

## **Особенности высокоскоростного бирельсового СТЮ для Австралии**

Бирельсовый СТЮ представляет собой специальный (рельсовый) автомобиль на стальных колесах — юнибус, — размещённый на двух предварительно напряжённых рельсах-струнах, установленных на опорах.

Преимущества СТЮ перед другими видами транспорта обусловлены комплексом его конструктивных особенностей, перечисленных ниже.

**1. Рельс-струна** — это неразрезная (по длине) стальная балка, оснащенная двумя головками рельса и дополнительно усиленно армированная предварительно напряженной (растянутой) арматурой — струнами (см. рис. 1). Сочетает в себе свойства жёсткой нити — на большом пролёте между опорами, и жёсткой балки — на малом пролёте (под колесом юнибуса и над опорой). Благодаря этому качение колеса юнибуса будет плавным, безударным, как в середине пролёта, так и над опорой.

Рельс-струна характеризуется высокой прочностью, изгибной жёсткостью, ровностью, технологичностью изготовления и монтажа, низкой материалоемкостью, широким диапазоном рабочих температур: от +70 °С до –70 °С. Представляет собой идеально ровный путь для движения колеса, так как по всей своей длине не имеет технологических и температурных швов (головки рельса сварены в одну плеть).

Рельс-струна монтируется и натягается на месте производства работ из составных элементов, поставляемых с заводов-изготовителей. Стальной прокат поставляется в виде элементов длиной 12—15 м, высокопрочная проволока — длиной до 10 тыс. м, намотанная на катушки, или свёрнутая в бухты.

Поперечные размеры и материалоемкость рельса-струны высокоскоростного СТЮ близки к поперечным размерам и материалоемкости рельса высокоскоростной железной дороги.

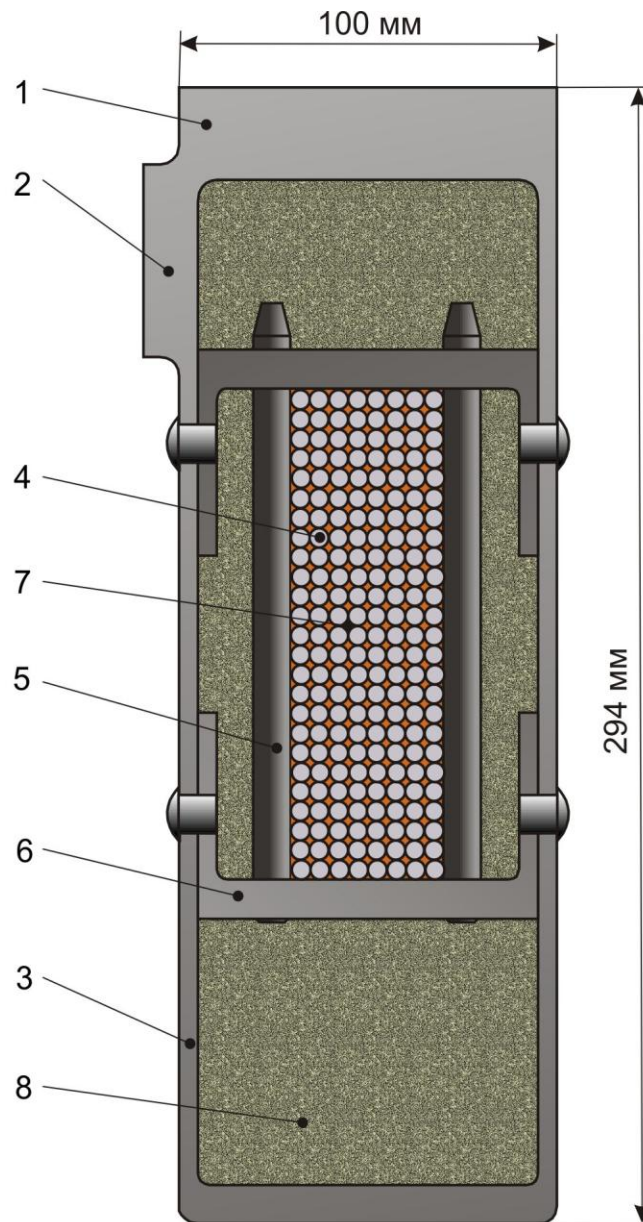


Рис. 1. Схематичная конструкция рельса-струны высокоскоростного биСТЮ колеёй 1,5 м  
в масштабе 1:2 (поперечный разрез):

1 — основная головка (для опирания колёс юнибуса); 2 — боковая головка (для опирания противосходных боковых роликов юнибуса); 3 — корпус; 4 — высокопрочная стальная проволока (струна); 5 — фиксирующие шпильки; 6 — узел крепления струны к корпусу (устанавливается через каждые 2 м); 7 — герметик (гидроизоляция проволок струны); 8 — композиционный наполнитель (заполняет все пустоты внутри корпуса).

Расход материалов на один погонный метр рельса-струны:

сталь — 82,9 кг/м, из них струна — 30,8 кг/м; композиционный наполнитель — 29 кг/м; герметик — 1,7 кг/м; общая масса — 113,6 кг/м.

Проектное натяжение струн в рельсе СТЮ зависит от расчётной массы подвижного состава и расчётной скорости его движения, а также — от принятой длины пролётов. При этом строительный провис струны на каждом пролёте «защит» внутри корпуса рельса, а головка рельса, наоборот, размещена в каждом пролёте со строительным подъёмом, равным проектной деформации (дополнительному прогибу рельса-струны) при проезде юнибуса. Это выравнивает путь при движении подвижного состава и обеспечивает его высокую ровность при нахождении юнибуса как в середине пролёта, так и при прохождении опор, в том числе и при высокой скорости движения.

Рельс-струна проектируется таким образом, чтобы, в совокупности с изгибной жёсткостью пути и проектным натяжением струн, обеспечить величину локальных вертикальных радиусов кривизны рельса, прогнутого под движущимся колесом юнибуса, не менее 10000 м (для скорости 350 км/час), на всем протяжении трассы СТЮ независимо от погодно-климатических условий. Это обеспечит более высокую ровность пути при движении подвижного состава СТЮ, чем при движении вагонов на традиционной высокоскоростной железной дороге, идущей по эстакаде на «втором уровне». При этом вертикальные ускорения в салоне юнибуса, обусловленные динамическими неровностями пути, будут в пределах  $0,2 \text{ м/с}^2$  (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 пролётов.

По запасу прочности рельс-струна не имеет себе равных среди других строительных конструкций самого высокого уровня ответственности. Например, в бирельсовом высокоскоростном СТЮ запас прочности струны по воздействию подвижной нагрузки является более чем стократным — юнибус практически не меняет напряжения предварительного растяжения в струне, т.к. эти изменения находятся в пределах  $10 \text{ кгс/см}^2$ .

Все внутренние пустоты в рельсе-струне на месте производства работ заполняются композитным наполнителем. Состав, плотность и другие характеристики композита подбираются для каждой трассы с позиций эффективности поглощения звуковых и вибрационных волн, генерируемых колесом юнибуса, движущимся по рельсу-струне в конкретных природно-климатических условиях. За

счёт сил внутреннего трения эти звуковые волны гаснут в композите за десятые доли секунды, поэтому СТЮ будет значительно более тихим, чем традиционные железные дороги. В качестве вяжущего в композите могут быть использован как цемент, так и полимерные клеевые составы, например, эпоксидная смола.

**2. Струна** — высокопрочная предварительно напряженная арматура в виде стального витого или невитого строительного каната, концы которого жёстко закреплены в анкерных опорах. 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 высокопрочных стальных проволок, используемых для формирования струны, — 3—5 мм. Длина проволок равна расстоянию между соседними анкерными опорами.

В рельсе-струне, показанном на рис. 1, использованы 200 высокопрочных стальных проволок диаметром 5 мм каждая. Суммарное их предварительное натяжение составляет 450 тонн. Это натяжение создаётся при монтаже рельса-струны на весь период эксплуатации СТЮ — на 100 лет. В процессе эксплуатации транспортной системы это усилие натяжения будет циклически изменяться — при сезонном и суточном изменении температуры, при проезде юнибуса, при воздействии бокового ветра и т.п. Такие изменения носят расчётный характер и максимальные растягивающие напряжения в струне не будут выходить за пределы расчётных допустимых напряжений за весь срок эксплуатации системы.

Размах напряжений в струне при максимальном расчётном нагружении (проезд двух высокоскоростных юнибусов в сцепке) составит величину менее 0,1% от величины напряжений в струне (предварительных и температурных). Это означает, что нагрузка на струну — статическая и поэтому циклической составляющей можно пренебречь. Поэтому по любым существующим сегодня в мире методикам расчёта струна высокоскоростного СТЮ обеспечит срок службы по выносливости не менее 100 лет.

Основную вертикальную жёсткость под расчётной нагрузкой рельсо-струнного пролётного строения в СТЮ определяет не рельс (корпус и головка рельса, а также композиционный наполнитель), а — струна: соответственно 5—9% и 91—95%. Это отвечает названию транспортной системы — струнная (а не рельсовая). Соответственно, требуемая динамическая ровность пути на пролёте (относительная неровность — не более  $1/6000$ , или абсолютная — менее 5 мм на пролёте 30 м) обеспечивается, в основном, также струной, а не рельсом.

**3. Рельсо-струнная путевая структура** бирельсового СТЮ представляет собой два рельса-струны, образующие колею шириной 1,5 м. Рельсы-струны жёстко закреплены в анкерных опорах, установленных через 2—3 км и более, и свободно размещены на промежуточных опорах-стойках с образованием пролётов длиной 30—35 м и более.

Путь в бирельсовом СТЮ колеёй 1,5 м выполнен со строительным подъемом около 30 мм в середине каждого пролёта, что составляет величину  $1/1000$  от длины пролёта.

Суммарное предварительное натяжение одного пути (не только струн, но и корпуса и головок рельса) составляет 1100 тонн. Это обеспечит комфортное движение 30-тиместного юнибуса весом 8 тонн со скоростью до 350 км/час. При этом динамические неровности пути под колесом юнибуса на пролёте будут в пределах  $\pm 5$  мм (или в относительном выражении —  $1/6000$ ), что обеспечит высокую плавность движения, не хуже чем на высокоскоростных железных дорогах.

У путевой структуры имеются стрелочные переводы. Колея в двухрельсовом СТЮ в 2—2,5 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 традиционной высокоскоростной железной дороге.

Отказ от железнодорожных стандартов — колёсных пар, реборд на колесе, конуса на опорной части колеса и цилиндрической опорной поверхности головки рельса — снизил контактные напряжения в СТЮ в паре «цилиндрическое колесо — плоская головка рельса» по сравнению с железной дорогой в 10—15 раз. Это повышает в несколько раз долговечность рельса, уменьшает его износы, снижает

шумы при качении колеса, улучшает его сцепление с рельсом, а также существенно снижает затраты энергии и мощность привода на преодоление сопротивления качению колёс высокоскоростного подвижного состава.

Трассы СТЮ могут быть однопутными, двухпутными и многопутными.

**4. Опоры** — подразделяются на анкерные, воспринимающие горизонтальную нагрузку от рельсов-струн (устанавливаются через 2—3 км и более) и поддерживающие, воспринимающие от путевой структуры преимущественно вертикальную нагрузку (устанавливаются через 30—35 м и более). Основная горизонтальная нагрузка, воспринимаемая поддерживающими опорами, — ветровая нагрузка от бокового (поперечного) ветра.

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 образуют 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 земляную насыпь такой же высоты, то насыпь будет дороже опор.

Оптимальная высота опор — 5—6 м. На отдельных участках трассы, при необходимости, высота опор может быть снижена до 1 м и менее, и, наоборот, увеличена до 10—50 м и более.

Каждая опора может держать одновременно как два пути (прямой и обратный), так и один путь, если пути — разнесены и идут на расстоянии друг от друга более чем в 3—5 м.

На рис. 2 показаны варианты исполнения промежуточной опоры для поддержки одного пути, а на рис. 3 — общий вид исполнения варианта анкерной опоры для двух путей биСТЮ.

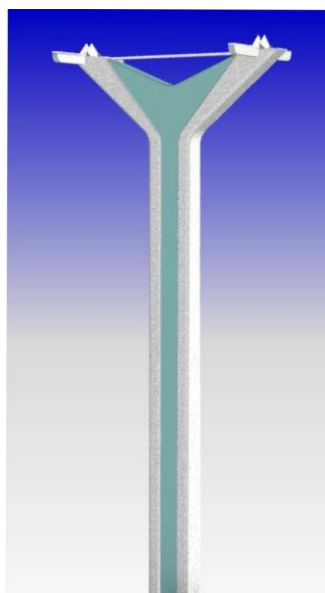
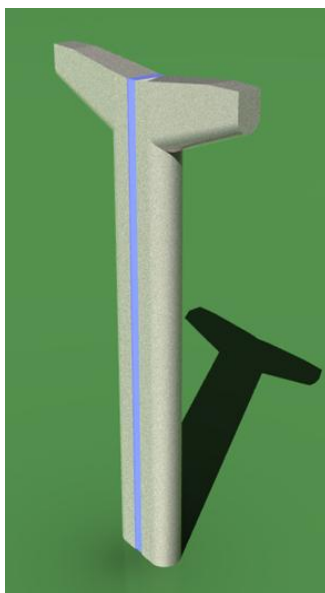


Рис. 2. Варианты исполнения промежуточной опоры для поддержки одного пути биСТЮ

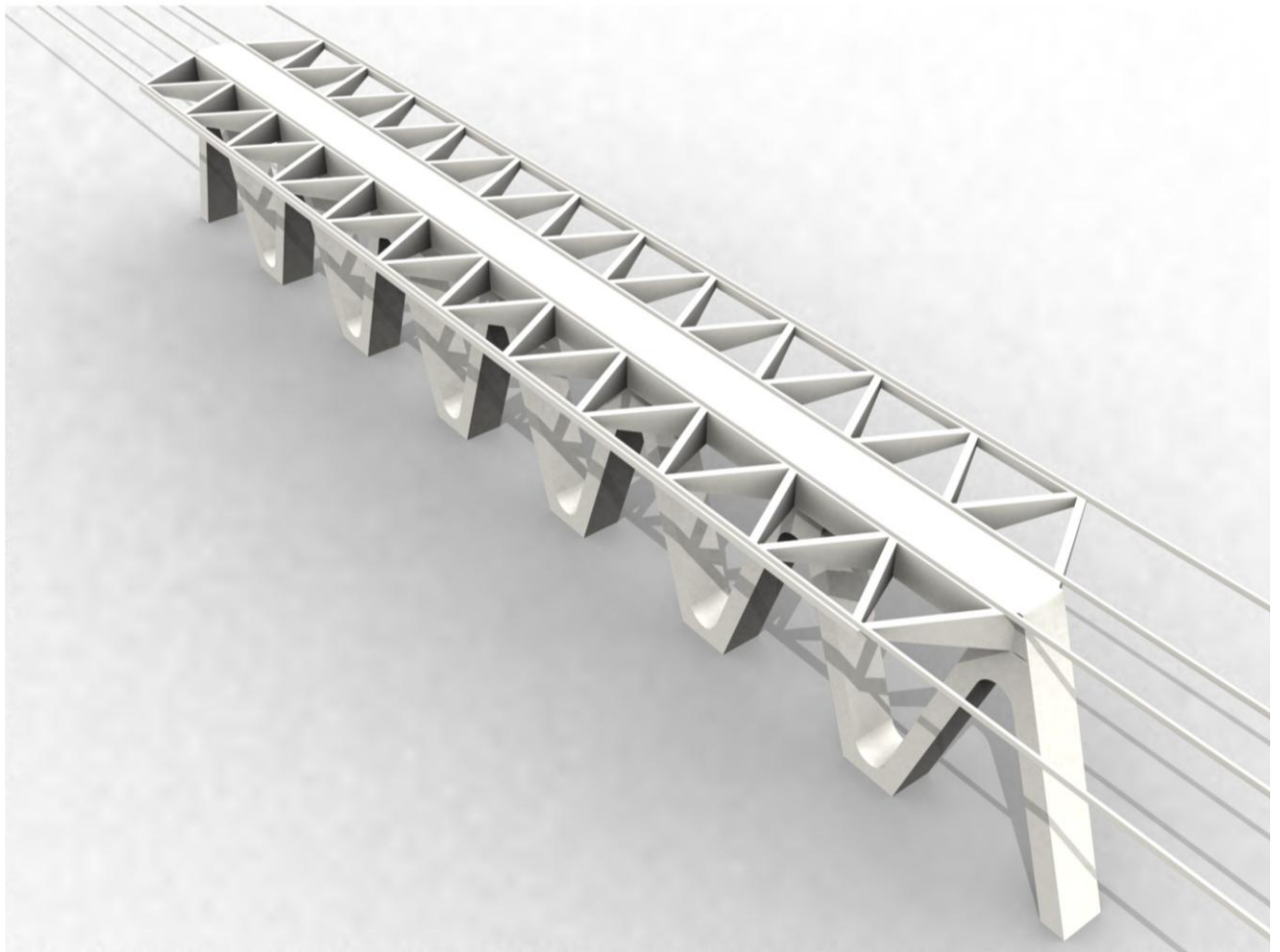


Рис. 3. Вариант исполнения анкерной опоры двухпутного биСТЮ



**5. Колесо** — выполнено из высокопрочной стали (рис. 4) или высокопрочных лёгких сплавов. Имеет независимую «автомобильную» подвеску и противосходные боковые ролики, заменяющие реборды железнодорожной колёсной пары и исключают сход юнибуса с рельсо-струнной путевой структуры. Коэффициент сопротивления качению — 0,001, что ниже, чем у железнодорожного колеса, имеющего коническую поверхность опирания, в 1,5—2 раза. Пробег — до 1 млн. км и более. Стальное колесо для СТЮ легче резинового автомобильного колеса и в 5—10 раз долговечнее его.

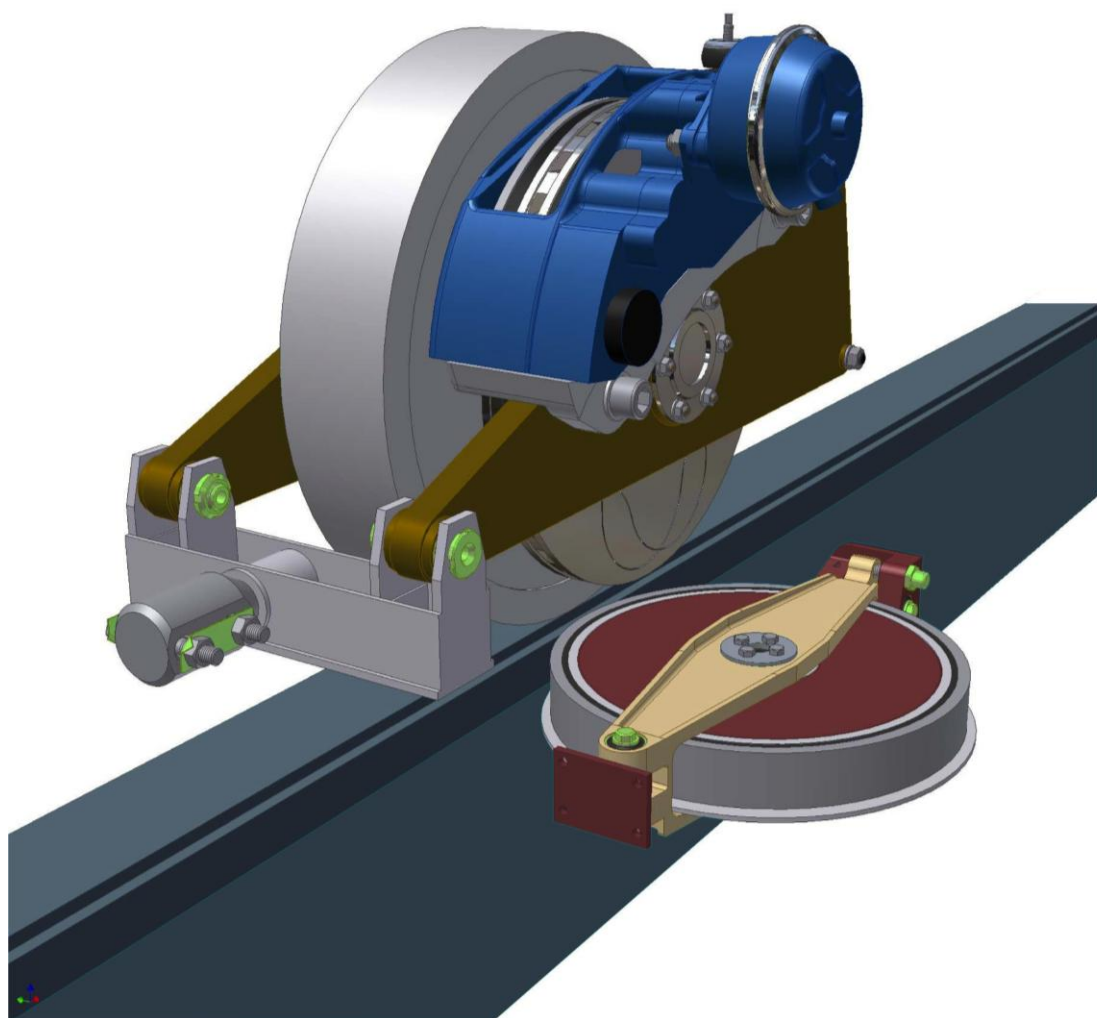


Рис. 4. Общий вид опорного колеса и противосходного бокового ролика юнибуса

**6. Рельсовый автомобиль (юнибус)** представляет собой разновидность автомобиля, установленного на стальных колесах. Как и автомобиль, может иметь привод от дизеля, бензинового двигателя, турбины, либо может иметь комбинированный привод. При необходимости двигатель может работать на экологически чистом источнике энергии: природном газе, водороде, спирте, сжатом

воздухе, маховичном накопителе энергии, солнечной, ветровой и др. энергии. Кроме того, СТЮ может быть электрифицирован с использованием внешнего источника электрической энергии, либо может быть использован автономный источник энергии — установленные на борту юнибуса аккумуляторы, накопители энергии конденсаторного типа, топливные батареи и др.

Высокоскоростной юнибус имеет уникальную форму, обладающую самым низким коэффициентом аэродинамического сопротивления среди всех известных транспортных средств ( $C_x=0,08—0,12$ , что лучше чем у современного спортивного автомобиля в 3—4 раза; эти результаты получены экспериментально путем многократных продувок в аэродинамической трубе).

Юнибус — самое экономичное транспортное средство из всех известных. Сверхэкономичность особенно проявляется при невысоких, например, традиционных для автомобильного транспорта скоростях движения — 100 км/час. При установившемся движении на горизонтальном участке пути 30-ти местному юнибусу весом 8 тонн при такой скорости необходима мощность двигателя, равная всего 8,2 кВт (из них — 5,2 кВт на аэродинамическое сопротивление, 2,2 кВт — на сопротивление качению стального колеса по стальному рельсу, 0,8 кВт — потери в трансмиссии). При этом расход топлива на 100 км пути составит 2,3 литра (или 0,076 л/100 пасс.×км, или 0,76 л/1000 пасс.×км). Лучшие легковые автомобили и междугородные автобусы при скорости 100 км/час расходуют в 15—20 раз больше горючего — 1—1,5 л/100 пасс.×км).

Уникальные аэродинамические качества корпуса высокоскоростного юнибуса — основное его преимущество перед другими известными транспортными средствами, в том числе — спортивными автомобилями.

Предельная скорость движения юнибусов на конкретной трассе высокоскоростного бирельсового СТЮ зависит от изгибной жёсткости и динамической ровности рельсо-струнной путевой структуры (она специально проектируется под необходимую предельную скорость движения), мощности двигателя и аэродинамических качеств корпуса юнибуса, который также специально проектируется под заданную предельную скорость движения.

**7. Инфраструктура «второго уровня».** Включает станции, вокзалы, погрузочные и разгрузочные терминалы, гаражи-парки, заправочные станции, размещённые на «втором уровне», а также стрелочные переводы.

В зависимости от расчётной 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 на станциях, вокзалах, грузовых терминалах, гаражах-парках и, при необходимости, — на трассе на анкерных опорах.

Благодаря подъёму 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.