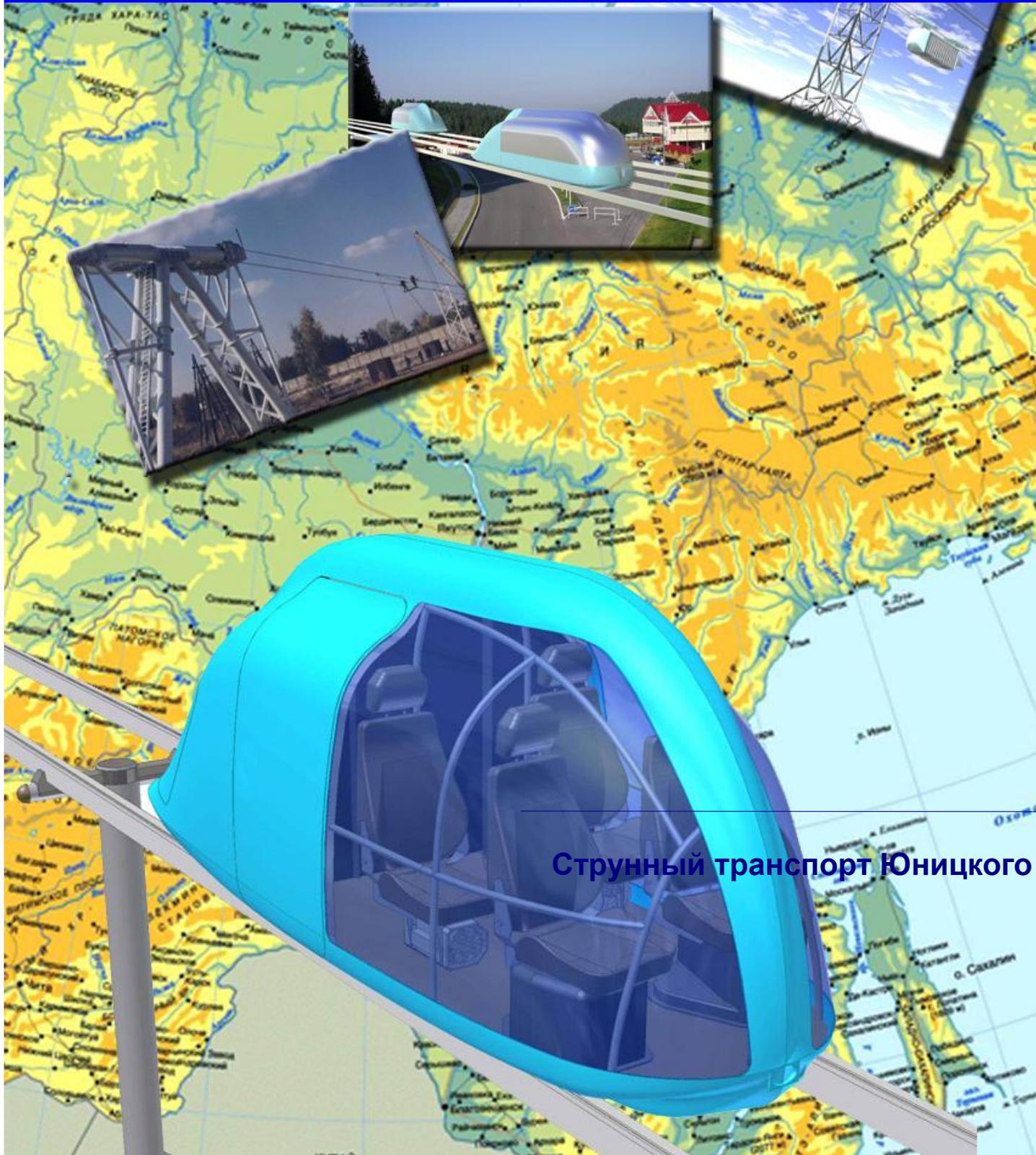


# Новый Дальний Восток



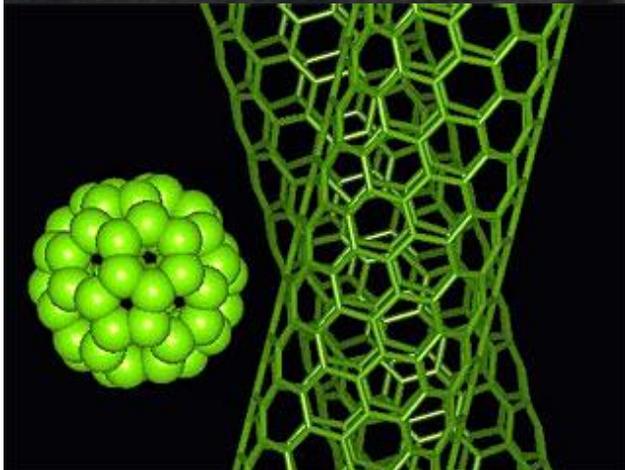
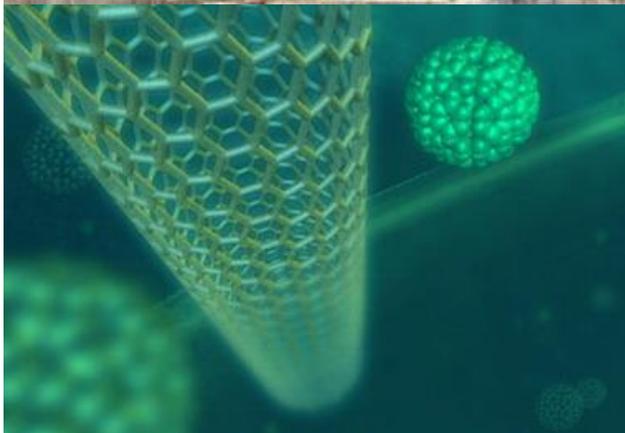
## Новый Дальний Восток

Проект «Грузопассажирская двухпутная транспортная система моноСТЮ с подвесным подвижным составом для перевозки руды в условиях промышленной добычи в Амурской области»

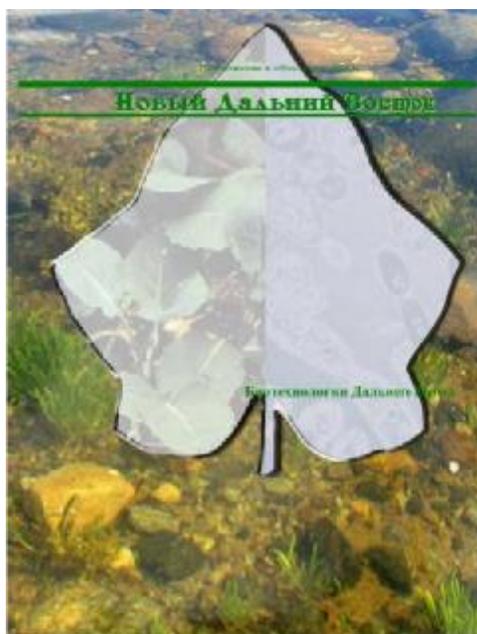
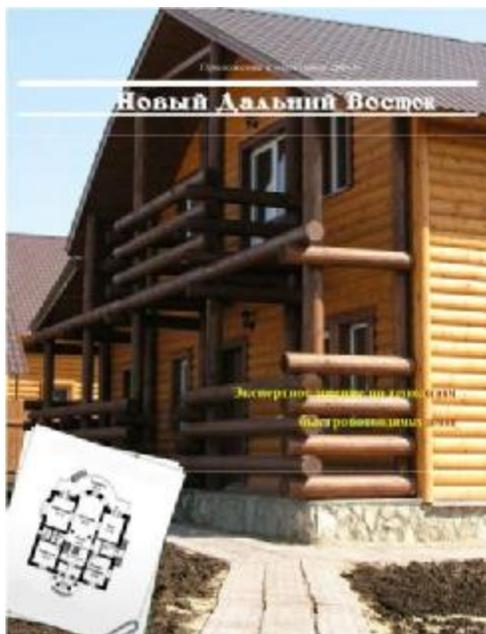
Юнибусы моделей Ю-314РТ и Ю-315РЕ в составе СТЮ колес 1000 мм

- Технические характеристики юнибусов
- Основные технические решения, используемые при разработке юнибусов
- Технико-экономические показатели юнибусов
- Путевая структура для движения высокоскоростных юнибусов
- Организация движения юнибусов по высокоскоростной трассе СТЮ
- Потребительские характеристики низкоскоростных (городских) и высокоскоростных (междугородных) юнибусов колес 1000 мм

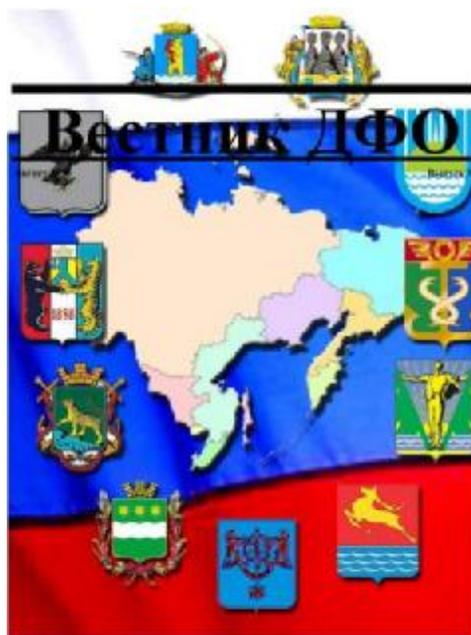
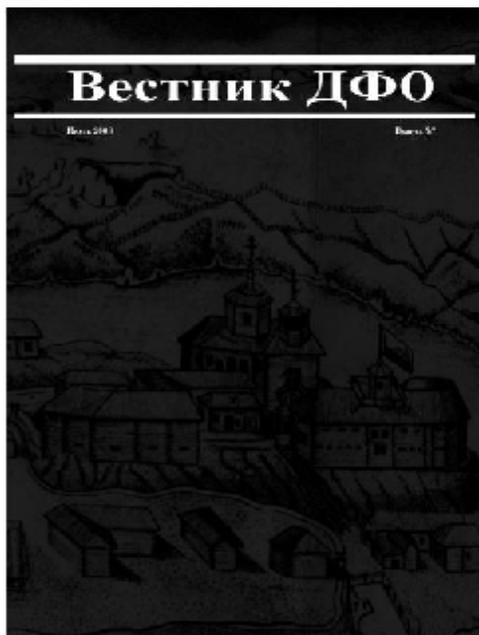
Партнеры



## Новый Дальний Восток



## Вестник ДФО





*Рельс-струна характеризуется высокой прочностью, жесткостью, ровностью, технологичностью изготовления и монтажа, низкой материалоемкостью (металл: 5—10 кг/м), широким диапазоном рабочих температур (от +70 до -70 °С).*

## Проект «Грузопассажирская двухпутная транспортная система моноСТЮ с подвесным подвижным составом для перевозки руды в условиях промышленной добычи в Амурской области»

Предлагается использование грузовых струнных трасс — тяжелого моноСТЮ — для обеспечения локальных перевозок на малые (2—10 км), средние (10—100 км) и большие (100—500 км) расстояния для подвоза сыпучих полезных ископаемых от карьеров к обогатительным производствам и существующим транспортным артериям, а также для организации грузопассажирских потоков.

Конструкция струнной путевой структуры моноСТЮ является разновидностью висячих и вантовых мостов с «провисающей» предварительно напряженной вантой, зашитой в балку жесткости, которая одновременно является рельсовым ездовым полотном для колесных транспортных модулей (подвижного состава) на стальных колесах, снабженных боковыми противосходными роликами.

Путевая структура моноСТЮ включает в свою конструкцию те же основные элементы, что и висячие мосты: размещенный с провисом на пролете предварительно напряженный растянутый элемент — витой или невитой канат

(струна), балка жесткости (головка рельса с корпусом), подвеска (специальный наполнитель внутри корпуса), пилоны (при необходимости промежуточные поддерживающие опоры) и анкерные устройства (анкерные опоры).

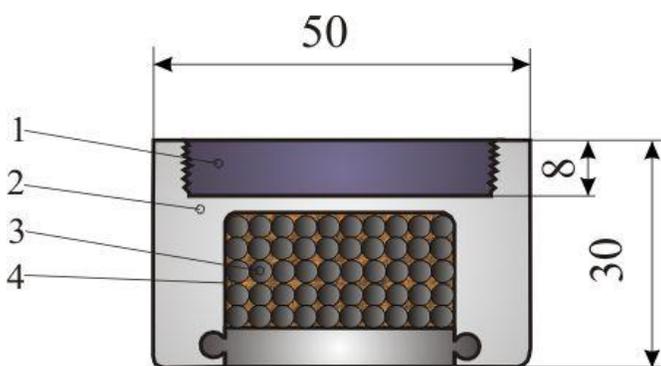
Обладая всеми основными преимуществами висячих мостов, струнная путевая структура моноСТЮ полностью лишена их недостатков благодаря тому, что предварительно напряженный элемент (струна) «зашит» в компактную балку жесткости, образуя с ней основной конструктивный элемент путевой структуры — прочный, жесткий и ровный рельс-струну. При этом рельс-струна моноСТЮ практически не обладает парусностью, т.к. его поперечные размеры будут на два порядка ниже, чем у висячих мостов (для предлагаемого варианта тяжелого моноСТЮ — 3×5 см), что позволяет перекрывать большие пролеты (400 м и более) без специальных мер по обеспечению аэродинамической устойчивости.

Высокую устойчивость рельсового пути моноСТЮ под действием вертикальных

(собственный вес, вес подвижного состава, льда или снега на головке рельса и др.) и горизонтальных нагрузок (ветровая нагрузка, тормозные усилия) обеспечивает и то, что путь в нем является однорельсовым с подвесным рельсовым автомобилем — моно-юнибусом, — который изначально, как и канатная дорога, не может потерять поперечную устойчивость.

Рельс-струна характеризуется высокой прочностью, жесткостью, ровностью, технологичностью изготовления и монтажа, низкой материалоемкостью (металл: 5—10 кг/м), широким диапазоном рабочих температур (от +70 до -70 °С). Представляет собой идеально ровный путь для движения колеса, так как по всей своей длине не имеет технологических и температурных швов (головка рельса сварена в одну плеть).

Оптимизированная конструкция предлагаемого варианта рельса-струны тяжелого моноСТЮ, рекомендуемая к использованию на трассах Амурской области для пролетов до



500 м, показана на рис. 1 в масштабе 1:1.

На рис. 2. показан общий вид двухпутной грузопассажирской трассы моноСТЮ.

Рис. 1. Поперечный разрез рельса-струны грузового тяжелого моноСТЮ для пролетов до 500 м (масштаб 1:1):

1 — стальная головка рельса; 2 — корпус из высокопрочного сплава алюминия (с впрессованной стальной головкой); 3 — струна (50

высокопрочных стальных проволок диаметром 3 мм каждая);

4 — композит (на основе эпоксидной смолы).

Основные характеристики рельса-струны: расход стали — 5,3 кг/м, высокопрочного сплава алюминия — 2,2 кг/м; общая масса — 7,7 кг/м; суммарное предварительное натяжение струн, корпуса и головки рельса — 75 тс (при +20 °С).



Рис. 2. Грузопассажирская трасса моноСТЮ (высота опор 20—30 м, длина пролетов 200—400 м)

Струна (см. рис. 1) состоит из отдельных предварительно натянутых высокопрочных стальных проволок диаметром 3 мм, размещенных параллельно друг другу вдоль рельса (прочность на разрыв проволоки ЖБК ТС71915393-053-2006 3,0, выпускаемой Волгоградским заводом ОАО «Северсталь-Метиз», составляет 22.000 кгс/см<sup>2</sup>; пробная партия этой проволоки изготовлена в 2006 г. по заказу ООО «СТЮ»).

Проволоки в струне омоноличены полимерным связующим на основе эпоксидной смолы, что повысит ее долговечность и коррозионную устойчивость, а в случае обрыва отдельных проволок (например, из-за дефектов изготовления), позволит им сократиться по

длине без существенного нарушения напряженно-деформированного состояния остальных напряженных элементов рельса.

Описанная особенность моноСТЮ позволит исключить температурные деформационные швы по длине путевой структуры (так же, как их нет, например, в телефонных линиях связи или линиях электропередач).

Максимальная длина пролета для данного типа моноСТЮ с вариантом конструкции рельса-струны, показанным на рис. 1, составляет 500 м, что позволяет без дополнительных капитальных затрат преодолевать такие преграды, как: реки, озера, овраги, существующие транспортные магистрали и их развязки и т.д.

Высота несущих мачт-опор (в среднем 20—30 м) зависит от рельефа местности и фактической длины пролетов (в среднем 200—400 м). Все опоры являются типовыми и состоят из типовых железобетонных, стальных или алюминиевых конструкций. Их производство возможно наладить на небольшом предприятии, например, в г. Благовещенске, с последующей доставкой к месту монтажа.

Провис рельса-струны на пролете, например, равном 300 м, составит: под собственным весом — 1,1 м, при нахождении груженого моно-юнибуса (весом 5 т) в центре пролета — 7,1 м. Поэтому из условий безопасности движения подвижного состава высота опор должна быть не менее 12 м.

Фундаменты опор, в зависимости от грунтов на трассе, могут быть свайными (забивные, винтовые, буронабивные или буроинъекционные сваи), либо плитными — монолитными или сборными. Опоры могут быть установлены на любых грунтах, имеющих в России — от болот до вечной мерзлоты.

Привод моно-юнибуса грузоподъемностью 3 тонны осуществляется

четырьмя независимыми электрическими мотор-колесами общей суммарной мощностью 6 кВт. При этом для движения на горизонтальном участке пути со скоростью 100 км/час груженому модулю необходима мощность 5,4 кВт, порожнему — 3,5 кВт.

Электропитание привода может осуществляться двумя способами:

- за счет электрификации самой линии;
- за счет автономных дизельных или бензиновых электрогенераторов, установленных в каждом моно-юнибусе.

Второй вариант наиболее оптимален. Он является не только менее затратным, но и более безопасным и предъявляет более низкие требования к обслуживающему персоналу.

Во втором варианте в каждом моно-юнибусе устанавливается по два дизельных или бензиновых электрогенератора мощностью 3—4 кВт каждый. Одной заправки топливом будет достаточно для непрерывной работы моно-юнибуса в течение нескольких суток.

Загрузка модулей рудой будет осуществляться на погрузочном терминале разреза через бункер-дозатор. Выгрузка руды — автоматическая, на сниженной скорости движения модуля, без его остановки. Движение по трассе также полностью автоматизировано.

При выходе из строя одного дизель-генератора, моно-юнибус доедет до конца трассы на втором. При поломке обоих дизель-генераторов модуль может двигаться на аккумуляторах (запас хода до 50 км), либо — в сцепке с сзади идущим модулем, т.к. моно-юнибусы оснащены автоматическими сцепными устройствами.

Поскольку весь процесс погрузки, транспортировки и выгрузки руды полностью автоматизирован, то количество обслуживающего персонала на 90 км трассы не

превысит 30 человек в одной смене. С учетом круглосуточной эксплуатации весь обслуживающий персонал трассы составит 90 человек.

Благодаря своим уникальным характеристикам, трасса моноСТЮ практически не имеет ограничений по сезонным и погодным условиям. Эксплуатация моноСТЮ станет невозможна только если скорость ветра достигнет 150 км/ч (двигателю модуля будет недостаточно мощности, чтобы двигаться против ветра; при боковом ветре трасса может эксплуатироваться при его скорости до 250 км/ч) или температура воздуха понизится до  $-70^{\circ}\text{C}$ , что в условиях Амурской области не реально. Не опасна для данной системы и вероятность обледенения путевой структуры, так как в месте контакта «колесо — рельс-струна» происходит разрушение и сбрасывание намерзающего льда, что было проверено экспериментально.

Основное название «грузовая» трасса моноСТЮ носит условно, так как она конструктивно более специализирована для грузовых перевозок. На самом же деле по этой трассе могут передвигаться 6—8-местные пассажирские модули. Поэтому для организации дополнительных пассажирских перевозок, кроме грузовых терминалов, необходимо построить небольшие пассажирские станции (объем пассажирских перевозок, дополнительных к грузовым, — до 1 тыс. пасс./сутки). Управление пассажирским модулем, как и грузовым, происходит в автоматическом режиме и в штатной ситуации не требует наличия оператора (водителя).

### Технико-экономические показатели Проекта

Технико-экономические показатели

грузовой двухпутной транспортной трассы тяжелого моноСТЮ в условиях Амурской области:

1. Назначение — перевозка железной руды от разреза до ГОКа.
2. Характеристики местности — заболоченная слабопересеченная местность с вечной мерзлотой.
3. Протяженность трассы — 90 км.
4. Планируемый объем перевозок — 10 млн. тонн руды в год.
5. Стоимость транспортной системы, всего — 65.800 тыс. USD, в том числе:
  - транспортная линия — 45.000 тыс. USD;
  - подвижной состав — 11.000 тыс. USD;
  - система контроля и автоматизации — 2.700 тыс. USD;
  - депо, ремонтные мастерские и заправочные станции — 2.500 тыс. USD;
  - предпроектная проработка — 400 тыс. USD;
  - проектно-изыскательские и проектно-конструкторские работы по путевой структуре, подвижному составу и системам управления — 3.600 тыс. USD;
  - прочие работы и непредвиденные затраты — 600 тыс. USD.
6. Подвижной состав:
  - грузоподъемность модуля — 3000 кг;
  - общая мощность двигателя модуля

— 6 кВт (2 дизельных или бензиновых электрогенератора по 3—4 кВт каждый); средняя мощность, развиваемая приводом модуля моноСТЮ за один оборот на трассе — 4,5 кВт (на горизонтальном участке пути с учетом груженого и порожнего пробега);

- средняя скорость движения — 100 км/час;
- коэффициент использования грузовых модулей на линии — 0,95;
- общая потребность в модулях — 740 шт., в том числе грузовых — 730 шт.

7. Планируемый срок службы транспортной системы — 50 лет, подвижного состава — 20 лет.

8. Годовые эксплуатационные издержки, всего — 8.714 тыс. USD, в том числе:

- обслуживающий персонал (90 чел.) — 864 тыс. USD;
- стоимость топлива — 5.800 тыс. USD (годовой расход топлива — 7.290 т, или на перевозку 1 т руды со скоростью 100 км/ч на расстояние 90 км с обратным порожним пробегом — 0,7 л);
- ремонт, содержание трассы, инфраструктуры и подвижного состава — 1500 тыс. USD;
- сумма амортизационных отчислений по подвижному составу — 505 тыс. USD.

9. Себестоимость перевозки 1 тонны железной руды на расстояние 90 км — 0,87 USD (при объеме перевозок 10 млн.

т/год; при увеличении объема перевозок удельные эксплуатационные издержки будут уменьшаться).

10. Удельные вложения на 1 км двухпутной транспортной системы — 731 тыс. USD.

11. Сроки строительства трассы и инфраструктуры — 18 месяцев.

## Выводы

Использование оноСТЮ для транспортировки железной руды в условиях Амурской области имеет неоспоримые преимущества перед другими транспортными системами:

- Возможность транспортировки 10 млн. тонн руды в год и эксплуатации трассы без нанесения существенного экологического ущерба природе. Данная грузовая трасса позволит, при необходимости, довести объем перевозимой руды до 15 млн. тонн в год.
- Относительно быстрое строительство трассы с использованием метода монтажа ее готовых элементов, при заранее выполненном основании под анкерные и промежуточные опоры, с общим сроком строительства не более 18 месяцев.
- Автоматизированный (без участия большого количества обслуживающего персонала) процесс перевозки руды и других грузов.
- Минимизация затрат на обустройство социальной инфраструктуры в районе разреза, за счет возможности перевозки обслуживающего персонала по грузовой трассе.
- Низкая материалоемкость и ресурсоемкость транспортной системы.

- Низкий расход топлива на перевозку 1 т руды на расстояние 90 км со скоростью 100 км/ч — 0,7 литра (с учетом затрат топлива на обратный порожний пробег подвижного состава).
- Капитальные затраты на строительство всей транспортной системы моноСТЮ (путевая структура, опоры, подвижной состав, депо и т.д.) более чем в два раза ниже по сравнению с прокладкой одной путевой структуры железной дороги III категории. И это без учета капитальных сооружений, прежде всего мостов, которые необходимы в большом количестве при прокладке железной дороги в условиях Амурской области.
- Полная окупаемость трассы в течение срока ее эксплуатации, с возможностью ее дальнейшего использования при реализации других проектов (срок службы путевой структуры и опор — до 100 лет, подвижного состава — 20—25 лет).
- Низкие эксплуатационные издержки.
- Минимизация экологического ущерба за счет подъема на опоры рельсо-струнной путевой структуры и применения оригинальной технологии ее монтажа, позволяющей избежать разрушения тяжелыми строительными машинами поверхностного почвенного слоя.



## Юнибусы моделей Ю-314РТ и Ю-315РЕ в составе СТЮ колеей 1000 мм

Рис. 1. Общий вид высокоскоростного юнибуса модели Ю-314РТ (вид спереди)

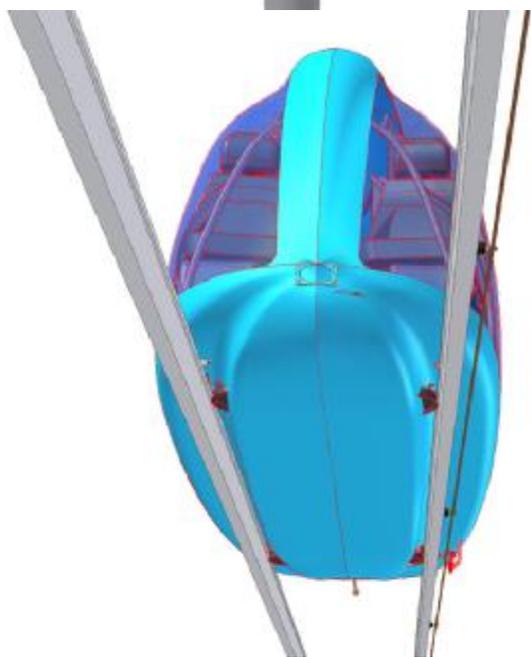
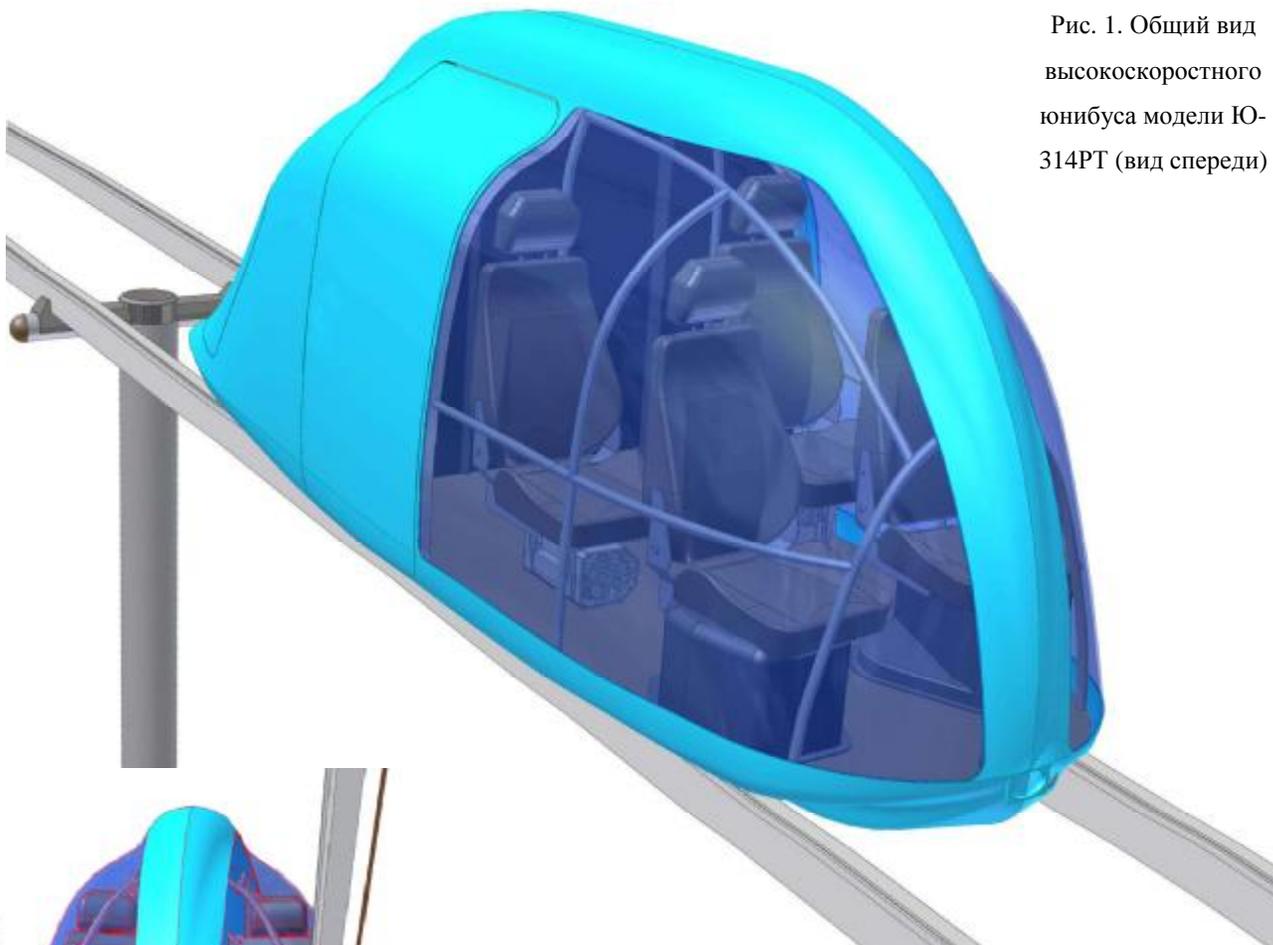


Рис. 2. Общий вид высокоскоростного юнибуса модели Ю-315РЕ (вид снизу)

### Технические характеристики юнибусов

Высокоскоростные пассажирские юнибусы в данном кратком описании представлены в двух принципиально различных вариантах исполнения:

- модель Ю-314РТ — с использованием в качестве силового агрегата дизельного двигателя (см. рис. 1);
- модель Ю-315РЕ — с использованием в качестве силового агрегата асинхронного электродвигателя (см. рис. 2).

Технические характеристики юнибусов базовых моделей Ю-314РТ и Ю-315РЕ приведены в табл. 1.

№	Параметр	Ю-314РТ			Ю-315РЕ
		Силовой агрегат			
		AFD-1.9TDI + 5HP19	ГАЗ 5602 + RL608	UM 612CDI + 5HP19	
1	Число пассажирских мест	4			4
2	Снаряженная масса, кг	900	930	960	840
3	Полная масса, кг	1200	1230	1260	1140
4	Распределение максимальной массы по осям пар колес, кг:  - передняя  - задняя	480  720	490  740	500  760	460  680
5	Габаритные размеры, мм:  - длина  - ширина  - высота  - высота над головкой рельса  - база  - колея  - клиренс	5280  1600  1935  1835  2750  1000  минус 100			

№	Параметр	Ю-314РТ			Ю-315РЕ
		Силовой агрегат			
		AFD-1.9TDI + 5HP19	ГАЗ 5602 + RL608	UM 612CDI + 5HP19	
6	Точность позиционирования юнибуса на станции, мм	±90			±30
7	Максимальная скорость, км /час	250	270	306	200
8	Время штатного разгона до максимальной скорости, мин	4,3	4,4	4,7	2,6
9	Длина штатного тормозного пути при начальной скорости, равной максимальной (уско-рение торможения 0,6 м/с <sup>2</sup> ), м	4014	4688	6021	2572
10	Максимальное штатное ускорение при разгоне и торможении, м/с <sup>2</sup>	0,6			
11	Среднее потребление электро-энергии при максимальной скорости, кВт×ч/100 км	—			19,5

№	Параметр	Ю-314РТ			Ю-315РЕ
		Силовой агрегат			
		AFD-1.9TDI + 5HP19	ГАЗ 5602 + RL608	UM 612CDI + 5HP19	
12	Средний расход дизельного топлива, л/100 км	7,3	10,0	11,0	—
13	Емкость топливных баков, л	120			—
14	Количество дверей	1			
15	Колесная формула	4×2 (с приводом на задние колеса)			

Юнибусы базовых моделей Ю-314РТ и Ю-315РЕ являются моделями повышенной комфортности, т.к. укомплектованы санитарно-гигиеническим блоком (туалетом) и климат-контролем салона. Кроме базовых моделей предусмотрены также модели повышенной вместимости (без туалета): Ю-314РТ1 и Ю-315РЕ1.

Юнибус модели Ю-315РЕ предназначен для эксплуатации на электрифицированной струнной

транспортной линии, Ю-314РТ — для неэлектрифицированной линии. Модель Ю-314РТ оснащена автономной энергетической установкой — двигателем внутреннего сгорания дизельного типа. Проработаны варианты оснащения модели Ю-314РТ тремя разной мощности дизельными двигателями.

Двигатель мощностью 30 кВт обеспечит скорость движения высокоскоростного юнибуса моделей Ю-314РТ и Ю-315РЕ с колеей 1000 мм в 200 км/ч, 65 кВт — 250 км/ч, 81 кВт — 270 км/ч, 115 кВт — 306 км/ч, 165 кВт — 360 км/ч, 220 кВт — 400 км/ч.

Эксплуатация юнибусов предполагается в автоматическом режиме. Предусмотрены также варианты выполнения юнибуса с полуавтоматическим управлением (с оператором на борту).

### **Основные технические решения, используемые при разработке юнибусов**

Высокоскоростные юнибусы базовых моделей конструктивно разделены на три отсека: пассажирский салон, туалетная кабина и силовой отсек.

Компоновка варианта Ю-315РЕ (с

электроприводом) в трехмерном изображении показана на рис. 3—5.

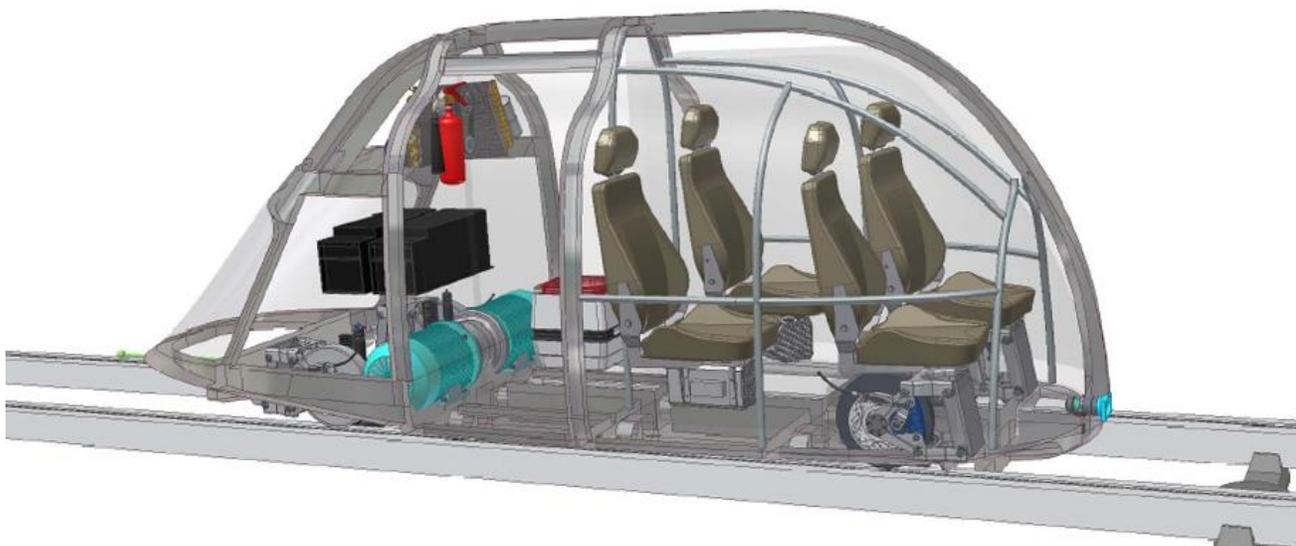


Рис. 3. Компоновка высокоскоростного юнибуса Ю-315РЕ  
(вид на носовую часть)



Рис. 4. Компоновка высокоскоростного юнибуса Ю-315РЕ  
(вид на корму)

Рис. 5. Компоновка высокоскоростного юнибуса Ю-315РЕ  
(вид сбоку)



Корпус юнибуса каркасный, несущий, металлический, с термошумо-изоляцией, однодверный, с окнами, с наружной и внутренней облицовкой.

Важнейшей отличительной особенностью корпуса высокоскоростных юнибусов является их высокая аэродинамичность внешних форм. Построение внешних форм юнибусов осуществлено с учетом результатов многократных продувок моделей высокоскоростных юнибусов масштаба 1:5 в ЦНИИ им. А.Н. Крылова (г. Санкт-Петербург), что позволило добиться снижения величины их коэффициента аэродинамического сопротивления ( $C_w$ ) до значений, значительно меньших 0,1 — до 0,075 (в тягово-динамических расчетах юнибуса этот коэффициент принят равным 0,1, что обеспечит запас мощности привода в 20%). Для сравнения, коэффициент аэродинамического сопротивления близкого по

габаритам к юнибусу семиместного минивена Ford Galaxy равен 0,38.

В табл. 2 приведен анализ влияния величины коэффициента аэродинамического сопротивления на технико-экономические показатели высокоскоростного юнибуса Ю-314РТ (при использовании одного и того же дизельного двигателя мощностью 115 кВт) на маршруте протяженностью 500 км.

Для построения высокоаэродинамичных внешних обводов корпуса высокоскоростного юнибуса использовались изобретения А.Э. Юницкого: «Высокоскоростной транспортный модуль» по евразийским патентам №№ 003490, 003535, 003534 и 003533, а также «Высокоскоростной транспортный модуль транспортной системы Юницкого» по патентам РФ №№ 2211781, 2201369, 2201368, 2203195, 2217339 и 2203194.

Таблица 2

Анализ влияния коэффициента аэродинамического сопротивления ( $C_w$ ) на технико-экономические показатели высокоскоростного юнибуса Ю-314РТ на маршруте протяженностью 500 км

Показатель	$C_w = 0,1$	$C_w = 0,38$	Ухудшение показателя, %
Максимальная скорость, км/ч	306	196	36
Время в пути на маршруте длиной 500 км	1 час 43 мин	2 часа 36 мин	52
Расход топлива на маршруте (мощность дизеля 115 кВт), кг	47,4	71,8	51

Если бы у высокоскоростного юнибуса Ю-314РТ или Ю-315РЕ коэффициент аэродинамического сопротивления был не 0,1, а 0,38, как у легкового автомобиля, то мощность его аэродинамического сопротивления при скорости 306 км/час составила бы 322 кВт. Юнибусу потребовался бы привод мощностью около 380 кВт (вместо 115 кВт), который при 20-ти часовой работе в сутки за срок службы юнибуса (20 лет) израсходовал бы лишнего топлива в количестве 9,3 тысяч тонн (или

12.400.000 литров дизельного топлива на один юнибус) стоимостью около 10 миллионов USD. При использовании даже небольшого парка высокоскоростных юнибусов на трассе протяженностью 500 км, например, в количестве 200 шт. (юнибусы на двухпутной трассе будут следовать друг за другом с интервалом 5 км),

аналогичная экономия топлива высокоскоростной транспортной системой СТЮ с колеей 1000 мм за 20 лет составит 2,48 млрд. литров стоимостью около 2 миллиардов USD. Эта экономия столь значительна, что она даже превысит первоначальную стоимость всей высокоскоростной транспортной системы СТЮ протяженностью 500 км и колеей 1000 мм: высокоскоростной двухпутной транспортной линии второго уровня, всего подвижного состава, станций, вокзалов, гаражей и других объектов транспортной инфраструктуры.

Поэтому высокая аэродинамичность внешних форм высокоскоростного юнибуса — одно из главных его преимуществ перед всеми другими известными транспортными средствами и, в частности, перед легковыми автомобилями, в том числе лучшими спортивными автомобилями.

В качестве силовой установки на юнибусах модели Ю-314РТ используется

дизельный двигатель. При использовании соответствующего топлива все варианты дизельных двигателей отвечают требованиям норм выброса вредных веществ двигателей внутреннего сгорания Евро-4.

В качестве силовой установки на юнибусах Ю-315РЕ используются по два асинхронных трехфазных электродвигателя, мощностью 15 кВт каждый, что позволяет развивать юнибусу скорость 200 км/ч.

Изменение частоты вращения ведущих колес и подводимого к ним тягового крутящего момента по величине и направлению производится:

- на модели Ю-314РТ при помощи автоматической коробки передач;
- на моделях Ю-315РЕ через управление тяговыми двигателями при помощи тяговых преобразователей.

Тормозная система Ю-314РТ включает остановочную гидравлическую двухконтурную систему автомобильного типа, стояночную и запасную (на основе стояночной).

Колесные тормозные механизмы — дисковые, с механическим приводом.

Тормозная система Ю-315РЕ состоит из электродинамической тормозной системы,

стояночной, запасной (на основе стояночной) и аварийной тормозных систем.

Ходовая система юнибусов — четырехопорная. Подвеска независимая.

Ходовая система, колесные тормозные механизмы, силовая передача и силовая установка юнибуса Ю-315РЕ показаны на рис. 6.

Колесо юнибуса представляет собой высокопрочный стальной обод, закрепленный на диске из высокопрочного алюминиевого сплава. Для снижения аэродинамических потерь при высокой скорости движения полости колес закрыты крышками. Функцию направляющего и противосходного устройства юнибуса выполняют четыре упорных боковых ролика, контактирующие с боковыми дорожками качения головок левого и правого рельсов-струн с их внутренней стороны (см. рис. 7). Ролики снабжены страховочными буртами, заходящими за низ расширения рельса в его верхней части, что принципиально исключает сход юнибуса с рельсо-струнной путевой структуры СТЮ во всем диапазоне скоростей движения.

Замена в противосходном устройстве традиционных на железной дороге реборд на боковые упорные ролики, а также обеспечение конструкцией ходовой системы линейного

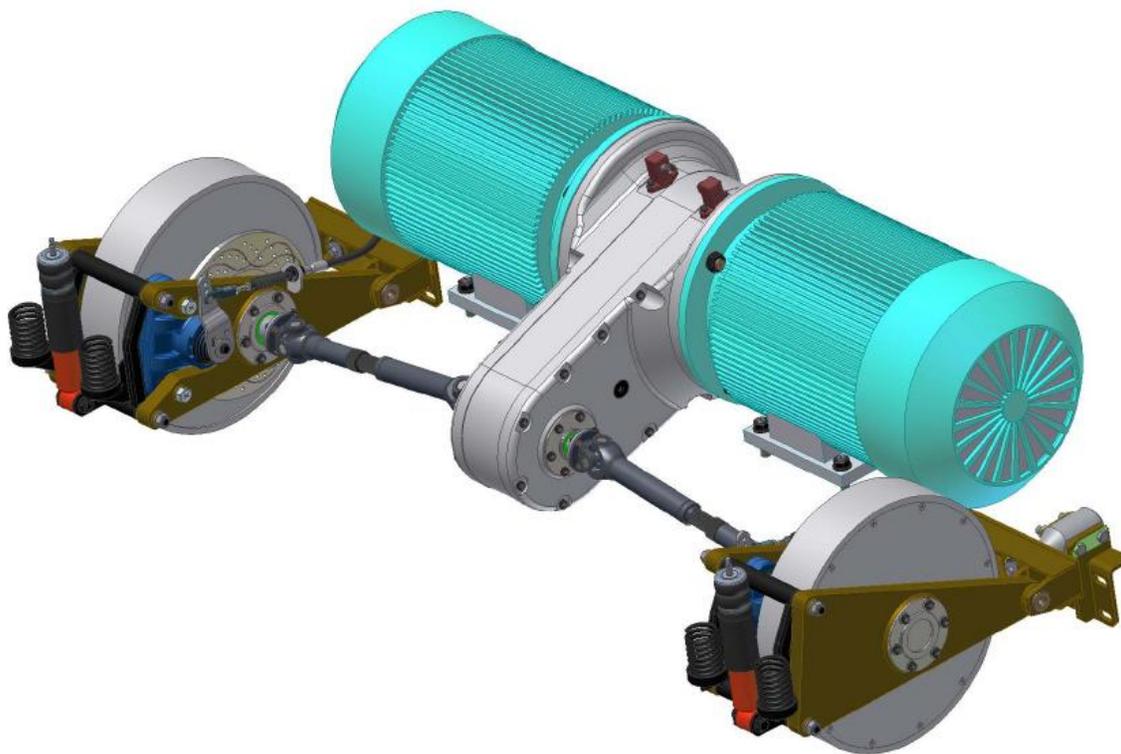


Рис. 6. Силовая установка, силовая передача, колесные тормозные механизмы и ходовая система юнибуса Ю-315РЕ

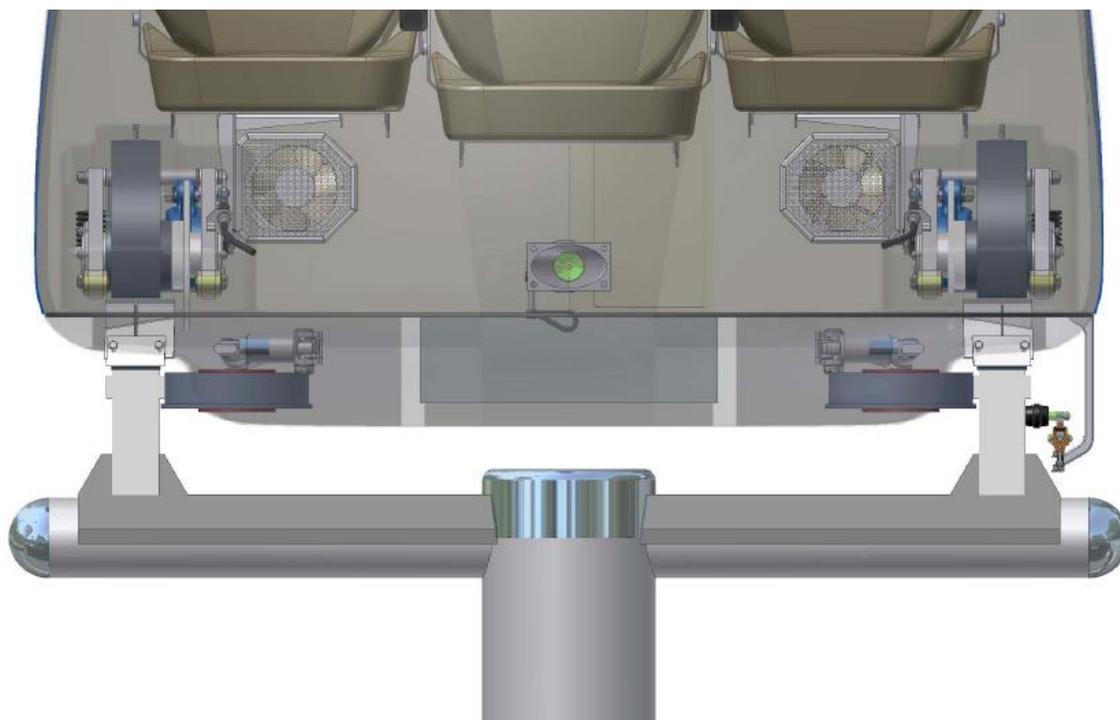


Рис. 7. Схема размещения направляющего и противосходного устройства юнибуса Ю-315РЕ (справа показан токосъем)

контакта цилиндрического обода колеса с плоской головкой рельса, позволили снизить коэффициент сопротивления качения ( $f$ ) до величины 0,0022 (с учетом сопротивления качению боковых противосходных роликов). Для сравнения, коэффициент сопротивления качению конического железнодорожного колеса, опирающегося на цилиндрическую головку рельса, составляет примерно 0,0045, а пневматической шины легкового автомобиля по асфальтобетону, в зависимости от скорости движения — от 0,024 (при скорости 100 км/ч) до 0,29 (скорость 306 км/ч).

В табл. 3 приведен анализ влияния коэффициента сопротивления качению колес на технико-экономические показатели юнибуса Ю-314РТ (рельсового автомобиля с колесей 1000 мм) в сравнении с вариантом, когда у него вместо стальных были бы пневматические автомобильные шины (для шин с давлением воздуха в них 2,5 кгс/см<sup>2</sup>).

Таблица 3

Влияние коэффициента сопротивления качения ( $f$ ) на технико-экономические показатели высокоскоростного юнибуса Ю-314РТ на маршруте протяженностью 500 км

Показатель	$f = 0,0022$ ( $C_w=0,1$ )	$f = 0,11$ ( $C_w=0,1$ )	Ухудшение показателя, %
Максимальная скорость, км/ч	306	194	36
Время в пути на маршруте длиной 500 км	1 час 43 мин	2 часа 38 мин	52
Расход топлива на маршруте (мощность дизеля 115 кВт), кг	47,4	72,1	52

Применение стальных колес с цилиндрическим опиранием и боковыми упорными роликами, в сравнении с пневматическими автомобильными шинами даст значительную экономию топлива. Например, если бы в юнибусе Ю-314РТ вместо стальных колес были бы резиновые автомобильные колеса, то при скорости 306 км/ч (т.е. как у юнибуса со стальными колесами) сопротивление их качению было бы равно  $f=0,29$ . На преодоление дополнительного сопротивления качению  $Df = 0,29 - 0,0022 = 0,2878$  при скорости 306 км/ч юнибусу понадобилась бы дополнительная мощность двигателя более чем в 300 кВт (с учетом потерь мощности в трансмиссии рельсового автомобиля). Тогда за срок службы (20 лет) при 20-ти часовой работе в

сутки один юнибус сэкономит на этом 10.500 тонн топлива (или 14 млн. литров дизельного топлива на один юнибус при эксплуатационной скорости 306 км/ч) стоимостью около 11 млн. USD. При использовании даже небольшого парка юнибусов на трассе протяженностью 500 км, например, в количестве 200 шт. (юнибусы на двухпутной трассе будут следовать друг за другом с интервалом 5 км), аналогичная экономия топлива высокоскоростной транспортной системой СТЮ с колеей 1000 мм составит за 20 лет 2,8 млрд. литров стоимостью 2,2 млрд. USD. Эта экономия превысит стоимость всей высокоскоростной транспортной системы протяженностью 500 км и колеей 1000 мм: высокоскоростной двухпутной трассы второго уровня, всего парка высокоскоростных юнибусов, а также станций, вокзалов, гаражей и других объектов инфраструктуры.

В табл. 4 приведен обобщенный анализ влияния коэффициента сопротивления качению колес и коэффициента аэродинамического сопротивления на технико-экономические показатели юнибуса Ю-314РТ (мощность двигателя 115 кВт).

Таблица 4

Влияние коэффициента сопротивления качения (f) и коэффициента аэродинамического сопротивления ( $C_w$ ) на технико-экономические показатели высокоскоростного юнибуса Ю-314РТ на маршруте протяженностью 500 км

Показатель	f = 0,0022 $C_w$ = 0,1 (юнибус)	f = 0,075 $C_w$ = 0,38 (легковой автомобиль)	Ухудшение показателя, %
Эксплуатационная скорость, км/ч	306	165	46
Время в пути на маршруте длиной 500 км	1 час 43 мин	3 час 04 мин	79
Расход топлива на маршруте (мощность дизеля 115 кВт), кг	47,4	84,6	78

Из табл. 4 видно, что такие важные показатели, как время на маршруте и расход топлива ухудшились бы для модели юнибуса Ю-314РТ (при использовании того же двигателя мощностью 115 кВт) почти на 80%, если бы технические решения, закладываемые в рельсовые автомобили СТЮ, остались бы на уровне традиционных решений, используемых в

настоящее время в транспортном машиностроении (коэффициент сопротивления качению резиновых колес  $f=0,024—0,29$  и коэффициент аэродинамического сопротивления транспортного средства  $C_w=0,38$ ).

Необходимо также отметить, что если бы легковой автомобиль, имеющий габариты юнибуса и поставленный на рельсо-струнную путевую структуру, развивал бы ту же скорость, что и юнибус (306 км/ч), то ему потребовался бы двигатель мощностью более 700 кВт (т.е. в 6 раз более мощный двигатель в сравнении с юнибусом), что было бы технически и экономически неприемлемо. Поэтому для СТЮ, в том числе и для юнибусов, потребовалась разработка собственных прогрессивных решений и своих стандартов, не используемых в других транспортных системах, в том числе в автомобильной промышленности и на железнодорожном транспорте.

В основу автоматизированной системы управления движением юнибусов на высокоскоростной междугородной двухпутной струнной транспортной системе колеей 1000 мм, заложены принципы автоматизированной системы управления транспортом АСУ-Т (разработка ФГУП «КНИИТМУ») с дублированием всех каналов управления и связи.

## Технико-экономические показатели юнибусов

---

Основные технико-экономические показатели юнибусов моделей Ю-314РТ и Ю-315РЕ для трассы протяженностью 500 км и колеей 1000 мм приведены в таблице 5.

Примечание. Расход топлива (электроэнергии) и стоимость затраченной энергии приведены для случая движения юнибусов с включенным на максимальную мощность кондиционером.

Таблица 5

Основные технико-экономические показатели высокоскоростных юнибусов Ю-314РТ/314РТ1 и Ю-315РЕ/315РЕ1 на маршруте длиной 500 км

Варианты юнибуса	Показатели					
	Скорость движения, км/ч	Время движения, мин	Количество пассажи-ров, чел.	Расход топлива (электроэнергии), л/100км (кВт×ч/100 км для Ю-315РЕ)	Стоимость затраченной на маршруте энергии	
					USD/юнибус	USD/пасс.
Ю-314РТ/ 314РТ1 с дизельной силовой установкой:						
- AFD-1.9TDI	250	2 ч 05 мин	до 6	7,3	25,6	4,3
- ГАЗ 5602	270	1 ч 56 мин	до 5	10,0	35,0	7,0
- UM 612CDI	306	1 ч 43 мин	до 5	11,0	38,5	7,7
Ю-315РЕ/ 315РЕ1 (электропривод)	200	2 ч 33 мин	до 6	19,5	7,8	1,3

## Путевая структура для движения высокоскоростных юнибусов

В данном разделе приводится краткое описание путевой структуры СТЮ, включающей в себя рельс-струну, два рельса на один путь, рельсо-струнную путевую структуру, опоры и инфраструктуру, т.к. технико-экономические показатели высокоскоростных юнибусов тесно связаны с технико-экономическими показателями высокоскоростной рельсо-струнной путевой структуры СТЮ.

### Рельс-струна

Рельс-струна — это обычная неразрезная (по длине) стальная, железобетонная или сталежелезобетонная балка, оснащенная головкой рельса и дополнительно усиленно армированная предварительно напряженной (растянутой) арматурой — струнами. Максимальное натяжение струн на один рельс, в зависимости от длины пролета, массы и скорости движения высокоскоростных юнибусов колеет 1000 мм, — 100—200 тонн. Сочетает в себе свойства гибкой нити — на большом пролете между опорами, и жесткой балки — на малом пролете (под колесом юнибуса и над опорой). Благодаря этому качение колеса

юнибуса будет плавным, безударным, как в середине пролета, так и над опорой. Рельс-струна характеризуется высокой прочностью, жесткостью, ровностью, технологичностью изготовления и монтажа, низкой материалоемкостью, широким диапазоном рабочих температур: от +70 °С до –70 °С. Представляет собой идеально ровный путь для движения стального колеса, так как по всей своей длине не имеет технологических и температурных швов (головка рельса сварена в одну плеть).

Поперечные размеры рельса-струны двухрельсового СТЮ колеет 1000 мм близки к поперечным размерам железнодорожного рельса Р65, а по расходу металла он менее материалоемок, чем традиционный железнодорожный рельс. Проектное натяжение струн в рельсе СТЮ зависит от расчетной массы юнибуса и расчетной скорости его движения, а также — от принятой длины пролетов. При этом строительный провис струны на каждом пролете «защит» внутри корпуса рельса, а головка рельса, наоборот, размещена в каждом пролете со строительным подъемом, равным проектной деформации (дополнительному прогибу струны) пролета при проезде юнибуса. Это выравнивает путь при движении рельсовых автомобилей и обеспечивает его высокую ровность при нахождении юнибуса как в середине пролета,

так и при прохождении опор, в том числе и при высокой скорости движения. При этом рельс-струна проектируется таким образом, чтобы, в совокупности с изгибной жесткостью пути и проектным натяжением струн, обеспечить величину вертикальных радиусов кривизны рельса, прогнутого под движущимся колесом юнибуса, не менее 500 м при скорости движения до 100 км/час, 5000 м — до 350 км/час и 10000 м — до 500 км/час, на всем протяжении трассы СТЮ независимо от погодных-климатических условий. Это также обеспечит более высокую ровность пути при движении легких и компактных четырехколесных рельсовых автомобилей, чем в случае использования громоздких, тяжелых и многоколесных поездов на высокоскоростной железной дороге, идущей по эстакаде на «втором уровне». При этом вертикальные ускорения в салоне юнибуса, обусловленные динамическими неровностями пути и определяющие для пассажиров комфортность движения, будут в пределах  $0,5 \text{ м/с}^2$  (на железной дороге эти ускорения в несколько раз выше). Таким образом, рельс-струна обеспечит «бархатный» путь для движения стального колеса, а колесо при этом не будет «прыгать» ни на опорах, ни в середине пролетов.

Для обеспечения плавного, бесшумного и безударного качения колес юнибусов по рельсо-

струнной путевой структуре, головка рельса должна обеспечить при скорости 300 км/час следующую ровность: на любом участке длиной 0,1 м — неровности не должны быть более 0,1 мм, длиной 1 м — более 1 мм, длиной 10 м (в одной трети пролета, имеющего длину 30 м) — более 10 мм. Таким образом, относительные неровности пути не должны быть более  $1/1000$ , что соответствует сегодняшним требованиям, предъявляемым к мостам, путепроводам и эстакадам на высокоскоростных железных дорогах. При этом неровности пути до 0,1 мм будут гаситься упругой демфирующей прослойкой каждого колеса, размещенной между ободом и ступицей, а более крупные неровности — подвеской колес и подвеской корпуса юнибуса. Механические колебания и звук будут гаситься демпферами, размещенными в колесах, подвеске юнибусов, а также — на каждой опоре (под рельсом-струной). Колебания и «звучание» путевой структуры при каждом проходе юнибуса будут погашены за десятые доли секунды опорными демпферами и наполнителем рельса-струны (за счет сил внутреннего трения).

По запасу прочности рельс-струна не имеет себе равных среди других строительных конструкций. Например, в двухрельсовом СТЮ запас прочности струны по воздействию подвижной нагрузки является более чем

стократным — находящийся в середине пролета юнибус практически не меняет напряжения предварительного растяжения в струне, т.к. эти изменения находятся в пределах  $10 \text{ кгс/см}^2$  (при допустимых действующими нормативами напряжениях в высокопрочной арматурной проволоке  $10.000\text{—}12.000 \text{ кгс/см}^2$  и прочности на разрыв планируемых к использованию проволок  $20.000\text{—}22.000 \text{ кгс/см}^2$ ).

С увеличением скорости движения юнибусов, их массы и длины рельсо-струнных пролетов требуемое натяжение струн в рельсо-струне увеличивается примерно пропорционально увеличению каждого из перечисленных параметров. Соответственно, пропорционально будет увеличиваться стоимость СТЮ, ухудшаться ее рентабельность и окупаемость. Поэтому тщательно должны быть оптимизированы все параметры СТЮ, а не какой-либо один из них: юнибусы, их расчетная скорость движения, масса и вместимость (исходя из планируемого объема перевозок по трассе), рельсо-струна, высота опор, длина пролетов, колея и др. В любом случае для тех же параметров высокоскоростной транспортной системы (объем перевозок, скорость движения, длина пролетов, высота опор и др.) СТЮ будет в 10—20 раз дешевле других известных транспортных систем «второго уровня»: монорельса, поезда на магнитном подвесе и

высокоскоростной железной дороги в эстакадных вариантах исполнения.

### **Струна**

Струна — высокопрочная предварительно напряженная арматура в виде стального витого или невитого каната отечественного или зарубежного производства. В зависимости от условий монтажа и эксплуатации могут использоваться обычные арматурные канаты, арматурные канаты с защитным покрытием или в защитной оболочке, в том числе в защитной смазке. Канаты могут поставляться с канатных заводов в готовом виде, либо монтироваться на месте производства работ из отдельных стальных проволок. Диаметр проволок, используемых для формирования струны, — 3—5 мм. В рельсо-струне может быть использовано от нескольких десятков, до нескольких сотен таких проволок.

### **Рельсо-струнная путевая структура**

Рельсо-струнная путевая структура двухрельсового легкого СТЮ представляет собой два рельса-струны, образующие колею шириной 1,0 м. Рельсы-струны закреплены в анкерных опорах, установленных через 1—5 км и более, и размещены на промежуточных

опорах-стойках с образованием пролетов длиной 30—35 м и более.

Путь в высокоскоростном двухрельсовом СТЮ выполнен со строительным подъемом 10—20 мм в середине каждого пролета (для длины пролета 30 м).

У путевой структуры имеются стрелочные переводы. Колея в двухрельсовом СТЮ в 2—3 раза больше высоты нахождения центра тяжести подвижного состава над головкой рельса, поэтому движение по такой путевой структуре будет в 2—3 раза более устойчивым, чем движение вагонов на высокоскоростной железной дороге.

Трассы СТЮ могут быть однопутными, двухпутными и многопутными.

Предельная скорость движения юнибусов на конкретной трассе двухрельсового СТЮ зависит от жесткости и ровности рельсо-струнной путевой структуры (она специально проектируется под необходимую предельную скорость движения — от 50 до 500 км/час), мощности двигателя и аэродинамических качеств корпуса юнибуса, который специально проектируется под заданную предельную скорость движения.

### **Опоры**

Опоры подразделяются на анкерные,

воспринимающие горизонтальную нагрузку от струн (устанавливаются через 1—5 км и более) и поддерживающие, воспринимающие вертикальную нагрузку (устанавливаются через 30—35 м и более). Опоры могут быть выполнены из железобетона (сборного или монолитного), стальных сварных конструкций, или высокопрочных алюминиевых сплавов. Фундаменты опор, в зависимости от грунтов на трассе, могут быть свайными (забивные, винтовые, буронабивные или буроинъекционные сваи), либо плитными — монолитными или сборными. Опоры и неразрезной рельс-струна на всем своем протяжении образуют достаточно жесткую рамную конструкцию, поэтому несущая способность опор увеличена, например, в сравнении с монорельсовой дорогой в 8 раз (стоимость опор, соответственно, снижена). Если опоры СТЮ заменить на насыпь такой же высоты, то насыпь будет дороже опор. Оптимальная высота опор — 3—5 м. На отдельных участках трассы, при необходимости, высота опор может быть снижена до 1 м и менее, и, наоборот, увеличена до 10—20 м и более.

### **Инфраструктура «второго уровня»**

Включает станции, вокзалы, погрузочные и разгрузочные терминалы, гаражи, заправочные станции, размещенные на «втором уровне», а также стрелочные переводы. В зависимости от расчетной скорости движения юнибусов

стрелочные переводы подразделяются на низкоскоростные, скоростные и высокоскоростные, а по типу организации движения — с остановкой юнибуса или без его остановки (на ходу). Стрелочные переводы размещаются в станциях, вокзалах, грузовых терминалах, гаражах и, при необходимости, — на трассе на анкерных опорах.

Благодаря подъему путевой структуры на второй уровень в СТЮ расширяются возможности по устройству станций и терминалов. Благодаря более благоприятным режимам эксплуатации рельсового автомобиля, уменьшается потребность в гаражах и заправочных станциях в сравнении с традиционным автотранспортом. Компактность юнибуса позволяет уменьшить размер и, соответственно, стоимость вокзалов, станций и длину перрона в 5—10 раз в сравнении с железнодорожными.

## Организация движения юнибусов по высокоскоростной трассе СТЮ

Целесообразнее всего организовывать одиночное движение юнибусов по высокоскоростной трассе СТЮ. Объединение юнибусов в поезда, по аналогии с железной дорогой, привело бы к удорожанию путевой структуры и опор в 2—3 раза, но не привело бы к увеличению провозной способности транспортной системы. Наоборот, громоздкие и тяжелые поезда, с целью повышения безопасности, должны следовать с большими интервалами, исчисляемыми десятками минут, поэтому на железных дорогах за 1 сек проезжает около 1 пассажира (1 поезд / 10 мин  $\approx$  1 пасс./сек). Если в СТЮ интервал движения юнибусов будет 10 сек, то пятиместные рельсовые автомобили обеспечат примерно тот же объем перевозок, что и железная дорога: 0,5 пасс./сек в одну сторону, или 1 пасс./сек в обе стороны, или 3.600 пасс./час, или 86.400 пасс./сутки, или 31,5 млн. пасс./год. При этом, например, при скорости 360 км/час (или 100 м/с), расстояние между движущимися соседними юнибусами на путевой структуре составит 1 км, что является безопасным расстоянием.

В случае нештатной ситуации, например, в результате поломки двигателя у одного из

юнибусов, он начнет замедлять скорость своего движения со средним ускорением около  $0,5 \text{ м/с}^2$ , из-за аэродинамического торможения и возникших в трансмиссии помех движению. Тогда юнибус, работающий в нештатном режиме, полностью остановится через 200 сек (при начальной скорости 360 км/ч), пройдя при этом путь в 10 км. Между ним и сзади идущим (на начальном расстоянии 1 км) юнибусом начнет сокращаться расстояние. Если не предпринимать никаких мер по избежанию столкновения, оно произойдет через 63,2 сек на скорости 31,6 м/с (113,8 км/ч). Однако такого количества времени более чем достаточно, чтобы затормозить сзади идущие юнибусы (в автоматическом или ручном управлении) и избежать столкновения не на скорости 360 км/ч, а на традиционной для автомобильных дорог относительной скорости около 110 км/ч.

В штатных режимах разгона и торможения юнибусов принято комфортное для пассажиров ускорение —  $0,6 \text{ м/с}^2$ . Это будет для пассажира значительно комфортнее, чем, например, в салоне самолета при его взлете и посадке (ограниченная длина взлетно-посадочной полосы не позволяет значительно снизить такое ускорение, до  $0,6 \text{ м/с}^2$ , хотя длина этой полосы и достигает значений 3 км и более).

Поскольку пассажиропотоки между отдаленными друг от друга городами в 86,4 тыс.

пасс./сутки маловероятны, то при увеличении интервала движения юнибусов в 3 раза (до 30 сек), суточный объем перевозок составит около 30 тыс. пассажиров, при этом среднее расстояние между соседними, движущимися в одном направлении, юнибусами на трассе будет 3 км.

Для увеличения провозной способности высокоскоростной трассы СТЮ в будущем юнибусы могут объединяться в поезда, но не с механической, а с электронной сцепкой, когда расстояние между соседними юнибусами в таких поездах составит безопасное расстояние в 100—500 м. В одном «поезде» может быть 3—5 юнибусов и более, а «поезда» будут следовать друг за другом с интервалом, например, 30 сек, достаточным для посадки-высадки на станциях 5 пассажиров в юнибус, или 15—25 пассажиров в «поезд». При этом провозная способность трассы СТЮ возрастет в несколько раз, превысив 100 тыс. пасс./сутки. В этом случае станция должна быть рассчитана на одновременный прием 3—5 юнибусов и более и должна иметь перрон длиной 20—30 м и более.

При погрузке в юнибус 200—500 кг грузов, размещенных в специальных небольших контейнерах, такие высокоскоростные трассы СТЮ с колеей 1000 мм могут обеспечить объем грузовых перевозок в 2—3 тыс. тонн в сутки и более. Такого объема высокоскоростных

грузовых перевозок, в дополнение к пассажирским, например, достаточно, чтобы обеспечить продуктами питания город с населением 1—2 млн. человек и более. Грузовые места в юнибусе, в дополнение к багажным, могут быть созданы путем уменьшения количества пассажирских мест. Поэтому высокоскоростные юнибусы могут быть как пассажирскими, так и грузопассажирскими и чисто грузовыми.

## **Потребительские характеристики низкоскоростных (городских) и высокоскоростных (междугородных) юнибусов колес 1000 мм**

Любая транспортная система, как таковая, в том числе подвижной состав, ее конструктивные особенности и стоимость мало интересуют потребителя, который, оплачивая проезд, приобретает транспортную услугу, и, таким образом, опосредовано оплачивает создание и эксплуатацию системы, в том числе и транспортного средства. Качество этой услуги и интересует, в первую очередь, потребителя: комфортность, безопасность, экологичность, доступность, экономичность, всепогодность и др. При этом ни транспортное средство, ни дорога в отдельности не обеспечат реализацию транспортной услуги, поэтому в подобном анализе юнибусы не могут рассматриваться отдельно от рельсо-струнной путевой структуры и инфраструктуры СТЮ.

### **Комфортность**

СТЮ даст человеку возможность, наряду с комфортным решением основной функциональной задачи — быстрой и безопасной доставкой пассажира, — решать

эстетические функции. Большая площадь остекления юнибуса, комфортные сидения, мягкий бархатный путь превратят обычную дорогу в наслаждение окружающим городским или природным пейзажем с высоты птичьего полета. Каждый юнибус будет снабжен системой климат-контроля, причем исходный воздух будет чист, т.к. будет забираться на высоте 5—6 м и более (а не у поверхности асфальта, как на существующем автомобильном транспорте), в нем будут отсутствовать, в отличие от автомобильных дорог, запах горюче-смазочных материалов и нагретого на солнце асфальта, выхлоп продуктов горения потока автомобилей и т.п.

Движение рельсовых автомобилей по рельсо-струнной путевой структуре не зависит от погодных и дорожных условий (ветер, дождь, снег, туман, гололед и др.), на трассе нет светофоров, пересечений в одном уровне с другими видами транспорта и пешеходами, поэтому средняя скорость движения на СТЮ будет в 3—4 раза выше, чем в существующем наземном транспорте, расположенном на поверхности земли (автомобильные и низкоскоростные железные дороги). Это повысит комфортность для пассажиров, т.к. они быстрее и в более безопасных и комфортных условиях воспользуются транспортной услугой.

Высокая возможная частота следования

транспортных модулей (каждые 1—2 минуты, а в часы пик — 20—30 сек. и менее) и относительно небольшая их вместимость позволят избежать скопления пассажиров на станциях и остановках, ускорят посадку—высадку пассажиров и, в конечном итоге, повысят комфортность транспортной услуги.

Благодаря малым размерам юнибусов колеей 1000 мм и пониженной их вместимости (в сравнении с автобусом, троллейбусом, трамваем и железнодорожным поездом), рельсовые автомобили СТЮ будут следовать с высокой частотой. Поэтому пассажиры не будут долго стоять на остановке в ожидании транспорта, что особенно важно в экстремальных погодных условиях (сильный мороз, ветер, проливной дождь, жара и т.д.), а также для пожилых людей, детей, людей с ослабленным здоровьем.

Автобусы, троллейбусы и трамваи, из-за своих больших габаритов, в значительной степени способствуют образованию дополнительных «пробок» на современных городских улицах с интенсивным движением легковых автомобилей (не приводя к уменьшению количества этих автомобилей), создавая дискомфорт не только для своих пассажиров, но и для пользователей других видов городского общественного транспорта, а также личных автомобилей и такси.

Уязвимая электрическая сеть существующего электрифицированного городского транспорта, подвешенная пролетами 30—50 м на многочисленных эластичных и не очень прочных растяжках, является его слабым местом, т.к. часто случается обесточивание линий, обрывы медного провода, разрушение электроизоляторов, короткие замыкания и т.п., что нарушает график движения городского транспорта и создает дискомфорт пассажирам (в электрифицированных вариантах СТЮ контактный провод подвешен пролетами 2—3 м к жесткому и прочному рельсу-струне в непосредственной близости от него).

Высокоскоростная междугородная трасса СТЮ может прийти в центр города, поэтому пассажиру не придется далеко добираться до вокзала или станции СТЮ, в отличие, например, от авиационных транспортных услуг. Например, из-за удаленности аэропортов, потерь времени на предварительное приобретение билетов, регистрацию пассажиров, их посадку—высадку, рулежку самолета и др., средняя скорость авиаперевозок для среднестатистического пассажира («от двери до двери») на расстояниях 500—1000 км составляет всего 150—180 км/ч, что значительно хуже, чем в СТЮ и, соответственно, менее комфортно, т.к. требует от пассажира дополнительных затрат энергии, денег и времени.

Благодаря высокой частоте следования юнибусов они будут работать без расписания, а пассажиры будут пользоваться ими по принципу: «пришел, сел, уехал». Это исключит стояние в очередях не только на посадку в транспортное средство, но и на приобретение билета, что, например, в настоящее время на железнодорожном транспорте и в авиационных перевозках отнимает у пассажиров достаточно много времени (зачастую больше времени, чем сама поездка) и поэтому некомфортно.

Вход в юнибус, даже самый компактный, с колеей 1000 мм, — во весь рост пассажира, проход по юнибусу — также во весь рост, комфортные сиденья, по одному в ряду, без соседей, наличие аудио- и видеосистемы, санитарно-гигиенического блока (туалетной кабинки) из расчета на 4—5 человек (в самолете одна туалетная кабинка приходится на 20—40 человек, в купейном вагоне железной дороги — на 18 человек) сделают поездку комфортной для пассажира с самого начала — с посадки в юнибус.

### **Безопасность**

Самым опасным для рельсового транспорта является разрушение путевой структуры. Рассмотрим вероятность этого в СТЮ. СНиП 2.05.03-84\* «Мосты и трубы» допускает расчетные напряжения в

высокопрочной проволоке пролетных строений мостов, равные, например, для проволоки диаметром 5 мм  $10.750 \text{ кгс/см}^2$ , при этом предельные (разрушающие) напряжения для этой проволоки составляют  $17.600 \text{ кгс/см}^2$ . За весь срок эксплуатации (100 лет) напряжения растяжения в струне путевой структуры легкого СТЮ будут изменяться от  $8.635$  до  $10.750 \text{ кгс/см}^2$ , при этом температура (от  $+45^\circ\text{C}$  до  $-55^\circ\text{C}$ ) даст диапазон изменения напряжений в струне на  $2.000 \text{ кгс/см}^2$ , максимальный ветер (скорость  $250 \text{ км/час}$ ) —  $30 \text{ кгс/см}^2$ , максимальное оледенение ( $20 \text{ кг}$  льда на погонный метр рельса-струны) —  $25 \text{ кгс/см}^2$ , подвижной состав (два юнибуса в механической сцепке, движущиеся в середине пролета) —  $60 \text{ кгс/см}^2$ . В этом случае запас прочности струны по напряжениям от подвижного состава составит:  $(17.600 \text{ кгс/см}^2 - 10.750 \text{ кгс/см}^2) / 60 \text{ кгс/см}^2 = 114$  раз. Нигде в транспортной технике сегодня нет таких (стократных) запасов прочности, а в СТЮ он создается благодаря особенной, присущей только струнной системе, кинематической схеме нагружения струны внешними нагрузками (поперечными по отношению к струне). Из приведенного примера следует, что обрыв струны произойдет только в том случае, если по СТЮ поедет вместо юнибуса весом  $1,5$  тонны транспортное средство, вес которого превышает  $150$  тонн, либо если скорость ветра превысит  $1000 \text{ км/час}$ , либо если ударит мороз ниже  $-200^\circ$

С, что нереально.

Рельсовый автомобиль СТЮ имеет высокую устойчивость движения по путевой структуре благодаря стальным колесам, оснащенным противосходной системой, независимой подвеске каждого колеса и высокой аэродинамичности корпуса. На действующих моделях масштаба 1:15, 1:10 и 1:5, а также на опытном участке СТЮ моделировались различные аварийные ситуации. Например, разрушение двух промежуточных опор подряд, посторонние металлические предметы высотой 3 см на обоих рельсах, сильный боковой ветер и землетрясение силой 10 баллов по шкале Рихтера, действующие одновременно, не приводят к сходу рельсового автомобиля со струнной путевой структуры при невысоких скоростях движения (до 80 км/час).

Предельно допустимая расчетная скорость прохождения юнибусом колеи 1000 мм криволинейного участка пути радиусом 10 км, без устройства на кривой виража, составляет 950 км/ч (из условий бокового опрокидывания). Учитывая, что максимальная эксплуатационная скорость такого юнибуса не превысит 400 км/ч, можно с уверенностью утверждать о наличии большого запаса его динамической устойчивости на горизонтальных кривых высокоскоростных трасс СТЮ, имеющих радиус не менее 10 км.

Подвижной состав СТЮ может эксплуатироваться при ураганном ветре. Например, чтобы сбросить юнибус колеи 1000 мм с пути, сила давления бокового ветра должна превысить вес модуля, при этом должна быть разрушена противосходная система, для чего боковому ветру необходимо иметь скорость более 310 км/час, что нереально.

Нештатная остановка, по тем или иным причинам, юнибуса на трассе не рассматривается в СТЮ как аварийная ситуация. Она предусмотрена в штатной программе управления транспортной системой как эксплуатация СТЮ в другом, менее скоростном режиме. В случае, если началось замедление скорости движения юнибуса, например, из-за поломки двигателя, то сзади идущий юнибус, находящийся с ним в электронной сцепке, также начинает автоматически замедлять свою скорость, постепенно сближаясь с впереди идущим модулем, пока не состыкуется с ним на нулевой относительной скорости с помощью автоматических стыковочных узлов, которыми снабжены все юнибусы. Эта стыковка может быть осуществлена как при полной остановке модулей, так и на определенной скорости. При этом важна не абсолютная скорость стыкуемых транспортных средств, четко направляемых поднятой на высоту рельсовой путевой структурой, а — относительная скорость,

которая в СТЮ не должна быть более 5 км/ч (например, космические корабли стыкуются на орбите при абсолютной скорости 8 км/сек и это не представляет опасности). Механически состыковавшись, сзади идущий юнибус берет на себя управление образовавшимся поездом из двух юнибусов, выполняя функцию локомотива. Один юнибус в сцепке может буксировать до трех неисправных рельсовых автомобилей.

Сцепка из двух юнибусов, один из которых будет неисправным, на электрифицированной линии, когда у локомотива будет мощность 30 кВт (юнибус Ю-315РЕ), сможет развивать скорость 145 км/час. На этой скорости, т.е. практически без изменений режимов движения подвижного состава (145 км/час вместо 200 км/час) вышедший из строя юнибус доставляется на ближайшую, находящуюся по ходу движения, станцию, где он с помощью стрелочного перевода выводится с линии и отправляется на ремонт. Пассажиры при этом пересаживаются на другой юнибус и следуют дальше (для этого каждая станция должна иметь резервный юнибус).

В случае выхода из строя юнибуса Ю-314РТ, с дизельным двигателем мощностью 115 кВт, сцепка из двух таких юнибусов, один из которых станет локомотивом, сможет развить скорость 220 км/час (вместо 306 км/час для

одиночных юнибусов).

Таким образом, даже в результате выхода из строя одного из юнибусов, трасса СТЮ на этом участке перейдет на другой скоростной режим, со скоростью лишь на 30% более низкой, пока данный юнибус не будет выведен с линии (при расстоянии между соседними станциями 50 км на это уйдет не более 15—20 мин.). При этом на трассе СТЮ не будет создаваться аварийная ситуация, угрожающая жизни и здоровью людей.

Если же у аварийного юнибуса будут заклинены все колеса, то сцепка может быть составлена из трех юнибусов, два из которых станут локомотивами и аварийный модуль все равно будет доставлен на ближайшую станцию. При этом, даже с полностью заклиненными колесами, внезапно перешедший в нештатный режим эксплуатации юнибус не сможет мгновенно остановиться — он проедет юзом 1800 м (при начальной скорости 306 км/час и при ускорении замедления  $2 \text{ м/с}^2$ ) и, таким образом не создаст аварийной обстановки для сзади идущих юнибусов.

Эвакуация пассажиров из юнибуса на трассе предусмотрена лишь в чрезвычайных ситуациях, когда дальнейшее их нахождение в нем представляет опасность для жизни людей. Эвакуация может быть осуществлена путем

перехода в специальный эвакуационный модуль, подогнанный к юнибусу по этой же линии, либо пассажиры с помощью специального тросового эвакуатора, которым снабжен каждый юнибус, спускаются на поверхность земли.

В России на дорогах (автомобильных и железных) ежегодно гибнет 35—40 тыс. человек, причем этот показатель с годами ухудшается. В городах повышенную аварийность и гибель пассажиров и пешеходов на дорогах создают, в основном, автобусы, троллейбусы, трамваи, микроавтобусы. В среднем по стране за последующие 50—100 лет (срок службы СТЮ) на указанных дорогах общей протяженностью 800 тыс. км погибнет около 2—3 млн. человек и 20—30 млн. получают травмы, станут инвалидами и калеками, или на один километр протяженности дорог: 3—4 чел./км и 25—40 чел./км соответственно. Аварийность на поднятой над землей на второй уровень рельсо-струнной системе СТЮ будет значительно ниже, чем у современных скоростных железных дорог, проложенных по поверхности земли (например, по огражденным и поднятым над землей высокоскоростным железным дорогам Японии за 40 лет перевезено порядка 10 млрд. пассажиров и ни один из них не погиб). Цена 3—4 человеческих жизней и 25—40 случаев инвалидности людей на 1 км существующих дорог превышает стоимость 1 км трасс СТЮ.

Только одно это оправдывает строительство рельсовых дорог второго уровня на базе струнных технологий, как более безопасных и менее затратных, чем традиционные балочные конструкции пролетных строений.

На существующем электрифицированном наземном городском транспорте имеется опасность поражения высоким электрическим напряжением обслуживающего персонала и пассажиров, в то время как на поднятых на второй уровень электрифицированных трассах СТЮ такая опасность отсутствует.

### **Всепогодность**

СТЮ является всепогодным транспортом. Поэтому ни проливной дождь, ни ураганный ветер, ни снежные заносы на трассе не повлияют на график движения рельсовых автомобилей. СТЮ сможет работать и при наводнениях, когда традиционный наземный транспорт будет парализован, а также при землетрясениях и других стихийных бедствиях.

Путевая структура СТЮ зимой не требует очистки от снега и льда, в то время как, например, содержание проезжей части городских дорог в надлежащем состоянии в условиях продолжительной зимы с обильными снегопадами требует затрат в 10—20 тыс. USD в год на один километр протяженности улиц (сюда входит не только зарплата занятых на уборке

снега людей, но и стоимость снегоуборочных машин и самосвалов для вывоза снега, расход горюче-смазочных материалов, ухудшение дорожно-транспортных условий на период уборки снега и увеличение дорожно-транспортных происшествий с повреждением транспортных средств, травматизмом и гибелью людей, простой общественного городского транспорта и личного транспорта, опоздания на работу из-за образования «пробок», расход антиобледенительных реагентов и др.). За срок службы городских участков трасс СТЮ (50—100 лет) экономия на этом составит в городском бюджете около 1 млн. USD/км, что примерно равно стоимости строительства 1 км трассы СТЮ колесей 1000 мм.

### **Экологичность**

Крупногабаритные, тяжелые, мощные автобусы, троллейбусы и трамваи являются основным источником шума в городах, а шум по вредному воздействию на здоровье городского жителя выходит в настоящее время на первое место. Источником шумов в трамвае являются стыки в рельсах, большая неподрессоренная масса стальных колес, колесной тележки и самого трамвая, неровный путь, уложенный на балластную подушку, стрелочные переводы, токошьем с громоздким, тяжелым и шумным пантографным токоприемником. У троллейбуса — мощный двигатель с редуктором, протектор

шин, токошьем с двумя длинными и мощными поворотными штангами токоприемника и многочисленными стрелочными переводами. У СТЮ указанные источники шумов отсутствуют.

Существующий городской транспорт является источником вибраций почвы, что оказывает вредное воздействие не только на людей, но и на городские здания и сооружения. СТЮ не будет создавать вибраций почвы благодаря высокой ровности пути, отсутствию стыков в рельсе (он будет сварен в одну плеть), задемпфированности колеса, рельса-струны и железобетонных опор, малой неподрессоренной массы стального колеса модуля и малой массе самого модуля.

Неравномерно провисающая контактная сеть троллейбуса и трамвая часто искрит и создает значительные радиопомехи и электромагнитное загрязнение городской окружающей среды.

Контактная сеть трамвая и троллейбуса, нависающая над городскими улицами, многочисленные растяжки, идущие не только к столбам, но и к стенам зданий, многочисленные электроизоляторы, подвески, столбы на тротуарах ухудшают облик городской застройки, ее эстетическое восприятие, являются визуальным вторжением и представляют собой визуальную экологическую опасность

(контактный провод в электрифицированных вариантах СТЮ незаметен, т.к. прикреплен к рельсу-струне в непосредственной близости от него).

Из-за большой массы подвижного состава существующего городского транспорта, приходящейся на одного пассажира, высокого сопротивления его движению (аэродинамическое сопротивление, сопротивление качению колеса, сопротивление, создаваемое в токосяеме), подвижной состав имеет избыточную мощность привода: 3—4 кВт и более на одного пассажира для автобуса, троллейбуса, трамвая (а при малой загрузке, что, в основном, и имеет место — 10—15 кВт/пасс.), 5—6 кВт/пасс. и более для микроавтобуса, 20—50 кВт/пасс. и более для такси и личных автомобилей. У городских вариантов конструкции юнибусов колесей 1000 мм (сухой вес около 0,8 тонны при вместимости до 10—12 пасс.) мощность двигателя составит 1—1,5 кВт/пасс., поэтому при одинаковой транспортной работе по расходу энергии СТЮ будет экологичнее существующего городского общественного транспорта в 2—3 раза, легковых автомобилей — в 15—20 раз и более.

СТЮ является самым экологически чистым транспортом среди известных (в том числе в сравнении с троллейбусом и трамваем) благодаря стальному колесу и стальному рельсу

(сопротивление качению стального колеса юнибуса ниже чем у пневматической шины троллейбуса в 10—15 раз и более), высокой аэродинамичности корпуса (лучше, чем у троллейбуса и трамвая в 5—6 раз) и меньшей материалоемкости подвижного состава, на разгон и торможение которого, в основном, и затрачивается энергия (80—100 кг сухого веса на пассажира в городских вариантах исполнения юнибусов, против 150—300 кг/пасс. у трамвая и троллейбуса). Соответственно, при одинаковой транспортной работе СТЮ меньше всего загрязнит городской воздух продуктами горения топлива (при использовании двигателя внутреннего сгорания) или меньше всего потребит электрической энергии (для электрифицированного варианта).

Движение в СТЮ будет осуществлено без перекрестков и светофоров, которые, в основном, и создают в существующем городском транспорте экологические проблемы: перерасход топлива, загазованность воздуха и смог, а также являются основной причиной «пробок» и шума на городских улицах.

К основным ограниченным и не возобновляемым на планете ресурсам относится земля, особенно ее плодородный слой, гумус в котором создавался живыми организмами в течение миллионов лет. Уменьшение площади земли, занимаемой транспортной системой

(отвод земли в транспортной системе необходим лишь для одной цели — для обеспечения движения транспортных средств), в СТЮ обеспечивается за счет: отсутствия насыпей, выемок, многоуровневых развязок; исключения мостов и путепроводов, на подходах к которым на автомобильных и железных дорогах требуется высокая и протяженная насыпь, занимающая большую площадь земли; исключения широкого сплошного полотна, требующего опирания на подушку и, соответственно, на земляную насыпь и поверхность земли; уменьшения поперечного сечения опор, например, в сравнении с монорельсом — в 2—3 раза.

В качестве топлива для дизеля транспортного модуля СТЮ (в неэлектрифицированных вариантах исполнения) может использоваться синтетический бензин — диметиловый эфир, синтез которого из метана может быть организован в любом городе (например, он производится в г. Москве). Продукты горения такого топлива (вода и углекислый газ) аналогичны продуктам сгорания метана и природного газа и являются экологически чистыми. Такое топливо в 1,5—2 раза дешевле традиционного дизельного топлива и является идеальным, т.к. обычный дизельный двигатель заводится на любом морозе, его ресурс увеличивается в 1,5—2 раза, а в

продуктах горения отсутствует сажа и вредные вещества (свинец, сера и др.). В юнибусах могут также использоваться экологически чистые водородные и воздушные (на сжатом воздухе) двигатели, если будет организовано их серийное производство.

### Доступность

Трассы СТЮ могут быть проложены по застроенной территории, по скверам, паркам и другим городским территориям, где не могут быть проложены трамвайные и троллейбусные линии. В отдельных случаях трассы СТЮ могут пройти через жилые и офисные здания, торговые комплексы и другие городские здания и сооружения, т.е. в непосредственной близости от мест формирования пассажирских потоков. Эти возможности транспорта второго уровня используются в настоящее время при трассировке монорельсовых дорог в различных городах мира. Поэтому, с точки зрения пешеходной доступности, СТЮ будет предпочтительнее наземных видов городского транспорта.

По цене билета городской СТЮ будет на уровне городского тарифа за проезд в общественном транспорте, поэтому он будет доступен всем слоям населения, в том числе малообеспеченным. На междугородных высокоскоростных трассах себестоимость

проезда на СТЮ будет на уровне 1 USD/100 пасс.×км, поэтому цена билета на них будет на уровне стоимости проезда сегодня на такое же расстояние в общем вагоне железной дороги, при комфорте на порядок более высоком.

### **Другие экономические и неэкономические факторы**

Для прохождения трассы СТЮ не нужны мосты, путепроводы, подземные и надземные пешеходные переходы, многоуровневые развязки, устройство которых на традиционных дорогах, особенно в городах, зачастую превышает стоимость самих дорог.

СТЮ является транспортом второго уровня, т.к. путевая структура в нем поднята над землей на опоры. Благодаря этому уменьшается изъятие земли под дорогу: промежуточные опоры на 1 км двухпутной трассы колеей 1000 мм отнимают 15—20 м<sup>2</sup> земли, анкерные — 40—50 м<sup>2</sup>. Для сравнения: троллейбусное, автобусное и трамвайное сообщение отнимают 0,7 га/км (7.000 м<sup>2</sup>/км) ценной городской земли (ее стоимость 0,5 млн.USD/га и более).

Квадратный метр проезжей части современных городских дорог, рассчитанных на пропуск тяжелых автобусов и троллейбусов, а также автобанов, рассчитанных на пропуск тяжелых грузовиков, стоит примерно столько же, сколько стоит квадратный метр площади

нового жилого дома (около 1000 USD/м<sup>2</sup>). При этом проезжая часть российских дорог уступает по прочности и долговечности зарубежным (в ряде зарубежных стран толщина дорожной одежды достигает 1,5 м и более), поэтому с течением времени стоимость дорожного полотна будет расти, как за счет увеличения расхода материалов, так и за счет роста цен на них. Таким образом, на решение проблемы «Дороги», если использовать традиционные методы, в перспективе еще больше будет нехватать средств, чем в настоящее время, поэтому эта проблема не может быть решена традиционно и в будущем, учитывая суровые природно-климатические условия: длительную и заснеженную зиму, вечную мерзлоту, тундру, болота, реки, озера, тайгу и горы на большей части территории России, занимающей 1/7 территорию земной суши.

Асфальтобетонное покрытие автомобильных дорог, особенно городских, ежегодно требует заделки температурных трещин, выбоин, ямочного ремонта, устранения «наплывов» асфальта и др., а один раз в 10—15 лет — нанесения нового слоя асфальтобетонного покрытия. Это ежегодно может обходиться в среднем в 20—30 тыс. USD/км, а за 50—100 лет (срок службы СТЮ) — в 1—3 млн. USD/км.

В рельсе-струне СТЮ могут быть размещены линии связи (проводные и оптико-

волоконные), на анкерных опорах — узлы радио-релейной и сотовой связи.

На опорах СТЮ могут быть размещены фонари освещения улиц, для которых, в этом случае, не потребуются фонарные столбы.

На каждой анкерной опоре СТЮ, совмещенной с остановкой, могут быть размещены одноуровневые или многоуровневые (в том числе подземные) магазины, пункты общественного питания, различные пункты обслуживания населения (мастерские, пункты размена валюты и т.п.), места для отдыха и развлечения горожан и т.д., поэтому анкерные опоры и станции окупятся самостоятельно.

На каждой промежуточной опоре СТЮ может быть предоставлено по два рекламных места (по одному с каждой стороны), поэтому такие опоры окупятся самостоятельно и независимо от путевой структуры. Дополнительные рекламные места, по типу растяжек, как поперечных, так и продольных, могут быть размещены снизу, под струнной путевой структурой. Кроме того, днище транспортного модуля СТЮ, представляющее собой ровную поверхность, является дополнительным местом для нанесения рекламных надписей и изображений, при этом рельсо-струнный путь, являющийся визуально «прозрачным», не будет доминировать на

втором уровне.

Автобусы и троллейбусы являются основными причинами разрушения асфальтобетонного покрытия городских улиц (из-за большой нагрузки на ось, частого торможения на светофорах и остановках и высокой температуры шин летом, когда асфальт и так размягчен солнцем), образования колеи и наплывов асфальта в районе остановок общественного транспорта.

Трамвайный путь ухудшает ровность дорожного полотна городских улиц, ослабляет дорожное покрытие, а на участке нахождения шпал дорожное полотно, как правило, устраивается сборно-разборным из железобетонных плит, что приводит к повышенному шуму при движении по нему городского автомобильного транспорта.

В отличие от троллейбусных и трамвайных линий неэлектрифицированный СТЮ не требует дорогостоящей контактной сети из дефицитной меди (которую необходимо периодически менять) с ее поддерживающими столбами, растяжками, электроизоляторами, силовыми кабелями, электрическими подстанциями.

## Партнеры



**ДВИЖЕНИЕ РАЗВИТИЯ**



**Институт демографии миграции  
и регионального развития**



**OMART**



**АНТИНАРКОТИЧЕСКИЙ ФРОНТ**



Пульс Дальнего Востока

# Новый Дальний Восток

Проекты развития Дальнего Востока,  
комментарии специалистов и прогнозы экспертов.

Эл. почта: [vestnikdfo@bigmir.net](mailto:vestnikdfo@bigmir.net)  
[www.idmrr.ru](http://www.idmrr.ru)

---

Электронный Интернет журнал «Новый Дальний Восток»

Все права защищены

Распространяется бесплатно

---