



## METHODOLOGY OF JUSTIFICATION OF RATIONAL PARAMETERS OF THE SYSTEM OF FORCED TILTING SYSTEM OF WAGON BODIES FOR HIGH-SPEED ELECTRIC TRAIN

**Khromova Galina Alekseevna<sup>1</sup>**

**Makhamadalieva Malika Alievna<sup>2</sup>**

**Goziev Kholiyorzhon Olim ugli<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>doctor tech. sciences, professor,

<sup>2</sup>doctor (of. Ph) tech. sciences, associate professor,

<sup>3</sup>master's student of the Department of "Electric rolling stock",

State Transport University, Uzbekistan, Tashkent

<https://doi.org/10.5281/zenodo.17776947>

### ARTICLE INFO

Received: 24<sup>th</sup> November 2025

Accepted: 29<sup>th</sup> November 2025

Online: 30<sup>th</sup> November 2025

### KEYWORDS

*Electric rolling stock, high-speed electric trains, forced tilting system of wagon bodies for high-speed electric train, damping vibrations.*

## МЕТОДИКА ОБОСНОВАНИЯ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ ПРИНУДИТЕЛЬНОГО НАКЛОНА КУЗОВОВ ВАГОНОВ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ

**Хромова Галина Алексеевна<sup>1</sup>**

**Махамадалиева Малика Алиевна<sup>2</sup>**

**Гозиев Холиёржон Олим угли<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>доктор технических наук, профессор,

<sup>2</sup>доктор технических наук (Ph), доцент,

<sup>3</sup>магистрант кафедры "Электроподвижной состав", Ташкентский государственный транспортный университет, Узбекистан, Ташкент

<https://doi.org/10.5281/zenodo.17776947>

### ARTICLE INFO

Received: 24<sup>th</sup> November 2025

Accepted: 29<sup>th</sup> November 2025

Online: 30<sup>th</sup> November 2025

### KEYWORDS

*Электроподвижной состав, высокоскоростные электропоезда, система принудительного наклона кузовов вагонов высокоскоростных электропоездов, гашение колебаний.*

### ABSTRACT

*The article presents a methodology for justification rational parameters of a forced tilting system of wagon bodies for high-speed electric train.*

### ABSTRACT

*В статье представлена методика обоснования рациональных параметров системы принудительного наклона кузовов вагонов высокоскоростных электропоездов.*



Для успешной интеграции железных дорог Республики Узбекистан в мировой рынок транспортных услуг необходимо решить ряд важных задач. Среди них следует выделить развитие скоростного и высокоскоростного пассажирского движения. Это позволит поднять качество предоставляемых услуг на более высокий уровень [1]. В связи с этим развитие скоростного и высокоскоростного транспорта в Республике Узбекистан весьма актуально.

Анализ мирового опыта организации современного пассажирского железнодорожного сообщения на существующих железнодорожных магистралях показал, что повышение средних скоростей движения и сокращение времени в пути достигается за счет применения подвижного состава с системами принудительного наклона кузовов [2,3]. Система должна обеспечивать повышение скорости прохождения криволинейных участков пути при обеспечении безопасности и комфорта перевозки пассажиров. Указанные требования напрямую зависят от конструктивных решений и параметров системы принудительного наклона кузовов вагонов в кривых участках пути. В связи с этим решение задачи выбора рациональных параметров системы принудительного наклона кузовов вагонов высокоскоростных электропоездов является актуальной.

Для организации высокоскоростного пассажирского движения в Узбекистане с 2011 года были введены в эксплуатацию электропоезда «Афросиаб» (производства Talgo-250 (Испания)). Это стало историческим событием в развитии железнодорожного транспорта, отвечающего мировым стандартам [4].

Максимальная скорость движения вагона в кривых участках пути 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. Для уменьшения влияния центробежной силы в кривых наружный рельс железнодорожного пути укладывают выше внутреннего [2,3]. В соответствии с Правилами технической эксплуатации железных дорог Республики Узбекистан [1] максимальное возвышение наружного рельса в кривых участках пути ограничивается величиной 0,15 м, что связано с необходимостью предотвращения опрокидывания внутрь кривой медленно движущегося или остановившегося подвижного состава. Это приводит к недостаточному возвышению наружного рельса, в результате чего не удается полностью скомпенсировать действие центробежной силы. Ввиду малости угла наклона пути на вагон будет действовать непогашенная боковая сила, зависящая от непогашенного ускорения  $a_{нп}$  [5,6].

Система наклона кузова железнодорожного транспорта – это механизм, который позволяет наклонять кузова вагонов в поворотах для повышения скорости прохождения кривых и комфорта пассажиров. Она компенсирует центробежную силу, действующую на пассажиров в кривых, и позволяет проходить повороты на более высокой скорости, не вызывая дискомфорта, похожего на морскую болезнь.

Устройства, обеспечивающие наклон кузова вагона, позволяют снизить воздействие на пассажиров поезда центробежного ускорения при движении в

кривых (рисунок 1) с обычной и более высокой скоростью. Наклон кузова при этом не должен снижать комфортность поездки [6,7].

Первые эксперименты по снижению действия боковой силы на пассажиров и увеличения скоростей движения в кривых были выполнены в конце 1930-х годах Deischl и VanDorn&Beemer [7]. В 1938 г. построен экспериментальный экипаж для железнодорожной линии Ачинсон-Топека-Санта-Фе с маятниковым наклоняемым кузовом.

Маятниковая конструкция наклона получила свое развитие в ряде более поздних моделей подвижного состава и стала называться пассивной системой наклона. Пассивная система наклона была применена в 1973 г. на серии поездов 381, эксплуатирующихся по маршруту японских железных дорог между городами Нагоя и Нагано. В 1980 г. в Испании был введен в эксплуатацию первый поезд Talgo Pendular [6], являющийся прототипом для современных наклоняемых поездов линейки типа высокоскоростного электропоезда T-250- AFROSIYOB (Talgo) [7].

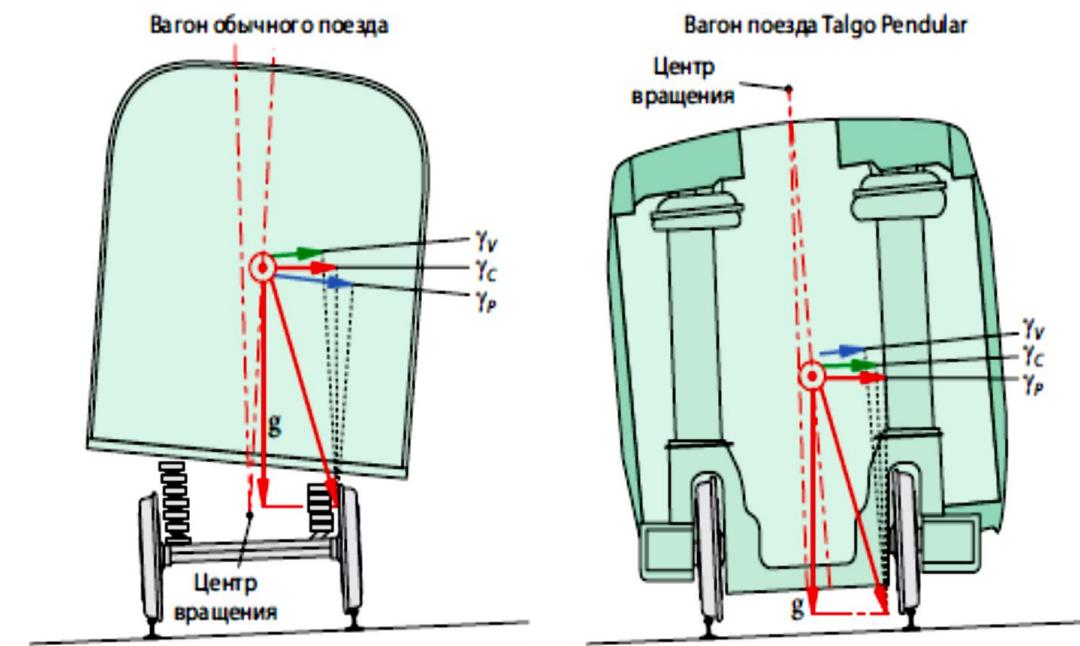


Рисунок 1. Схема системы естественного наклона кузова вагона при движении в кривой (источник: Talgo [6,7]):

$\gamma_c$  – центробежная сила;  $\gamma_v$  – сила воздействия на путь;  $\gamma_p$  – сила воздействия на пассажиров.

Когда технологию наклона используют для движения в кривых со скоростью, превышающей допустимую для обычных поездов, в этом случае говорят об ускоренном прохождении кривой или о движении с повышенным допустимым боковым ускорением (*ES-уровень*). Если же поезд следует в кривой с включенной системой наклона кузова, но с обычной скоростью (с регулируемым боковым ускорением или *RS-уровнем*), речь идет о комфортной технике наклона. Комфорт обеспечивается, если поперечное ускорение в вагоне близко к нулю; в этом случае пассажир не ощущает, что поезд движется в кривой.



Другим направлением развития систем принудительного наклона кузова явилась активная технология, которая впервые была введена в 1965 г. на немецких железных дорогах в дизель-поезде серии 624 [7]. С 1974 г. данная система наклона с пневматическим приводом стала серийно устанавливаться на поезда 634 серии, курсирующие на линии Кельн-Саарбрюккен.

Технология активного наклона кузова получила развитие в 1969 г. с созданием линейки итальянских поездов *Pendolino*, основой для которой является прототип на электрической тяге Y0160, использующий гидравлический привод для наклона кузова. Технические решения для обеспечения наклона кузова, применяемые на прототипе, получили свое развитие на электропоезде *Elettrotreno RAPIDI (ETR) 401*, который в 1975 г. стал первым поездом из линейки *Pendolino*, введенным в эксплуатацию [6,7]. Собственными разработками активной системы наклона кузова занимались специалисты шведских железных дорог для электропоезда X15, аналогичные работы выполнялись в рамках скоростного поезда Advanced Passenger Train на железных дорогах Великобритании.

В 1990-х годах в Европе было выпущено и введено в эксплуатацию несколько крупных партий поездов, оборудованных активной СПНК, такие как ETR450 в Италии и X2 в Швеции. В Японии развитие и распространение получила технология пассивного наклона кузова, которая в поездах серии 2000 была усовершенствована путем внедрения активной стабилизации. В 2007 г. высокоскоростной поезд Shinkansen серии N700 стал первым наклоняемым подвижным составом с максимальной скоростью выше 250 км/ч в процессе эксплуатации [7].

В настоящее время поезда из вагонов с наклоняемыми кузовами эксплуатируются более чем в 15 странах. В таких странах как Япония, Норвегия, Швеция, Франция, Италия, Испания, Швейцария, Германия они получили наибольшее распространение. Наиболее эффективно наклон кузовов вагонов в эксплуатации применяется в региональном направлении на существующих линиях, со значительным количеством кривых небольшого радиуса.

Таблица 1.1. Поезда, оборудованные системой наклона кузова (СПНК), эксплуатируемым на железных дорогах мира [6,7].

Подвижной состав	Год внедрения	Страна	Система наклона кузова вагона	Максимальная скорость, км/час	Ширина колеи, мм	Тип ПС	Угол наклона
CP 400	1999	Португалия	Pendolino	220	1668	ЭП	8
ICN	2000	Швейцария	Adtranz	200	1435	ЭП	8
ACELA	2000	США	Bombardier	240	1435	ДП	4-6
SZ 310	2000	Словения	Pendolino	200	1435	ЭП	8
Talgo 350	2000	Испания	Talgo	330	1435	ЛК, ПВ	3,5
ВМ 93	2001	Нидерланды	Bombardier	140	1435	ДП	7



Class 221 1	2002	Англия	Bombardier	200	1435	ДП	8
Class 390	2003	Англия	Fiat Sig	225	1435	ЭП	8
CDT 680	2005	Чехия	Pendolino	230	1435	ЭП	5
Meitechu	2005	Япония	Nippon	120	1067	ЭП	5
N 700	2007	Япония	Hitachi, Nippon	300	1435	ЛК, ПВ	8
ETR 600	2008	Италия	Pendolino	250	1435	ЭП	8
E6 Shinkasen	2013	Япония	Hitachi	320	1435	ЭП	5
Talgo Avril	2013	Испания	Talgo	280	1435	ЭП	5
TRA	2013	Тайвань	Nippon	150	1435	ЭП	5
TTX	2013	Корея	KPII	200	1435	ЭП	8
ED 250	2014	Польша	Pendolino	250	1435	ЭП	8
АФРОСИАБ	2011	Узбекистан	Talgo	250	1520	ЭП	8

В таблице: ЛК – локомотив; ПВ – пассажирский вагон; ОВ – обслуживающий вагон;  
ЭП – электропоезд; ДП – дизель-поезд.

Использование поездов, оборудованных СПНК, позволило государственной железной дороге Германии на участке магистрали Саксония - Франкония сократить время нахождения в пути на 20 - 30 % [8]. Аналогичные результаты демонстрирует опыт шведских железных дорог. В настоящее время производство поездов с наклоняемым кузовом освоено многими зарубежными компаниями и поставщиками компонентов подвижного состава, среди которых можно отметить *Siemens, Hitachi, Pendolino, FIAT-SIG, Bombardier, Talgo, Nippon*. Активная разработка и внедрение поездов подобного типа осуществляется в Корее производителем KRII. В таблице 1.1 приведены данные по поездам с системой наклона кузова, эксплуатируемым на железных дорогах мира [6,7].

Анализ данных таблицы 1.1 показал существенное различие между максимальными скоростями подвижных составов, эксплуатирующихся в разных странах. Как правило, подвижной состав, эксплуатирующийся в Японии, имеет значительно меньшую конструкционную скорость. Это объясняется полигоном эксплуатации и подходом к реализации системы принудительного наклона кузова. Для Японских железных дорог характерно использование наклона кузова в пригородном направлении с акцентом на комфорт пассажиров.

Создание подвижного состава, оборудованного системой принудительного наклона кузова (далее СПНК), позволяет скомпенсировать эффект недостаточного возвышения наружного рельса в кривом участке пути, соответственно, снизить уровень непогашенного ускорения, действующего на пассажиров, и повысить скорость движения на участке без снижения уровня комфорта.

### References:

1. Распоряжение «Узгосжелдорнадзор» от 13 августа 2001 года № 36 «Об утверждении правил технической эксплуатации железных дорог Республики Узбекистан». [По согласованию с Министерством юстиции Республики Узбекистан]



отнесены к техническим документам 27 августа 2001 г., № 20-15-205/ 11], г. Ташкент (введены в действие с 1 декабря 2001 года).

2. Высокоскоростной железнодорожный транспорт. Общий курс: учеб. пособие: в 2 т./ И.П. Киселёв м др.; под ред. И.П. Киселёва.-М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2014. Т.2.-372 с.
3. Simon Iwnicki. Handbook of Railway Vehicle Dynamics.2006. Taylor & Francis Group. - 527 p.
4. Романов А.В., Мухаммадиев Н.Р. К вопросу о развитии высокоскоростного движения в Республике Узбекистан. /Журнал «Известия ПГУПС», транспортные системы, №2, 2018. С. 215-222.
5. Khromova G. A., Makhmadalieva M.A., Tadzhieva Sh.G. Justification of methods for improving the spring suspension systems of high-speed electric trains. // Eurasian Journal of Academic Research, Volume 5, Issue 10, October 2025, pp.39-42. Available at: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1732478>
6. Система наклона кузовов вагонов поезда Talgo Pendular. / Журнал «Железные дороги мира», №4, 2005. – С.39-41.
1. [https://zdmira.com/images/pdf/dm2005\\_04\\_39-41.pdf](https://zdmira.com/images/pdf/dm2005_04_39-41.pdf)
7. Достоинства и недостатки технологии наклона кузова. / Журнал «Железные дороги мира», №7, 2009. – С.60-66. [https://zdmira.com/images/pdf/dm2009-07\\_60-66.pdf](https://zdmira.com/images/pdf/dm2009-07_60-66.pdf)
8. Persson R. Tilting trains - Description and analysis of the present situation. A literature study / R. Persson - VTI rapport 595A. - Linkoping: VTI - 2007 - 81 p.
9. Хромова Г.А., Махамадалиева М.А. Разработка методики продления срока службы рессорного подвешивания высокоскоростного электропоезда Afrosiyob. // Universum: Technical sciences. 2022. №. 2 (95). С. 66-70. Available at: [https://7universum.com/ru/tech/10\(103\)/10\(103\\_2\).pdf](https://7universum.com/ru/tech/10(103)/10(103_2).pdf)
10. Khromova G., Makhmadalieva M. Разработка математической модели по обоснованию рациональных параметров рессорного подвешивания высокоскоростного электропоезда Afrosiab. // Universum: Technical sciences, 2022, № 10 (103), октябрь 2022, часть 2, С. 62-66. DOI: [10.32743/unitech.2022.103.10.14404](https://doi.org/10.32743/unitech.2022.103.10.14404)