиусов и скоростей движения поездов по приказу начальника дороги (таблица 1).

Таблица 1 – Зависимость $h = f(R)$ при $a_{\text{нп}} = 0,7 \text{ м/с}^2$

Радиус, R , м	580	620	700	720
Максимальная скорость движения v_{max} , км/ч	75	80	90	95
Возвышение наружного рельса h , мм	7	15	31	43

По полученным значениям строится график зависимости $h = f(R)$ при $a_{\text{нп}} = 0,7 \text{ м/с}^2$ (рисунок 1).

Из формулы (2) выражается значение скорости:

$$v_{\text{max}} = \sqrt{\frac{(h + 163a_{\text{нп}})R}{12,5}}. \quad (4)$$

Увеличив в формуле (3) значение непогашенного ускорения с $0,7 \text{ м/с}^2$ до $a_{\text{нп}} = 0,8 \dots 0,9 \text{ м/с}^2$, на втором этапе можно получить новые значения скоростей.

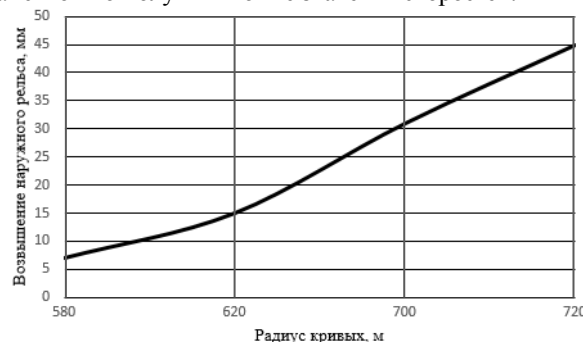


Рисунок 1 – График зависимости возвышения наружного рельса от радиуса кривой

Полученные значения скоростей при постоянном радиусе, возвышении наружного рельса и различном непогашенном ускорении сведены в таблицу 2, по результатам которой построен график зависимости $v_{\text{max}} = f(a_{\text{нп}})$ (рисунок 2).

Таблица 2 – Скорость прохождения кривых при различном непогашенном ускорении, км/ч

Непогашенное ускорение, м/с^2	Радиус, м			
	580	620	700	720
0,7	75	80	90	95
0,8	80	85	95	100
0,9	84	90	100	104

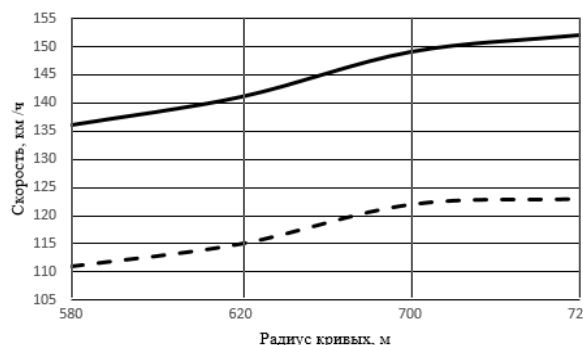


Рисунок 2 – График зависимости максимальной скорости движения от величины непогашенного ускорения

Из графика видно, что увеличение непогашенного ускорения до $0,9 \text{ м/с}^2$ ведет к повышению скорости прохождения криволинейных участков пути в среднем на 15% , что позволит существенно сэкономить финансы без переустройства плана линии. При этом, увеличивая значение непогашенного ускорения до $0,9 \text{ м/с}^2$, можно уменьшить высоту возвышения наружного рельса в кривой, без изменения скорости прохождения пассажирским поездом криволинейного участка пути (при условии $h > 0$).

Еще одним из вариантов поднятия скоростей на существующих дорогах является применение подвижного исследования и опыт эксплуатации подвижного состава. Наиболее рациональные значения угла наклона кузова для таких поездов лежит в пределах от 2 до 8° [10].

С учетом дополнительного угла наклона формула (4) примет вид [11]

$$v_{\text{max}} = \sqrt{R(a_{\text{нп}} + g \tan(\alpha + \beta))}, \quad (5)$$

где $\alpha = \arcsin(h/s)$; β – дополнительный угол наклона кузова подвижного состава.

С учетом всех известных данных ($h = 150$ мм, $s = 1600$ мм, $\beta = 6^\circ$), формула (5) примет вид

$$v = 5,6\sqrt{R} . \quad (6)$$

Определим, как изменится скорость прохождения кривых на участке при введении подвижного состава с наклоном кузова (таблица 3, рисунок 3).

Таблица 3 – Зависимость $v = f(R)$, км/ч, при $a_{\text{нп}} = 0,7$ м/с², $\beta = 6^\circ$

Радиус, R, м	580	620	700	720
Обычный подвижной состав	111	115	122	123
Подвижной состав с наклоном кузова	136	141	149	152

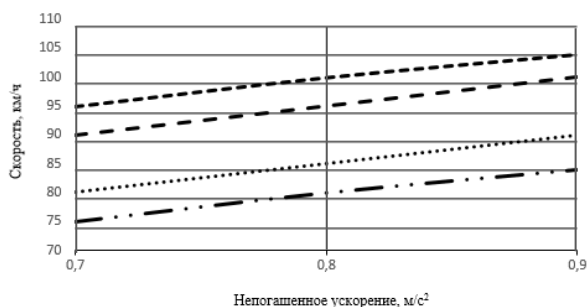


Рисунок 3 – График зависимости $v = f(R)$, км/ч, при обычном подвижном составе и составе с наклоном кузова

Из графика видно, что скорость прохождения криволинейного участка пути увеличивается до 20 % при составных кривых и малых радиусах. Одиночные кривые такой поезд может проследовать со скоростью, на 30–40 км/ч больше, чем обычный. Его особенность – в скорости, раздвижных колесных парах и комфорте. Помимо раздвижных колесных пар, для смены ширины колеи при переходе с широкой на узкую европейскую колею, вагоны оснащены системой наклона кузова для более комфортного прохождения кривых участков пути.

Рассмотренные в статье способы повышения скорости движения на существующих линиях актуальны и эффективны. Увеличением дополнительного непогашенного ускорения с 0,7 до 0,9 м/с² можно в зависимости от радиуса криволинейного участка повысить скорости в кризисных участках пути на 10–20 км/ч (таблица 4).

Таблица 4 – Изменение времени хода при увеличении непогашенного ускорения и при применении подвижного состава с наклоном кузова (участок Красное – Минск Бел. ж. д.)

Радиус кривой, м	>1600	1599 – 1200	1199 – 700	До 699	Время в пути (260 км)
Длина участка, км	32	5,8	24,7	15,4	
Максимальные скорости, развиваемые при прохождении кривых v_{max} , км/ч					
$a_{\text{нп}} = 0,7$ м/с ²	184	183	158	121,6	3 ч 24 мин
$a_{\text{нп}} = 0,8$ м/с ²	189	188	164	125,2	3 ч 13 мин
$a_{\text{нп}} = 0,9$ м/с ²	196	195	169	128,8	3 ч 01 мин
Подвижной состав с наклоном кузова «Стриж» (Talگو) (угол наклона 6°)	224	223	194	160	2 ч 15 мин

Получено 19.10.2018

A. A. Erofeev, P. V. Kovtun, T. A. Dubrovskaya. Problems of increasing trains rate on existing railway lines.

The problem of increasing train speeds on the railway is an important task facing the Belarusian railway. One of the ways to increase speeds is to increase the standard of acceleration due to the use of rolling stock with a tilt of the body. Increasing the value of the permissible unpaid acceleration to 0.9 м/с² can increase the speed by an average of 15%. The use of rolling stock with a tilting body type Talگو allows you to increase the speed of passage of curved sections by 8–12% with composite curves and small radii and about 20% with single curves.

Таким образом, скорости движения пассажирских поездов при прохождении существующих кривых, без изменения возвышения наружного рельса при минимальных капиталовложениях можно изменять только за счёт увеличения допускаемого значения непогашенного ускорения. Применение подвижного состава с наклоном кузова также позволит сократить время пассажиров в пути, не изменяя условиям комфортабельности и безопасности езды пассажиров.

В настоящее время, в связи с тем, что на участке Красное – Минск – Брест Белорусской железной дороги транзитом проходят поезда российского формирования «Стриж», состоящие из вагонов типа Talگو с наклоном кузова, кафедрой «ПСИЭТО» БелГУТа проводятся исследования по определению влияния увеличенного допускаемого значения непогашенного ускорения [$a_{\text{нп}}$] до 1,1 м/с².

Список литературы

- Шахуняц, Г. М. Железнодорожный путь : учеб. для вузов ж.-д. трансп. / Г. М. Шахуняц. – М. : Транспорт, 1969. – 536 с.
- Карпушенко, Н. И. Возвышение наружного рельса и допускаемые скорости движения поездов в кривых [Текст] / Н. И. Карпушенко // Проблемы повышения скоростей движения поездов на Транссибирской магистрали : сб. науч. тр. – Новосибирск. 1999. – С. 7–15.
- Курган, Н. Б. Определение объемов работ для снятия ограничений скорости, связанных с планом линии / Н. Б. Курган, Н. П. Хмелевская, С. Ю. Байдак // Сб. науч. тр. Дальневосточного гос. ун-та путей сообщения / под ред. В. С. Шварцфельда. – Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2014. – Вып. 2. – С. 52–62.
- Смелянский, И. В. Совершенствование нормативов непогашенного ускорения и его приращения для современного подвижного состава при скоростном движении : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.06 / И. В. Смелянский : Моск. ин-т инж. ж.-д. трансп., 2008. – 208 с.
- О внесении дополнения в приказ от 02.07.2013 № 231Н. БелЖД от 03.03.2018 № 206НЗ.
- Движением сразу нескольких поездов мог бы дистанционно управлять машинист-оператор [Электронный ресурс] // Гудок / АО «Издательский дом «Гудок». – 2012. – Режим доступа : <http://www.gudok.ru/mechengineering/?ID=1368047>. – Дата доступа : 22.08.2018.
- Эффект ускорения [Электронный ресурс] // Гудок / АО «Издательский дом «Гудок». – 2012. – Режим доступа : <http://www.gudok.ru/newspaper/?archive=2012.05.15>. – Дата доступа : 29.08.2018.
- Об установлении допускаемых скоростей движения поездов на Белорусской железной дороге : приказ Белорусской железной дороги от 02 июля 2013 г. № 231Н. – Минск, 2013.
- Текущее содержание железнодорожного пути. Технические требования и организация работ. Стандарт организации : СТП 09150.56.010–2005. – Введ. 2006–07–01. – Минск, 2006. – 284 с.
- Поезда с наклоняемыми кузовами для скоростного пассажирского движения / В. И. Омеляненко [и др.] // Локомотивинформ. – Харьков : Техностандарт, 2008. – № 5. – С. 12–17.
- Ерицяи, Б. Х. Критерии и ограничения для определения угла наклона кузова скоростного электроподвижного состава / Б. Х. Ерицяи // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – Харьков, 2016. – № 2. – С. 52–60.