



SIEMENS

Акционерное Общество
Русскихъ Электротехническихъ Заводовъ
СИМЕНСЪ и ГАЛЬСКЕ

Московский Государственный Университет Путей Сообщения (МИИТ) / 19.12.2014

«Высокоскоростное железнодорожное движение»

Цикл лекций президента «Сименс» в России Дитриха Мёллера

Содержание цикла лекций



- 26.11.14 Общий обзор высокоскоростного движения, история развития и международные проекты (Испания, Китай, Россия);
- **19.12.14** **Высокоскоростные поезда в Германии;**
- 20.02.15 Системы автоматизации и связи;
- 20.03.15 Электрификация и электроснабжение;
- 24.04.15 Управление и финансирование проектов высокоскоростных магистралей ; проект-менеджмент и социально-экономические аспекты.

Содержание лекции



- 1. Краткое содержание предыдущей лекции**
- 2. Высокоскоростные поезда в Германии**
- 3. Первое поколение ICE – локомотивная тяга**
 - 3.1. ICE V (Экспериментальный)
 - 3.2 ICE 1
 - 3.3 ICE 2
- 4. Второе поколение ICE – распределенная тяга**
 - 4.1 ICE S (Экспериментальный)
 - 4.2 ICE 3
 - 4.3. ICE T(D)
 - 4.4 Velaro D, ICx,
- 5. Transrapid**
- 6. Дальнейшее развитие скоростных поездов при скоростях до 400 км/ч**
- 7. Ваши Вопросы**

A detailed historical illustration of a large industrial factory complex, likely the Siemens works in St. Petersburg, Russia. The scene is viewed from an elevated perspective, showing numerous multi-story brick buildings with gabled roofs and many windows. A prominent tall chimney stack is visible, emitting a plume of smoke. In the background, a wide river or harbor is filled with various sailing ships and boats. The overall style is that of a 19th-century engraving or woodcut.

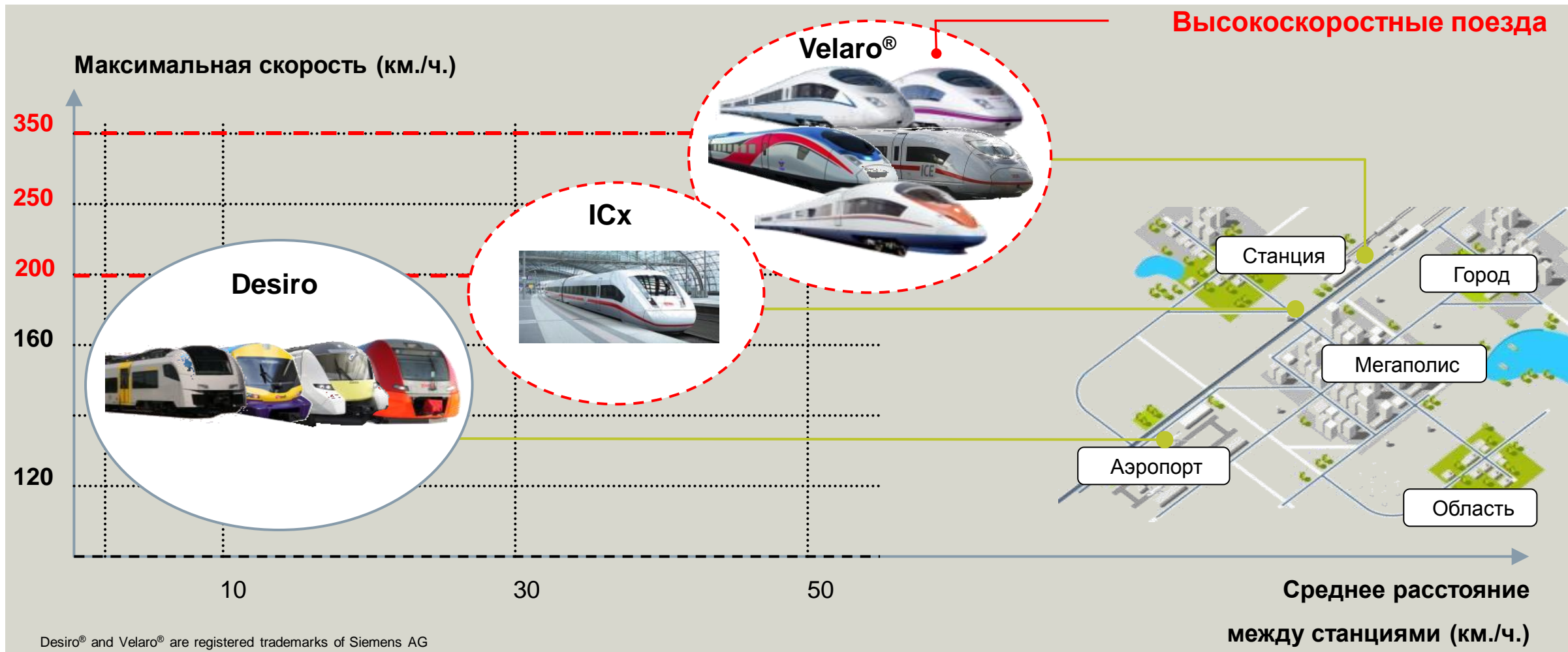
SIEMENS

Акционерное Общество
Русскихъ Электротехническихъ Заводовъ
СИМЕНСЪ и ГАЛЬСКЕ

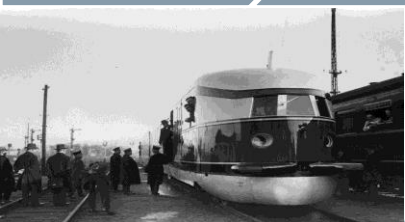
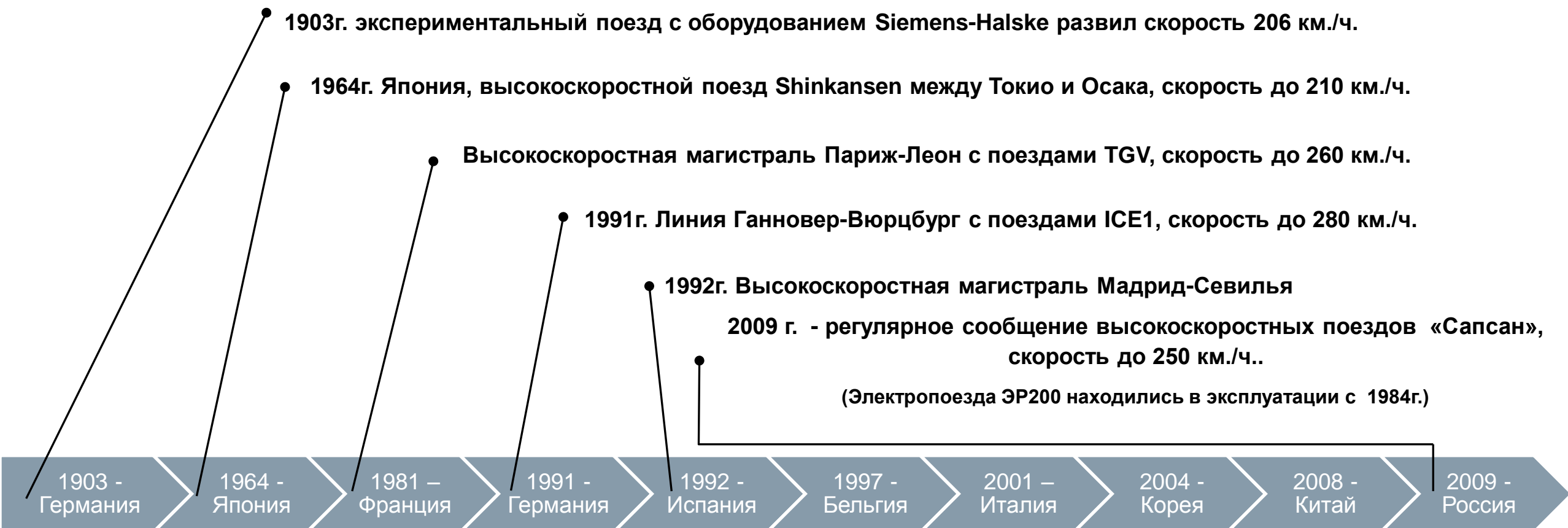
Цикл лекций - «Высокоскоростное железнодорожное движение»

Краткое содержание предыдущей лекции

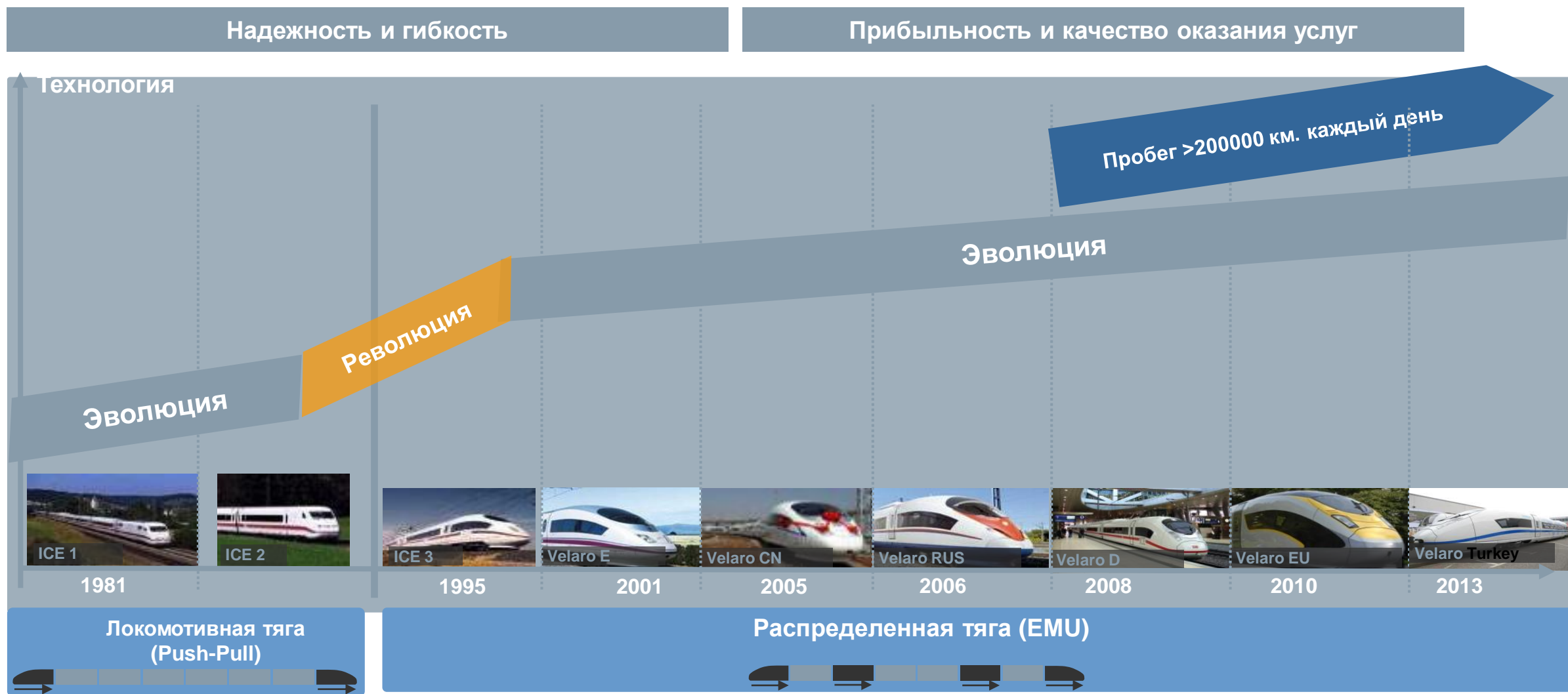
Определение высокоскоростного поезда



Этапы развития высокоскоростного железнодорожного транспорта



Эволюция принципов построения высокоскоростных поездов



Мировой опыт «Сименс» в проектах высокоскоростных поездов

Более 400 высокоскоростных поездов и компоненты для более 200 поездов по всему миру

ICE T / ICT 2 / ICE TD, c
1991г.

11 x 5-car EMU
60 x 7-car EMU
20 x 4-car DMU



Германия
284 EMU
20 DMU
(Голландия,
Бельгия,
Швейцария)

ICE 3 + option
67 x 8-car EMU



Velaro D, 2014
16 x 8-car EMU



Россия, 2006

Velaro RUS
16 x 10-car EMU



Китай, 2005

Velaro CN
60 x 8-car EMU
Components for 237 EMU



Турция 2013

Velaro Turkey
7 x 8-car EMU



Англия 2013

Velaro e320
10 x 16-car EMU



Испания 2007

Velaro E / E2
26 x 8-car EMU



ICE® is a registered trademark of DB AG

A detailed historical illustration of a large industrial factory complex, likely the Siemens works in St. Petersburg, situated along a wide river. The scene is filled with numerous multi-story brick buildings with gabled roofs and many windows. A prominent tall chimney stack is visible, emitting a plume of smoke. In the background, several large sailing ships are docked or moving along the river. The overall style is that of a 19th-century engraving or woodcut.

SIEMENS

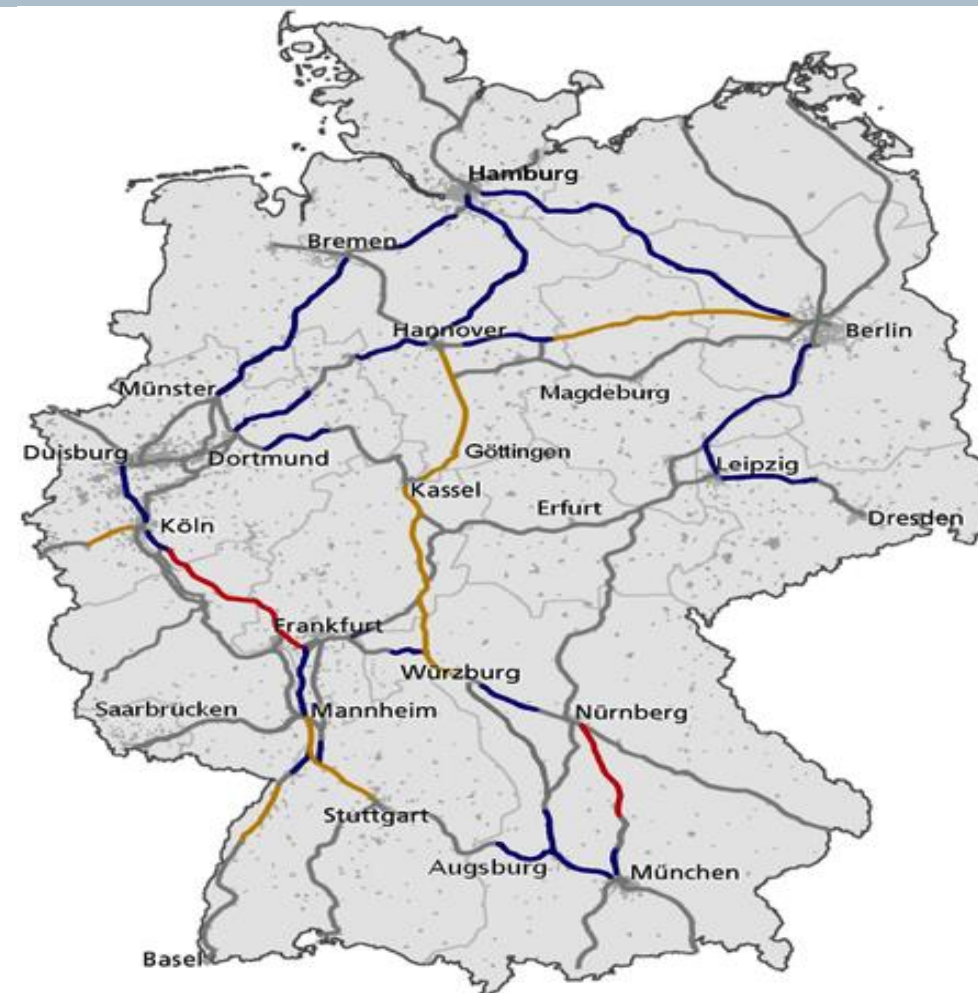
Акционерное Общество
Русскихъ Электротехническихъ Заводовъ
СИМЕНСЪ и ГАЛЬСКЕ

Цикл лекций - «Высокоскоростное железнодорожное движение»

Высокоскоростные поезда в Германии

Высокоскоростные железные дороги Германии

- Эксплуатация с: 1991 г.
- Протяженность участка: 1.200 км
- Линий: 11
- Колея: 1.435 мм
- Энергопитание:
15 кВ пер. тока, 16,7 Гц
- Кол-во поездов: >300
- Кол-во типов: 6



VSM \geq 300 км./ч.

VSM \geq 250 км./ч.

Модернизированные линии до 200 (230) км./ч.

ICE-V (V = Versuch = Экспериментальный) - 1984 г.



DB

Siemens

Krauss-
Maffei

Krupp

Thyssen-
Henschel

AEG

BBC

ICE-V – Технические особенности (механическая, электрическая части)

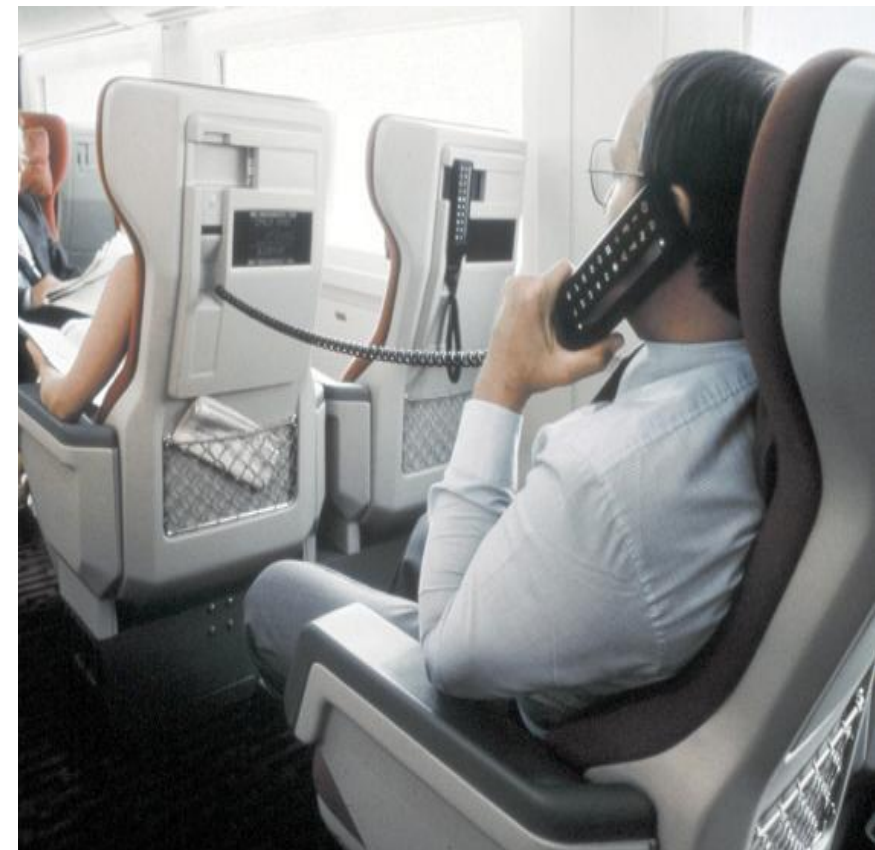
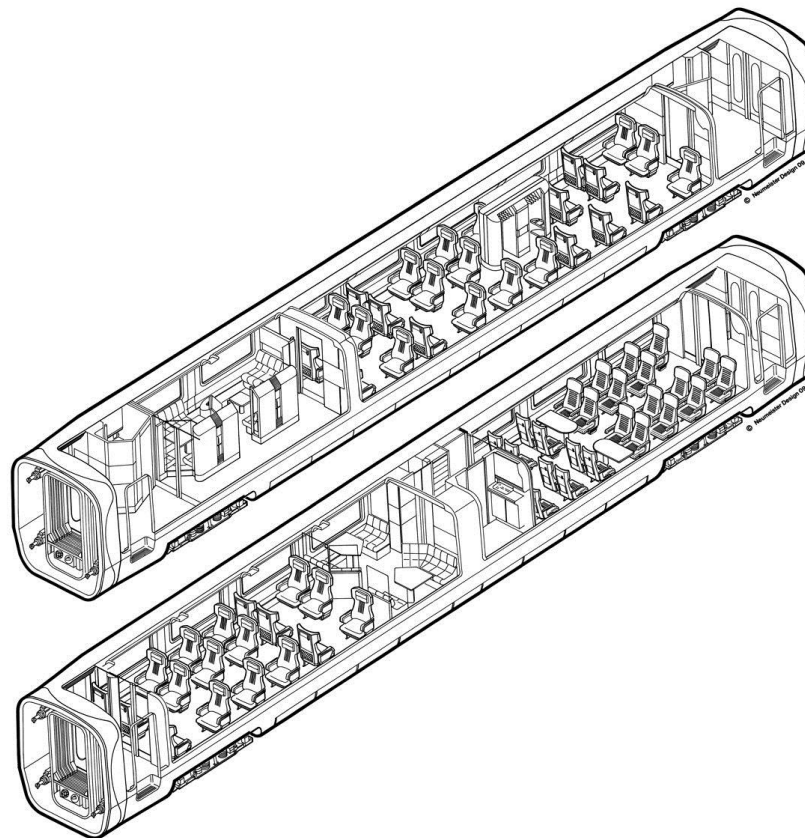


Применение пневматических рессор

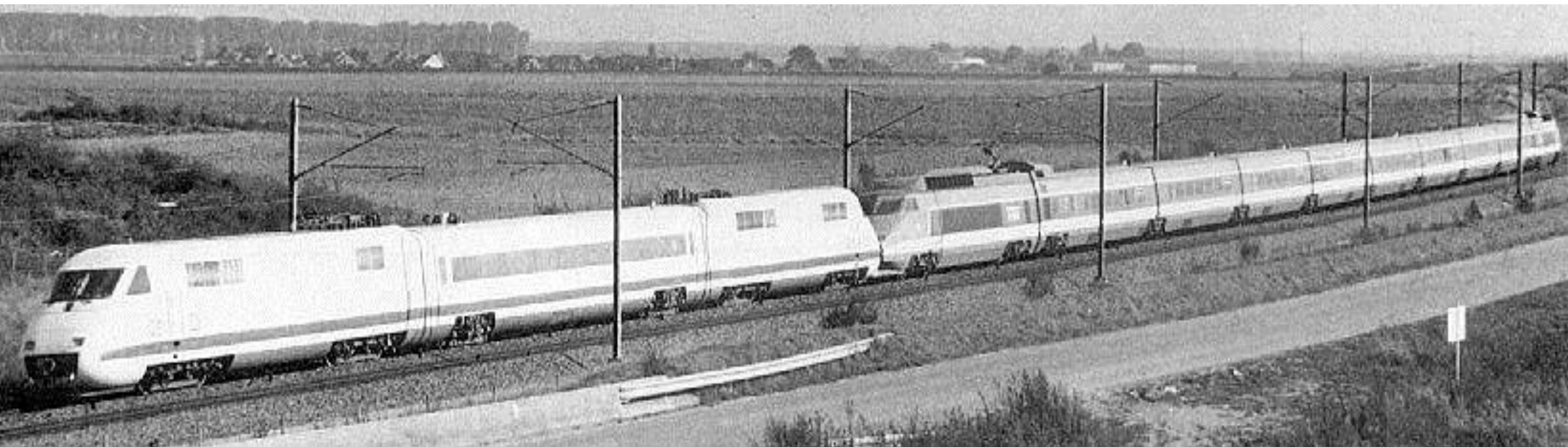


Аэродинамические очертания кузова

ICE-V – Внутреннее исполнение



ICE-V – Использование для проведения дальнейших экспериментов



- Дальнейшее использование поезда для испытания новых конструкционных решений и тестирования нового подвижного состава;
- 1 Мая 1988 - мировой рекорд скорости передвижения по железным дорогам – 406,9 км./ч.



SIEMENS

Акционерное Общество
Русскихъ Электротехническихъ Заводовъ
СИМЕНСЪ и ГАЛЬСКЕ

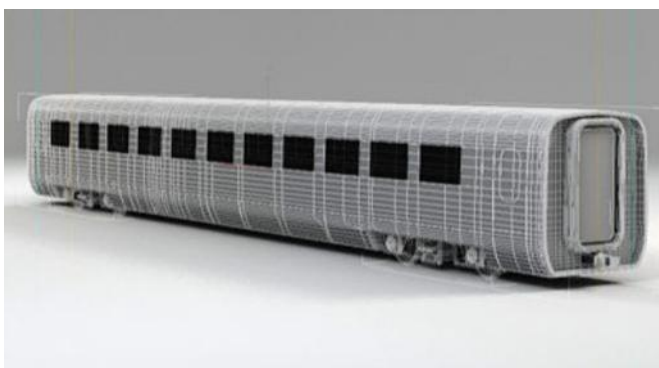
Цикл лекций - «Высокоскоростное железнодорожное движение»

Первое поколение ICE – локомотивная тяга

ICE 1 - 1991 г.



ICE 1 – Технические характеристики



Технические данные

В эксплуатации	с 1991 г. 60 поездов В.т.ч 26 первая поставка
Составность	12 вагонов
Электропитание	15 кВ пер. тока, 16,7Гц
Мощность приводов	9.6 МВт
Эксплуатационная скорость	250 км/ч
Колея	1,435 мм
Вместимость	743 места
Тип	Push-Pull

ICE 1 – Технические особенности

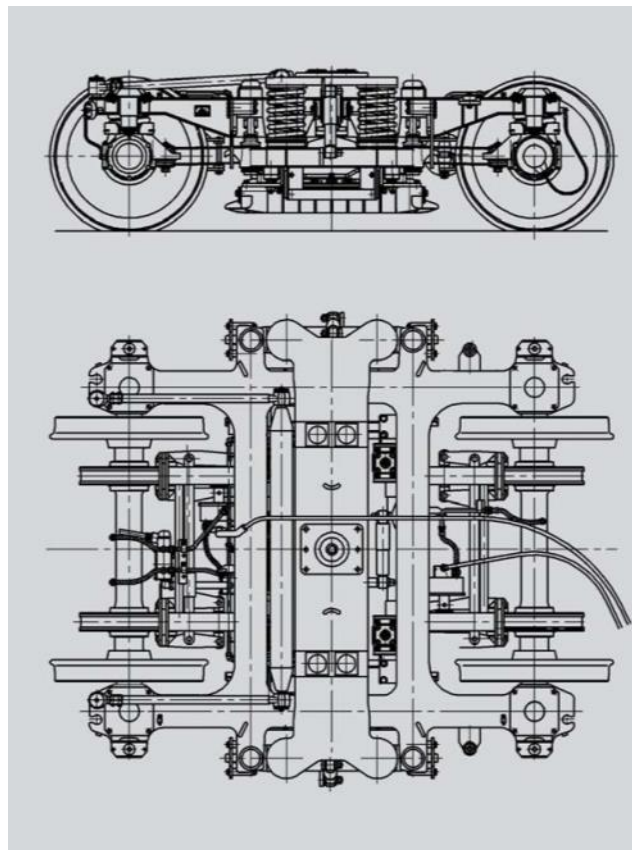
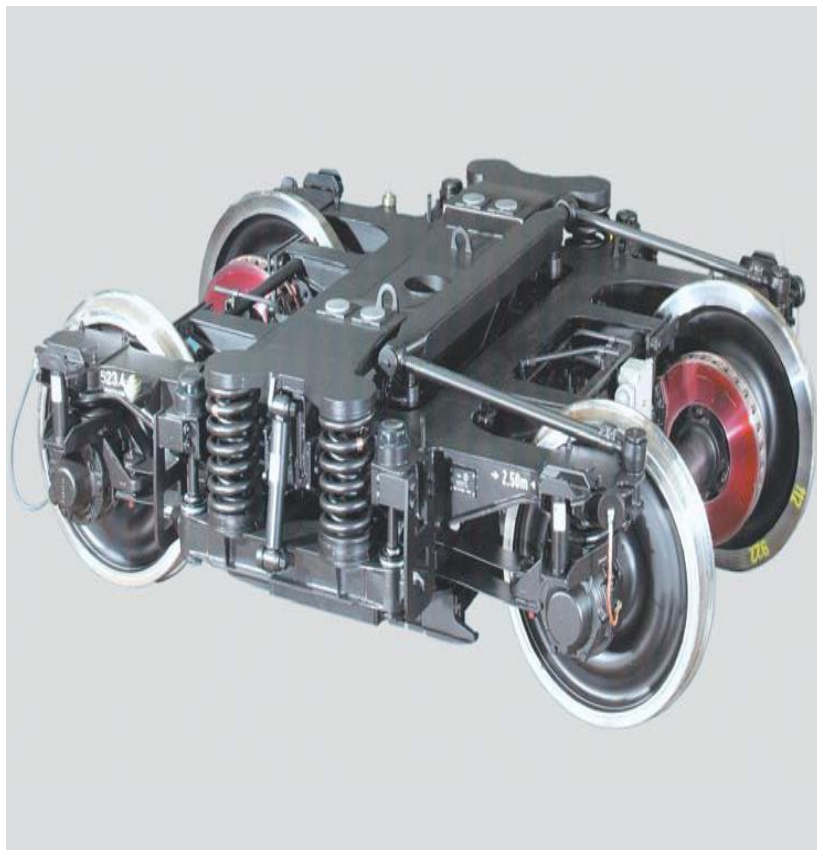


Применение электронных систем управления движением



Принудительное воздушное охлаждение тяговых двигателей

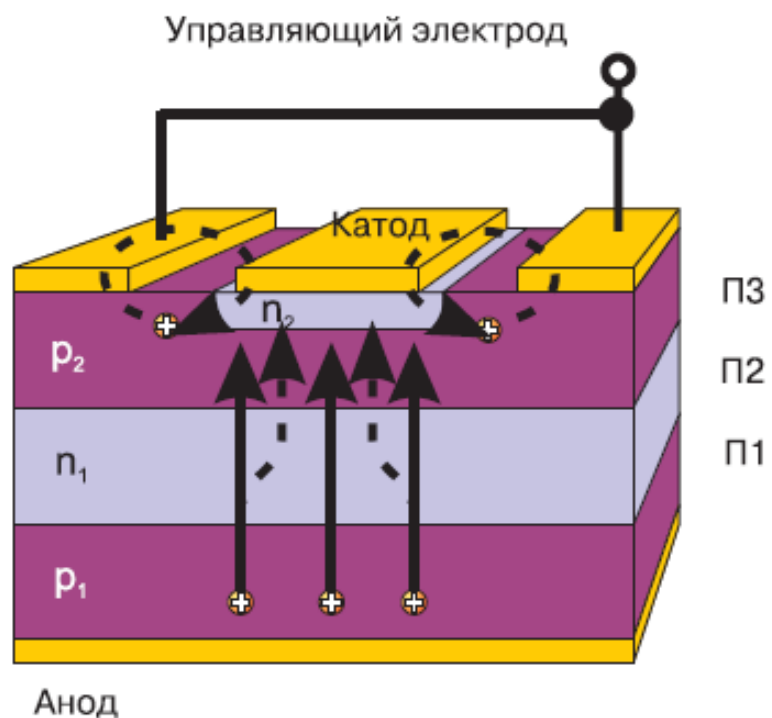
ICE 1 – Технические особенности



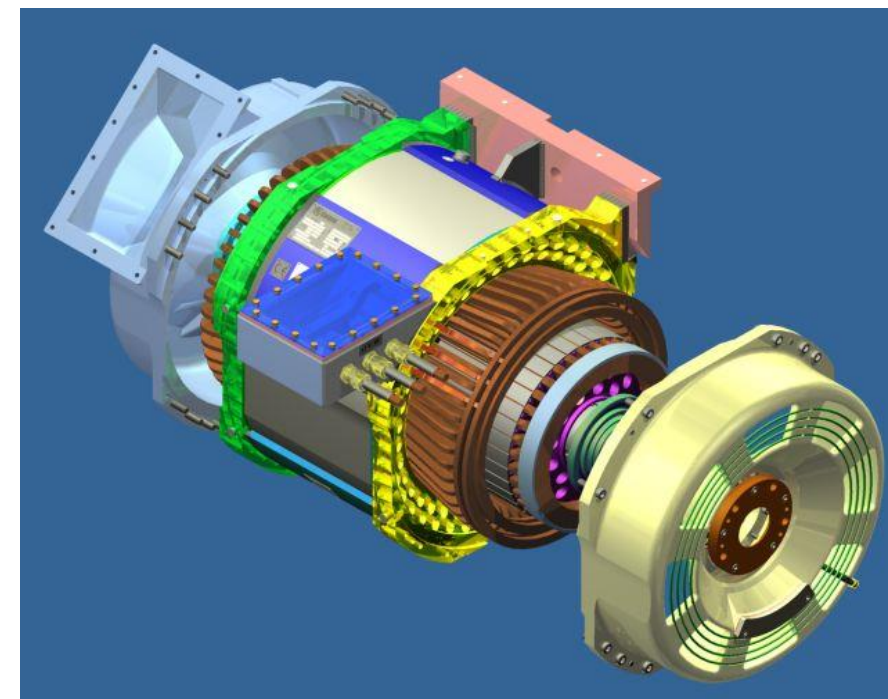
- Литая H-образная рама
- Первая ступень подвешивания с двойными пружинами;
- Первичные вертикальные амортизаторы;
- Сборные буксы для быстрой замены колесной пары;
- Вторая ступень использует весной укрепить установлен вложенных пружины;
- Применение маятников из эластомерных материалов, для снижения износа;
- Вторичные горизонтальные и вертикальные амортизаторы;
- 2, 3 или 4 тормозных диска на ось;
- Применение электромагнитного тормоза.

Применение тележек MD523, MD524 и MD530

ICE 1 – Технические особенности

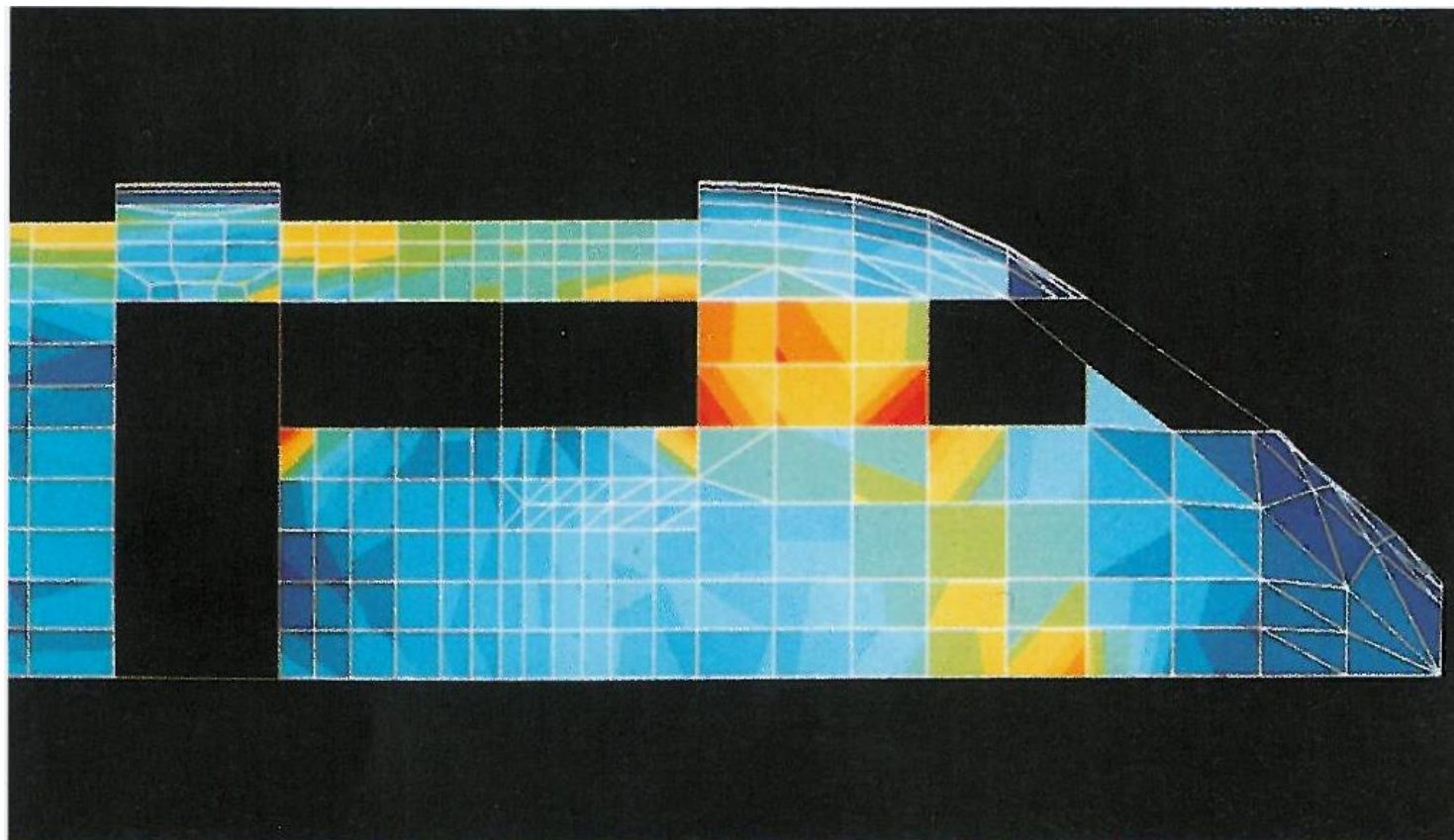


Применение запираемых тиристор GTO



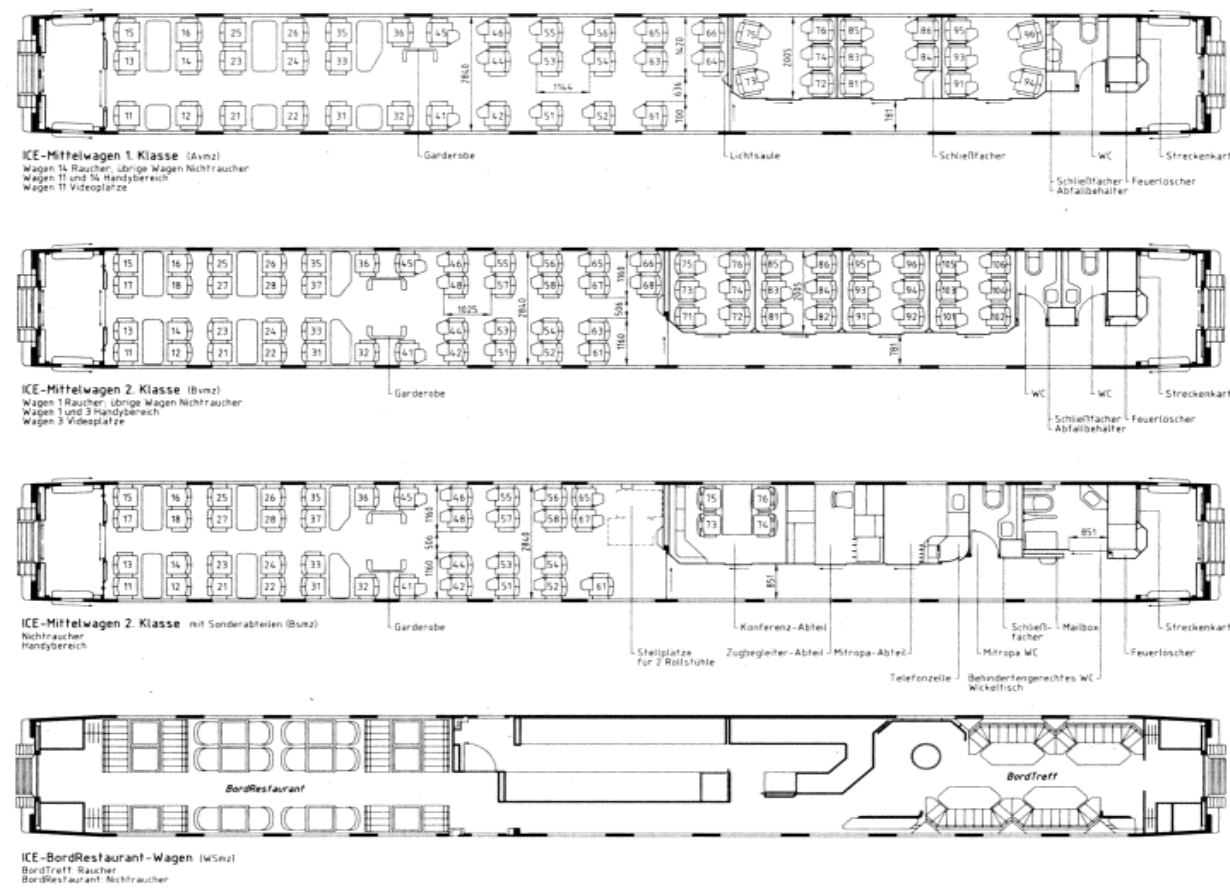
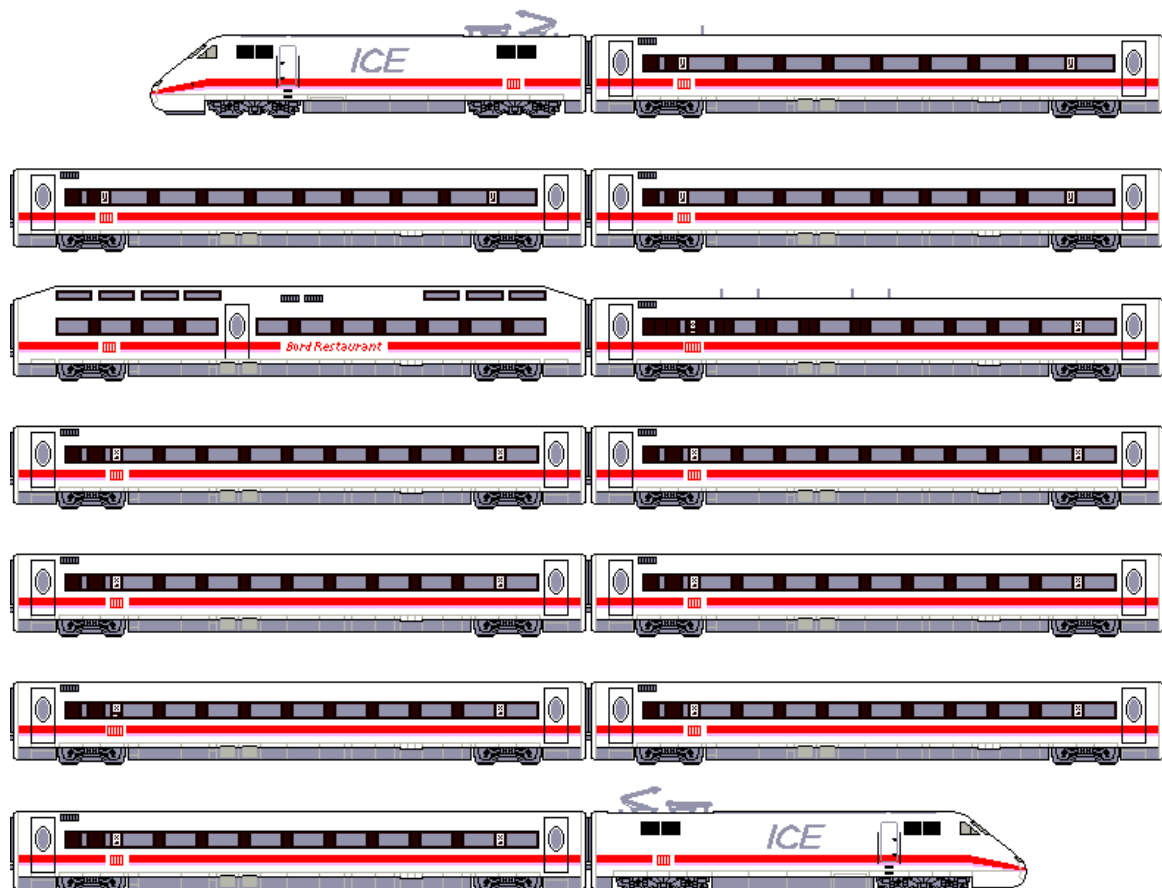
Применение асинхронных тяговых двигателей

ICE 1 – Технические особенности



Применение компьютерных методов расчета
аэродинамических нагрузок

ICE 1 – Технические особенности



Составность и компоновка салона

ICE 1 – Технические особенности



Вагон ресторан



Электронные системы информирования пассажиров в тамбуре вагона.

ICE 1 – цифры и факты



- 60 поездов;
- Более 500 000 километров пробега каждого поезда ежегодно;
- 2005 г. – начало программы модернизации (до 2008)
- Пассажирская эксплуатация до 2020г.

ICE 1 – цифры и факты

Маршруты через всю Германию

Гамбург – Базель

~ 800км – 6 часов 20 минут

Гамбург – Штутгарт

~ 700км – 5 часов

Гамбург – Мюнхен

~ 750км – 5 часов 50 минут

Гамбург – Берлин

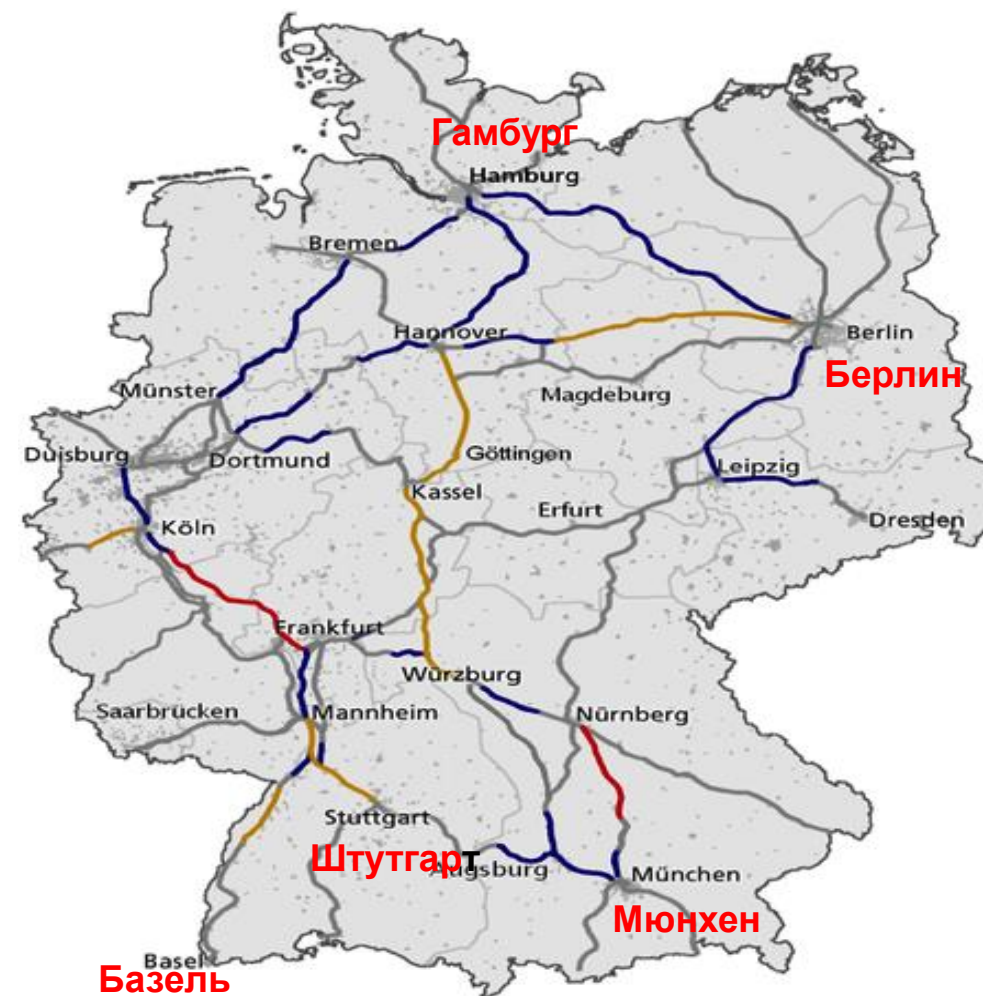
~ 300км – 1 час 50 минут

Берлин – Базель

~ 870км – 7 час 20 минут

Берлин – Штутгарт

~ 630км – 6 час 35 минут



ICE 2 - 1998 г.



ICE 2 – Технические характеристики



Технические данные

В эксплуатации	С 1995г. 44 поездов
Составность	8 вагонов (1 локомотив + 7 прицепных)
Электропитание	15 кВ пер. тока, 16,7Гц
Мощность приводов	4.8 МВт
Максимальная скорость	250 км/ч
Колея	1,435 мм
Вместимость	391 места
Тип	Push-Pull

ICE 2 – Технические особенности

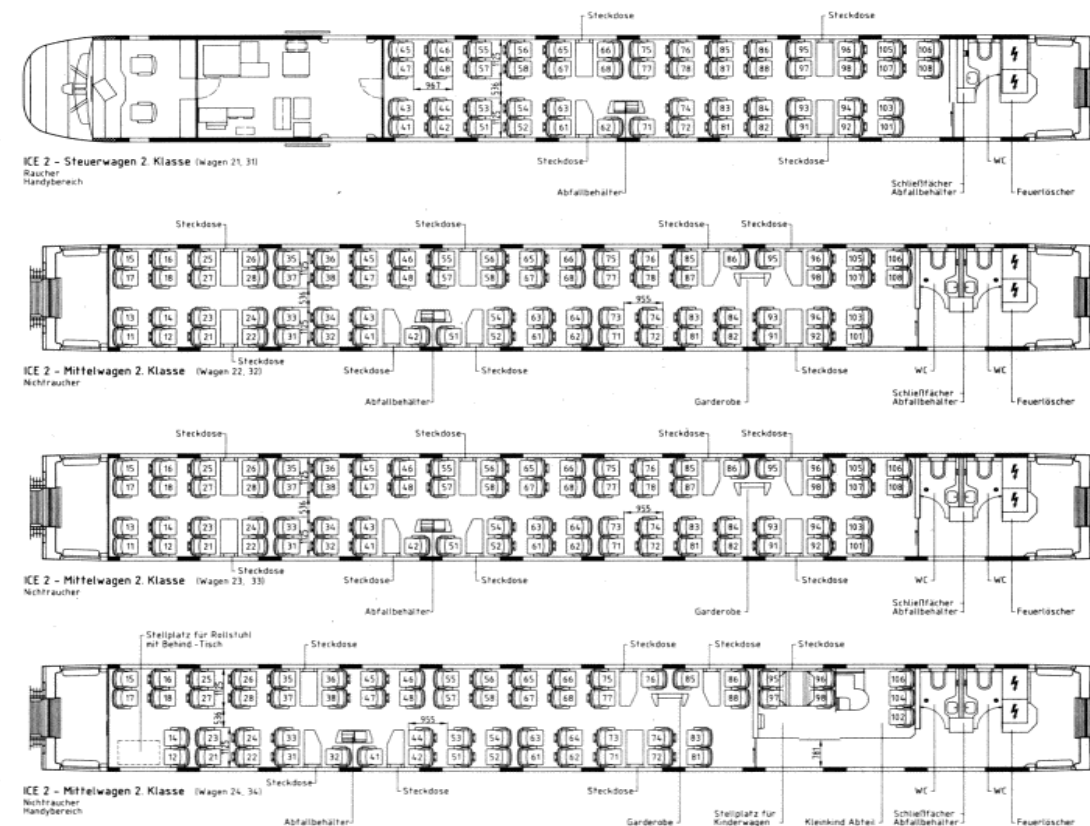


Новая автоматическая сцепка Scharfenberg



Использование по системе многих единиц

ICE 2 – Технические особенности



Компоновка вагонов первого класса

Одинаковая планировка вагонов второго класса.



SIEMENS

Акционерное Общество
Русскихъ Электротехническихъ Заводовъ
СИМЕНСЪ и ГАЛЬСКЕ

Цикл лекций - «Высокоскоростное железнодорожное движение»

Второе поколение ICE – распределенная тяга

ICE S – 1996г. (Экспериментальный)



ICE S – Технические особенности



Тележка с измерительным оборудованием



Салон поезда с измерительным оборудованием

ICE 3 - 2000г.



ICE 3 – технические характеристики

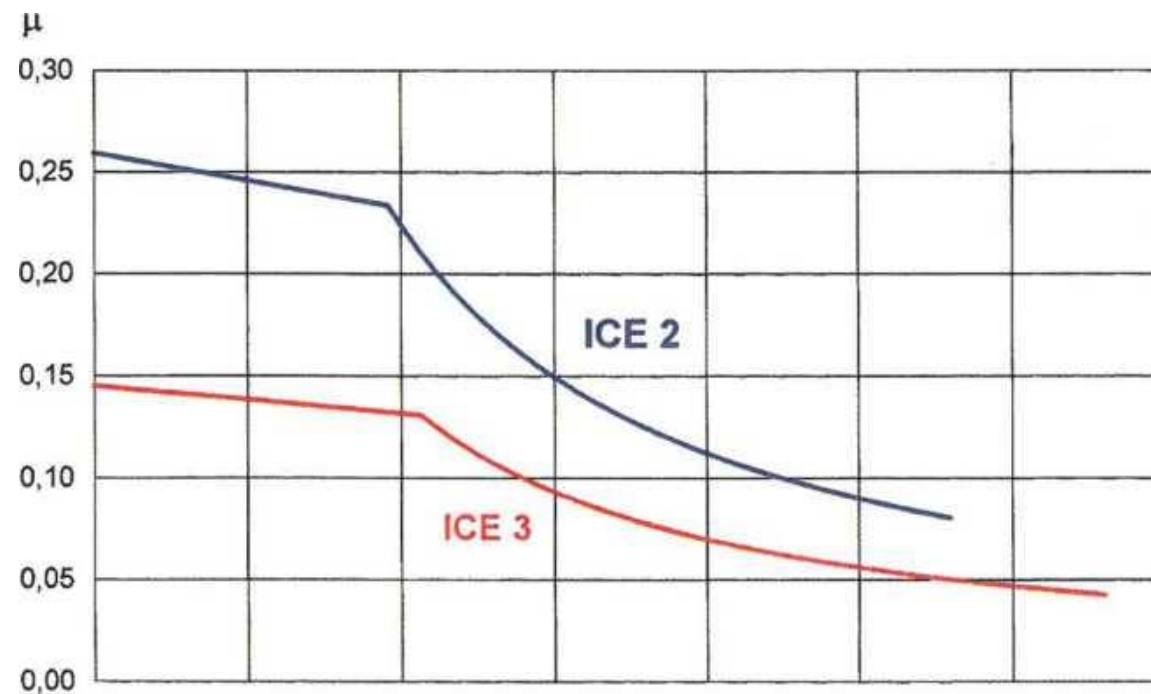


Технические данные

В эксплуатации	С 2000 г.
Составность	8 вагонов
Электропитание	15 кВ пер., 16,7Гц; 1,5 кВ пост.; 3 кВ пост.; 25 кВ пер., 50Гц.
Мощность приводов	8 МВт
Максимальная скорость	300 км/ч
Колея	1,435 мм
Вместимость	458 мест
Тип	EMU

ICE 3 – Преимущества распределенной тяги

- Примерно на 15 % больше посадочных мест во всем поезде, чем в других поездах такой же длины;
- Лучшее использование коэффициента сцепления, а также лучшая передача тягового и тормозного усилия;
- Меньшая нагрузка на ось → меньшая нагрузка на путь;
- Снижение шумовой нагрузки благодаря размещению компонентов тягового оборудования в подвагонном пространстве.



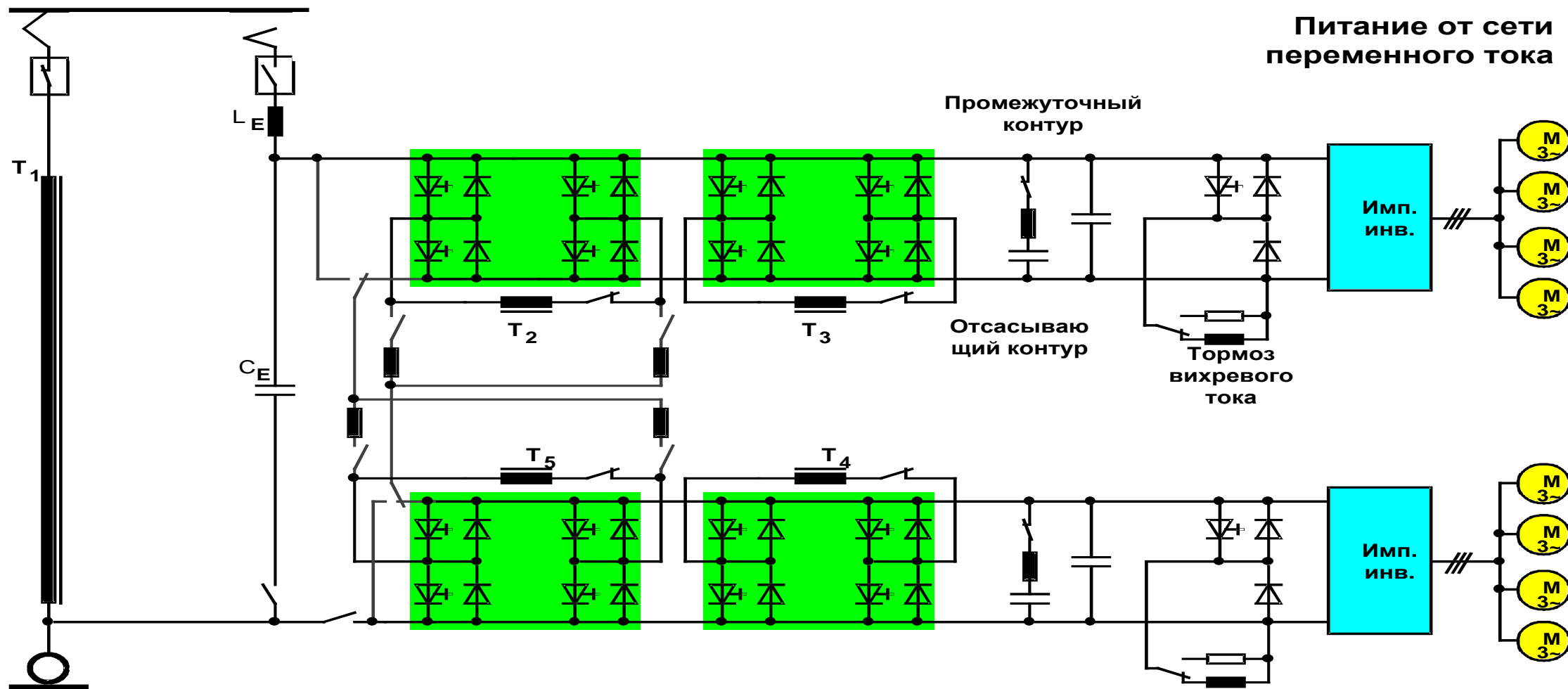
Коэффициент сцепления на ICE ICE 2 и 3

ICE 3 – Технические особенности

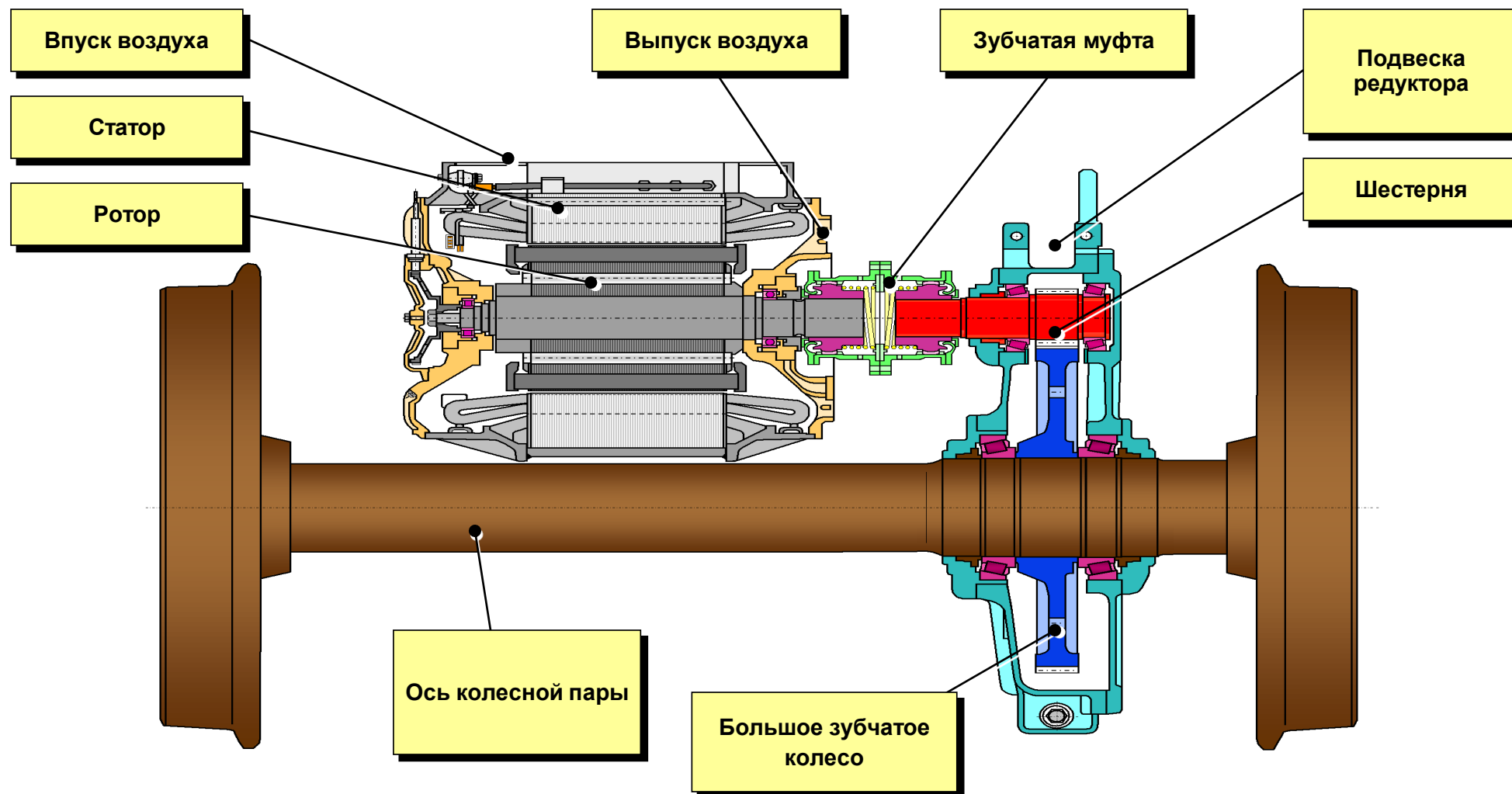


- Распределенная тяга – равномерное размещение тягового оборудования по всей длине состава;
- Кузов из крупноразмерных алюминиевых панелей;
- Применение композитных материалов;
- Тяговые 3х вагонные группы + промежуточные прицепные вагоны – гибкая конфигурация;
- Питание от 4 родов тока – возможность эксплуатации по всей Европе;
- Новая электронная система управления цепями поезда – TCN (train control network).

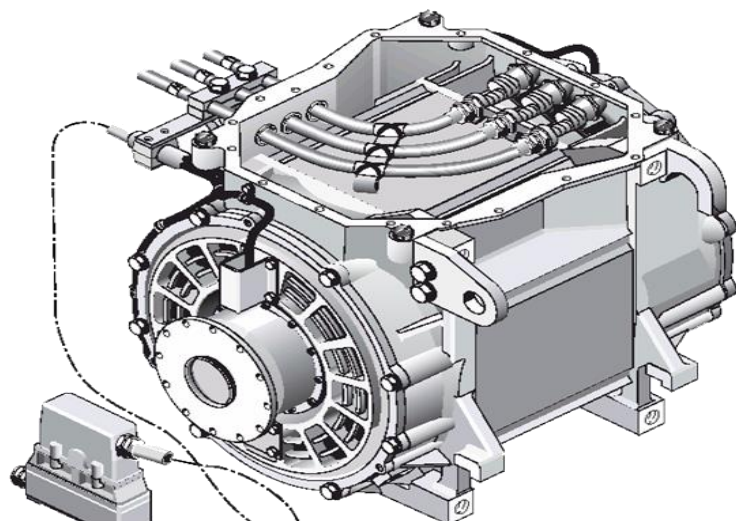
Тяговое оборудование четырехсистемного поезда ICE 3



ICE 3 – Технические особенности - принципиальная схема привода



ICE 3 – Технические особенности - тяговый двигатель



- Малый вес
- Вентиляция от внешней системы
- Хорошо зарекомендовавшая себя конструкция
- Конструкция, почти не требующая техобслуживания
- Передаточное число редуктора: 1:3,033
- Низкий уровень шума
- Мощность тягового двигателя 500 кВт

ICE 3 – Технические особенности - тяговый двигатель

Тип	Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором
Номинальное число оборотов	4100 мин ⁻¹
Номинальная мощность	513 кВт
Номинальный момент вращения	1193 Нм
Макс. ном. напряжение	2300 В
Макс. частота тока статора	210 Гц
Макс. момент вращения	3200 Нм
Макс. число оборотов ротора	6000 мин ⁻¹
Вид охлаждения	Принудительное охлаждение
Кол-во охлажд. воздуха на мотор	ок. 36 м ³ /мин
Стандарт изделия	IEC 60349-2
Класс нагревостойкости	200
Вес	ок. 800 кг

ICE 3 – Технические особенности - тяговый двигатель

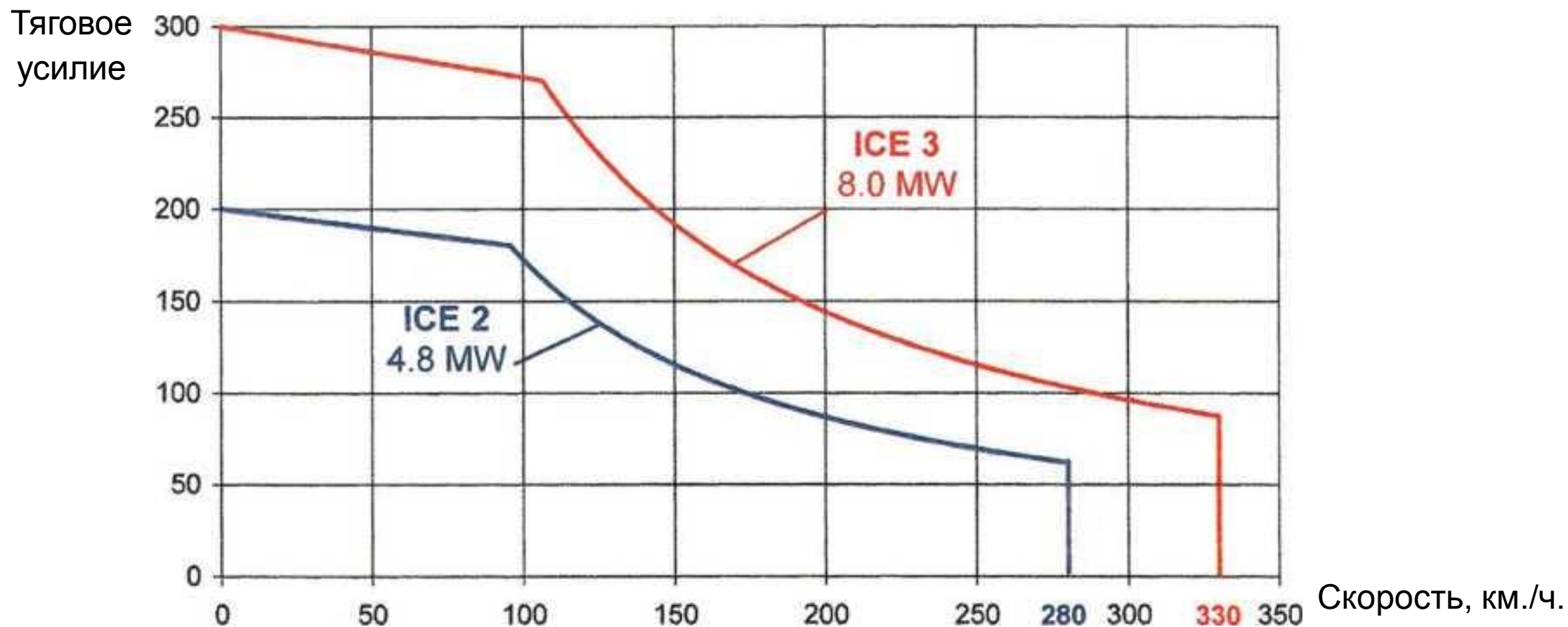
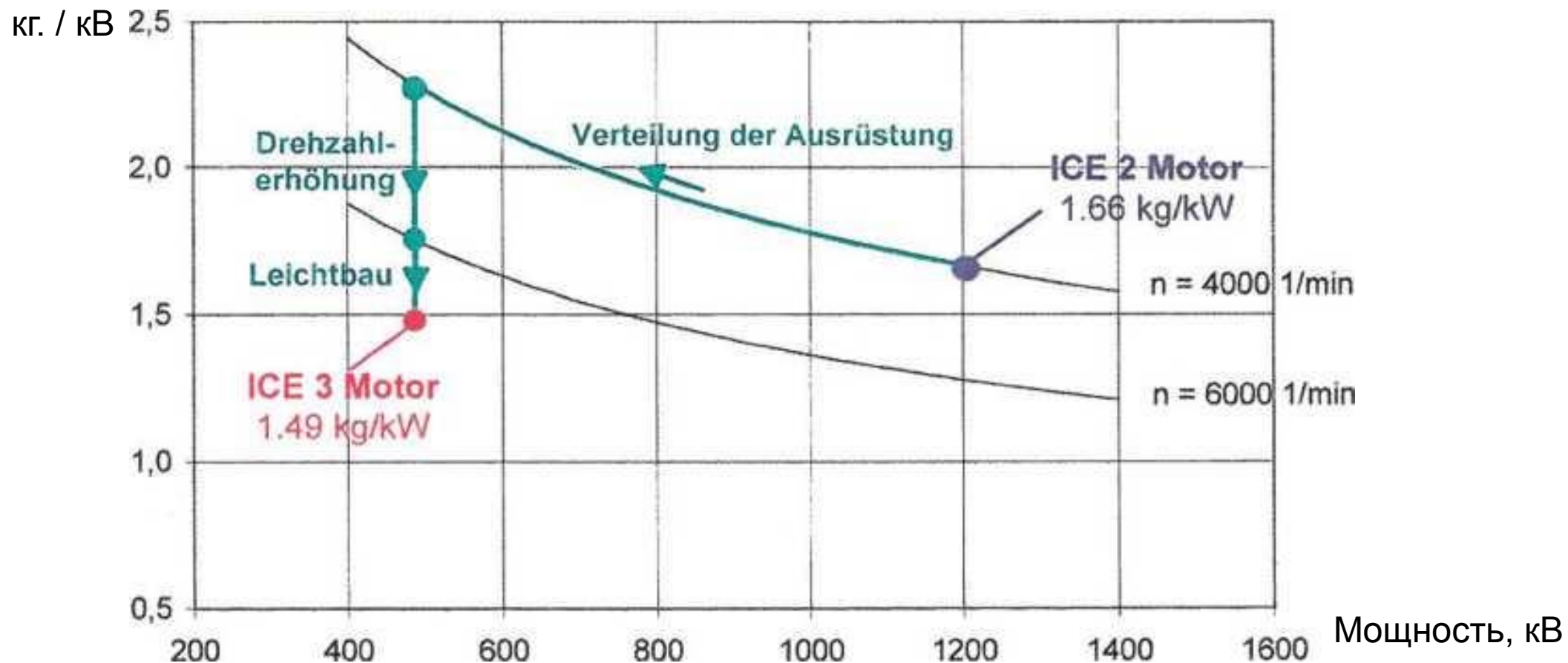


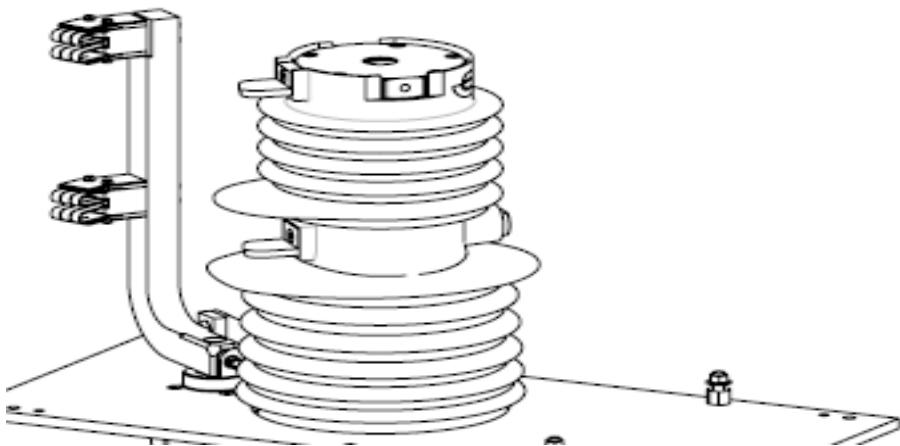
Диаграмма мощность тягового усилия / скорость для поездов ICE 2 и ICE 3

ICE 3 – Технические особенности - тяговый двигатель



Эволюция тяговых приводов поездов ICE 2 и ICE 3

ICE 3 – Технические особенности - компоненты высоковольтного оборудования



Главный трансформатор

- Номинальная мощность 5,46 кВА
- Кпд > 95 %
- Цилиндрическая обмотка
- Охлаждающая жидкость: минеральное масло
- Пропускание масла с байпасом для нагрева масла при низких температурах

Главный выключатель

- Номинальный ток 450 А
- Ток отключения при коротком замыкании: 16 кА
- Вакуумный силовой выключатель
- Выключатель с электроприводом и встроенным заземляющим разъединителем

ICE 3 – Технические особенности - компоненты высоковольтного оборудования



Пантограф

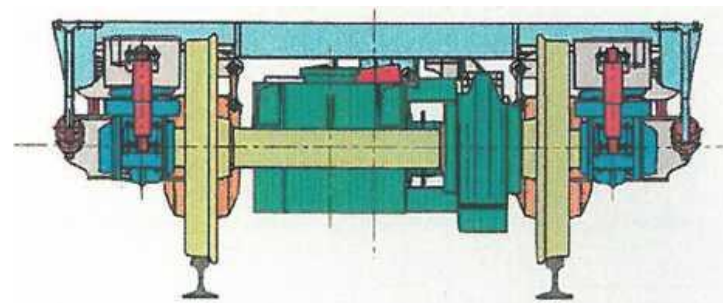
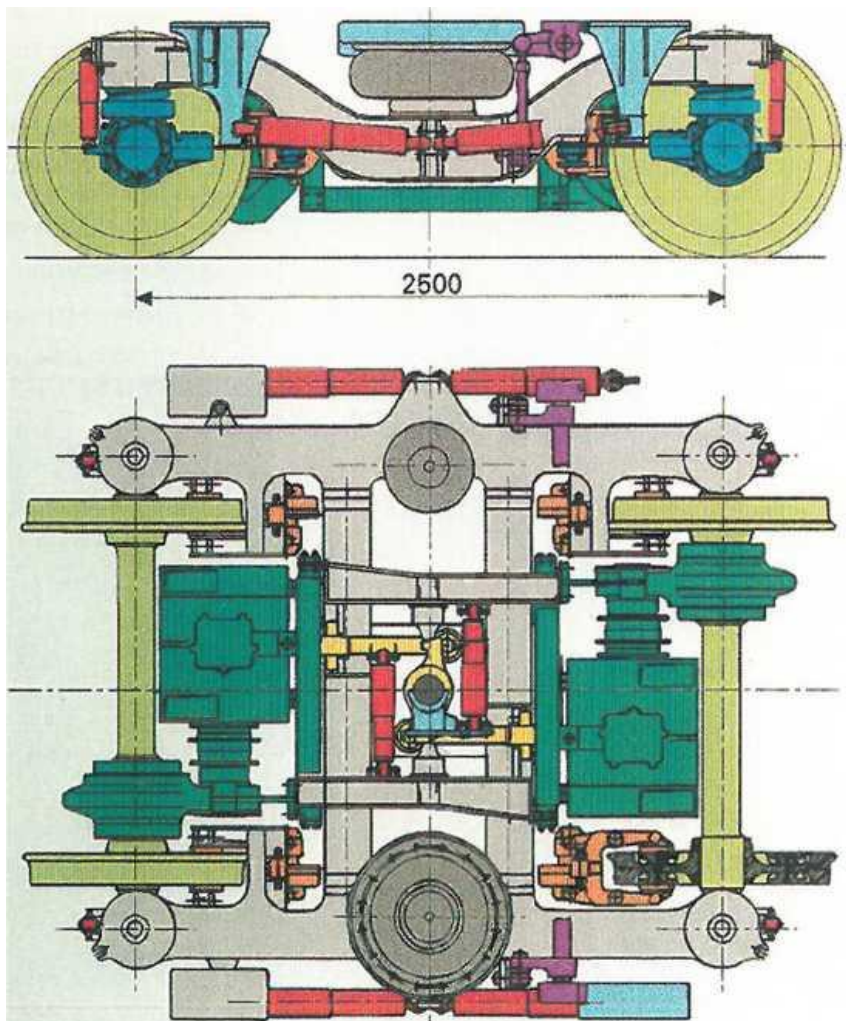
- Высокоскоростной пантограф
- Оптимизированные динамические характеристики благодаря малой массе
- Соответствует требованиям TSI, EN 50206-1 и EN 50219



Тормозное сопротивление

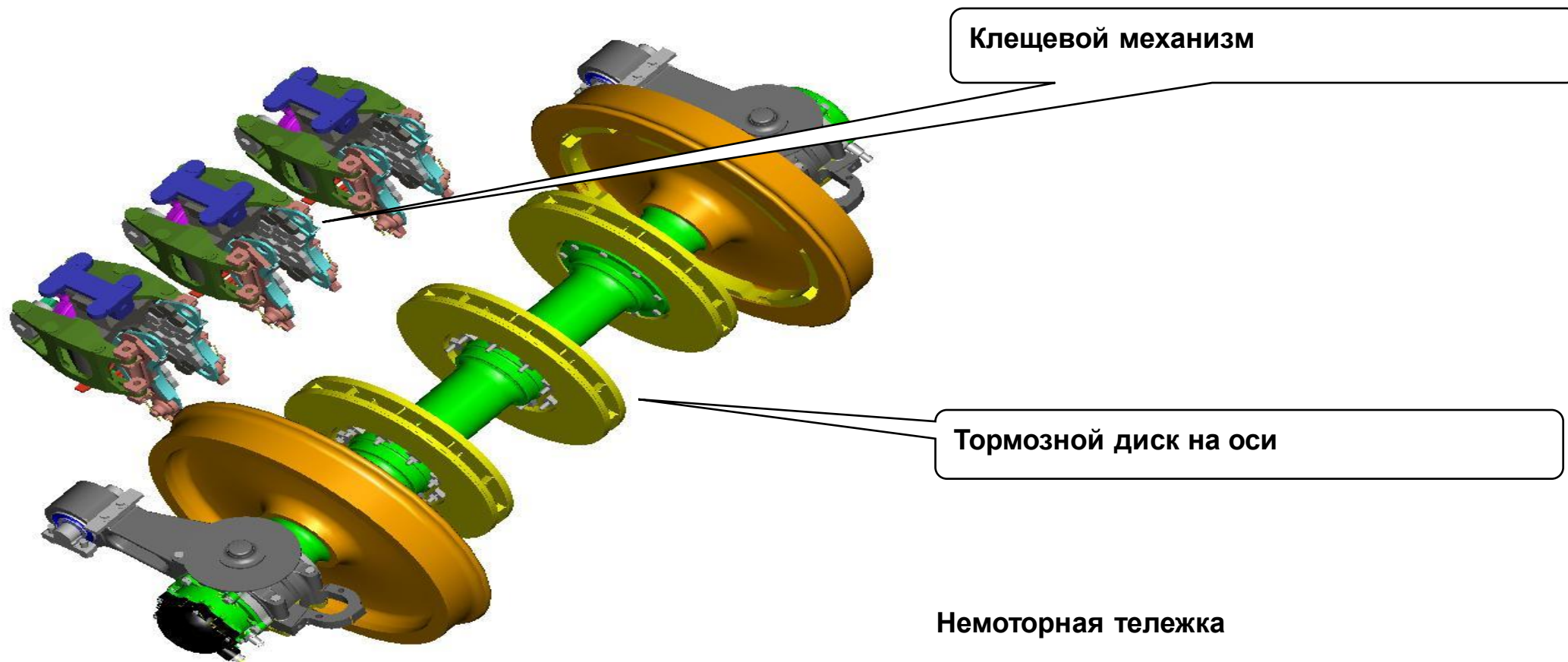
- Эл. сопротивление: 3,0-4,2 Ом
- Электрический тормоз поезда может применяться при мощности торможения до ок. 4000 Вт независимо от сети
- Максимальная мощность 850 кВт
- Низкая конструкция на крыше

ICE 3 – Технические особенности - тележка

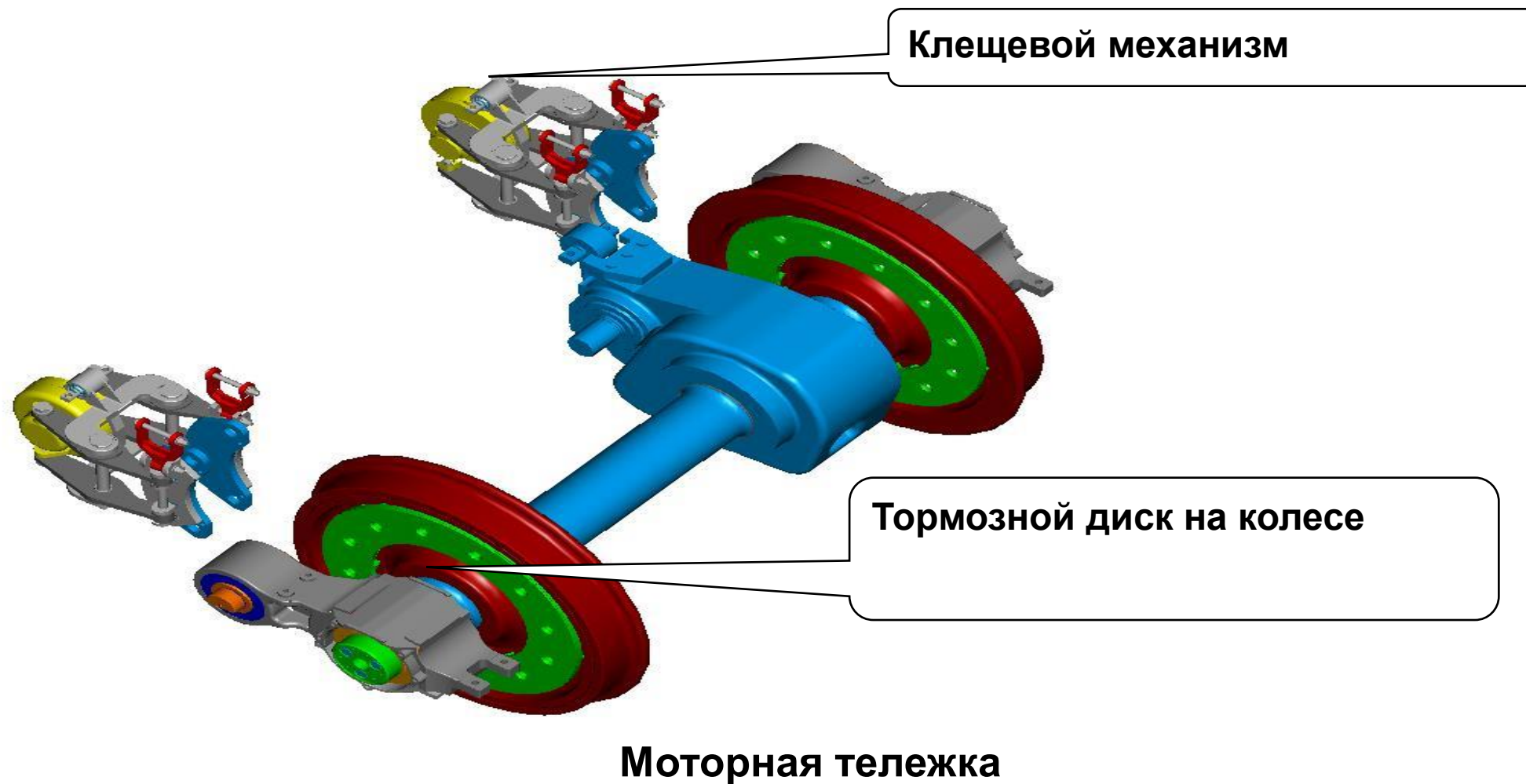


- Из-за значительно меньшего крутящего момента двигателя нагрузка на ось привода на ICE 3 значительно снижена.
- Монтаж двигателя на подвижной муфте.

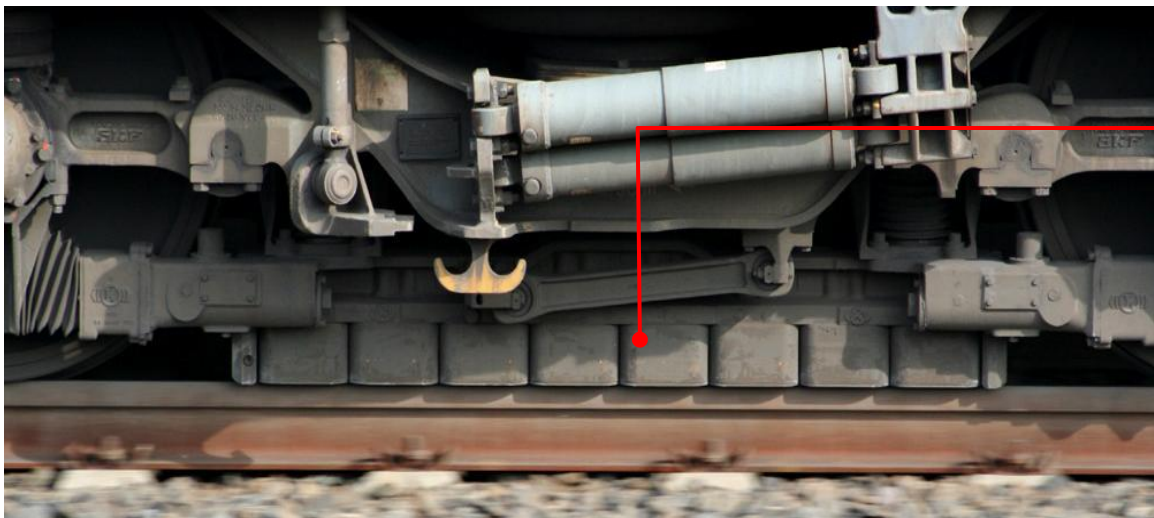
ICE 3 – Технические особенности - компоненты тормозной системы



ICE 3 – Технические особенности - компоненты тормозной системы



ICE 3 – Технические особенности



Магнитный вихретоковый тормоз на каждой немоторной тележке.

Применение системы ERTMS – для обеспечения контроля движения поезда на территории всей Европы

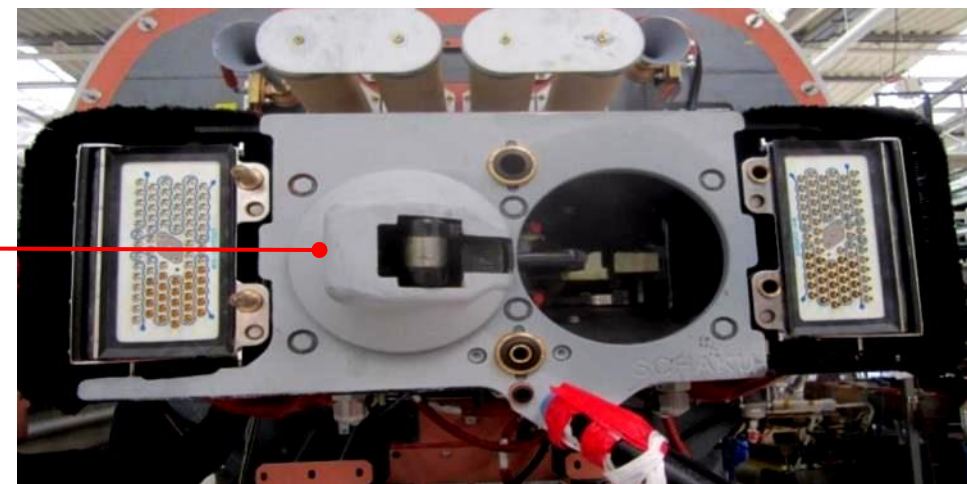


ICE 3 – Технические особенности



Применение модульных систем пассивной безопасности – крэш модули

Полное механическое, пневматическое и электрическое объединение цепей при использовании по системе многих единиц



ICE 3 – Технические особенности



Высокий комфорт для пассажиров эконом и бизнес классов.

ICE T (T = tilting = наклонный) - 2000г.



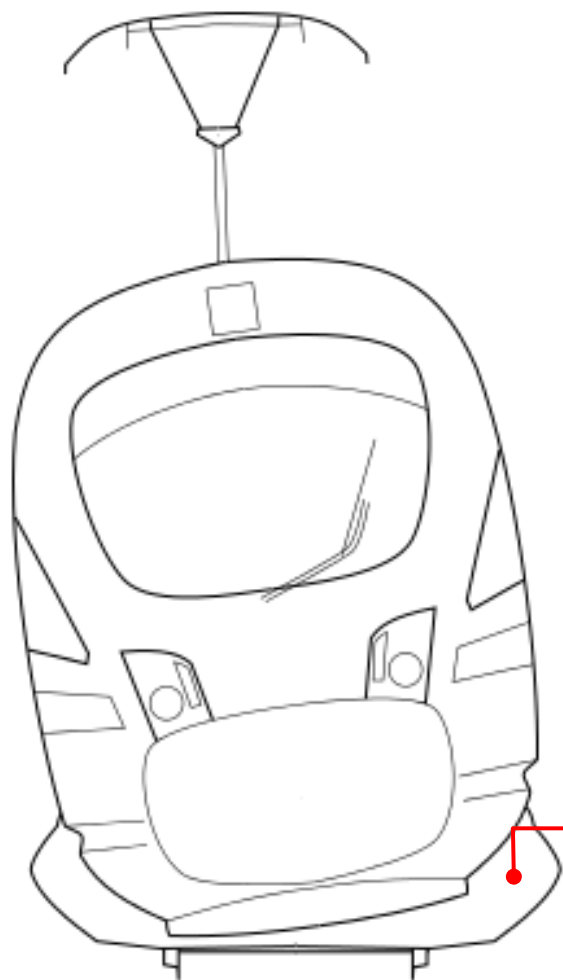
ICE T – технические характеристики



Технические данные

В эксплуатации	С 1999 г. 43 поездов
Составность	7 вагонов
Электропитание	15 кВ пер., 16,7Гц;
Мощность приводов	15 МВт
Максимальная скорость	230 км/ч
Колея	1,435 мм
Вместимость	415 мест
Тип	EMU

ICE T – Технические особенности



Наклон до 8°

- Распределенная тяга – равномерное размещение тягового оборудования по всей длине состава;
- Кузов из крупноразмерных алюминиевых панелей;
- Применение композитных материалов;
- Тяговые 3х вагонные группы + промежуточные прицепные вагоны – гибкая конфигурация.

- Тележки со встроенным механизмом наклона кузова в кривых, с системой активного центрирования.

ICE TD – 2001г.



Технические данные

В эксплуатации	С 2001 г. 19 поездов
Составность	4 вагона
Мощность приводов	225 кВт
Максимальная скорость	200 км/ч
Колея	1,435 мм
Вместимость	200 мест
Тип	DEMU

ICE TD – Технические особенности



- 19 поездов;
- Распределенная тяга с использованием дизельных силовых установок;
- 560 kW Дизельный двигатель (Cummins QSK 19-R 750) под каждым вагоном;
- Два 225 kW 3-фазных АС двигателя.
- Принудительная система наклона кузова при движении в кривых;

Velaro D - 2000г.



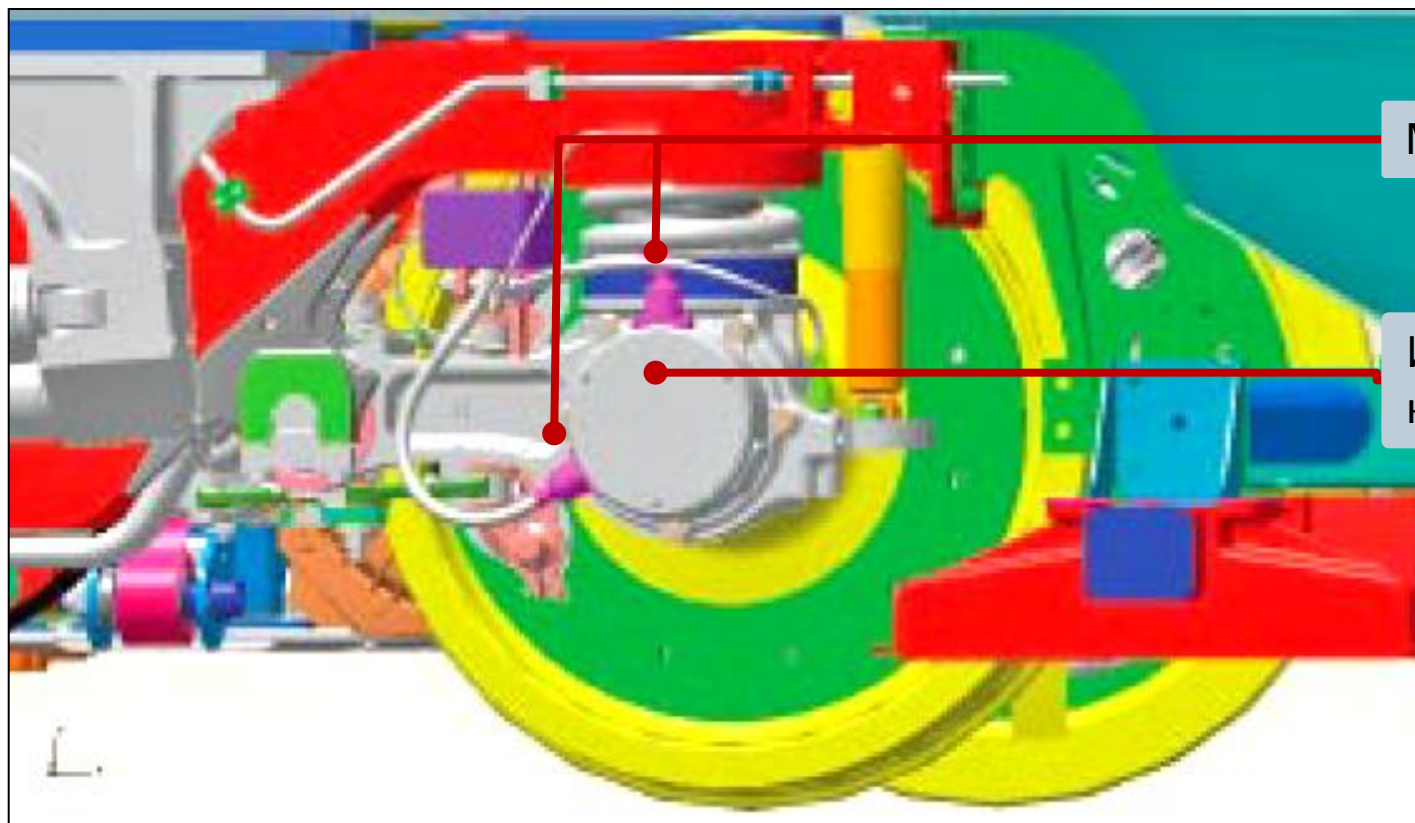
Velaro D – технические характеристики



Технические данные

В эксплуатации	с 2014 г. 16 поездов
Составность	8 вагонов
Электропитание	15 кВ пер., 16,7Гц; 1,5 кВ пост.; 3 кВ пост.; 25 кВ пер., 50Гц.
Мощность приводов	8 МВт
Максимальная скорость	320 км/ч
Колея	1,435 мм
Вместимость	460 мест
Тип	EMU

Velaro D – технические характеристики



Модифицированная система датчиков и сенсоров

Изменены узлы крепления буксовых узлов и крепление тележки к раме поезда;

Колесная пара Velaro D с интегрированными сенсорами

Velaro D – технические характеристики



Совершенствование аэродинамики поезда с учетом опыта эксплуатации поездов Velaro в Германии, России и Китае.

Изменение конструкции крыши для снижения аэродинамического удара при входе в туннели.

Все подвагонное и крышевое оборудование закрыто фальшбортами для снижения сопротивления воздуху и повышения энергоэффективности поезда.

ICx - 2017



ICx (с 2015 г.)



Технические данные

В эксплуатации	130 поездов заказаны, с возможностью доп. заказа еще 90 поездов
Составность	7 вагонов – 45 поездов 10 вагонов - 85 поездов
Электропитание	15 кВ пер., 16,7Гц; 1,5 кВ пост.; 3 кВ пост.; 25 кВ пер., 50Гц.
Мощность приводов	4,9 МВт (7 ваг.) 8,2 МВт (10 ваг.)
Максимальная скорость	230 км/ч
Колея	1,435 мм
Вместимость	499 мест (7 ваг.), 724 (10 ваг.)
Тип	EMU

ICx – Идеальная модульность



SIEMENS

Акционерное Общество
Русскихъ Электротехническихъ Заводовъ
СИМЕНСЪ и ГАЛЬСКЕ

Цикл лекций - «Высокоскоростное железнодорожное движение»

Transrapid

Transrapid

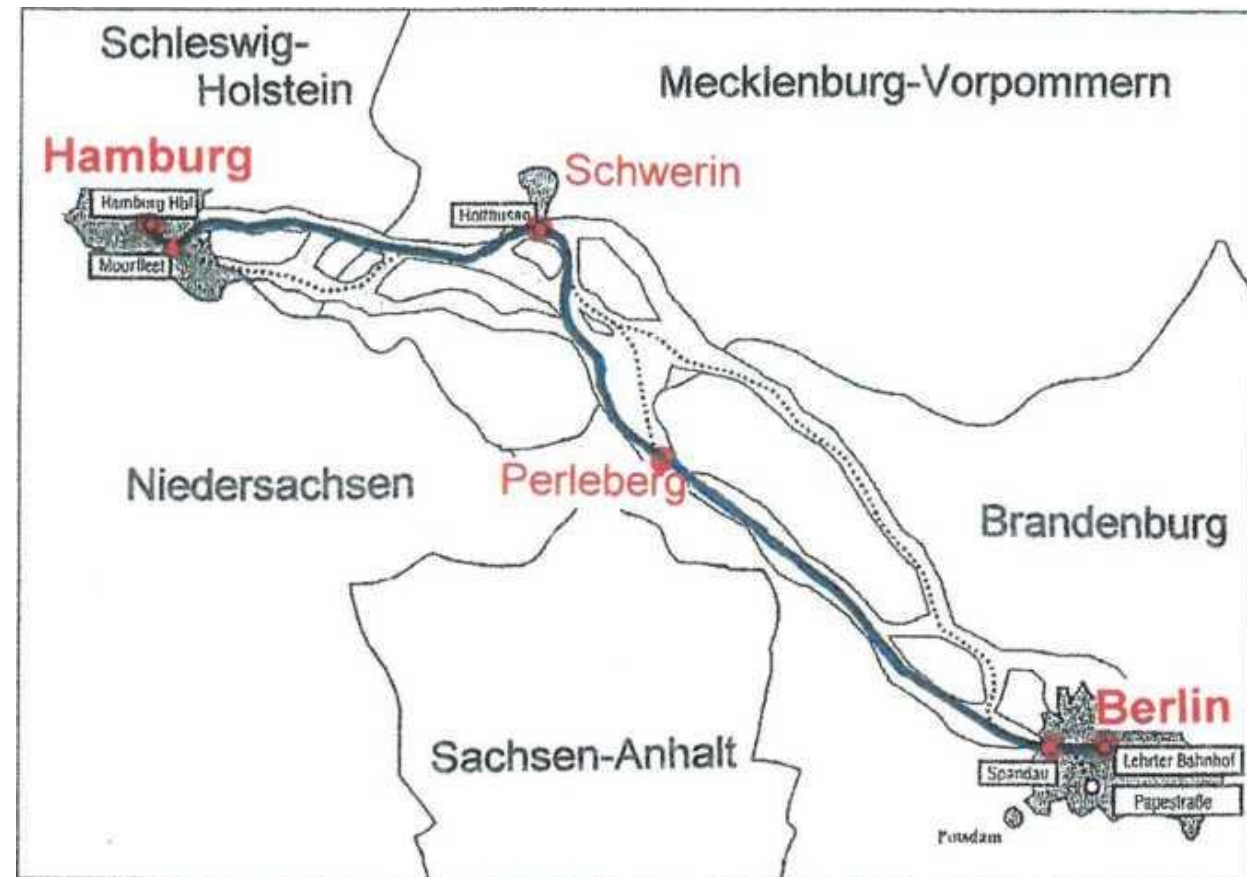


Transrapid



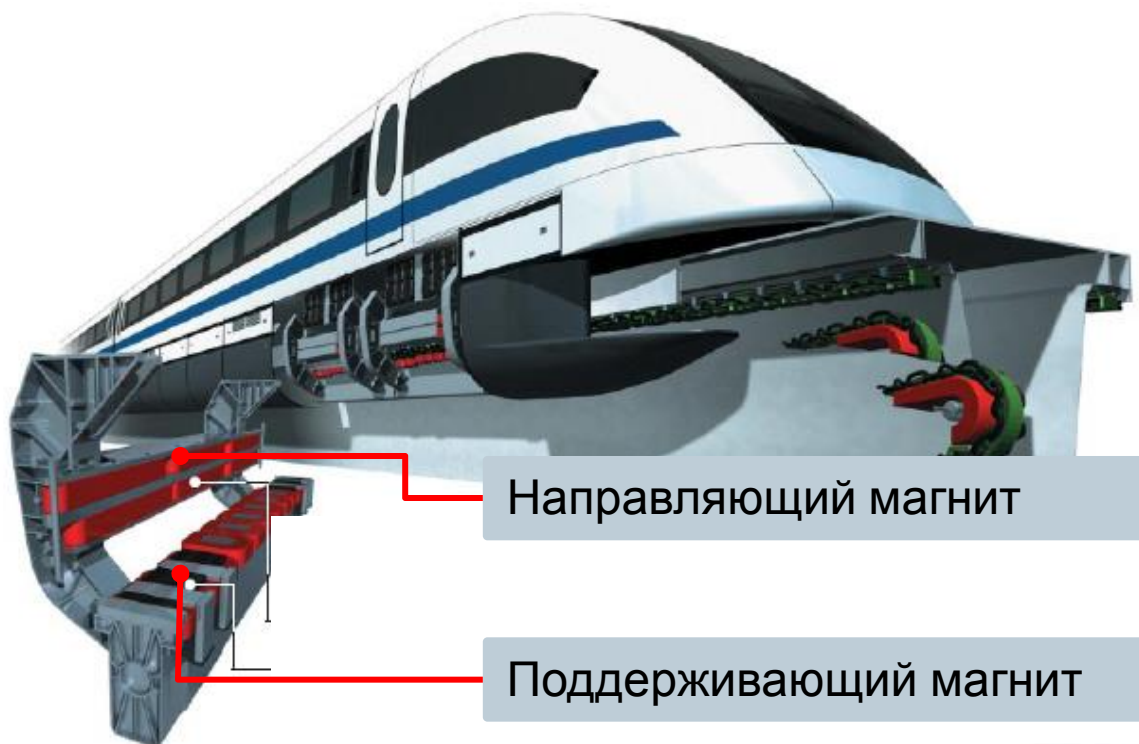
Технические данные

В эксплуатации	Тестовая 1991 г., коммерческая в Шанхае с 2004г.
Составность	2 вагона
Максимальная скорость	500 км/ч



Предполагаемый маршрут использования

Transrapid



Направляющий магнит

Поддерживающий магнит

\$34 Миллиона за километр двухпутного пути – предполагая 50% наземные участки и 50% пути - эстакады.

\$16.5 Миллиона за вагон. Состав может быть от 2 до 10 вагонов.

	ВСМ	Маглев
Стоимость, \$ миллионов	~48 300 000	~99 000 000
Число вагонов	10	6
Пассажировместимость	604	574
Стоимость километра пути, \$ миллионов	~32 000 000	~34 000 000

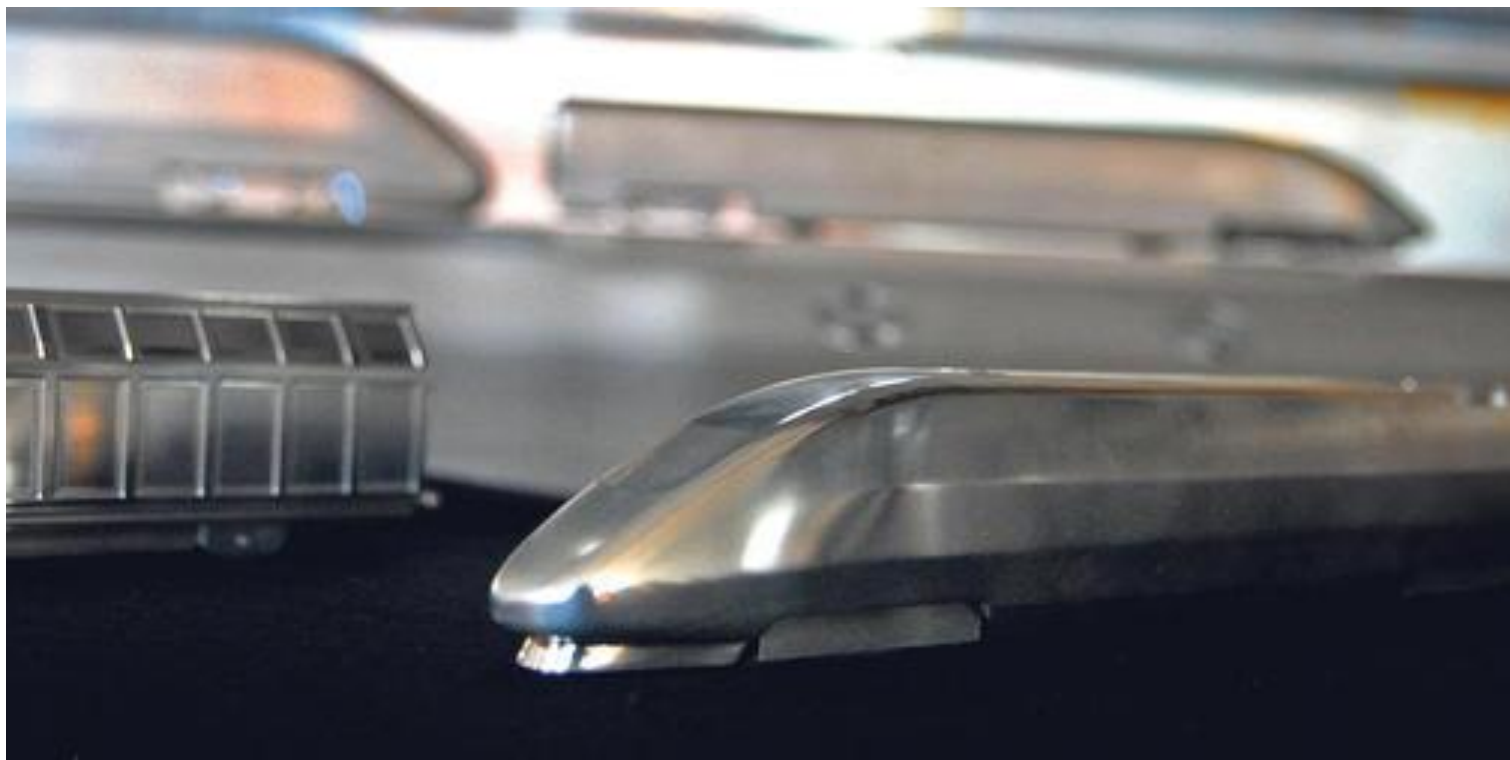
SIEMENS

Акционерное Общество
Русскихъ Электротехническихъ Заводовъ
СИМЕНСЪ и ГАЛЬСКЕ

Цикл лекций - «Высокоскоростное железнодорожное движение»

Дальнейшее развитие скоростных поездов— Перспективы при скоростях до 400 км/ч

Дальнейшее развитие скоростных поездов



Аэродинамическая модель поездов будущего от Немецкого центра авиации и космонавтики (DLR) для скоростей 400 км/ч. и больше.

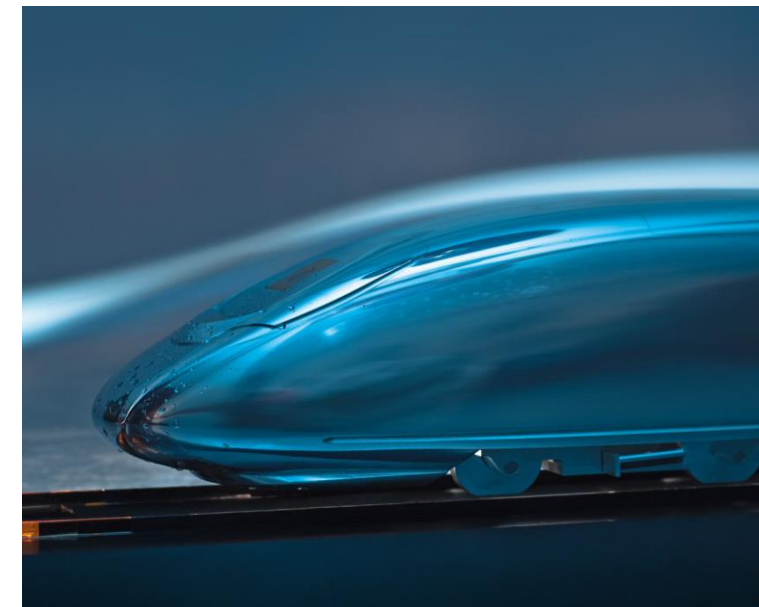
Дальнейшее развитие скоростных поездов

Высокоскоростное движение – Перспективы

Аэродинамическая оптимизация электропоезда

Сопротивление движению – важный входной параметр для тяговой системы поезда

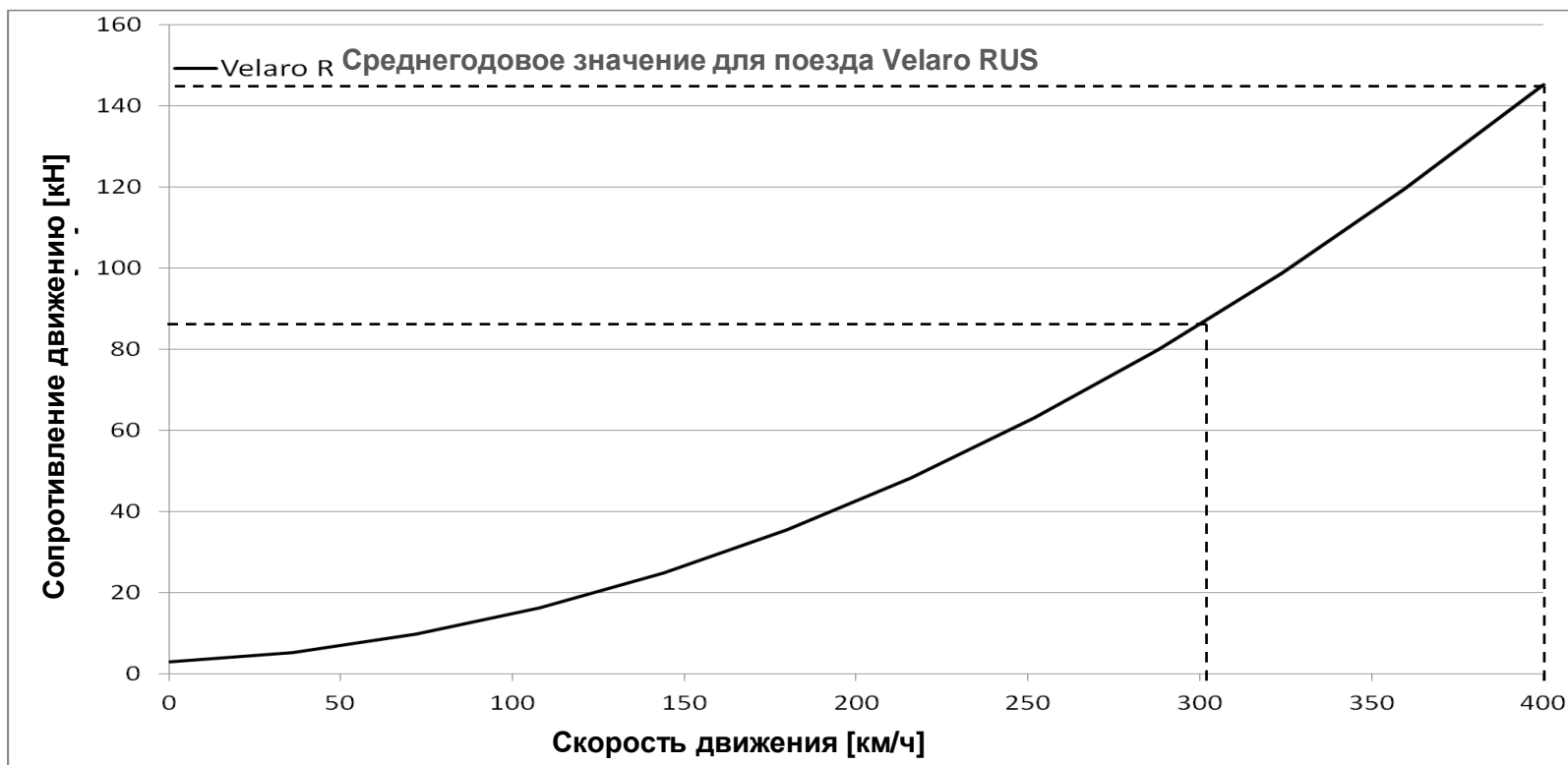
Степень 1	Степень 2	Степень 3
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Облицовка междвагонных пространств ▪ Встроенные высоковольтные соединения ▪ Форма головной части ▪ Улучшение обтекаемости тележек ▪ Аэродинамический обтекатель тормозного сопротивления 	<p>Дополнительно к степени 1:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Абсолютно гладкая крыша ▪ Облицовка высоковольтных крышевых компонентов ▪ Тормозные диски с принудительной вентиляцией 	<p>Дополнительно к степени 1 и 2:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Частично и полностью закрытые обтекателем тележки всех вагонов ▪ Помимо этого потребуется выполнить дополнительные меры
- 11%	- 22%	- 33%



Аэродинамика высокоскоростных поездов

Тема: Сопротивление движению

Увеличение сопротивления движению при скоростях в диапазоне от 300 до 400 км/ч



**Увеличение
сопротивления движению
+69%,**

следовательно:

**увеличение
тяговой мощности +125%**

Аэродинамика высокоскоростных поездов

Тема: Вылет щебня

Оптическое детектирование вылета щебня в лаборатории:



Аэродинамическая модель для расчетов в части вылета щебня:

- Количество «подвижного» щебня, вероятность попадания щебня в поезд и его повреждения, и т.п.
- Рассмотрение аэродинамических сил, рассмотрение возникновения воздушных потоков (например, от тележек или при выводе холодного воздуха) и турбулентности.
- Динамические расчеты инертности массы щебня .

Возможна предварительная оценка рисков

Аэродинамика высокоскоростных поездов

Тема: Вылет щебня

Аспекты высокоскоростного движения при скорости 400 км/ч - вылет щебня

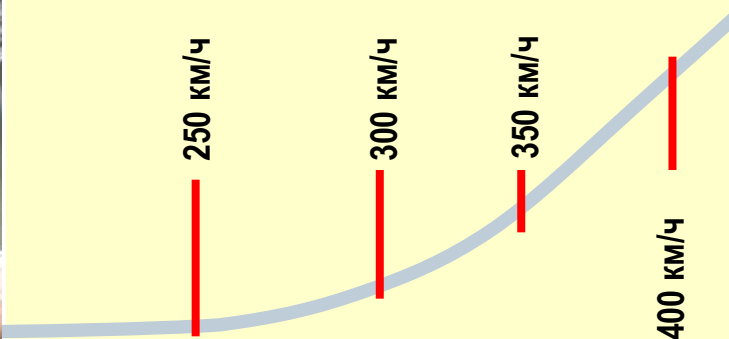


Во Франции:

даже при меньшем налипании снега, чем здесь представлено

=> снижение скорости до < 200 км/ч

=> опасность вылета щебня сильно возрастает при увеличении скорости поезда



Аэродинамика высокоскоростных поездов

Тема: Вылет щебня

- В режиме эксплуатации в летний период скорости $V_{\text{макс}} > 340$ км/ч разумны только при условии безбалластного пути.
- Для скоростей $V_{\text{макс}} > 280$ км/ч требуется особое качество щебня.
- В режиме эксплуатации в зимний период (лед и снег) скорости $V_{\text{макс}} > 250$ км/ч разумны только при условии безбалластного пути.
- Компания SNCF снижает скорость до < 200 км/ч, если в диапазоне критических температур ожидается снегопад.
(для Франции – порядка 20 дней в году, для России – порядка 90 дней)
- Поезд Velaro D успешно тестировался на скорости 350 км/ч при хорошем щебеночном балласте (благоприятные аэродинамические характеристики и противоударная защита на чувствительных узлах).

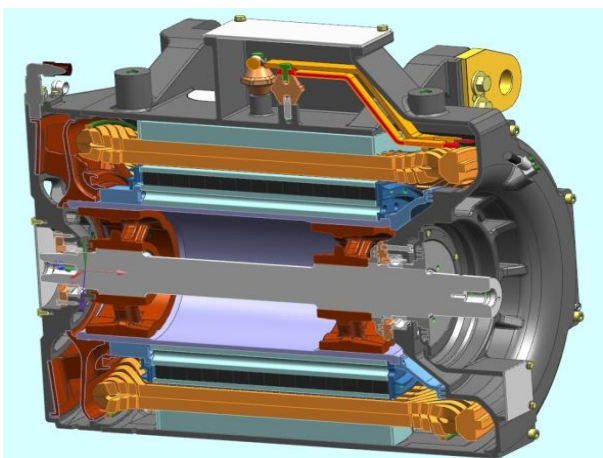
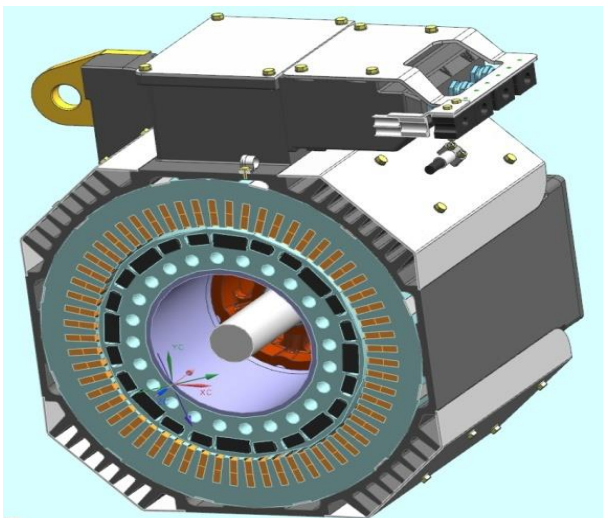
Дальнейшее развитие скоростных поездов Перспективы

Тяга

Сихронный двигатель
с постоянным
магнитом – ДПМ



Дальнейшее развитие скоростных поездов ДПМ - Технические особенности двигателя

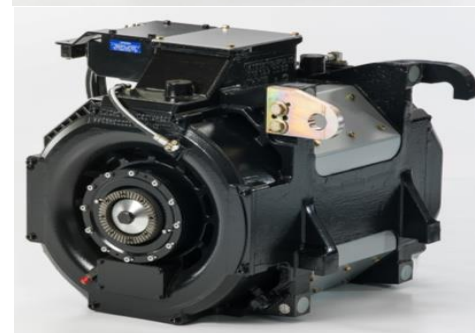


Техническое обоснование:

- **Очень низкие потери в роторе** благодаря использованию в роторе постоянных магнитов (NdFeB – неодим-железо-бор) вместо короткозамкнутого ротора .
- **Увеличенная мощность двигателя** на колесе – порядка **+33%** при одинаковом монтажном пространстве ТД и незначительном увеличении веса ДПМ.
- **Снижение эксплуатационных расходов и стоимости жизненного цикла** благодаря отсутствию вентиляторов на ТД и **увеличению КПД**.
- **Более высокая степень надежности** благодаря герметизированной обмотке, самоохлаждению и более низким температурам ротора и подшипников.

Актуальное состояние разработки ТД:

- Три ДПМ готовы.
- Готовность ДПМ к поставке – конец ноября 2014 г.
- Начало опытного испытания – май 2015г.



Пример высокоскоростного движение в России: Москва – Казан - Москва

8-вагонный поезд: тяговая мощность, время в пути и расход энергии

300 км/ч

		Степень 0	Степень 1	Степень 2	Степень 3
Необходимая тяговая мощность [МВт]		7 (8)	6,4 (8)	5,9 (8)	5,3 (8)
Тяговые двигатели		16хАТД 500 кВт	16хАТД 500 кВт	16хАТД 500 кВт	16хАТД 500 кВт
Расход энергии [МВт-ч]	ДПМ	24,9	22,8	20,7	18,6
Расход энергии [МВт-ч]	АТД	25,3	23,2	21,0	19,0
Время в пути		6 ч 22 мин			

350 км/ч

		Степень 0	Степень 1	Степень 2	Степень 3
Необходимая тяговая мощность [МВт]		10,5	9,5	8,8	7,8 (8)
Тяговые двигатели		16хДПМ 655 кВт	16хДПМ 595 кВт	16хАТД 550 кВт	16хАТД 500 кВт
Расход энергии [МВт-ч]	ДПМ	31,6	28,9	26,2	23,5
Расход энергии [МВт-ч]	АТД	32,1	29,4	26,7	23,9
Время в пути		5 ч 43 мин			

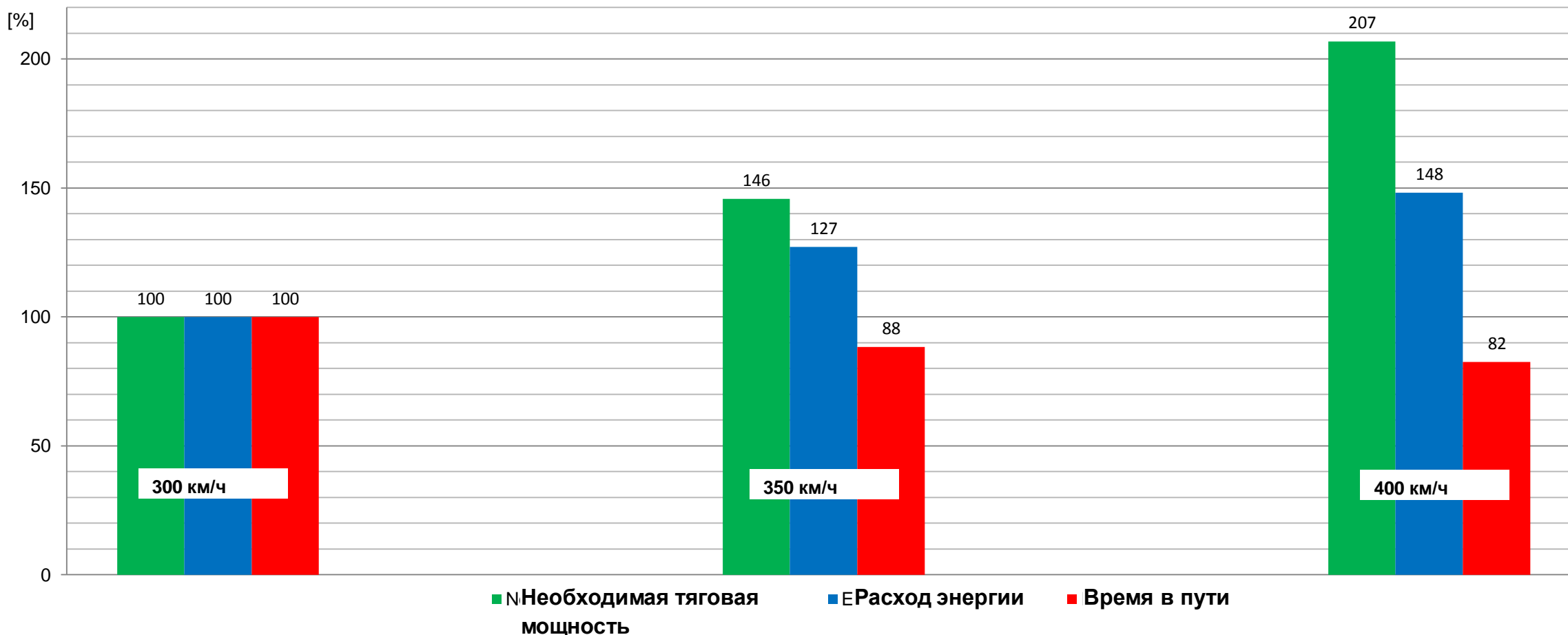
400 км/ч

		Степень 0	Степень 1	Степень 2	Степень 3
Необходимая тяговая мощность [МВт]		14,9	13,6	12,3	10,9
Тяговые двигатели		С 16 двигателями с постоянным магнитом невозможно			16хДПМ 680 кВт
Расход энергии [МВт-ч]	ДПМ	37,3	34,1	30,6	27,8
Расход энергии [МВт-ч]	АТД	37,9	34,7	31,1	28,3
Время в пути		5 ч 20 мин			

Высокоскоростное движение в России – Перспективы

Сравнение: тяговая мощность, время в пути и расход энергии

8-вагонный поезд VELARO RUS: тяговая мощность, расход энергии, время в пути



Высокоскоростного движение в России – Перспективы

Выводы:

Возможна реализация максимальной конструкционной скорости до 400 км/ч для 8-ми вагонных с 16-ю ДПМ и 12-вагонных поездов с 24-мя ДПМ.

Максимальная скорость для поезда из 10 вагонов с 16 тяговыми двигателями составляет 375 км/ч.

Скорость 400 км/ч требует высокой тяговой мощности и, соответственно, высокого расхода энергии, непропорциональной сокращению времени в пути ($\approx 50\%$ больше расхода энергии, чем при 300 км/ч, при сокращении времени следования на $\approx 18\%$)

Следование со скоростью до 300 км/ч можно реализовать при помощи асинхронных двигателей без оптимизации аэродинамических параметров. Однако за счет улучшения сопротивления движению посредством аэродинамической оптимизации можно сократить расход электроэнергии.

Ваши вопросы?

