

Достоинства и недостатки технологии наклона кузова

В 1992 г. на линии Нюрнберг — Байройт железных дорог Германии (DB) начал курсировать дизель-поезд VT 610, вагоны которого имеют наклоняемые кузова. За прошедшие 17 лет накоплен опыт эксплуатации этих поездов, выявлены их достоинства и недостатки, определены пути развития подвижного состава такого типа.

Назначение технических средств наклона кузова вагона

Устройства, обеспечивающие наклон кузова вагона, позволяют снизить воздействие на пассажиров поезда центробежного ускорения при движении в кривых (рис. 1) с обычной и более высокой скоростью. Наклон кузова при этом не

должен снижать комфортность поездки.

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 кри-

вой 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.

В настоящее время имеются две основные системы наклона — активная и пассивная.

Активная система наклона. Такая система обеспечивает управление наклоном кузова вагона в кривой. Наклон кузова внутрь кривой осуществляется с помощью пневматического или гидравлического цилиндра. Возможно также применение электрического серводвигателя. Электронное устройство регулирования управляет наклоном на основе показаний датчиков, расположенных в области первой или последней оси поезда. Угол наклона может достигать 8 град. Механизм, выполняющий наклон на современном подвижном составе этого типа, начинает действовать со скорости 70 км/ч, причем возвышение рельса или его изменение должно составлять не менее 20 мм.

Система Pendolino (Fiat/Alstom). Система управления наклоном кузова, которую разработала компания Fiat Ferroviaria (в настоящее время — Alstom), впервые была установлена на итальянских поездах ETR. В дальнейшем она стала использоваться также в Германии на дизель-поездах серии VT 610 и электропоездах ET 411/415 (ICE-T).

Максимальный угол наклона, принятый в этой системе равным 8 град., достигается с помощью гидравлического цилиндра. На тележках установлены датчики ускорения, от которых значение возникающего центростремительного ускорения передается в систему управления механизмом наклона, рассчитывающую необходимую величину угла. Основную роль играют датчики, размещенные на передней те-



Рис. 1. Поезд серии 612 из вагонов с наклоняемыми кузовами в кривой (фото: DB, Вебер)

лежке. По их сигналам рассчитывают величину угла наклона и момент его включения для остальных вагонов.

Система Neicontrol-T (Bombardier). Система, разработанная компанией ADtranz (в настоящее время — Bombardier), была установлена на дизель-поездах VT 611 и VT 612. Наклон здесь осуществляется с помощью серводвигателей. Максимальный угол наклона также составляет 8 град. Преимущество этой системы состоит в том, на тележке необходим только один двигатель, для которого требуется существенно меньше места и энергии, чем для гидравлического варианта. Система наклона может быть полностью размещена под кузовом в отличие от соответствующих технических вариантов Pendolino.

Обе достаточно распространенные активные системы наклона имеют различные модификации. Так, созданы различные системы для следующих видов подвижного состава:

- дизельного варианта поезда семейства ICE разработки компании Siemens (ICE-TD серии VT 605, рис. 2);
- шведского электропоезда X2000, разработанного в свое время компанией ADtranz (рис. 3).

Пассивная система наклона. Механизм наклона, разработанный компанией Talgo (Испания), предусматривает, что поворот кузова, опирающегося на высоколежащие пневморессоры (вторая ступень подвешивания), осуществляется относительно виртуальной точки поворота, расположенной выше уровня крыши вагона. Во время прохождения кривой кузов вагона под действием центробежной силы наклоняется в сторону наружного рельса. Угол наклона при этом может достигать 3,5 град.

При таком механизме нет необходимости в датчиках и элементах управления, он дешевле и проще активных систем наклона, но в то же время не обеспечивает увеличения



Рис. 2. Высокоскоростной дизель-поезд ICE-TD в Копенгагене (фото DB: Р. Кранерт)

скорости прохождения кривых. В Германии некоторые ночные поезда, составленные из вагонов Talgo, которые оборудованы пассивной системой наклона кузова, проходят кривые с обычной скоростью, поскольку для приятной ночной поездки фактор времени нахождения в пути по своей важности уступает комфортности поездки.

Эксплуатационные параметры

Требования к линиям. Для поездов, вагоны которых оборудованы системами наклона, обеспечивающими прохождение кривых с повышенной скоростью, действуют специальные инструкции. В них оговаривается или скорость движения уровня ES, обусловленная реаль-



Рис. 3. Шведский поезд серии X2000

ным состоянием трассы, или параметры этой трассы, измененные с целью обеспечения заданной скорости движения (например, устранение мест ограничения скорости).

В настоящее время еще нет единых значений этих параметров, применимых для железнодорожных компаний европейской сети. Максимальная скорость движения поездов с вагонами, оборудованными активными системами наклона кузова, на железных дорогах Германии (DB), Австрии (ÖBB) и Чехии (ČD), ограничена величиной, равной 160 км/ч. Однако это ограничение накладывает не системой наклона кузовов, а принятым в этих странах требованием, предусматривающим оборудование линий, на которых разрешено движение поездов со скоростью выше 160 км/ч, непрерывной автоматической локомотивной сигнализацией LZB или европейской системой управления движением поездов ETCS уровня 2. Выполнение этого условия с целью повышения максимальной скорости движения поездов с наклоняемыми кузовами вагонов требует непомерно высоких затрат. Однако и на соответствующим образом оборудованных высокоскоростных линиях особые условия движения для поездов этого типа также еще не обеспечены.

Система GNT. При движении в кривых с повышенной скоростью поездов, составленных из вагонов с наклоняемыми кузовами, прежде всего требуется обеспечить непрерывный контроль скорости. Решение этой задачи необходимо совместить с требованием об отмене некоторых функций действующей на линии точечной локомотивной сигнализации (PZB). Эти функции выполняет специально разработанная DB дополнительная система обеспечения безопасности движения GNT, контролирующая скорость поездов, состоящих из вагонов с наклоняемыми кузовами.

Информация, необходимая для работы GNT, передается с помощью установленных в пути приемопередатчиков (на первых оборудованных линиях — с помощью индукционных катушек) и принимается антеннами подвижного состава. Эта информация содержит данные, необходимые для системы управления поездом, которая на их основе задает скорость движения по следующему контролируемому участку пути. В случае превышения допустимой скорости или повреждения оборудования, выполняющего наклон кузова, а также при игнорировании машинистом предупредительных сигналов происходит автоматическое подтормаживание поезда до тех пор, пока скорость не снизится до заданного значения.

Развитие техники наклона

Инфраструктура. В Германии основная часть железнодорожных линий была построена в конце XIX и начале XX столетия. Как правило, в целях снижения капитальных затрат при строительстве не проводились работы по спрямлению трасс, требовавшие перемещения больших объемов грунта и строительства дорогостоящих искусственных сооружений. Железнодорожные линии прокладывались прежде всего в местностях с горами средней высоты, а также по долинам рек. Наличие большого числа кривых малого радиуса не допускало организации движения с высокой скоростью.

На сегодняшний день такая ситуация уже не отвечает требованиям транспортного рынка. В условиях конкуренции необходимы более высокие скорости движения, позволяющие сократить время доставки пассажиров, оптимизация графиков движения, установление приемлемых цен проезда, создание удобного подвижного состава. Чтобы использовать существующие линии без больших затрат на изменение трассы и строительство или соеди-

нить их с новыми высокоскоростными линиями, необходимо внедрение подвижного состава с наклоняемыми кузовами вагонов.

Из истории техники наклона. В США первые попытки применения вагонов с наклоняемыми кузовами были предприняты еще в 1940-е годы. После Второй мировой войны начались разработки таких поездов в Европе. В Германии в 1965 г. были проведены эксперименты по применению активного пневматического управления наклоном кузова на базе нового на тот период пневматического вторичного подвешивания; при этом система регулирования наклона была еще далека от совершенства. Подобное же происходило и в Великобритании.

В 1971 г. компания Fiat разработала первый прототип активной гидравлической системы наклона кузова и доказала его работоспособность. Много позже был введен в эксплуатацию поезд Pendolino (ETR 401), оборудованный такой системой, но на этом этапе устройство наклона кузова занимало много места. В связи с этим государственные железные дороги Италии (FS) наряду с испытательными поездками в течение длительного времени вели работы по совершенствованию системы. Поставка первых серийных поездов с наклоняемыми кузовами вагонов серии ETR 450 состоялась только в 1984 г. Сегодня поезда с технологией наклона кузова, используемой на Pendolino, эксплуатируются в Италии, Франции, Испании, Германии, Финляндии, Словении, Англии, Чехии и Словакии.

В коммерческую эксплуатацию на испанских поездах Talgo Pendular пассивные устройства наклона поступили в 1980 г. Новый подвижной состав этой серии с 1993 г. работает на железных дорогах Германии. Такие поезда нашли применение также в Испании (частично в международном сообществе), а также в США, Канаде и Ка-

захстане. Поезда Talgo 350 и Talgo 250 могут двигаться со скоростью соответственно до 330 и 250 км/ч.

В Швеции в начале 1970-х годов была разработана собственная система наклона кузова. Ее испытания проводили на пригородных поездах в 1986 г. Поезда с активной системой наклона серии X2000 были заказаны компании ADtranz; они находятся в эксплуатации на высокоскоростных линиях с 1990 г. В противоположность итальянским поездам здесь устройствами наклона кузова оборудованы лишь промежуточные немоторные вагоны, в концевых моторных вагонах системы наклона не установлены.

В Германии с начала 1990-х годов эксплуатируются дизель-поезда серии VT 610 с такой же техникой наклона кузова, как на итальянских поездах Pendolino. Они были заказаны для региональных линий в областях Франкония и Верхний Пфальц, на которых в то время снизились объемы пассажирских перевозок. Поезда, оборудованные устройствами наклона кузова, способствовали явному сокращению времени поездки, что вызвало приток пассажиров. Компания ADtranz разработала технические средства наклона, приводимые в действие не гидравлическими цилиндрами, а электрическими серводвигателями. После дизель-поездов серии VT 611 последовала серия VT 612. Эти дизель-поезда эксплуатируются в большом количестве на региональных линиях DB.

Общие сведения о подвижном составе с техникой наклона. В Германии для пассажирских перевозок в дальнем сообщении предназначены высокоскоростные моторвагонные поезда серий ET 411/415 (ICE T, рис. 4) и VT 605 (ICE TD), оборудованные системами наклона кузова, что позволило сократить время поездки на существующих линиях, соединенных с новыми высокоскоростными магистралями. В высокоскоростном движении (скорость бо-

лее 160 км/ч) системы наклона кузова обеспечивают повышенный уровень комфорта.

Информация о подвижном составе с наклоняемыми кузовами приведена в таблице.

Подвижной состав с наклоняемыми кузовами на магистрали Саксония — Франкония

Начальный период эксплуатации. Одновременно с вводом наклоняемого подвижного состава на линии Нюрнберг — Байройт в Германии проводились исследования возможностей внедрения такого же подвижного состава на модернизируемой линии Карлсруэ — Штутгарт — Нюрнберг — Хоф — Дрезден/Лейпциг. Саксонский отрезок линии Хоф — Дрезден (около 222 км) с многочисленными кривыми (преимущественно радиусом 565 м) такие поезда могли бы проходить со значительным выигрышем во времени. Техническое состояние этого участка оставляло желать лучшего. В связи с этим требовалась его основательная санация и доведение до уровня, отвечающего стандартам модернизированных высокоскоростных линий. Тем са-

мым была бы обеспечена возможность организации дальних перевозок по маршруту Нюрнберг — Дрезден через Маркредвиц, Хоф, Плауэн, Цвиккау, Хемниц и Фрайберг.

Поскольку здесь исключались крупномасштабные работы по спрямлению трассы или по электрификации линии, то увеличения скорости можно было добиться только за счет использования поездов, составленных из вагонов с наклоняемыми кузовами. Поскольку участок неэлектрифицирован, планировалось ориентироваться на поезд семейства ICE, а именно дизель-поезд серии VT 605.

Плановое время поездки между городами Дрезден и Хоф в 1995 г. (рис. 5) при скорости, которая была возможна на прежней трассе, составляло 190 мин. В ряде случаев оно достигало 205 мин.

В период действия графика 1998/1999 гг. время хода еще сильнее увеличилось и составляло 235 мин, поскольку на линии начались строительные работы. При этом было установлено значительное ухудшение состояния стрелочных переводов в горловинах станций. Увеличение времени хода было также обусловлено вводом режима однопутного движения с



Рис. 4. Высокоскоростной электропоезд ICE T

НАКЛОН КУЗОВА

Подвижной состав с техникой наклона в Германии и некоторых других европейских странах

Серия	Компания	Изготовитель	Тип механизма наклона	Ввод в эксплуатацию	Число поездов ¹	Число вагонов в поезде	Масса поезда ¹ , т	Нагрузка на ось, т	Тяговый привод	v_{\max} , км/ч	
<i>Поезда с активным механизмом наклона</i>											
ICE-T:	DB ²	Siemens/Bombardier/Alstom	Fiat/Pendolino					~16,6	Электрический	230	
ET 411				1999 – 2005	60	7	402				
ET 415				1999	11	5	298				
ICE-TD (VT 605)		Siemens/Bombardier	Siemens	2000	20	4	232	~ 16,7	Дизель-электрический	200	
VT 610		Siemens/AEG/ABB	Fiat/Pendolino	1992	20	2	95,4	~ 15		160	
VT 611		ADtranz/DWA	ADtranz/Neicontrol-E	1996	50	2	116	~15	Дизель-гидравлический	160	
VT 612 (Regioswinger)		ADtranz/Bombardier		1996	—	2	94	~ 15,3		160	
X 2000		SJ ³	ASEA, ABB	ASEA	1990	52	4 – 5	344	18,25	Один концевой моторный вагон	210
Sm3/S220	VR ⁴	Alstom/Transtech	Fiat/Pendolino	1992 – 2005	18	6	—	—	Электрический	220	
ETR 470 Cisalpino	Cisalpine (Берн)	Alstom	Fiat/Pendolino	1996	9	9	798	14,8		200	
ETR 610	»	»	»	2008	14	7	450			250	
ETR 490 Alaris	RENFE ⁵	GEC Alsthom/Fiat	Fiat	1998 – 1999	10	3	171	17		220	
SBB RABDe 500 ICN	SBB ⁶	ADtranz/Alstom	Fiat/SIG	1999 – 2005	44	7	355	—		200	
CD 680	ČD ⁷	Alstom/Siemens	Fiat/Pendolino	2005	7	7	—	—		200	
Class 390	Virgin Trains	Bombardier	Bombardier	2002	53	9	—	—		200	
Class 221					44, вагоны	4 – 5	—	—		Дизельный	200
IC4	DSB ⁸	AnsaldoBreda	Fiat/Pendolino	—	83	4	—	—		Дизель-электрический	200
<i>Подвижной состав с пассивным механизмом наклона</i>											
Talgo IC-Night	DB (ночной поезд)	Talgo	Talgo	1994	112, вагоны	Варьируется	12 – 14 ¹⁰	12 – 14	Локомотив	140	
Talgo Pendular ⁹	RENFE	Talgo/Bombardier	»	2005	552, вагоны					160 – 250	
Talgo 350		Talgo/Bombardier	»	2005	552, вагоны	12	14 ¹⁰	17 ⁴	Концевые моторные вагоны	330	
Talgo 250		Talgo	»	2007	440, вагоны	11		18 ¹¹	Головной моторный вагон	250	

¹Если нет слова «вагоны», то речь идет о числе моторвагонных поездов.

²Железные дороги Германии.

³Железные дороги Швеции.

⁴Государственные железные дороги Финляндии.

⁵Национальные железные дороги Испании.

⁶Федеральные железные дороги Швейцарии.

⁷Железные дороги Чехии.

⁸Государственные железные дороги Дании.

⁹Серии 4 – 7.

¹⁰Масса одного промежуточного вагона.

¹¹Моторный вагон.

соответствующими ограничениями скорости.

Ввод в эксплуатацию поездов с наклоняемыми кузовами вагонов в этот период задерживался и неоднократно сдвигался на более поздние сроки. Следует отметить, что эти задержки в немалой степени были обусловлены неготовностью этого нового подвижного состава. В графике движения на 2000/2001 г. был предусмотрен первый такой поезд (серии VT 612), который с повышенной скоростью проходил кривые между Хофом и Цвиккау. При вводе в эксплуатацию поезда типа ICE-TD серии VT 605 была поставлена цель: к маю 2001 г. обеспечить прохождение расстояния от Дрездена до Хофа менее чем за 3 ч, а именно за 177 мин.

В 2007 г. из 222 км, планировавшихся для высокоскоростного движения, были готовы только 157 км (73%). На этом этапе время хода сократилось уже на 28 мин (13,7%) по сравнению с продолжительностью движения обычных поездов и составило 190 мин.

По окончании полной реконструкции линии время хода должно сократиться до 130 мин. Для улучшения трассы необходимо выполнить следующее

- согласование радиусов кривых, величин возвышения рельсов и длины переходных кривых;
- упрощение горловин станций с устранением имеющихся здесь стрелочных переводов в кривых;
- улучшение трассы на отдельных отрезках пути.

Указанные мероприятия позволят уменьшить время хода обычных поездов на 22 мин (9%). Использование вагонов с наклоняемыми кузовами позволит сократить время поездки на 60 мин, причем на эффект от применения техники наклона приходится 38 мин (соответственно 22,6%). Эти показатели не распространяются на другие участки линии между Саксонией и Франконией. Так, со стороны Франконии

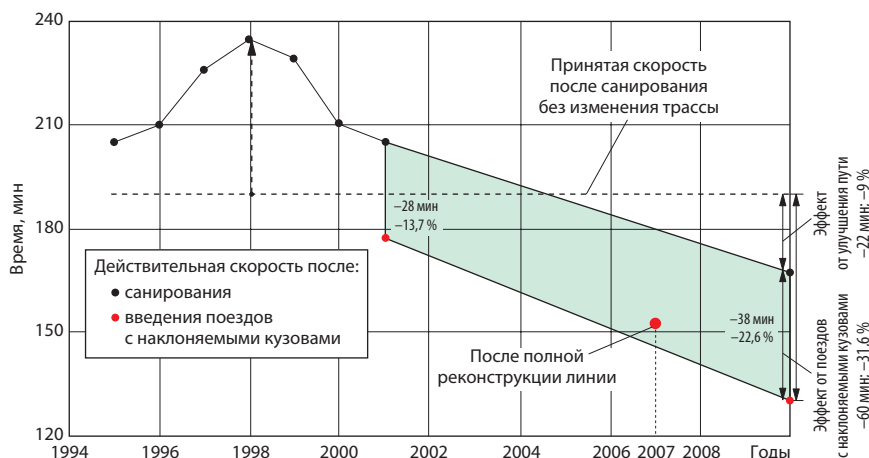


Рис. 5. Изменение времени хода поезда по линии Дрезден – Хоф в период с 1995 по 2008 г.

на участке между Хофом и Нюрнбергом такой эффект составляет лишь 8%.

Участок в Саксонии содержит большие отрезки, изобилующие кривыми почти одинакового радиуса. Обычные поезда идут здесь со скоростью 110 км/ч, а из вагонов с наклоняемыми кузовами – 140 км/ч. Разница в скорости, превышающая 30 км/ч, является достаточно важным достижением.

Развитие эксплуатации. После ввода в эксплуатацию поездов семейства ICE имели место несколько ситуаций, которые негативно отразились на движении по этому отрезку. В августе 2002 г. наводнение в долине р. Вайсериц повредило часть новой линии между станциями Дрезден-Альтштадт и Тарандт незадолго до сдачи ее в эксплуатацию. Участок Дрезден-Главный – Клингенберг-Колмниц был закрыт почти на полтора года. Между Дрезденом и Хемницем (80 км) пассажиров перевозили на автобусах.

В декабре 2002 г. сошел с рельсов дизель-поезд VT 605 в Гутенфюрсте вследствие разрушения оси колесной пары. Хотя эта ось никоим образом не была связана с механизмом наклона кузова, тем не менее после этой аварии было дано указание об отключении этого механизма на всех поездах. Позже VT 605 были вообще выведены из эксплуатации и

заменены поездами на локомотивной тяге. Обе эти меры привели к значительному увеличению времени хода поездов, имевшему место в течение длительного времени.

Позднее на этой линии вместо ICE были введены в эксплуатацию поезда серии VT 612. Когда у них обнаружился дефект колесных пар, опять была введена локомотивная тяга, в том числе в сообщении Карлсруэ – Дрезден. Они были отнесены к разряду междугородных поездов (InterCity), хотя время хода их было даже больше, чем у обычных поездов. Низкое качество транспортного обслуживания, имевшее место в течение четырех лет, вызвало отток пассажиров. Они отдали предпочтение автобусам, идущим по недавно модернизированному автобану (A4/A72), трасса которого проходит параллельно железной дороге.

Движение в дальнем сообщении поездов VT 605 и VT 612 с наклоняемыми кузовами вагонов здесь все же удалось восстановить. С декабря 2006 г. поезда VT 612 в качестве региональных курсируют с двухчасовым интервалом между Нюрнбергом и Дрезденом. Такой поезд следует быстрее, чем обычный междугородный, и поездка на нем обходится дешевле. Для поездки из Нюрнберга в Дрезден требуется примерно 4 ч 30 мин.

Преимущества и недостатки подвижного состава с наклоняемыми кузовами вагонов

Преимущества. Поезда, составленные из вагонов с наклоняемыми в кривых кузовами имеют следующие преимущества:

- улучшение плавности хода в кривых. Наклон кузова вагона на 8 град уменьшает неприятное для пассажиров боковое ускорение;
- сокращение времени хода благодаря увеличению скорости в кривых. Без выполнения дорогих и затратных по времени работ по улучшению трассы скорость в отдельных кривых может быть повышена на 40 км/ч.

При сравнении затрат времени обычных поездов и составленных из вагонов с наклоняемыми кузовами следует учитывать, что эффект применения техники наклона тем ниже, чем больше кривых малого радиуса (менее 1000 м) на линии, чем выше маршрутная скорость обычных поездов и чем меньше расстояние между пунктами остановки (должно быть не менее 20, а лучше 30 км). Поезда, оборудованные устройствами наклона кузовов, используют на линиях с различными параметрами и условиями. При благоприятных условиях такие поезда (в частности, на магистрали в Саксонии) могут способствовать повышению скорости движения на 20%, но в большинстве случаев — до 10%.

Недостатки. Для реализации технологии наклоняемых кузовов необходимы инвестиции как в железнодорожное полотно, так и в подвижной состав. Разработка и содержание такого подвижного состава

с активной системой наклона обходится дороже, чем обычного.

Чтобы обеспечить более высокую скорость движения в кривой, необходимо поддерживать линию в соответствующем состоянии (так называемый профиль 0). Если все же состояние линии не отвечает определенным требованиям, вводить на ней движение подвижного состава с наклоняемыми кузовами нельзя. Для того чтобы его использование стало возможным, необходимо произвести точную проверку и согласование радиусов кривых, величины возвышения наружного рельса и длины переходных кривых (так называемый профиль А). Эти операции, не связанные с изменением трассировки, почти всегда выполняют в ходе плановых работ по текущему содержанию пути, поэтому для них не требуются дополнительные затраты.

Возможность реализовать более высокую скорость дает замена жесткого покрытия на железнодорожных переездах более упругим, а также внедрение более совершенной техники контроля переездов. Последняя задача в значительной степени решается внедрением систем микропроцессорной централизации.

Для реализации более высокой скорости прохождения кривых необходимо оборудовать линии техникой GNT с путевыми приемопередатчиками, позволяющими контролировать скорость движения.

К недостаткам этого подвижного состава относится и неоднозначная реакция пассажиров на процессы наклона кузова: некоторых из них укачивает. Восприятие наклона пассажирами зависит еще и от состояния пути.

Применение подвижного состава с техникой наклона обходится

менее чем в 10 млн. евро на 100 км пути. Эксплуатация его в течение 17 лет не подтвердила предположения о том, что затраты на ремонтные работы повысятся в связи с увеличением нагрузки на верхнее строение пути, создаваемой поездами с наклоняемыми кузовами. Нагрузка от оси на рельсы составляет примерно 16 т. Дополнительно проводимыми один раз в год инспекционными поездками, а также проверками показаний путевых приемопередатчиков установлено, что в ряде случаев контролируемые величины достигают пограничных значений раньше, чем предполагалось.

Перспективы

В ходе 17-летней эксплуатации поездов с наклоняемыми кузовами вагонов имели место несколько аварий и отказов, которые, однако, не повредили имиджу этого подвижного состава, поскольку повреждения не были связаны с механизмом наклона. Опыт эксплуатации электропоездов ICE-T показал, что они являются хорошим дополнением к другим поездам семейства ICE, обращающимся на высокоскоростных линиях Германии.

Разработаны и выполняются проекты по организации движения поездов с наклоняемыми кузовами вагонов в дальнем и региональном сообщении на таких линиях, как Франкфурт-на-Майне — Нюрнберг — Пассау, где время хода уменьшится на 10 мин, и Мюнхен/Бухлоэ — Линдау через Кемптен (в региональном сообщении) или через Мемминген (в дальнем).

По материалам компаний DB Netz и Dornier Consulting.