



115487, Москва, ул. Нагатинская, 18/29
тел./факс: (495) 680-52-53, (499) 616-15-48
e-mail: info@unitsky.ru
http: //www.unitsky.ru
skype: Anatoly Unitsky

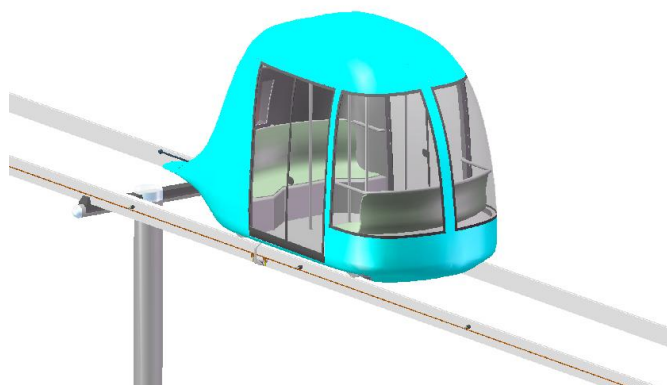
**Техническое предложение
по транспортной системе СТЮ в г. Екатеринбурге по маршруту
«Железнодорожный вокзал — многофункциональный комплекс
«Космос-сити, Екатеринбург, Россия»**

**Том. 2. Техническое предложение
на рельсовый автомобиль (юнибус)**

Вариант 1. Двухрельсовый СТЮ

Договор № А-15/2007 от 28 мая 2007 г. на разработку технического предложения по транспортной системе СТЮ в г. Екатеринбурге по маршруту «Железнодорожный вокзал — многофункциональный комплекс «Космос-сити, Екатеринбург, Россия»

Техническое предложение на рельсовый автомобиль СТЮ (юнибус)



Исполнитель:
Генеральный директор -
генеральный конструктор
ООО «Струнный транспорт Юницкого»

_____ А.Э. Юницкий
«31» августа 2007 г.

Список основных исполнителей

Ответственный исполнитель,
заместитель генерального
конструктора по подвижному составу,
главный дизайнер ООО «СТЮ» _____ В.С. Жаркевич

Исполнительный директор ООО «СТЮ» _____ Д.А. Юницкий

Главный инженер ООО «СТЮ» _____ А.В. Пархоменко

Начальник конструкторского бюро
«Юнибус» ООО «СТЮ» _____ В.В. Даньщиков

Первый заместитель начальника
конструкторского бюро «Юнибус»
ООО «СТЮ» _____ В.Ю. Акулов

Заместитель начальника конструкторского
бюро «Юнибус» ООО «СТЮ» по
производству и испытаниям _____ В.П. Николаев

Заместитель начальника конструкторского
бюро «Юнибус» ООО «СТЮ» по
перспективному проектированию _____ А.И. Лапцевич

Ведущий конструктор конструкторского
бюро «Юнибус» ООО «СТЮ» _____ В.В. Добровольский

Ведущий конструктор конструкторского
бюро «Юнибус» ООО «СТЮ» _____ А.Н. Синевич

Содержание

Резюме	4
1. Пояснительная записка к техническому предложению на разработку двухрельсового автомобиля СТЮ (юнибуса) транспортной системы двухрельсового СТЮ в г. Екатеринбурге по маршруту «Железнодорожный вокзал — многофункциональный комплекс «Космос-сити, Екатеринбург, Россия».....	8
2. Расчет тягово-скоростных и технико-экономических показателей трансмиссии двухрельсового автомобиля (юнибуса) Ю-325П транспортной системы двухрельсового СТЮ в г. Екатеринбурге по маршруту «Железнодорожный вокзал — многофункциональный комплекс «Космос-сити, Екатеринбург, Россия»	82
3. Тепловой баланс двухрельсового автомобиля СТЮ (юнибуса) транспортной системы двухрельсового СТЮ в г. Екатеринбурге по маршруту «Железнодорожный вокзал — многофункциональный комплекс «Космос-сити, Екатеринбург, Россия»	117
4. Расчет на статическую и динамическую устойчивость двухрельсового автомобиля СТЮ (юнибуса) транспортной системы двухрельсового СТЮ в г. Екатеринбурге по маршруту «Железнодорожный вокзал — многофункциональный комплекс «Космос-сити, Екатеринбург, Россия»	142

Резюме

На основании договора № А-15/2007 от 28 мая 2007 г. на разработку технического предложения по транспортной системе СТЮ в г. Екатеринбурге по маршруту «Железнодорожный вокзал — многофункциональный комплекс «Космос-сити, Екатеринбург, Россия» предприятием ООО «СТЮ» разработано техническое предложение на четырехколесный двухрельсовый автомобиль (юнибус) для двухрельсового СТЮ. Комплектность представленной техническим предложением документации соответствует ГОСТ 2102-68 и содержит технические и технико-экономические обоснования целесообразности разработки документации юнибуса для использования его в указанной транспортной системе СТЮ.

Исходя из пассажиропотока и перспективы организации новых городских маршрутов, наиболее подходящим для маршрута «Железнодорожный вокзал — «Космос-сити» в г. Екатеринбурге является средний тип двухрельсового СТЮ с колеей 1500 мм и полезной нагрузкой до 1000 кг. Конструкция юнибуса обеспечивает комфортную перевозку шести сидящих и шести стоящих пассажиров, перевозку пассажиров на инвалидных колясках, перевозку грузов в специальных контейнерах и европалетах.

На выбор заказчика представлены четыре варианта исполнения корпуса юнибуса Ю-325П, отличающихся дизайном, аэродинамическими характеристиками и экономическими параметрами.

Краткая техническая характеристика юнибуса Ю-325П исполнения 01:

- | | |
|--|--------------------|
| • полная масса, кг | 2400 |
| • эксплуатационная скорость, км/ч | 60 |
| • число пассажирских мест | 12 (6 для сидения) |
| • ускорение разгона и торможения, м/с ² | 0,6 |
| • потребление электроэнергии, при выключенной системе кондиционирования и отопления в городском цикле движения (остановки через каждые 650 м): | |
| - кВт ч/100 км | 8,9 |
| - литров топлива (в пересчете электроэнергии в дизельное топливо): | |

л/100 км	1,87
л/100 пасс.×км	0,16
• колесная формула	4×4
• управление движением	автоматизированное

Юнибус состоит из следующих агрегатов и систем:

- корпус с каркасом из алюминиевого сплава и остеклением из высокопрочного поликарбоната;
- электрооборудование;
- силовая установка из двух электродвигателей мощностью по 7,5 кВт каждый;
- ходовая система из четырех агрегатов с независимой подвеской колес, телескопических амортизаторов, противосходных роликов;
- тормозная система;
- система обеспечения микроклимата;
- система пожаротушения;
- автоматическое сцепное устройство;
- оборудование салона;
- оборудование эвакуации пассажиров.

Юнибус предназначен для эксплуатации на электрифицированных городских линиях СТЮ, рельсы-струны которых размещены на опорах высотой 5—10 м, установленных с шагом 30—40 м.

Двухрельсовый СТЮ среднего типа и юнибус Ю-325П в его составе обеспечат высокие потребительские характеристики предлагаемой транспортной услуги:

- комфортность:
 - юнибус оборудован системами кондиционирования и обогрева, имеет большую площадь остекления, комфортные сидения, забор воздуха осуществляется не у поверхности асфальта, как на автомобилях, а на высоте 5—10 метров от земли;
 - посадка пассажиров осуществляется на станциях с комфортным микроклиматом.
- безопасность:
 - противосходная система исключает возможность опрокидывания

юнибуса с путевой структуры при любых неблагоприятных условиях, в том числе при ураганном боковом ветре;

- запас прочности струнной системы составляет более 100 раз — современные транспортные системы не имеют таких запасов прочности.
- экологичность:
 - использование электродвигателей в юнибусе снимает проблему загрязнения воздуха двигателями внутреннего сгорания;
 - изъятие земли для трассы СТЮ значительно меньше, чем для трасс наземных транспортных систем.
- доступность:
 - цена билета для проезда в юнибусе не превысит тариф на существующем городском общественном транспорте.

Технико-экономические показатели СТЮ характеризуют данный вид транспорта как один из самых экономичных из известных видов транспорта, не имеющих аналогов в мире. Потребление электроэнергии полностью загруженного юнибуса составляет 8,9—22 кВт×ч/100 км (или в пересчете электроэнергии в дизельное топливо — 1,87—4,62 л/100 км), в зависимости от исполнения и энергопотребления системы кондиционирования и отопления). Юнибусы исполнения 01 и 04 будут экономичнее исполнений 02 и 03: в условиях безветрия — на 16%, при встречном ветре (54 км/ч) — на 142%. Стоимость юнибуса при мелкосерийном производстве составит 1,4—1,8 млн. руб. в зависимости от варианта исполнения.

Выполнен тягово-скоростной расчет, по результатам которого определена установочная мощность электропривода в 15 кВт и выбран электродвигатель АИР112М2 с номинальной мощностью 7,5 кВт — по электродвигателю на передний и задний силовые блоки.

Выполнен тепловой расчет, по результатам которого определена мощность отопителя в зимний период года при температуре наружного воздуха $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$ — 3,3 кВт, а также мощность кондиционера в летний период года при температуре наружного воздуха $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$ — 6,3 кВт.

Выполнен расчет на статическую и динамическую устойчивость юнибуса, по результатам которого определена возможность его эксплуатации при боковом ветре до 300 км/ч и при асимметричном размещении пассажиров в салоне.

При максимальной эксплуатационной скорости 60 км/ч (средняя скорость на перегоне — 35 км/ч), один 12-тиместный юнибус сделает оборот по трассе за 2,9 мин. (т.е. интервал движения одного и того же юнибуса составит 2,9 мин. при 20-тисекундных остановках на станциях), перевезя за один час 496 пассажиров, за сутки (при 18-тичасовой эксплуатации) — 8.940 пасс. и в год — 3,26 млн. пасс. Бóльшее количество юнибусов сможет перевезти пропорционально бóльшее количество пассажиров. Снижение эксплуатационной скорости даже на такой короткой трассе (650 м) нецелесообразно, т.к. приведет к пропорциональному увеличению парка подвижного состава, его стоимости и эксплуатационных издержек.



115487, Москва, ул. Нагатинская, 18/29
тел./факс: (495) 680-52-53, (499) 616-15-48
e-mail: info@unitsky.ru
http: //www.unitsky.ru
skype: Anatoly Unitsky

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный конструктор
ООО «Струнный транспорт Юницкого»

_____ А.Э. Юницкий

«31» августа 2007 г.

1. Пояснительная записка

**к техническому предложению на разработку двухрельсового
автомобиля СТЮ (юнибуса) транспортной системы двухрельсового
СТЮ в г. Екатеринбурге по маршруту «Железнодорожный вокзал —
многофункциональный комплекс «Космос-сити, Екатеринбург,
Россия»**

(325П-0000010ПЗ)

Содержание пояснительной записки

1.1. Введение	10
1.2. Построение внешних форм, выбор типа СТЮ и проработка посадочных мест (грузов)	11
1.3. Технические характеристики юнибуса модели Ю-325П	17
1.4. Технические решения, используемые при разработке юнибуса модели Ю-325П	34
1.5. Краткие сведения о транспортной системе двухрельсового СТЮ в г. Екатеринбурге по маршруту «Железнодорожный вокзал — многофункциональный комплекс «Космос-сити, Екатеринбург, Россия»	66
1.6. Техничко-экономические показатели юнибуса Ю-325П	77
1.7. Организация разработки и производства юнибуса	80

1.1. Введение

1.1.1. Наименование, модель, область применения и цель разработки

Наименование: городской пассажирский двухрельсовый автомобиль (юнибус) двухрельсового СТЮ.

Модель двухрельсового автомобиля: юнибус Ю-325П. Юнибус Ю-325П разрабатывается впервые, заменяемое изделие отсутствует.

Область применения: предназначен для перевозки пассажиров (грузов) в составе автоматизированной транспортной системы двухрельсового СТЮ в г. Екатеринбурге по маршруту «Железнодорожный вокзал — многофункциональный комплекс «Космос-сити, Екатеринбург, Россия» (см. рис. 1.1).



Рис. 1.1. Место прохождения будущей транспортной системы СТЮ в г. Екатеринбурге по маршруту «Железнодорожный вокзал — многофункциональный комплекс «Космос-сити, Екатеринбург, Россия»

Цель разработки: проверка конструкторских и технологических решений и уточнение отдельных характеристик для использования их при разработке конструкций двухрельсовых автомобилей для транспортной системы СТЮ в г. Екатеринбурге по маршруту «Железнодорожный вокзал — многофункциональный комплекс «Космос-сити, Екатеринбург, Россия».

1.1.2. Основание для разработки

Основанием для разработки двухрельсового автомобиля (юнибуса) Ю-325П является договор № А-15/2007 от 28 мая 2007 г. на разработку технического предложения по транспортной системе СТЮ в г. Екатеринбурге по маршруту «Железнодорожный вокзал — многофункциональный комплекс «Космос-сити, Екатеринбург, Россия».

1.1.3. Наименование Заказчика

ЗАО «Уралпластик»

1.2. Построение внешних форм, выбор типа СТЮ и проработка схем посадочных мест (грузов)

1.2.1. Построение внешних форм юнибуса с использованием программ ALIAS и ICEM

Построение внешних форм юнибуса производилось с использованием программ ALIAS и ICEM SURF.

Программа **Alias Wavefront** для промышленного дизайна:

- время на дизайнерскую проработку сокращается в несколько раз;
- общий цикл разработки сокращается также за счет того, что дизайнерский этап заканчивается не набором рисунков или макетом, а трехмерными моделями, готовыми для дальнейшей обработки в САПР;
- по той же причине возрастает гарантия того, что изделие, сошедшее с конвейера, будет действительно соответствовать художественной концепции дизайнера;
- происходит значительная экономия средств, поскольку все аспекты внешнего вида оцениваются на компьютерных, а не на натуральных моделях.

Моделирование

Среди всех существующих на сегодня систем 3D-графики и анимации продукты Alias Wavefront считаются лучшими по моделированию. Их основные преимущества:

- использование математики NURBS (неоднородные рациональные бета сплайны), что обеспечивает качество и точность построения сложных поверхностей;
- разнообразие способов построения кривых и поверхностей, позволяющее в любой, достаточно сложной ситуации, выбрать простой и наглядный метод построения поверхности;
- удобство работы пользователя;
- представление поверхностей на экране адекватно отражает их реальную форму, которая в дальнейшем будет воплощена в материале.

Оценка свойств поверхностей

Дизайнер имеет полный контроль над соблюдением непрерывности сложных поверхностей по первой и второй производным. Значения кривизны в точках поверхности могут быть выданы на экране в виде векторной диаграммы с указанием численных значений. Наиболее наглядный метод — быстрая закраска поверхностей цветовым градиентом, где каждому значению кривизны соответствует свой цвет, при этом малейшие флуктуации могут быть сразу обнаружены.

Получение фотореалистичных изображений

Имеется 6 типов источников света, которые не только влияют на цвета объектов и распределение теней, но и сами могут присутствовать в кадре. Моделируемый объект может быть помещен на фоне сканированной фотографии или видеопоследовательности, введенной в компьютер. Может быть смоделирована трехмерная среда, в которой задаются такие факторы, как азимут солнца, характер и толщина облаков, туман и др., причем это делается простыми и наглядными методами.

Анимация

Универсальный метод анимации с помощью изменений в ключевых кадрах позволяет создавать и регулировать любые сложные движения. Средства анимации

могут использоваться при создании специальных эффектов в презентационных фильмах.

Связь с системами автоматизированного проектирования

Для экспорта в САПР имеется большой набор стандартных форматов, поддерживаемых наиболее распространенными САПР. Таким образом, на предприятии, использующем систему Alias Wavefron, реализуется замкнутый автоматизированный цикл разработки нового изделия.

Система **ICEM Surf** фирмы Parametric Technology Corporation предназначена для интерактивного виртуального моделирования и анализа сложных трехмерных поверхностей технических изделий. Особенно большое распространение системы ICEM Surf получила в автомобильной промышленности. Почти все автомобильные компании Западной Европы используют ее в задачах дизайна. Отличительной особенностью системы является ее способность производить точные модификации поверхностей и сложных сборок поверхностей за очень короткое время. Система ICEM Surf имеет развитые средства диагностики, контроля качества и визуализации моделируемых поверхностей. Использование при этом механизма отражения света позволяет визуально контролировать гладкость поверхности и быстро добиваться необходимых результатов за счет удобных средств модификации поверхностей или их частей. Использование различных по цвету и расположению динамических источников света позволяет получить фотореалистичное изображение проектируемого объекта, удовлетворяющего самым взыскательным требованиям. Построенные в системе ICEM Surf модели поверхностей отличаются высоким качеством и могут быть обработаны системами подготовки программ для оборудования с ЧПУ без специальной подготовки. Мощные средства моделирования системы ICEM Surf, богатые возможности диагностики и визуализации позволяют спроектировать любую сложную форму с учетом самых высоких требований.

На рис. 1.2 показан один из этапов виртуального моделирования внешних форм рельсового автомобиля в программах ALIAS и ICEM Surf.

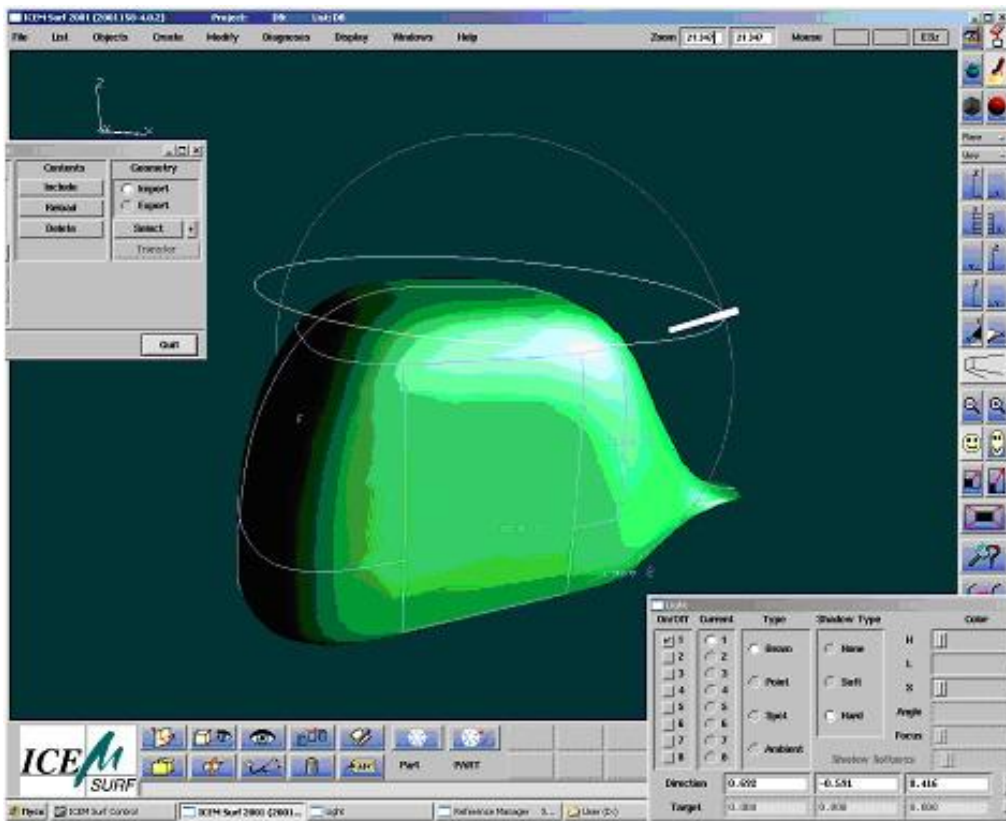
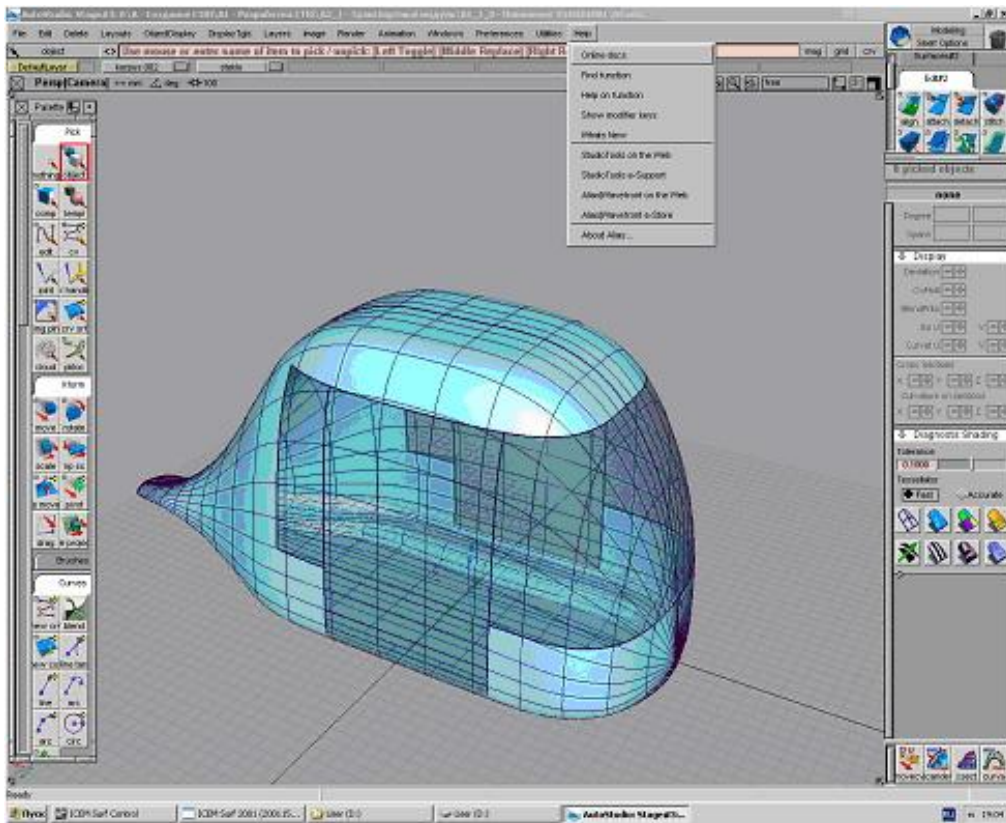


Рис. 1.2. Один из этапов виртуального моделирования внешних форм рельсового автомобиля (юнибуса) в программах ALIAS и ICEM SURF

1.2.2. Выбор типа СТЮ

Стандарты ООО «СТЮ» предусматривают на настоящий момент пять типов двухрельсовых СТЮ (см. табл. 1.1).

Таблица 1.1

Типы двухрельсовых СТЮ

Типы двухрельсового СТЮ	Колея, мм	Полезная нагрузка, кг
Сверхлегкий	500	до 200
Легкий	1000	до 500
Средний	1500	до 1000
Тяжелый	2000	до 2000
Сверхтяжелый	2500	до 5000

Поскольку срок службы СТЮ составляет не менее 100 лет, то колею путевой структуры транспортной системы СТЮ в г. Екатеринбурге по маршруту «Железнодорожный вокзал — многофункциональный комплекс «Космос-сити, Екатеринбург, Россия» целесообразно определять исходя из перспективы организации в будущем новых маршрутов по городу, пригороду, области и далее. В этом случае наиболее подходящим типом СТЮ применительно к транспортной системе в г. Екатеринбурге по маршруту «Железнодорожный вокзал — многофункциональный комплекс «Космос-сити, Екатеринбург, Россия» является средний тип.

При оговоренной стандартом для среднего типа СТЮ полезной нагрузке 1000 кг, средней массе пассажира 71 кг, включая 3 кг ручной клади (правила ЕЭК ООН № 52 «Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения транспортных средств категорий М₂, М₃ в отношении их общей конструкции»), юнибус, соответствующий среднему типу двухрельсового СТЮ, может перевозить до 14 пассажиров. При настройке транспортной системы на интервал движения юнибусов в 15 секунд юнибусы, соответствующие среднему типу двухрельсового СТЮ, способны обеспечить объемы пассажирских перевозок около 6700 пасс./час и 134.000 пасс./сутки (или около 49 млн. пасс./год) при 18-тичасовой эксплуатации, что эквивалентно организации пассажирских перевозок автобусами вместимостью 100 человек (см. далее рис. 1.47), движущихся с интервалом 1 мин. 47 сек.

1.2.3. Проработка схем посадочных мест (грузов) в юнибусе

Проработки вариантов схем посадочных мест в салоне показали, что для обеспечения комфортного размещения пассажиров наиболее подходящей является схема: 6 сидящих и 6 стоящих пассажиров (см. рис. 1.3). При этом обеспечивается повышенная комфортность перевозки как сидящих, так и стоящих пассажиров. Размеры сидений позволяют комфортно разместиться на них пассажирам повышенной комплекции.

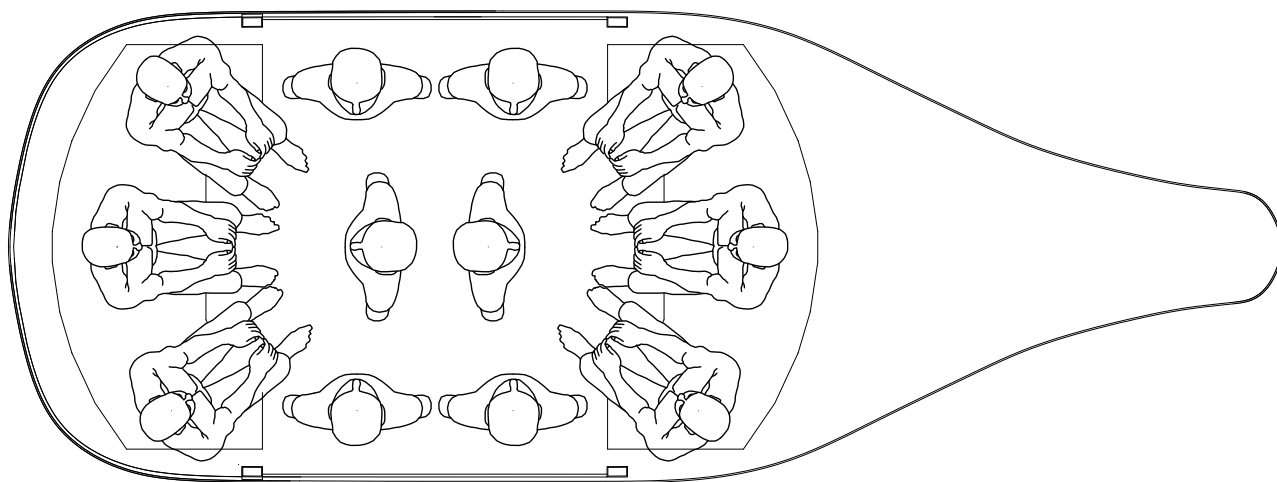


Рис. 1.3. Схема размещения пассажиров в юнибусе Ю-325П исполнения 01

Площадь пола в юнибусе для размещения стоящих пассажиров ($0,26 \text{ м}^2/\text{стоящего пассажира}$) более чем в 2 раза превышает нормируемую ЕЭК ООН № 52 величину ($0,125 \text{ м}^2/\text{стоящего пассажира}$), поэтому в часы пик юнибус Ю-325П сможет перевезти до 20 пассажиров. Высота салона в зоне размещения стоящих пассажиров на 50 мм превышает нормируемую ЕЭК ООН № 52 величину (1950 мм при нормативе 1900 мм). Высота салона в зоне размещения сидящих пассажиров на 600 мм превышает нормируемую ЕЭК ООН № 52 (1950 мм при нормативе 1350 мм). Размеры дверных проемов служебной и запасной дверей обеспечивают комфортный вход и выход из юнибуса, закатывание детских и инвалидных колясок. Ширина проема соответствует требованиям к двойной двери (1200 мм). Высота проема на 200 мм превышает нормируемую ЕЭК ООН № 52 величину (1850 мм при нормативе 1650 мм).

Полезная площадь салона юнибуса позволяет обеспечить перевозку четырех пассажиров с ограниченной способностью к передвижению (на инвалидных колясках) и четырех сопровождающих лиц.

Юнибус может быть использован для перевозки грузов. Предусмотрены места фиксации грузов для перевозки их в специальных тележках-контейнерах. Габариты салона и дверных проемов позволяют перевозку общепризнанного европалета со стандартными размерами 1200×800×1600 (см. рис. 1.4).

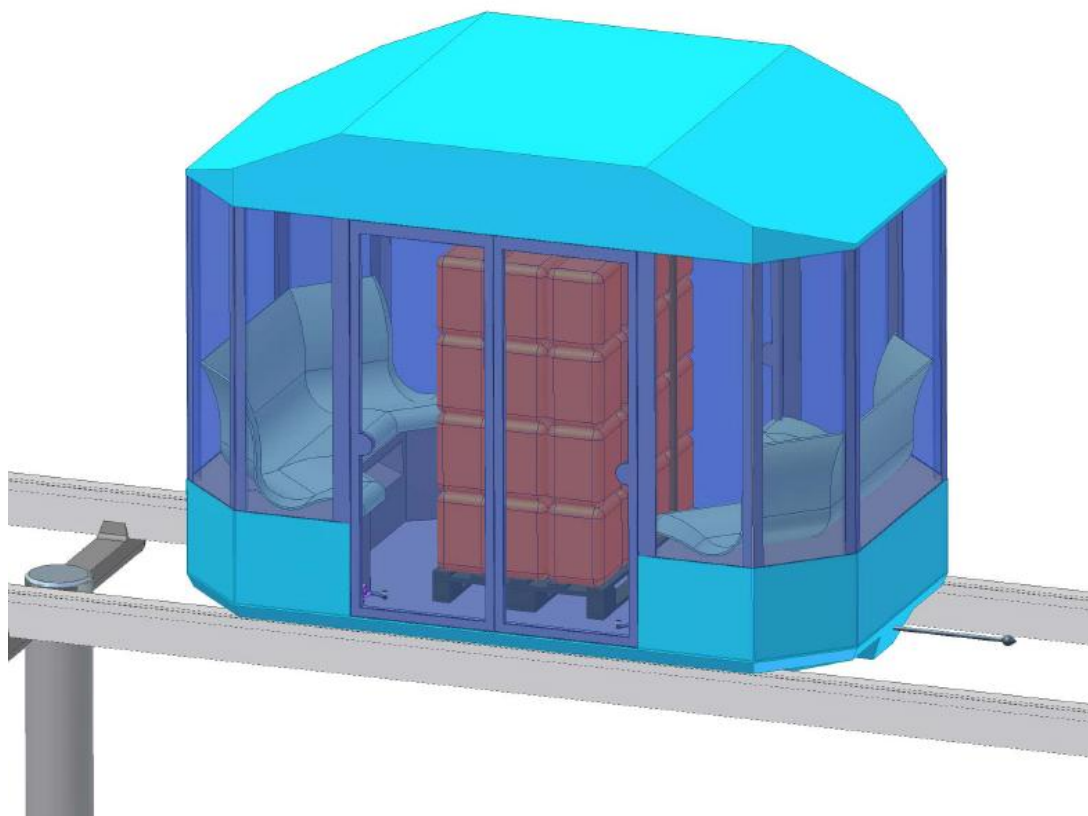


Рис. 1.4. Вариант размещения груза на европалете в юнибусе Ю-325П исполнения 02

1.3. Технические характеристики юнибуса модели Ю-325П

В целях предоставления Заказчику возможности выбора наиболее приемлемой конструкции по технико-экономическим показателям и его предпочтениям по дизайну подвижного состава транспортной системы СТЮ в г. Екатеринбурге по маршруту «Железнодорожный вокзал — многофункциональный комплекс «Космос-сити, Екатеринбург, Россия», юнибус Ю-325П представлен в нескольких вариантах исполнения:

- **исполнение 01** — корпус юнибуса (каплеобразный с приплюснутой кормовой частью) обладает высокой аэродинамичностью внешних форм (коэффициент лобового аэродинамического сопротивления $C_w = 0,1$). Это обеспечит минимальное потребление электроэнергии в эксплуатации, однако конструктивно и технологически данный юнибус наиболее сложен (внешний вид — см. рис. 1.5; габаритный чертеж — см. рис. 1.9; чертеж общего вида — см. рис. 1.10);
- **исполнение 02** — корпус юнибуса состоит из плоских элементов, коэффициент лобового аэродинамического сопротивления $C_w = 0,5$, что увеличивает потребление электроэнергии в эксплуатации на 16% в условиях безветрия и на 142% — при встречном ветре (54 км/ч), а также снижает его эксплуатационную скорость на 25%. Однако он прост в изготовлении и имеет наименьшую стоимость (внешний вид — см. рис. 1.6; габаритный чертеж — см. рис. 1.11; чертеж общего вида — см. рис. 1.12);
- **исполнение 03** — корпус юнибуса отличается от исполнения 02 закругленной формой носовой и кормовой частей и других обводов (внешний вид — см. рис. 1.7). В сравнении с исполнением 02 такой юнибус более сложен в изготовлении (габаритный чертеж — см. рис. 1.13; чертеж общего вида — см. рис. 1.14);
- **исполнение 04** — корпус юнибуса (каплеобразный в горизонтальной плоскости) обладает высокой аэродинамичностью внешних форм (коэффициент лобового аэродинамического сопротивления $C_w = 0,1$), что обеспечивает минимальное потребление электроэнергии в эксплуатации (внешний вид — см. рис. 1.8). В сравнении с исполнением 01 он менее сложен в изготовлении (габаритный чертеж — см. рис. 1.15; чертеж общего вида — см. рис. 1.16).

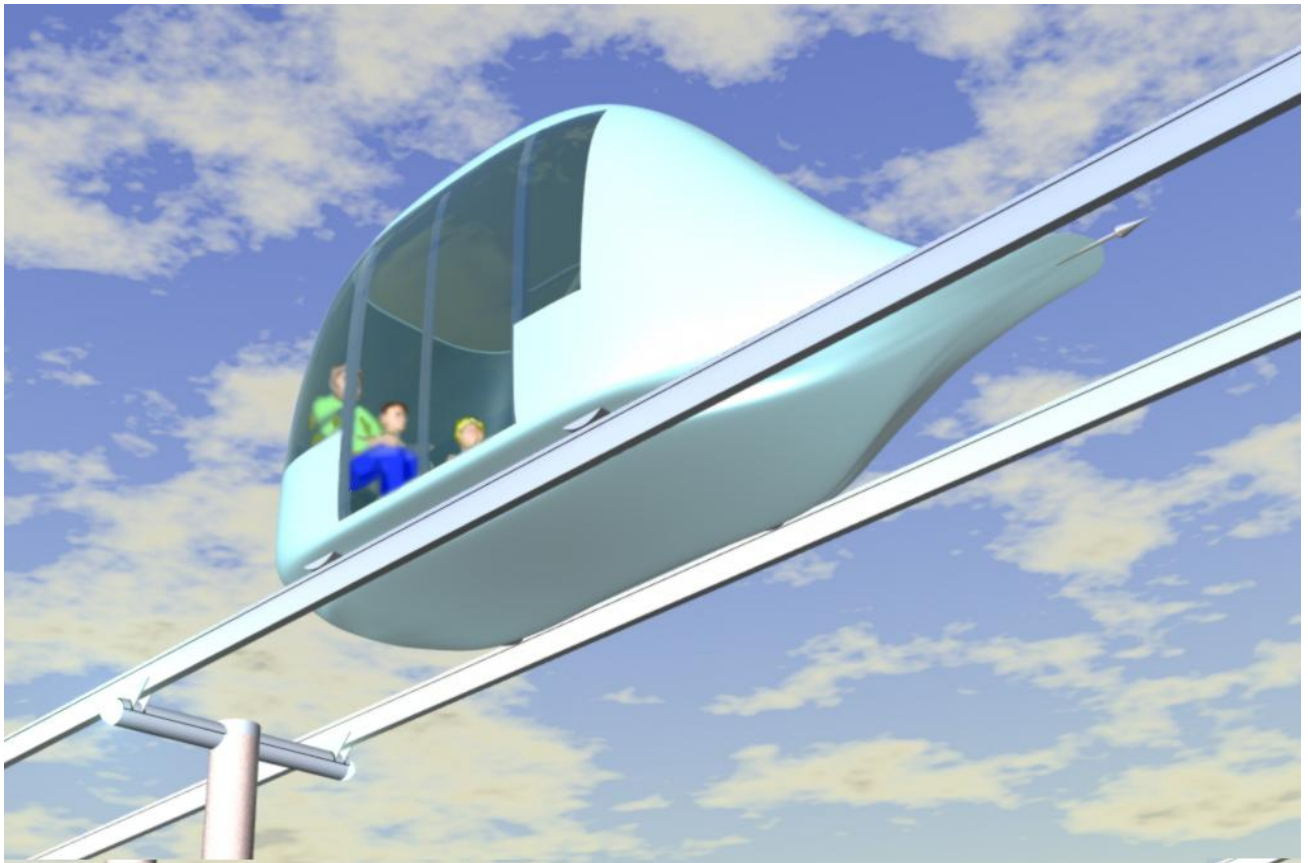
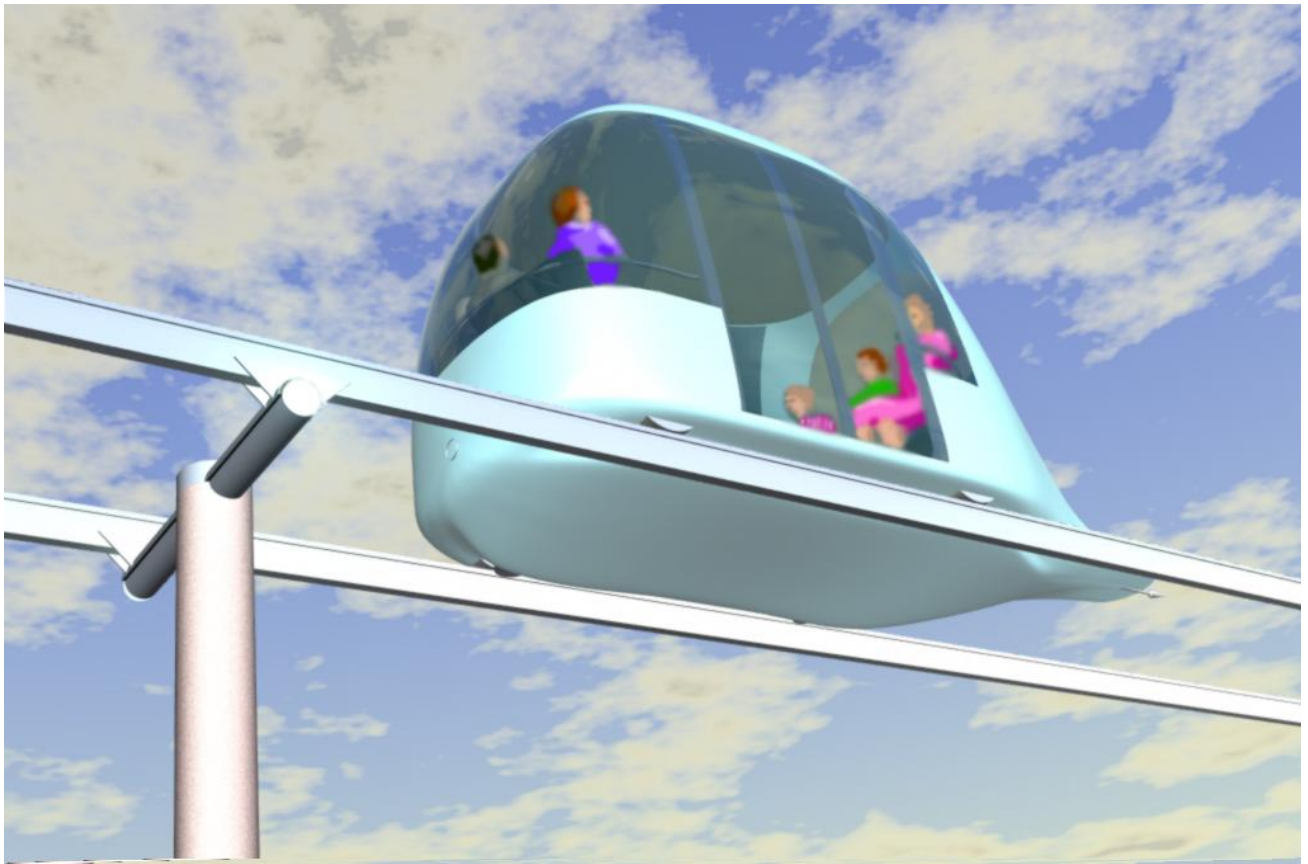


Рис. 1.5. Юнибус модели Ю-325П исполнения 01

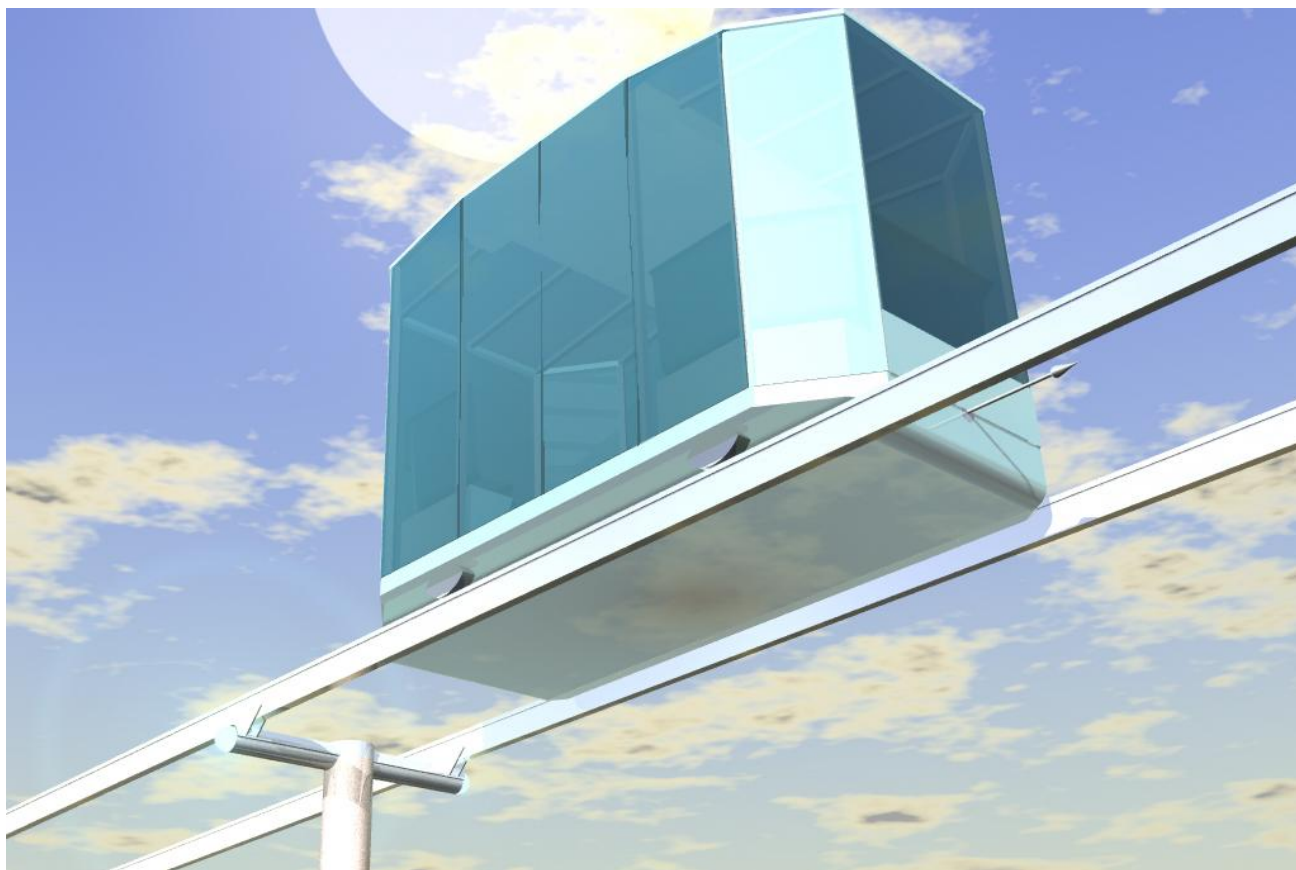
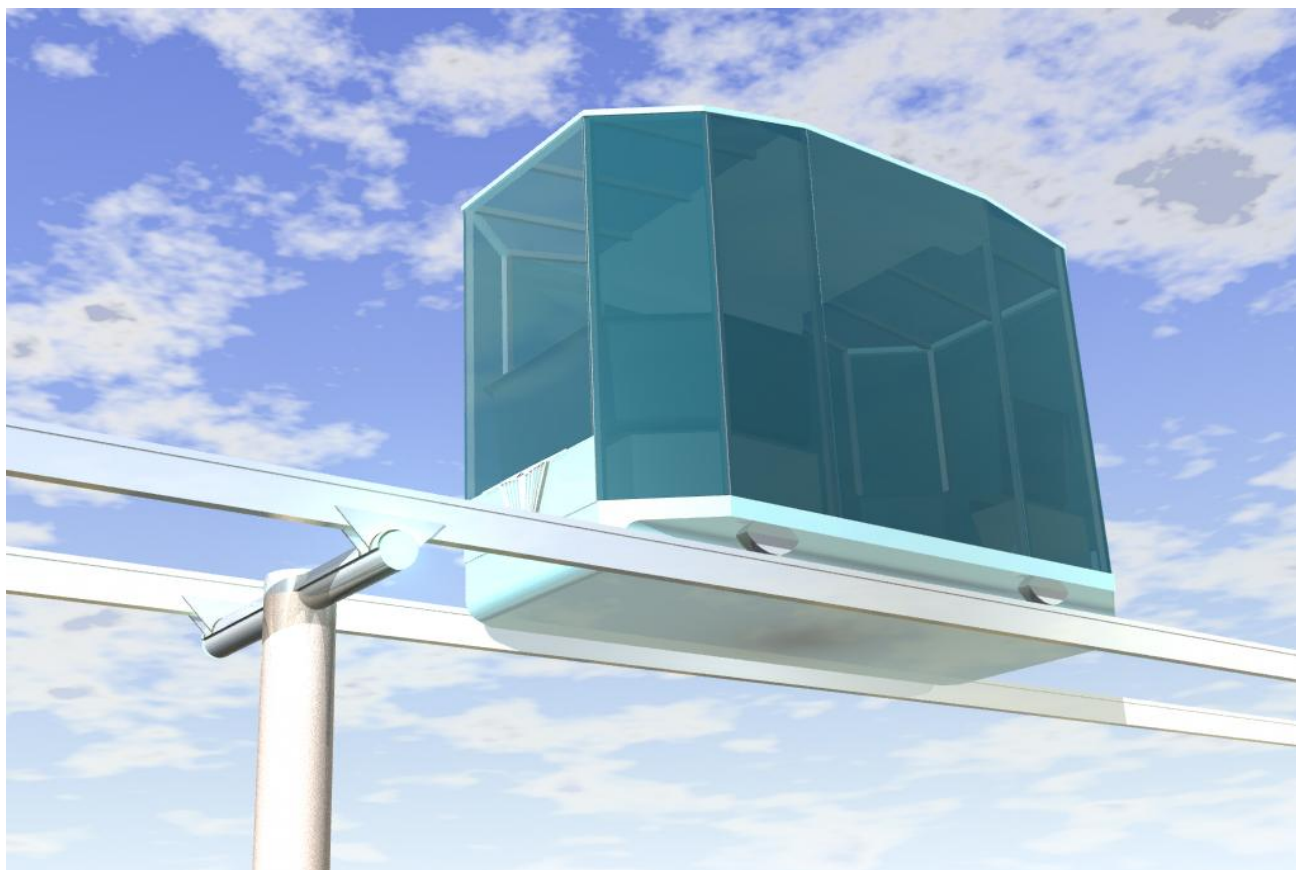


Рис. 1.6. Юнибус модели Ю-325П исполнения 02

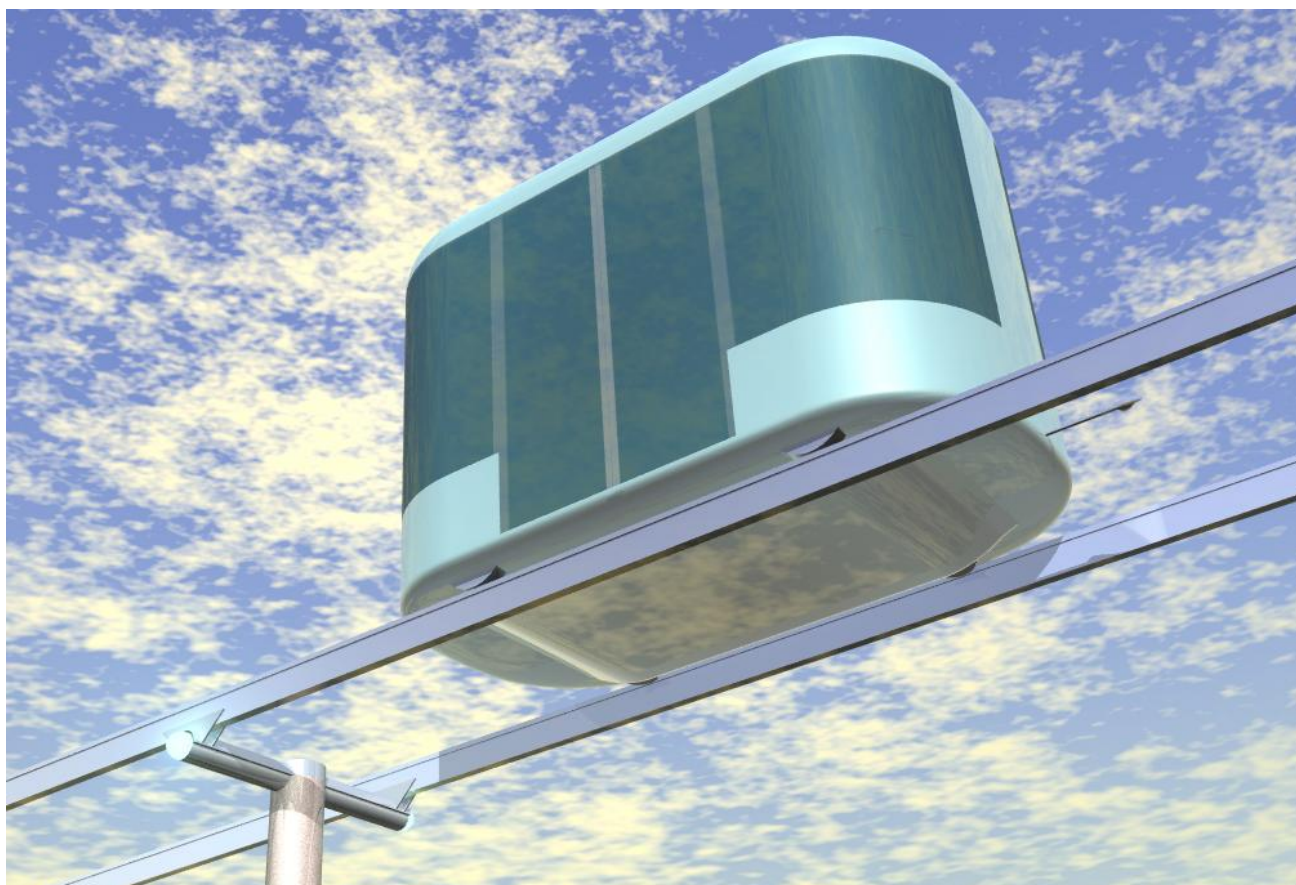
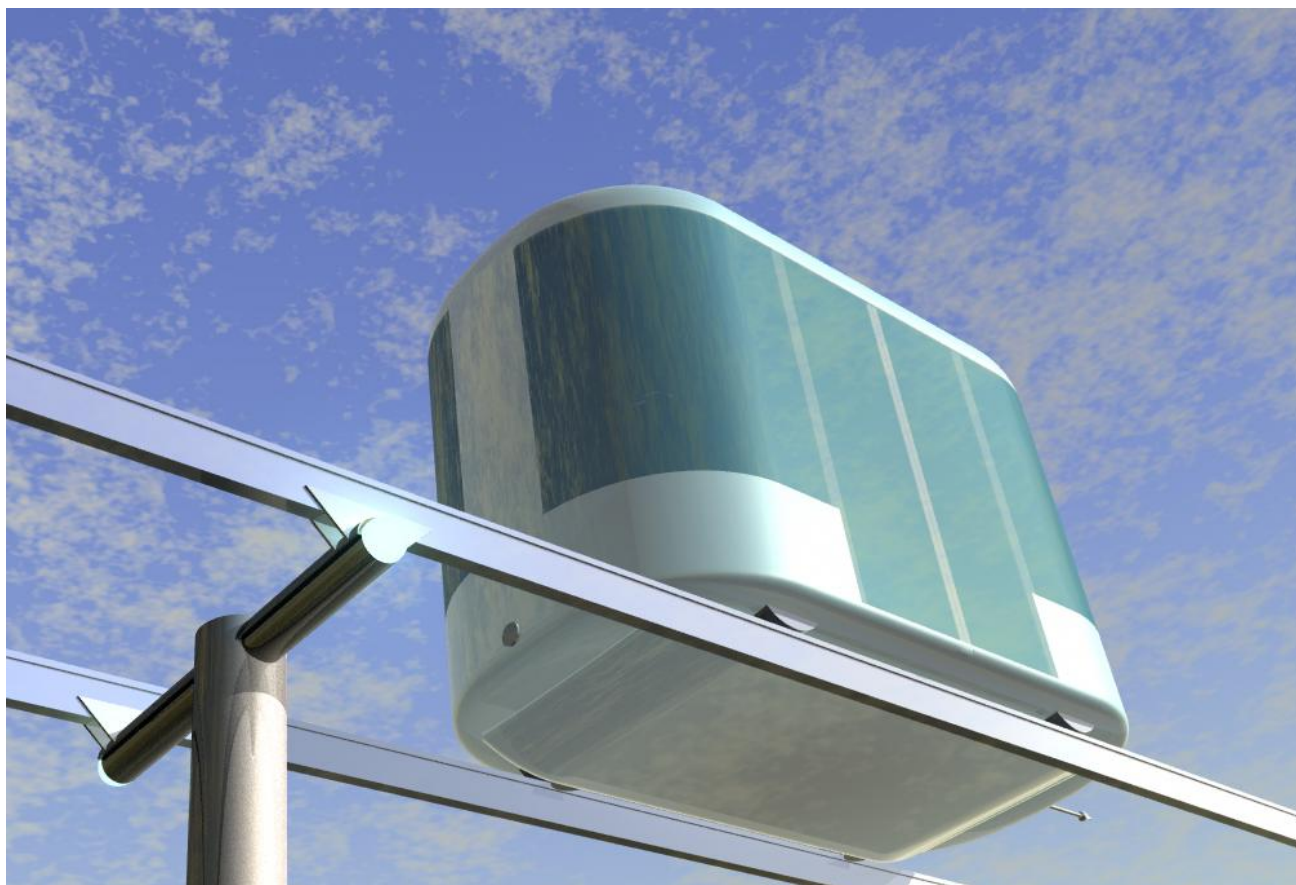


Рис. 1.7. Юнибус модели Ю-325П исполнения 03

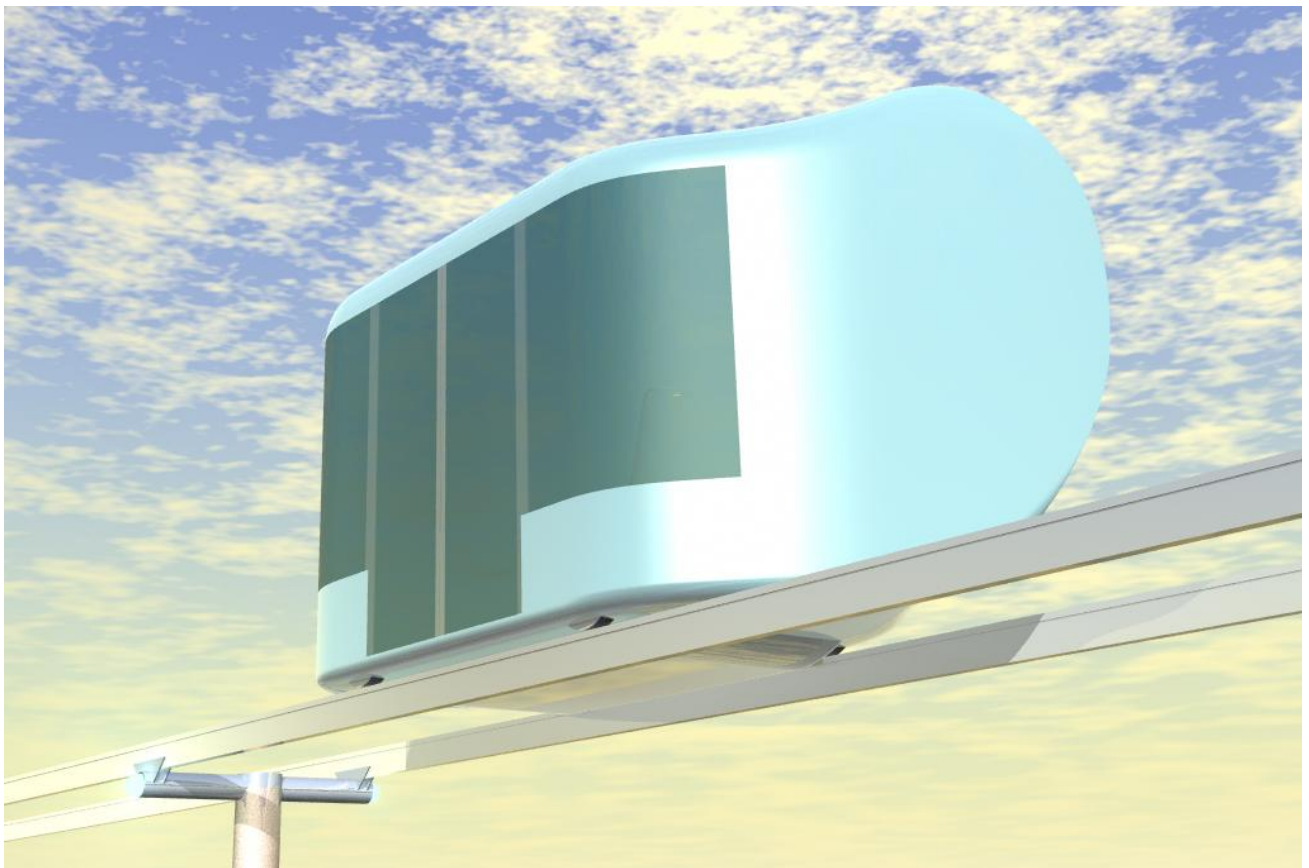
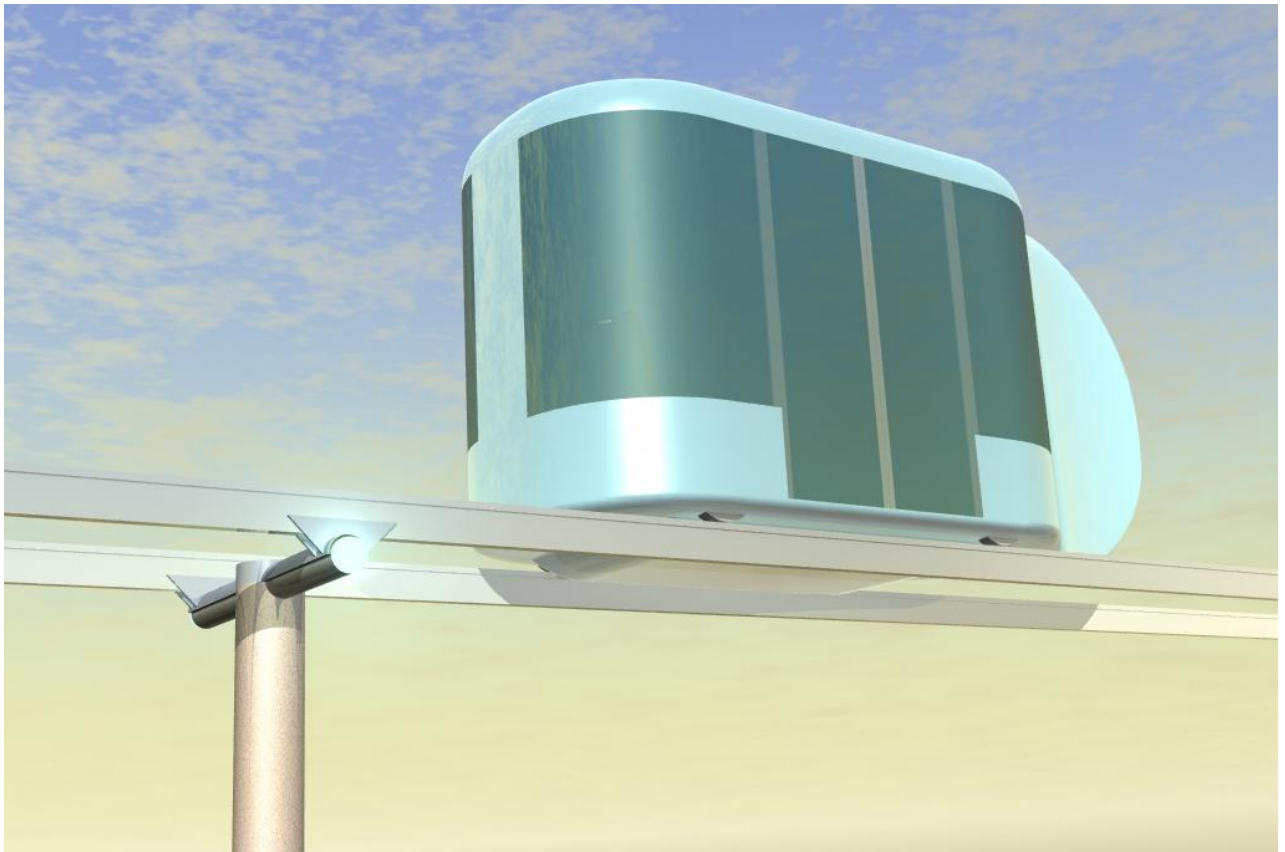


Рис. 1.8. Юнибус модели Ю-325П исполнения 04

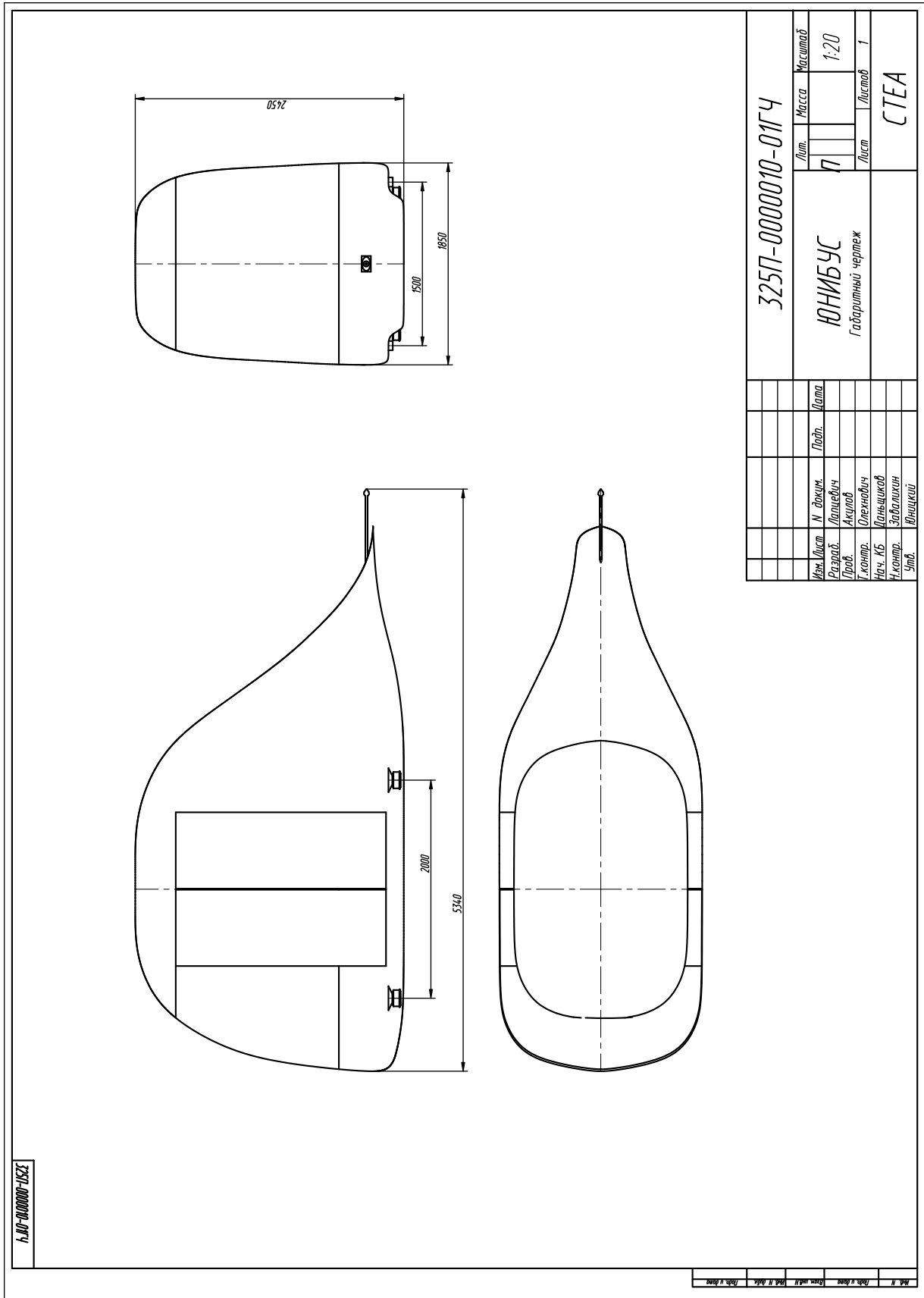


Рис. 1.9. Габаритный чертёж городского пассажирского юнибуса модели Ю-325П исполнения 01

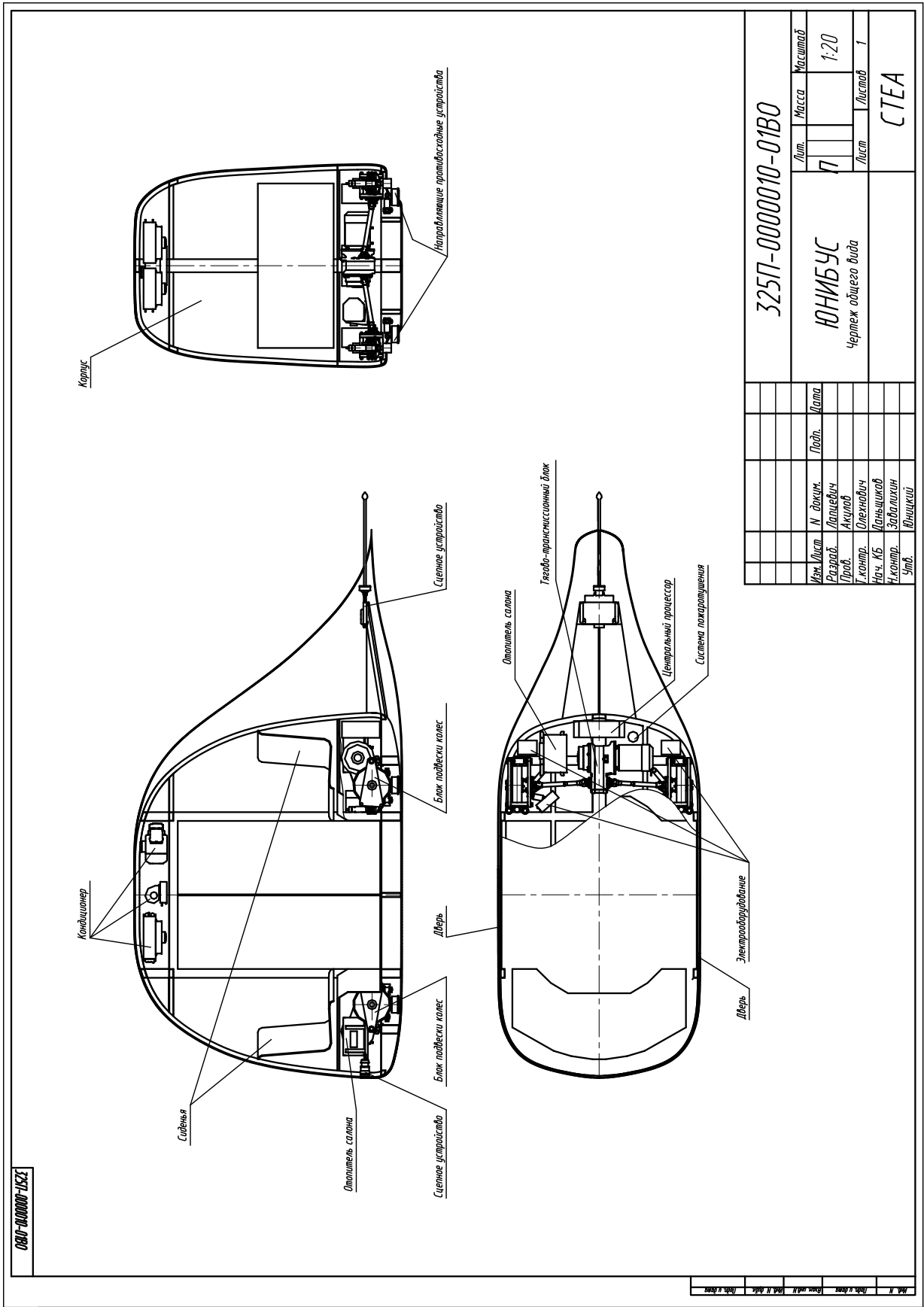


Рис. 1.10. Чертеж общего вида городского пассажирского юнибуса модели Ю-325П исполнения 01

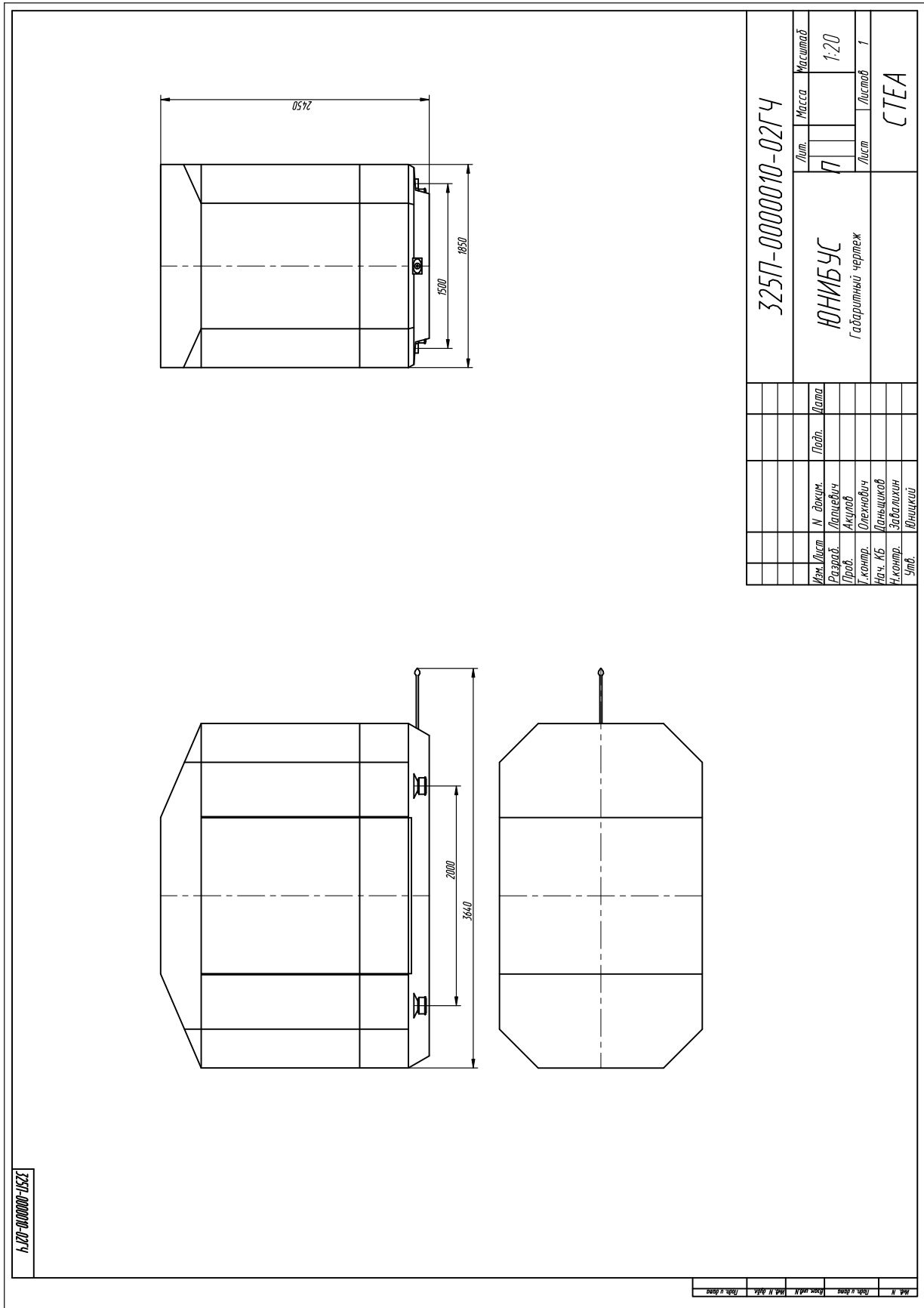


Рис. 1.11. Габаритный чертеж городского пассажирского юнибуса модели Ю-325П исполнения 02

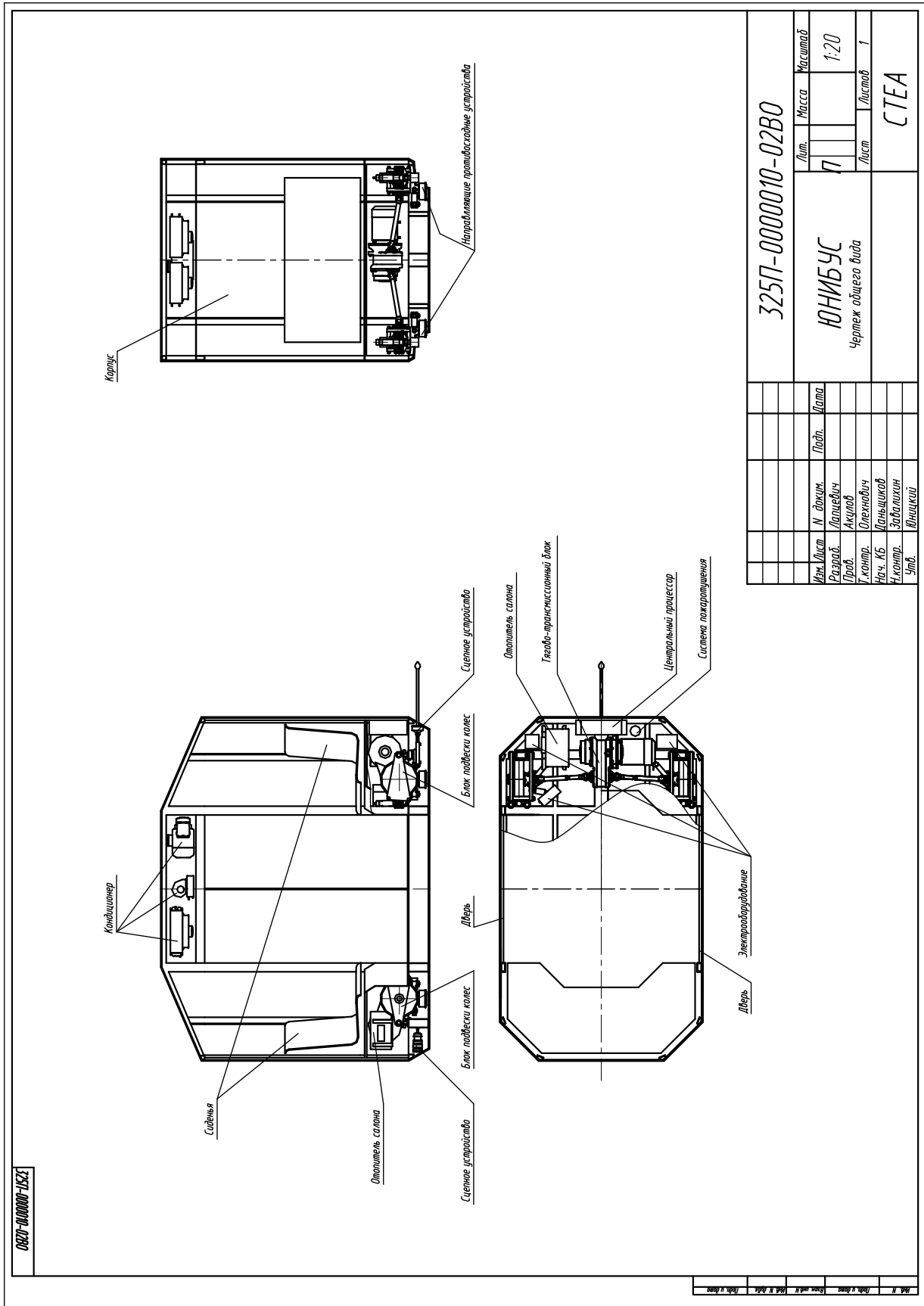


Рис. 1.12. Чертеж общего вида городского пассажирского юнибуса модели Ю-325П исполнения 02

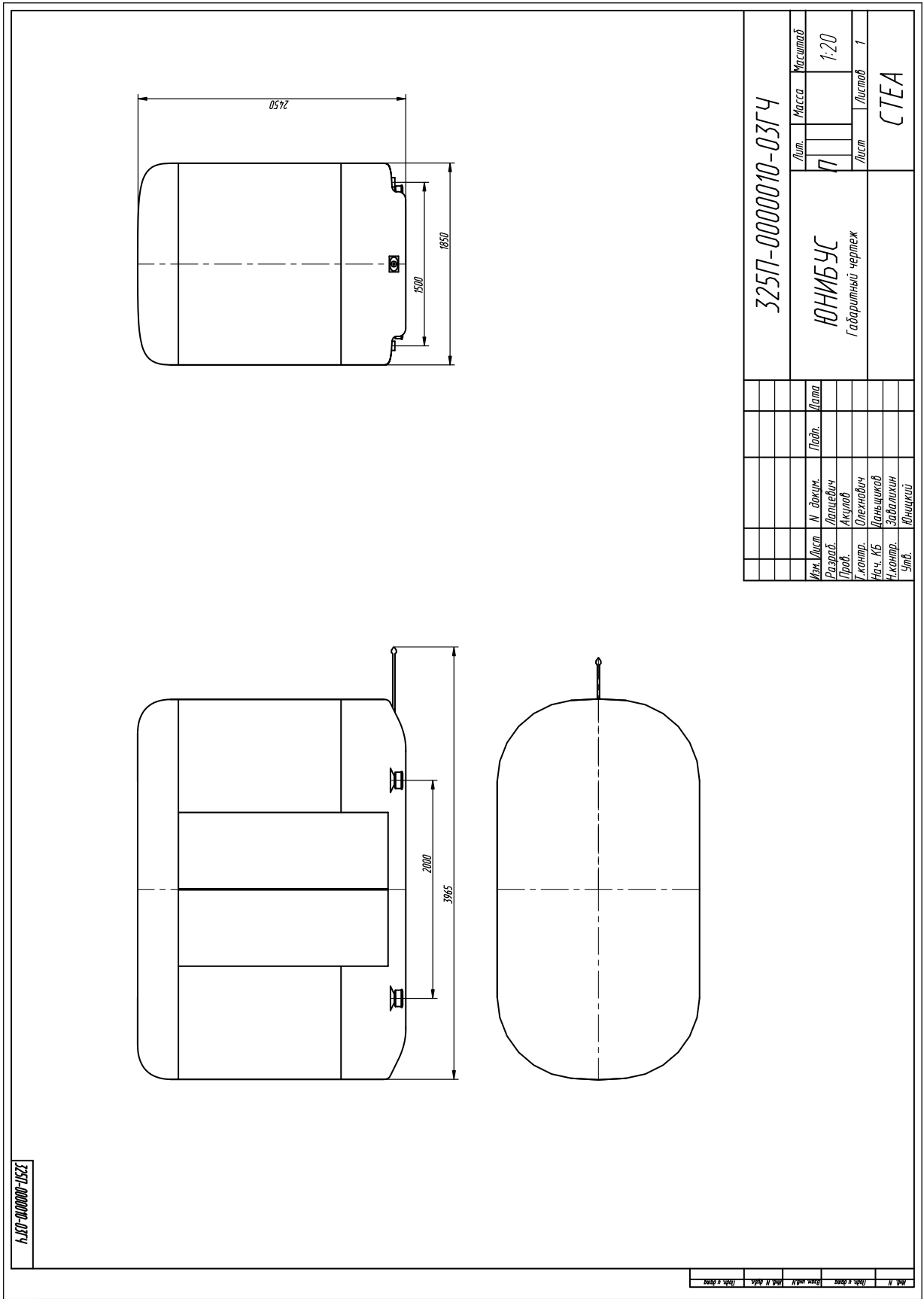


Рис. 1.13. Габаритный чертеж городского пассажирского юнибуса модели Ю-325П исполнения 03

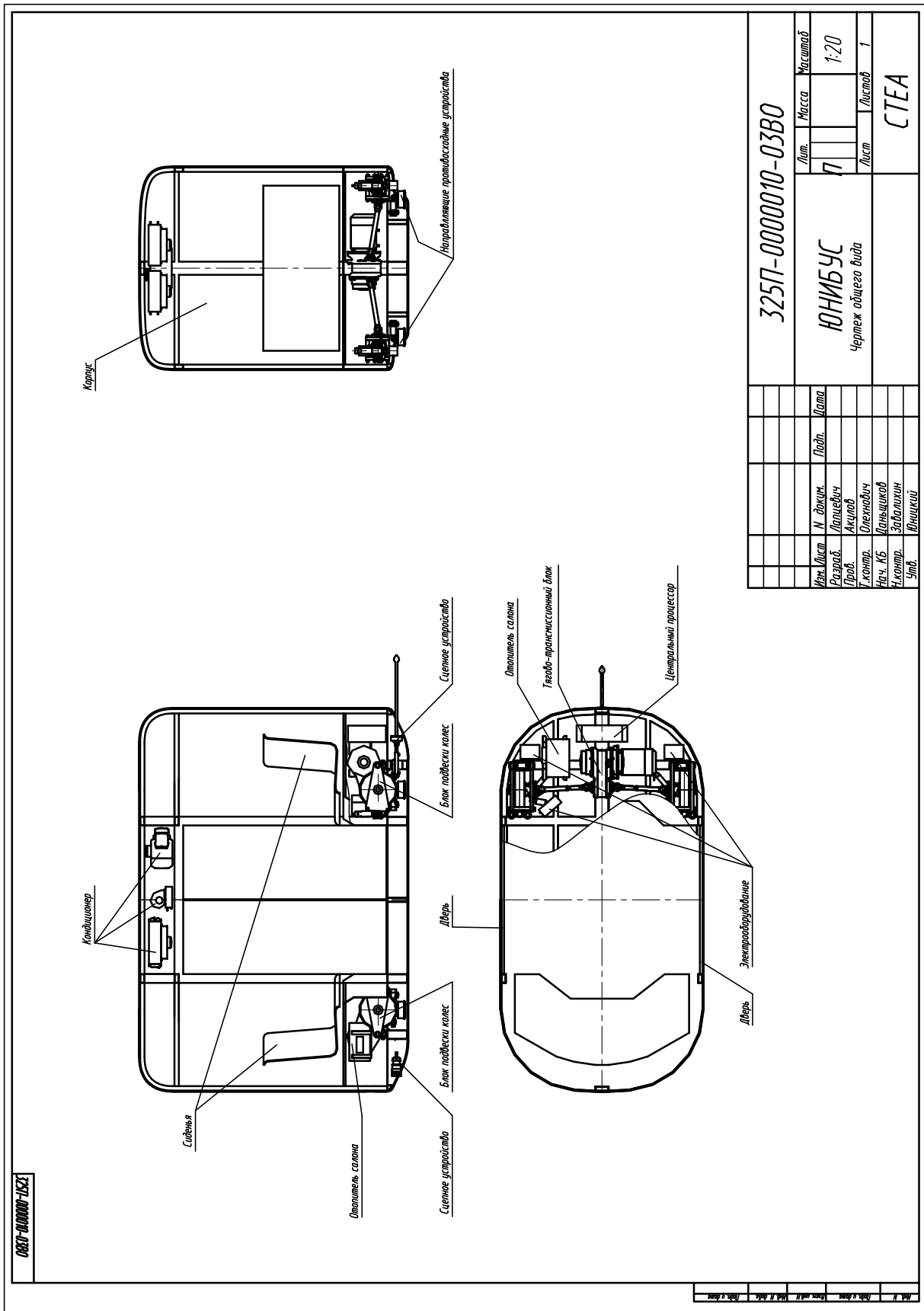


Рис. 1.14. Чертеж общего вида городского пассажирского юнибуса модели Ю-325П исполнения 03

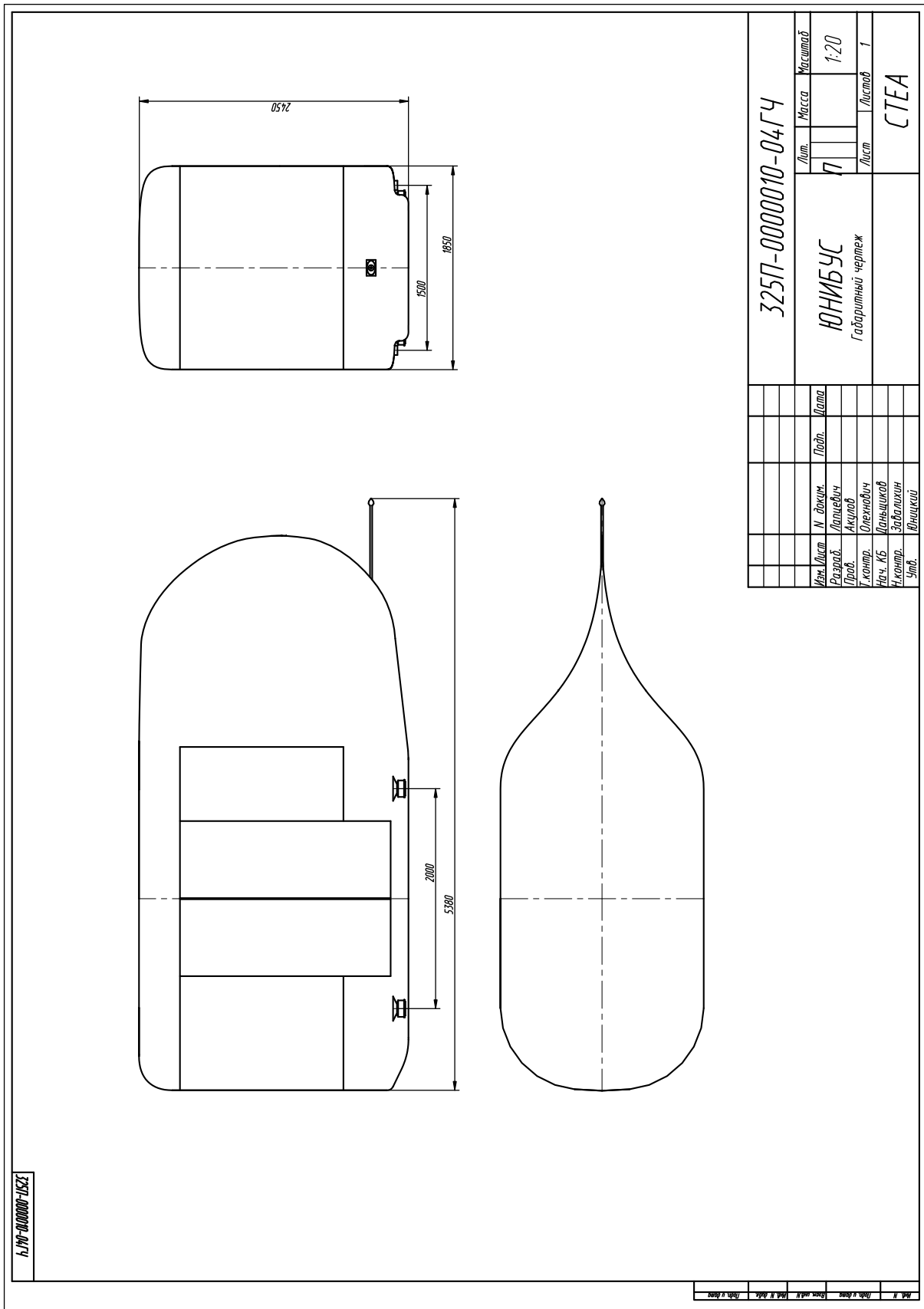


Рис. 1.15. Габаритный чертеж городского пассажирского юнибуса модели Ю-325П исполнения 04

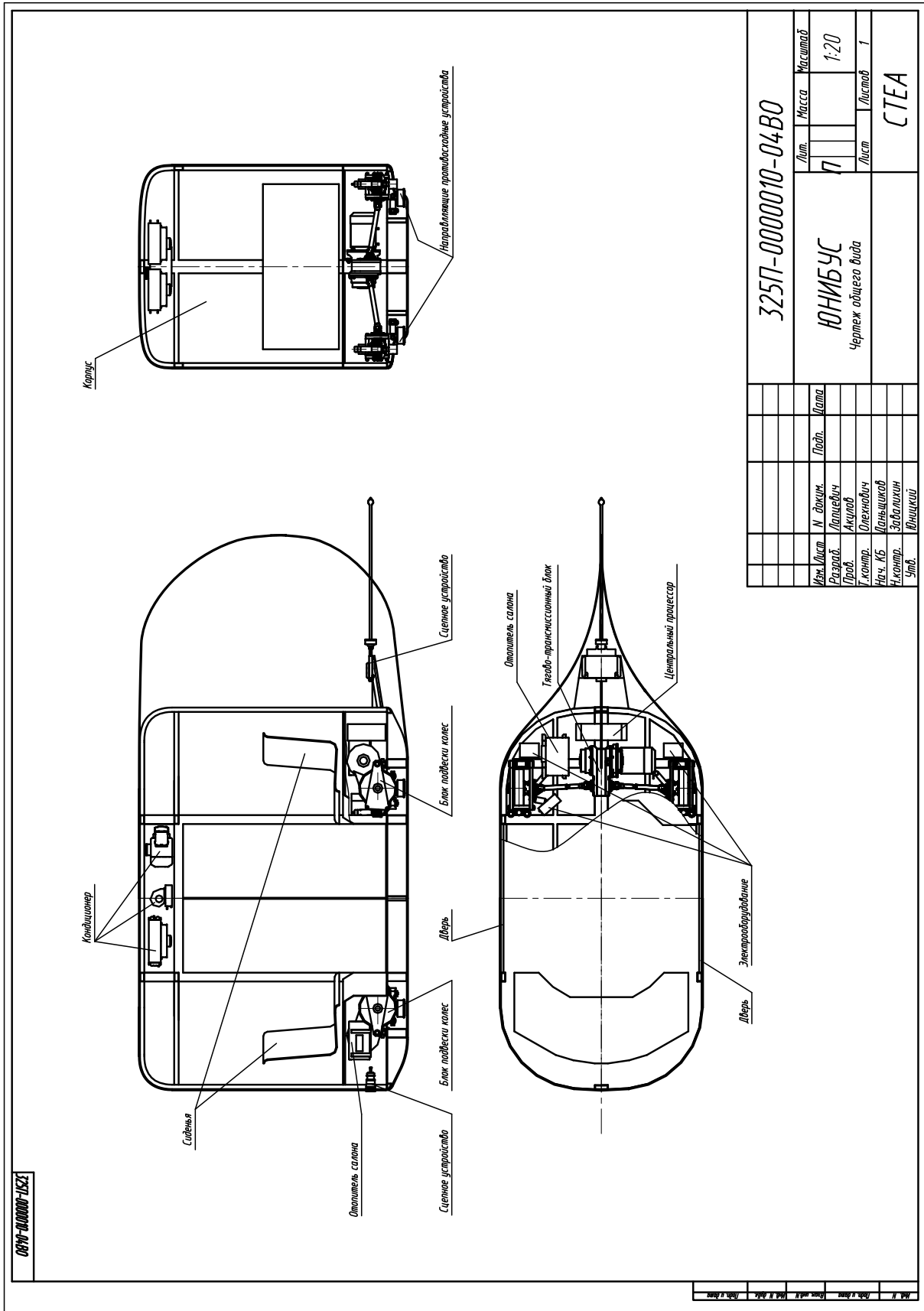


Рис. 1.16. Чертеж общего вида городского пассажирского юнибуса модели Ю-325П исполнения 04

Юнибусы Ю-325П всех исполнений предназначены для эксплуатации на электрифицированной двухрельсовой струнной транспортной линии в автоматическом режиме. Техническим предложением проанализирован также вариант электропитания юнибуса от бортового источника электроэнергии, подзарядка (или замена) которого будет производиться на станциях (см. п. 2.12 тягово-скоростного расчета 325П-0000010РР).

Во всех вариантах исполнения юнибуса Ю-325П использованы единые технические решения по конструкции и размещению агрегатов и систем.

Технические характеристики вариантов исполнений юнибуса Ю-325П приведены в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Технические характеристики вариантов исполнений юнибуса Ю-325П

№	Параметр	Исполнения юнибуса Ю-325П			
		01	02	03	04
1	Число пассажирских мест	12 (из них 6 для сидения)			
2	Снаряженная масса, кг	1500			
3	Полная масса, кг	2400			
4	Распределение максимальной массы по осям пар колес, кг:				
	- передняя	1200			
	- задняя	1200			
5	Габаритные размеры, мм:				
	- длина	5340	3640	3965	5380
	- ширина	1850			
	- высота	2450			
	- высота над головкой рельса	2350			
	- база	2000			
	- колея	1500			
	- клиренс	минус 100			
6	Точность позиционирования юнибуса на станции, мм	±30			
7	Эксплуатационная скорость, км/ч	60	45	45	60
8	Конструкционная скорость, км/ч, не менее	100			

№	Параметр	Исполнения юнибуса Ю-325П			
		01	02	03	04
9	Время штатного разгона до эксплуатационной скорости, с	27,7	20,8	20,8	27,7
10	Длина тормозного пути при служебном торможении (начальная скорость — эксплуатационная), м, не более	230	130	130	230
11	Длина тормозного пути при экстренном торможении (начальная скорость — эксплуатационная), м, не более	70	40	40	70
12	Штатное ускорение при разгоне и торможении, м/с ²	0,6			
13	Скорость изменения ускорения при трогании и остановке, м/с ³	0,5			
14	Потребление электроэнергии при выключенной системе кондиционирования (отопления) в городском цикле движения (остановки через каждые 650 м):				
	- кВт·ч/100 км	8,9	10,3	10,3	8,9
	- литров топлива (в пересчете электроэнергии в дизельное топливо):				
	л/100 км	1,87	2,16	2,16	1,87
	л/100 пасс.-км	0,16	0,18	0,18	0,16
15	Потребление электроэнергии при включенной на полную производительность системы кондиционирования, кВт·ч/100 км	19,6	22,0	22,0	19,6
16	Потребление электроэнергии при включенной на полную производительность системы отопления, кВт·ч/100 км	18,2	20,4	20,4	18,2

№	Параметр	Исполнения юнибуса Ю-325П			
		01	02	03	04
17	Температура воздуха в салоне при температуре наружного воздуха: -45°C, °C; +40°C, °C;		+5 +20		
18	Количество дверей: - служебная - запасная		1 1		
19	Колесная формула		4×4		
20	Характеристики агрегатов и систем				
20.1	Корпус	Сварной каркас из высокопрочного алюминиевого сплава, облицованный пластиком. Остекление — поликарбонат.			
20.2	Оборудование салона	Служебная дверь, запасная дверь, сидения, поручни. Приборы освещения салона. Обогрев и кондиционирование воздуха в салоне. Огнетушитель. Выключатель экстренного торможения. Связь с ЦДС. Аптечка. Информационное табло.			
20.3	Силовая установка: - кол-во электродвигателей - модель электродвигателя - тип - максимальная мощность одного электродвигателя, кВт - масса одного электродвигателя, кг - система управления		2 АИР112М2 асинхронный 7,5 50 электронная		
20.4	Ходовая система: - подвеска колес - направляющее устройство - гасители колебаний корпуса		независимая, на продольных рычагах четыре боковых противосходных ролика, контактирующих с боковыми дорожками качения головок рельсов телескопические амортизаторы		
20.5	Тормозная система остановочная		электродинамическая		
20.5	Тормозная система стояночная, аварийная		пассивная, электромеханическая		

№	Параметр	Исполнения юнибуса Ю-325П			
		01	02	03	04
20.6	Тормозные механизмы	дисковые, с электромагнитным отключением			
20.7	Система управления движением	автоматизированная			
20.8	Электрооборудование	АКБ, 24 В, двухпроводное; внешняя сеть 600 В постоянного тока			
20.9	Силовой электропривод	трехфазные асинхронные электродвигатели, тяговые преобразователи			
20.10	Система отопления	отопитель электрический			
20.11	Система вентиляции	кондиционер			
20.12	Система пожаротушения силовых отсеков	автоматическая, генераторы огнетушащего аэрозоля			
20.13	Устройство сцепное	автоматическое, с фрикционным энергогасителем удара			
20.14	Система эвакуации пассажиров	буксировка аварийного юнибуса на станцию; переход пассажиров в специальный эвакуационный модуль; тросовый эвакуатор пассажиров на поверхность земли			

1.4. Технические решения, используемые при разработке юнибуса модели Ю-325П

1.4.1. Компоновка

Юнибус Ю-325П конструктивно разделен на четыре отсека:

- пассажирский салон;
- передний силовой отсек;
- кормовой силовой отсек;
- отсек системы кондиционирования.

Компоновка юнибуса Ю-325П исполнения 01 в трехмерном изображении показана на рис. 1.17 и рис. 1.18.

Компоновка юнибуса Ю-325П исполнения 02 в трехмерном изображении показана на рис. 1.19 и рис. 1.20.

Юнибус Ю-325П исполнений 03 и 04 имеет компоновку, аналогичную компоновке юнибуса исполнений 01 и 02.



Рис. 1.17. Компоновка юнибуса Ю-325П исполнения 01 (вид на носовую часть)



Рис. 1.18. Компоновка юнибуса Ю-325П исполнения 01 (вид на кормовую часть)

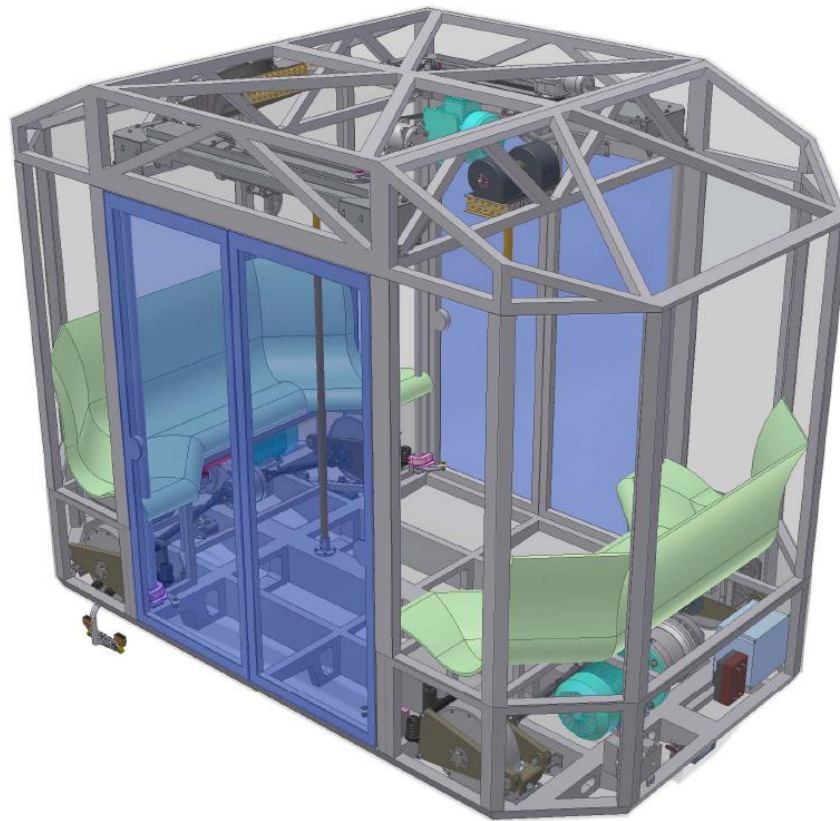


Рис. 1.19. Компоновка юнибуса Ю-325П исполнения 02 (вид на носовую часть)

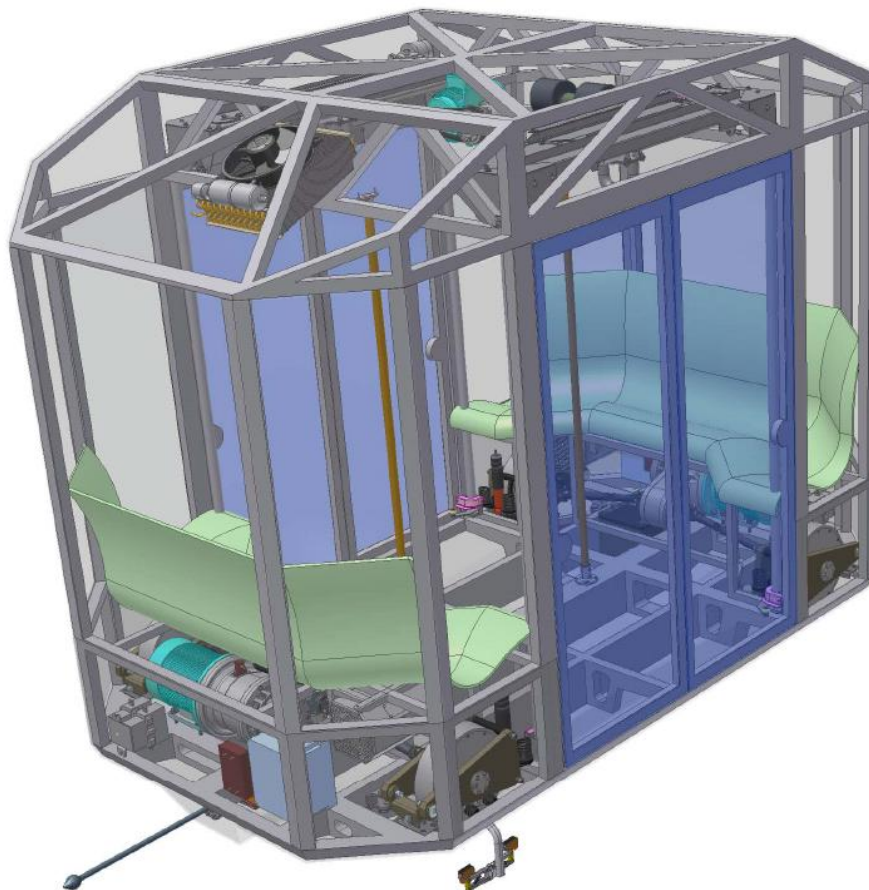


Рис. 1.20. Компоновка юнибуса Ю-325П исполнения 02 (вид на кормовую часть)

В пассажирском салоне установлены пассажирские сидения, светильники общего (аварийного) освещения, устройства связи с центральной диспетчерской станцией (ЦДС), огнетушитель, аптечка, включатель экстренного торможения, информационное табло. Пассажирский салон снабжен служебной сдвоенной дверью с левой стороны и запасной сдвоенной дверью с правой стороны. Для стоящих пассажиров предусмотрены поручни.

Два силовых отсека — передний и задний — расположены под пассажирскими сидениями и закрыты кожухами. В переднем силовом отсеке размещены блоки подвески с колесами и силовой блок (см. рис. 1.21), состоящий из тягового электродвигателя, редуктора с тормозом стояночной системы торможения, двух карданных валов и двух упругих муфт.



Рис. 1.21. Силовой блок

Кроме того, в переднем силовом отсеке размещены комплектующие блоки тягового электрооборудования, блоки системы пожаротушения и отопитель салона. К корпусу юнибуса в носовой части закреплен передний узел сцепного устройства и предусмотрены места крепления отбойников, которые препятствуют попаданию под

колеса посторонних предметов высотой более 5 мм, случайным образом попавших на головку рельса-струны.

В кормовом силовом отсеке размещены блоки подвески с колесами, силовой блок, аналогичный блоку, размещенному в переднем силовом отсеке, комплектующие блоки тягового электрооборудования, блоки системы пожаротушения, центральный процессор, панель защиты и коммутации, отопитель салона. К корпусу юнибуса в кормовой части закреплен задний узел сцепного устройства.

Отсек кондиционирования расположен в верхней части корпуса. В нем размещены агрегаты системы кондиционирования воздуха в пассажирском салоне и электропривод служебной двери.

1.4.2. Корпус и внешние формы

Корпус юнибуса Ю-325П (рис. 1.22, 1.23) каркасный, несущий, металлический, с термошумоизоляцией, двухдверный, с окнами, с наружной и внутренней облицовкой.

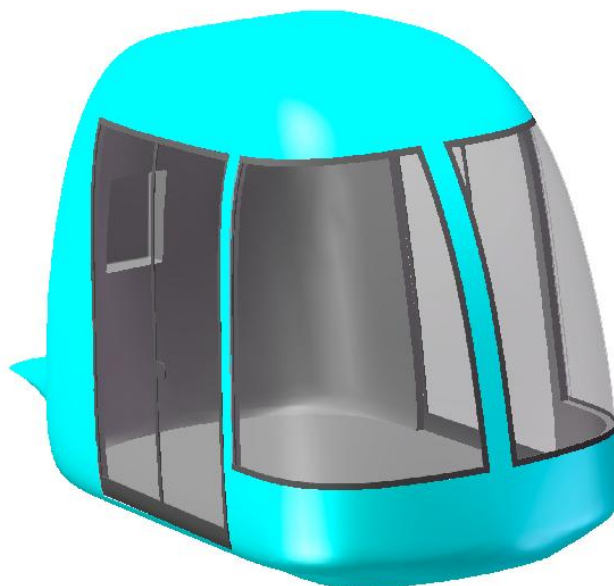


Рис. 1.22. Корпус юнибуса Ю-325П исполнения 01

Корпус состоит из сварного каркаса, служебной двери, запасной двери, остекления, внутренних перегородок, крышек и термошумоизоляции.

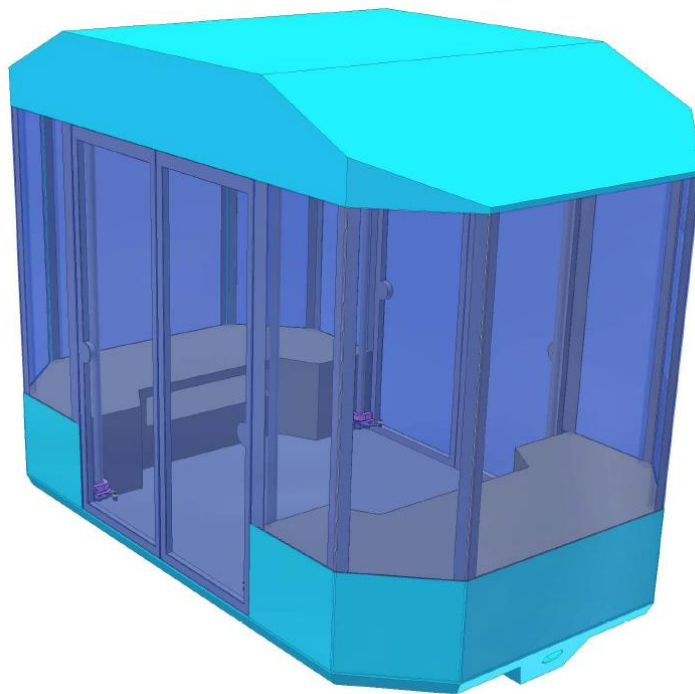


Рис. 1.23. Корпус юнибуса Ю-325П исполнения 02

Сварной каркас (рис. 1.24, 1.25) состоит из нижней рамы и верхнего строения.



Рис. 1.24. Каркас сварной юнибуса Ю-325П исполнения 01

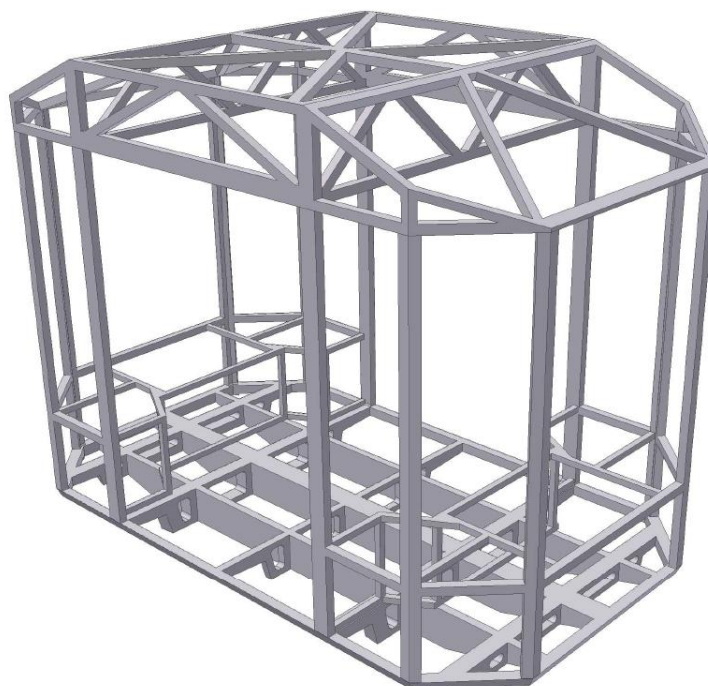


Рис. 1.25. Каркас сварной юнибуса Ю-325П исполнения 02

Нижняя рама состоит из продольных и поперечных балок, окантовки и днища.

Верхнее строение состоит из стоек, потолка, поперечных и продольных балок для крепления облицовки, узлов и систем юнибуса.

Все детали каркаса изготовлены из относительно недорогих, но высокопрочных алюминиевых сплавов, используемых в космической технике и авиастроении.

Остекление юнибуса состоит из окон. В качестве материала окон юнибуса применен затемненный зеркальный высокопрочный поликарбонат, используемый в авиа- и вертолетостроении.

Наружная непрозрачная поверхность корпуса также облицована высокопрочным поликарбонатом.

Внутренняя поверхность салона облицована декоративным негорючим пластиком.

Для термозумоизоляции пассажирского салона и силового отсека применен негорючий пенопласт ПХВ.

Открытый дизайн, обеспечивающий хорошую видимость, в частности, у юнибусов исполнений 02 и 03, а также подбор высококачественных и высокопрочных

материалов позволит снизить вероятный ущерб юнибусу, который может быть нанесен при вандализме, террористических и хулиганских действиях пассажиров и посторонних лиц.

Важнейшей отличительной особенностью юнибусов исполнений 01 и 04 является их высокая аэродинамичность внешних форм. Построение таких внешних форм юнибуса Ю-325П осуществлено с учетом результатов многократных продувок моделей масштаба 1:5 в ЦНИИ им. А.Н. Крылова (г. Санкт-Петербург), что позволило добиться получения лобового коэффициента аэродинамического сопротивления (C_w), равного примерно 0,1. Для сравнения, величина коэффициента аэродинамического сопротивления юнибусов исполнений 02 и 03, как, например, и в традиционных автобусах, составляет примерно $C_w = 0,5$. Благодаря этой особенности юнибусы Ю-325П исполнений 01 (или 04) позволяют экономить при эксплуатации до 16% электроэнергии и обеспечат, при той же мощности привода, эксплуатационную скорость 60 км/ч против 45 км/ч у юнибусов исполнений 02 и 03.

Для построения высокоаэродинамичных внешних форм корпусов юнибусов 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.

1.4.3. Силовая установка

В целях полного исключения загрязнений городской воздушной среды вредными веществами продуктов горения в качестве силовой установки в подвижном составе транспортной системы СТЮ в г. Екатеринбурге по маршруту «Железнодорожный вокзал — многофункциональный комплекс «Космос-сити, Екатеринбург, Россия» используются электродвигатели (асинхронные, трехфазные). На юнибусе Ю-325П установлены два электродвигателя (см. рис. 1.26) — по одному двигателю на передние и задние пары колес. Основной показатель надежности силовых установок — средний ресурс до капитального ремонта — у асинхронных трехфазных электродвигателей достигает 30.000 часов, что обеспечит примерно 20-тилетний ресурс работы привода юнибуса.

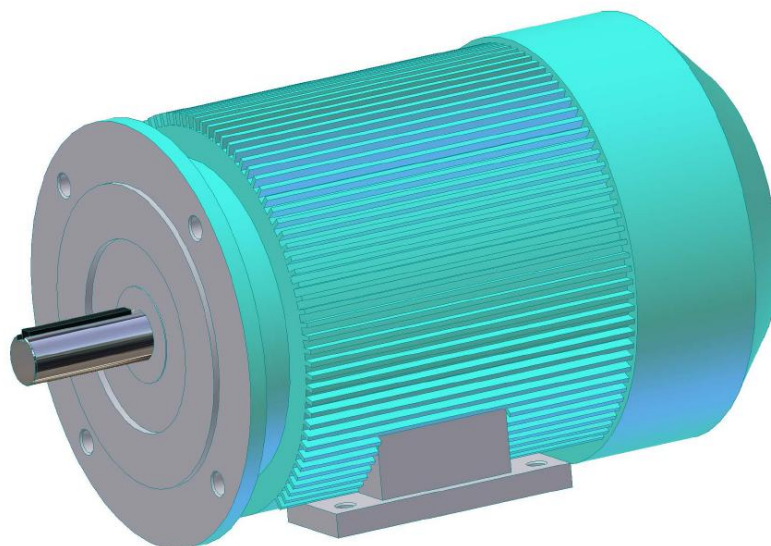


Рис. 1.26. Тяговый электрический асинхронный двигатель юнибуса Ю-325П мощностью 7,5 кВт

1.4.4. Подбор вариантов комплектации трансмиссии

Трансмиссия любого транспортного средства предназначена для передачи мощности от силовой установки к ведущим (тяговым) колесам и изменения частоты вращения колес и подводимого к ним крутящего (тягового) момента по величине и направлению. Благодаря использованию в юнибусе Ю-325П комплекта регулируемого асинхронного электропривода (состав варианта комплекта — см. далее п. 1.4.7) его трансмиссия значительно упрощается, т.к. может обойтись без основного типичного и недостаточно надежного для автомобилей агрегата трансмиссии — коробки передач. Все четыре колеса юнибуса Ю-325П являются тяговыми. Юнибус Ю-325П снабжен двумя автономными электроприводами и, соответственно, — двумя одинаковыми трансмиссиями (по одной на пару колес). Комплект одной трансмиссии включает косозубый зубчатый редуктор с дифференциальным механизмом, два карданных вала и две упругие муфты.

Кинематическая схема трансмиссии автономного электропривода приведена на рис. 1.27.

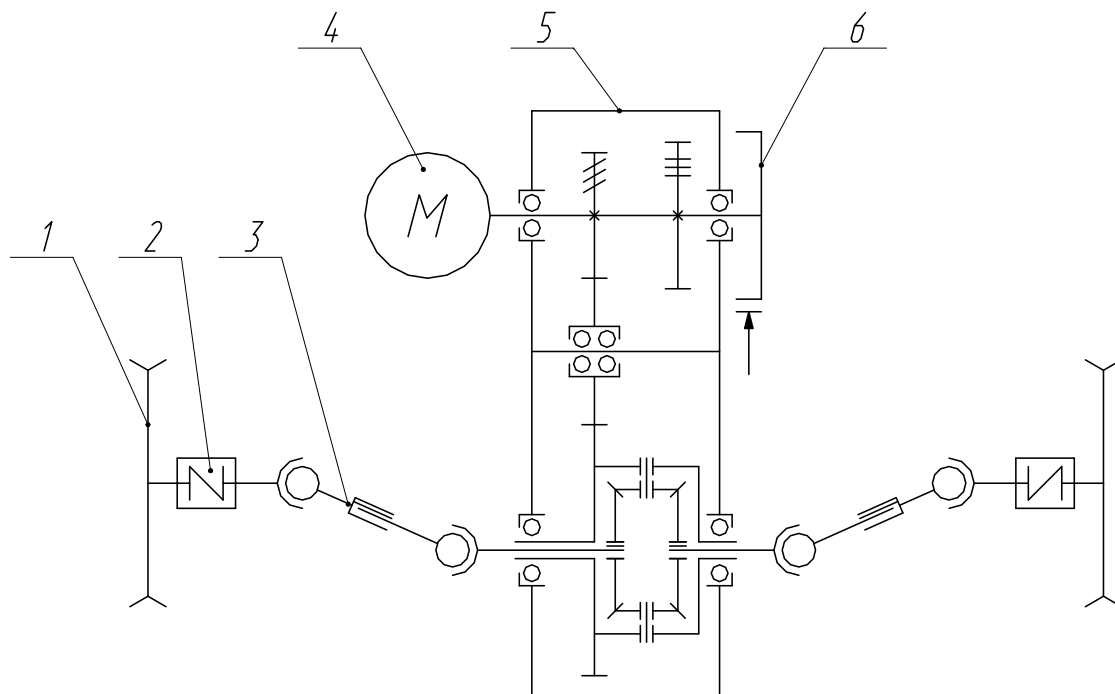


Рис. 1.27. Кинематическая схема силовой передачи автономного электропривода юнибуса Ю-325П:

- 1 — тяговое колесо; 2 — упругая муфта; 3 — карданные валы; 4 — тяговый электродвигатель;
5 — редуктор с дифференциальным механизмом; 6 — тормоз стояночной системы торможения.

1.4.5. Ходовая система

Ходовая система юнибуса — четырехопорная. Подвеска каждого колеса — независимая, в которой используются в качестве:

- упругих элементов — спиральные, цилиндрические пружины;
- кинематических устройств — работающие параллельно продольные рычаги-балансиры;
- гасителей колебаний корпуса — телескопические амортизаторы.

Шарниры рычагов-балансиров — резинометаллические. Шарниры предназначены для обеспечения подвижной упругой связи между опорным блоком и корпусом юнибуса. Блок подвески каждого колеса снабжен тремя резинометаллическими шарнирами — два для обеспечения качания рычагов-балансиров в продольной вертикальной плоскости и один — для покачивания в поперечной плоскости, что обеспечивает постоянство линейного контакта цилиндрической опорной поверхности колеса с плоской поверхностью качения головки рельса.

Блок подвески опорного и ведущего колеса юнибуса показан на рис. 1.28.

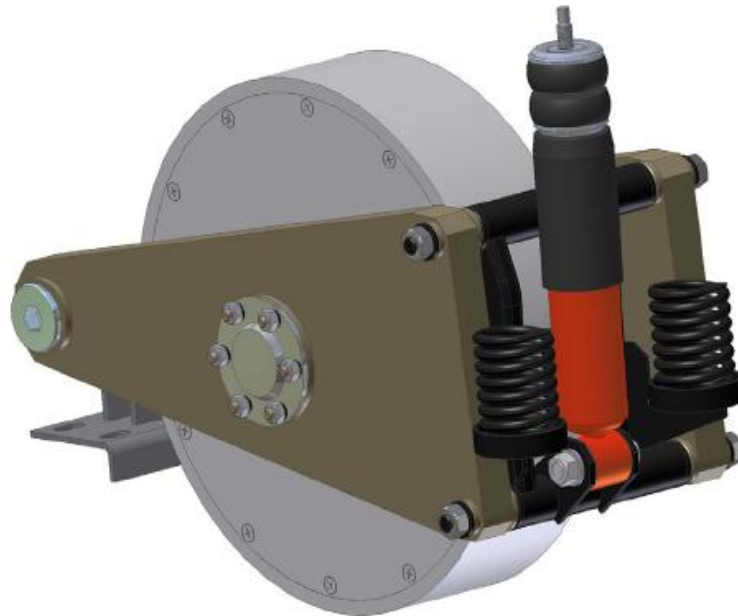


Рис. 1.28. Блок подвески опорного и ведущего колеса юнибуса Ю-325П

Колесо представляет собой стальной высокопрочный обод, закрепленный на диске из высокопрочного алюминиевого сплава. Для снижения аэродинамических потерь при высоких оборотах полости колес закрыты крышками.

Функцию направляющего и противосходного устройств юнибуса выполняют четыре боковых ролика (по ролику на каждое колесо), контактирующих изнутри путевой структуры с боковыми дорожками качения головок левого и правого рельсов-струн (см. рис. 1.29). Ролики снабжены страховочными буртами, заходящими за низ уширения рельсов. Ролики прижимаются к рельсу-струне начальным усилием. При возникновении значительной боковой возмущающей силы юнибус будет получать небольшое поперечное смещение, пока возрастающая поперечная сила сопротивления боковому перемещению роликов не сравняется с возмущающей поперечной силой. При этом контакт роликов, размещенных с другой стороны юнибуса, с боковыми дорожками качения головок рельсов не теряется. Дальнейшее поперечное перемещение юнибуса ограничивают жесткие упоры, что обеспечивает 100%-ную гарантию устойчивости юнибуса даже в случае вынужденной эксплуатации при ураганном боковом ветре. При прекращении действия боковой возмущающей силы юнибус возвращается направляющими и противосходными роликами в исходное положение, симметричное относительно левого и правого рельсов-струн.

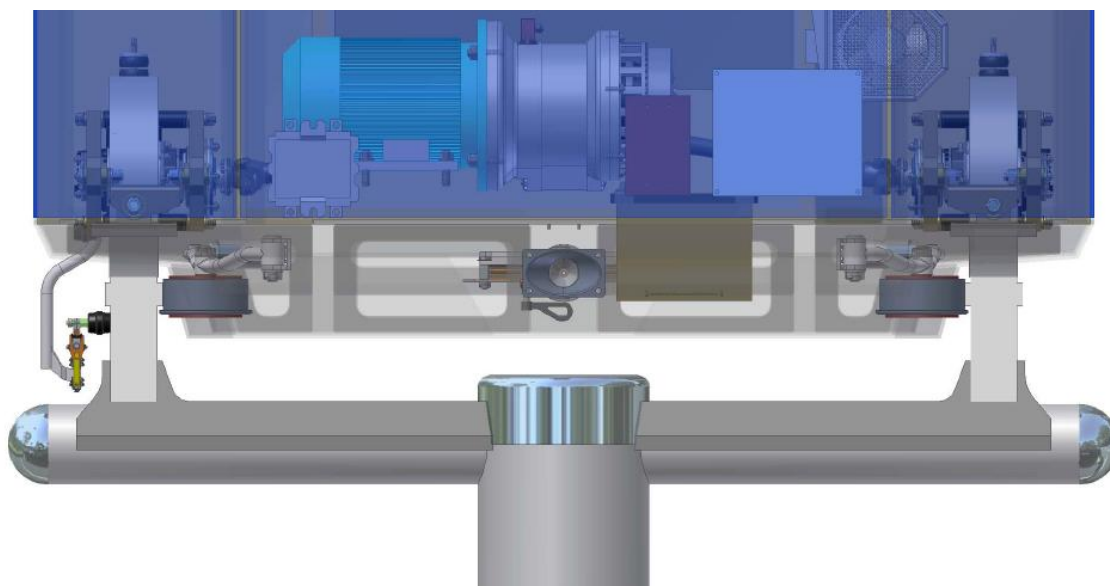


Рис. 1.29. Схема размещения направляющего и противосходного устройств юнибуса Ю-325П (слева показан токосъем и контактный провод)

Линейный контакт обода с головкой рельса и замена в противосходном устройстве традиционных на железной дороге (трамвае) реборд на боковые упорные ролики, позволили снизить коэффициент сопротивления качения колес (f) до величины 0,0022, т.е. примерно на порядок по сравнению с коэффициентом сопротивления качению пневматических шин колес автомобиля (троллейбуса) по асфальтобетону ($f = 0,013$ при низких скоростях движения и $f = 0,25$ при скорости 100 км/ч).

В табл. 1.3 приведен анализ влияния коэффициента сопротивления качению колес на технико-экономические показатели юнибуса Ю-325П исполнения 01 в условиях безветрия и при выключенной системе кондиционирования (отопления).

Таблица 1.3

Анализ влияния коэффициента сопротивления качению колес (f) на показатель среднего энергопотребления юнибуса Ю-325П исполнения 01

Показатель	$f = 0,0022$	$f = 0,013$	Ухудшение показателя, %
Среднее потребление электроэнергии (при расстоянии между городскими остановками 650 м), кВт·ч/100 км	8,9	17,8	100

Применение стальных колес с цилиндрическим опиранием и боковыми упорными роликами в сравнении с пневматическими колесами дает экономию электроэнергии за срок службы юнибуса (20 лет) при 18-тичасовой эксплуатации в сутки примерно 400 тыс. кВт·ч (на один юнибус), или в денежном выражении — примерно 1 млн. руб. При наличии даже небольшого парка юнибусов на городском двухпутном СТЮ в г. Екатеринбурге, например, в количестве 20 шт., аналогичная экономия электроэнергии составит 8 млн. кВт·ч стоимостью 20 млн. руб. Такое количество электроэнергии эквивалентно 2.400 тыс. литрам дизельного топлива.

1.4.6. Тормозная система

Юнибус Ю-325П оборудован двумя независимыми системами торможения: электродинамической и механической. Первая является служебной и обеспечивает торможение юнибуса с заданным замедлением $0,6 \text{ м/с}^2$, ограничивая толчки величиной $0,5 \text{ м/с}^3$ и обеспечивая позиционирование юнибуса напротив дверей станции с заданной точностью ($\pm 30 \text{ мм}$). При этом тяговые электродвигатели при торможении юнибуса работают в генераторном режиме и выдают выработанную электроэнергию в электросеть. Механические же тормоза функционируют как тормоза стояночной системы и как запасные, а также — используются для экстренного торможения совместно с электродинамической системой. Конструктивно механический тормоз (см. рис. 1.30) выполнен дисковым с электромагнитным отключением. Одними из надежнейших и качественных тормозов подобной конструкции являются тормоза серии PSH (Poba-stop Hochleistungsbremse) разработки и производства компании Maug Antriebstechnik, Германия. Высокая надежность тормозов серии RSH достигнута благодаря использованию в качестве материала тормозных накладок и дисков керамического материала C/C-SiC вместо традиционных материалов пар трения — органический материал типа Феродо + серый чугун. Внедрение материала C/C-SiC, при прочих равных условиях, обеспечило тормозам PSH увеличение тормозного момента в два раза, а допустимого количества работы разового торможения — более чем в 10 раз. Материал C/C-SiC обеспечивает стабильность коэффициента трения и отсутствие коробления дисков даже при температуре $+1200 \text{ }^\circ\text{C}$ против $+600 \text{ }^\circ\text{C}$ у Феродо.

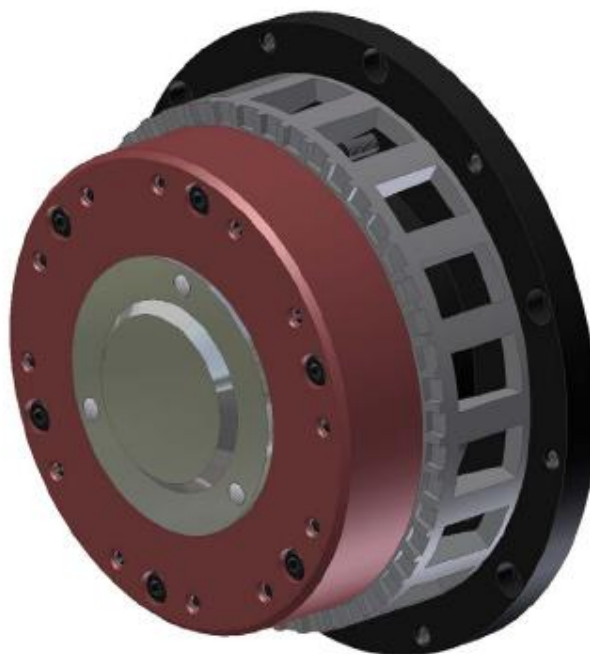


Рис. 1.30. Механический тормоз юнибуса Ю-325П

1.4.7. Электрооборудование юнибуса Ю-325П

В качестве силового привода юнибуса Ю-325П используется регулируемый асинхронный электропривод. Питание его осуществляется от контактной сети постоянного тока напряжением 600 В.

Комплект силового электропривода состоит из:

- двух тяговых асинхронных электродвигателей (см. рис. 1.26);
- двух тяговых преобразователей;
- двух блоков управления;
- двух статических преобразователей для питания цепей управления и вспомогательного оборудования;
- аккумуляторной батареи;
- двух автоматических выключателей;
- двух линейных контакторов;
- центрального процессора;
- токосъемного устройства.

Управление тяговыми двигателями осуществляют тяговые преобразователи, которые преобразуют 600 В постоянного тока в переменный ток заданной частоты. Тяговый преобразователь использует режим векторного регулирования, который

предусматривает организацию управления по переменным состояниям:

- векторам тока ротора и статора;
- вектору потокосцепления ротора;
- вектору потокосцепления статора;
- главному потокосцеплению электрической машины.

Векторное регулирование предусматривает, что в блоке управления реализуется математическая модель двигателя, вычисляющая неизмеряемые координаты электропривода. Выходные воздействия преобразователя формируют управление двигателем с учетом этой модели.

Тяговые электронные преобразователи частоты реализованы на современной элементной базе силовой электроники — технологии IGBT (биполярный транзистор с изолированным затвором). Применение IGBT-элементов обеспечивает высокое качество управления асинхронными двигателями при минимальных весогабаритных показателях преобразовательного устройства. Высокая надежность управления обеспечивается благодаря использованию IGBT-элементов производства компании EUPEC GmbH, Германия, являющейся мировым технологическим лидером этого вида продукции.

В блоке управления тяговым приводом применены современные и высоконадежные DSP-микроконтроллеры производства компании Motorola, США, специализированные для управления двигателями переменного тока. Данные микроконтроллеры имеют развитый интерфейс как для формирования трехфазного векторного ШИМ-сигнала, так и для обработки датчиков тока и напряжения.

Кроме собственно функций управления (регулирование скорости и крутящего момента) двигателя, электронный преобразователь также выполняет функции защиты двигателя от токов короткого замыкания, перегрузки, пропадания фазы. Обеспечивается также электронное бесконтактное переключение направления движения юнибуса. В блоке управления реализован расчет температуры тягового двигателя, что позволяет иметь дополнительную защиту от перегрева. При этом реализуется интеллектуальная защита, когда происходит не просто защитное отключение двигателя, а ограничение тока двигателя при приближении температуры обмоток двигателя к критической, в целях недопущения дальнейшего перегрева, и, следовательно, — остановки юнибуса. При этом также всегда остается «резервный

запас» для обеспечения режима торможения, который никогда не блокируется (в целях безопасности).

Электронный преобразователь частоты имеет собственную независимую систему диагностики. Данная система диагностики позволяет в ручном или автоматическом режиме контролировать практически все переменные характеристики электропривода. При этом, кроме записи параметров текущего состояния, возможен режим «логического анализатора», при котором происходит автоматическая запись всех параметров работы тягового привода при наступлении заранее заданного (установленного) режима. Например, при появлении ошибки «авария привода» происходит автоматическая запись всех параметров в так называемый «триггер», причем запись параметров осуществляется как до события, так и после, что позволяет анализировать причины появления неисправности. В любом случае, при наступлении ошибок, происходит фиксация в энергонезависимой памяти блока управления тяговым приводом текущих значений всех переменных, на момент наступления ошибки.

Кроме функций накопления, система диагностики посредством бортовой CAN-сети имеет возможность выхода на каналы передачи данных и связи с центральным диспетчерским пунктом, что позволяет оперативно решать возникающие проблемы. То есть, имеется возможность дистанционного контроля за работой тягового привода, а в некоторых режимах — и дистанционное устранение неисправностей. В любом случае, центральный диспетчер всегда будет знать причину остановки юнибуса на перегоне, и, соответственно, — принимать решения по дальнейшим действиям.

Система управления приводом юнибуса обеспечивает также режим генераторного (рекуперативного) торможения. При этом электродвигатели, работающие в генераторном режиме, начинают производить электроэнергию и передают ее в контактную сеть. Произведенная энергия может быть использована энергопотребителями как самого юнибуса (освещение, отопление, вентиляция и др.), так и другими юнибусами, осуществляющими разгон или равномерное движение на данном участке, что значительно повышает КПД транспортной системы в целом.

Режим управляемого останова юнибуса позволяет производить его плавное замедление и позиционирование в заданной точке станции, а, при необходимости, и на трассе, с погрешностью не более ± 30 мм.

На рис. 1.31 изображена функциональная схема системы управления приводом юнибуса Ю-325П.

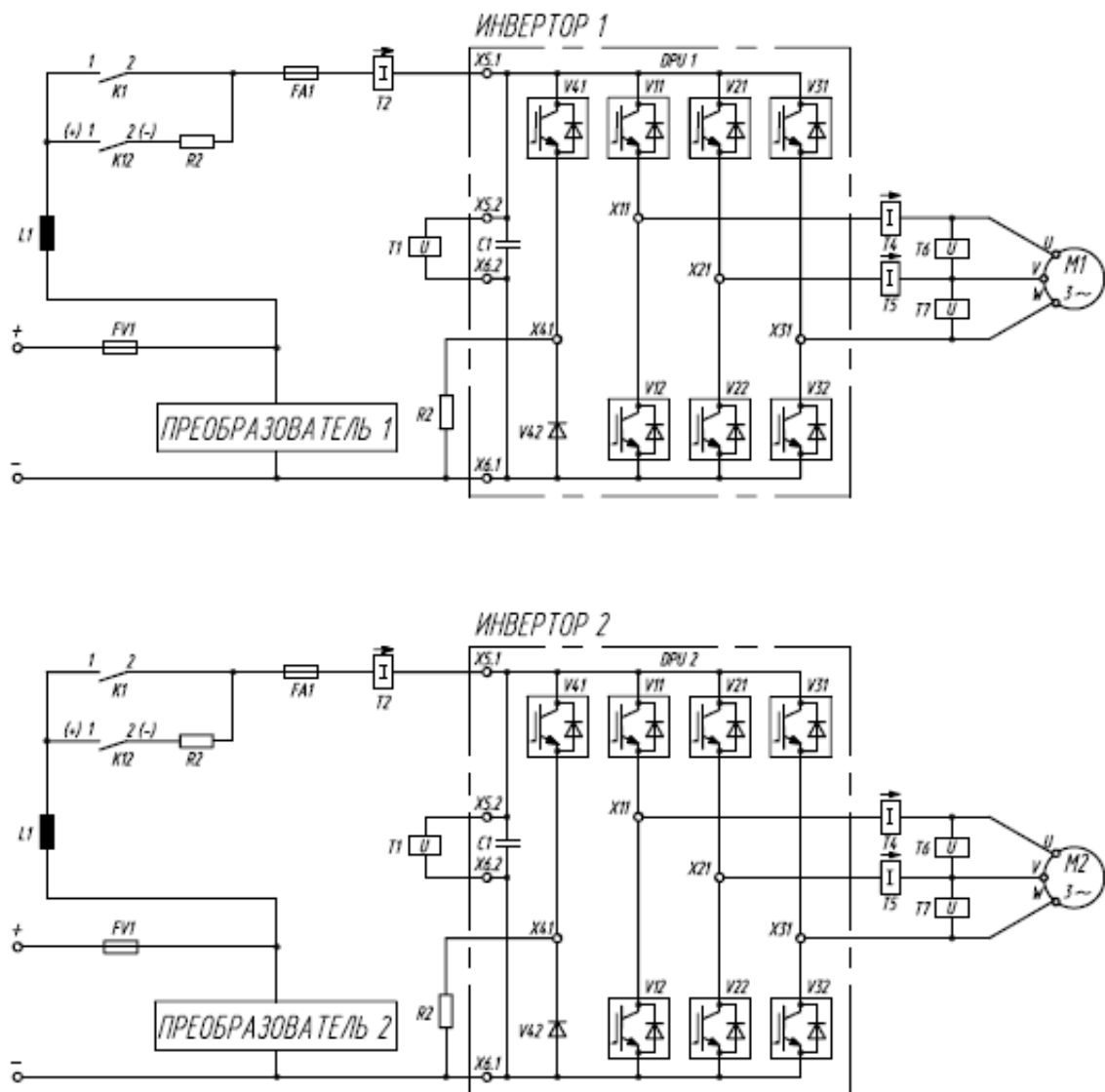


Рис. 1.31. Функциональная схема системы управления приводом юнибуса Ю-325П.

Бортовые статические преобразователи предназначены для питания цепей управления силовых преобразователей и вспомогательных электрических цепей юнибуса напряжением +24 В.

Для повышения надежности и качества питающего напряжения 24 В в буфер статическим преобразователям подключена аккумуляторная батарея. Аккумуляторная батарея обеспечивает бесперебойное питание всех систем управления юнибусом при отсутствии напряжения в силовой контактной сети.

Бортовые статические преобразователи, как и тяговые преобразователи, изготовлены с использованием IGBT-элементов, что позволяет значительно снизить их энергопотребление, уменьшить габариты и вес. Бортовые статические преобразователи, как и тяговые преобразователи, имеют в своем составе развернутую систему диагностики, обеспечивающую удобство обслуживания и ремонта.

Токосъемное устройство (см. рис. 1.32) осуществляет подключение юнибуса к подвесной контактной цепи. Контактный провод +600 В через изоляторы крепится непосредственно к рельсу-струне — к боковой стенке его корпуса. Контакт с проводом осуществляется при помощи токосъемного устройства, при этом токоведущая шина (-600 В), которой является корпус рельса-струны, глухо заземлена. Электрический монтаж юнибуса выполнен по двухпроводной схеме. Использование корпуса рельса-струны в качестве заземленной токоведущей шины повышает безопасность юнибуса, так как любое попадание высокого напряжения на корпус приведет к срабатыванию электрической защиты и отключению вышедшего из строя устройства. Жесткое соединение заземленного «минуса» питающей сети и корпуса устраняет также возникновение статического и емкостного электрического потенциала на металлических деталях юнибуса.

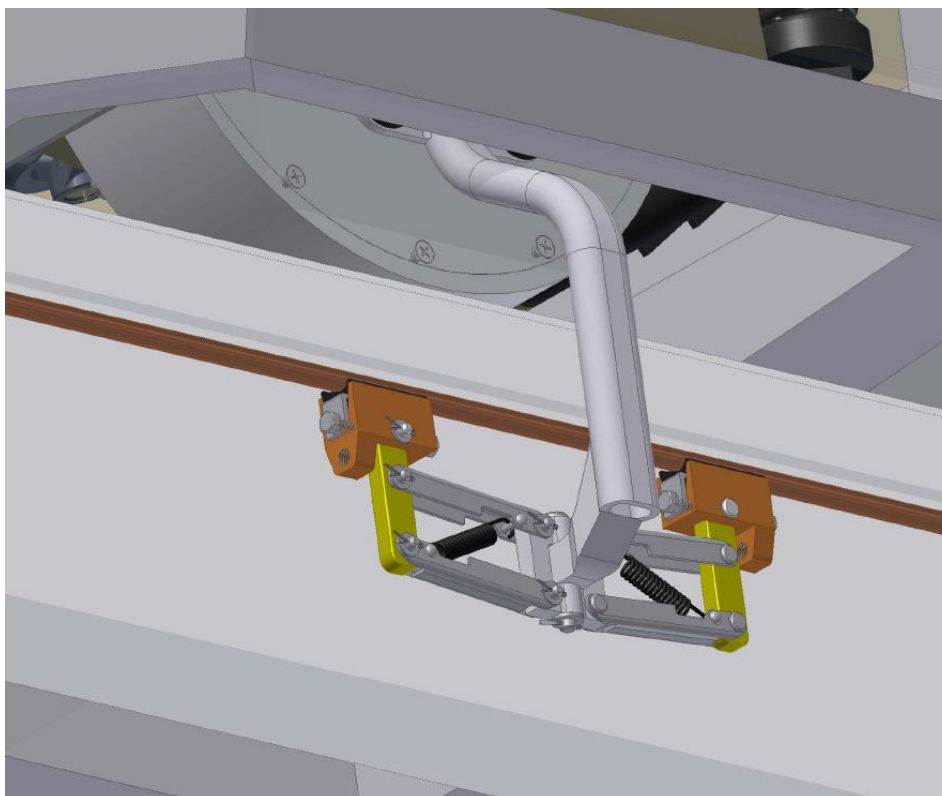


Рис. 1.32. Токосъемное устройство юнибуса Ю-325П

Система электропитания и управления силовых приводов состоит из двух независимых токосъемов. Предлагаемая система токосъема повышает надежность электропитания юнибуса.

Система бортового электрооборудования реализована с использованием современных сетевых решений информационных технологий. Все оборудование юнибуса охвачено CAN-сетью и управляется по шине. В юнибусе установлено порядка 15 однотипных CAN-узлов (см. рис. 1.33), выполняющих задачи по функционально-территориальному признаку. Схемотехнически CAN-узел представляет собой компьютерное устройство, запрограммированное на выполнение определенных функций. Узлы являются универсальными и разделены на три подтипа, отличающиеся количеством и типом (аналоговые или цифровые) входов-выходов. Соответственно, каждый вход обрабатывает какой-либо сигнал с датчика или командного устройства, а выход — управляет каким-то исполнительным устройством. Каждый CAN-узел, несмотря на идентичную схему, имеет свою индивидуальную программу работы, специализированную для конкретного применения.

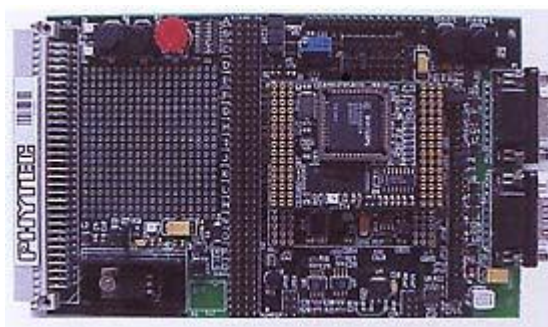


Рис. 1.33. CAN-узел

Каждый CAN-узел контролирует и управляет группой устройств, рядом с которыми он установлен. Отдельные CAN-узлы обеспечивают сопряжение с тяговыми и статическими преобразователями, а также центральным блоком управления, который координирует работу всего электронного и электрического оборудования юнибуса. Также посредством специального модуля обеспечивается связь с диспетчерским пунктом и передача данных. CAN-узлы электрооборудования юнибуса Ю-325П выполняются на базе продукции компании Mitsubishi Electric, Япония, и фирмы Phytex, США—Германия.

Основным преимуществом указанной технологии является полномасштабная диагностика состояния всех узлов и агрегатов юнибуса, а также возможность реализации многократного дублирования устройств, обеспечивающих параметры безопасности. При этом разные узлы юнибуса работают параллельно по своим программам, и одновременно — дублируют друг друга. При любом сбое или отказе в работе автоматически включается параллельное дублирование и происходит автоматическое исправление ошибки. При этом в большинстве случаев для пользователя практически ничего не заметно, так как исправление сбоя происходит за время, менее 0,1 сек. В случае невозможности автоматического устранения ошибки, происходит автоматический выбор наиболее безопасного режима, с последующим отключением оборудования, в основном — по прибытии юнибуса на станцию.

Диагностике подвергаются абсолютно все узлы и агрегаты юнибуса, в том числе и механические, на которые можно установить датчики контролируемого параметра. Это может быть любая неисправность любой лампочки, обрыв или короткое замыкание любого провода и любой электрической цепи, недопустимая (нештатная) величина протекающего тока, заклинивание двери, некачественное позиционирование юнибуса на станции и т.д. При этом данные не только фиксируются в памяти, а, в определенных случаях, посредством GSM-связи, в режиме реального времени, — передаются автоматизированному диспетчерскому пункту для принятия оперативных решений. Мелкие неисправности, не влияющие на безопасность движения и эксплуатации юнибуса, накапливаются в бортовой памяти. Они будут автоматически переданы обслуживающему персоналу при заезде юнибуса на диагностику или ремонт. При этом обслуживающий персонал будет знать не только конкретную неисправность конкретного узла, но и условия наступления этой ошибки, состояние других переменных в момент аварии и т.д.

На каждом юнибусе установлен модуль GPS/GPRS/GSM, который включен в бортовую систему управления и предназначен для определения координат юнибуса с использованием системы орбитальных космических аппаратов, а также — системы передачи данных по беспроводным каналам связи.

В настоящем предложении указана только часть возможностей, предоставляемых современными достижениями области информационных технологий. Указанная CAN-сеть содержит унифицированные модули, которые

позволяют оперативно решать практически любые задачи по требованию Заказчика и эксплуатирующей организации. При этом фактические затраты будут определяться только необходимостью установки датчиков технологического параметра и программным обеспечением. При этом прошивка обновленного программного обеспечения происходит не только без вывода юнибуса из эксплуатации, но даже в процессе штатного движения юнибуса по перегону.

Немаловажное значение уделяется вопросам информационной безопасности. Закрытая информационная система не допускает никаких посторонних несанкционированных вмешательств в работу подсистем.

Верхним уровнем управления для бортовой CAN-сети является уровень автоматизированной системы управления движением.

К дополнительному электрооборудованию юнибуса относятся устройства аппаратуры позиционирования и диспетчерского управления, а также — элементы системы жизнеобеспечения, освещения и механизмы привода двери.

Питание дополнительного оборудования осуществляется от бортовых статических преобразователей, обеспечивающих 100%-ное дублирование.

Для защиты обслуживающего персонала от поражения электрическим током в юнибусе предусмотрена система отключения высокого напряжения при открывании защитных кожухов электрооборудования. Все оборудование юнибуса имеет жесткую связь с его токопроводящим корпусом.

В целях снижения уровня радиопомех юнибус имеет защитные экраны, а в каждой независимой цепи системы управления установлен радиореактор.

Для обеспечения устойчивой работы системы управления привода, электрический монтаж выполнен по двухпроводной схеме с использованием экранирующих оплеток и специальных разъемных соединений.

Функциональная схема юнибуса изображена на рис. 1.34.

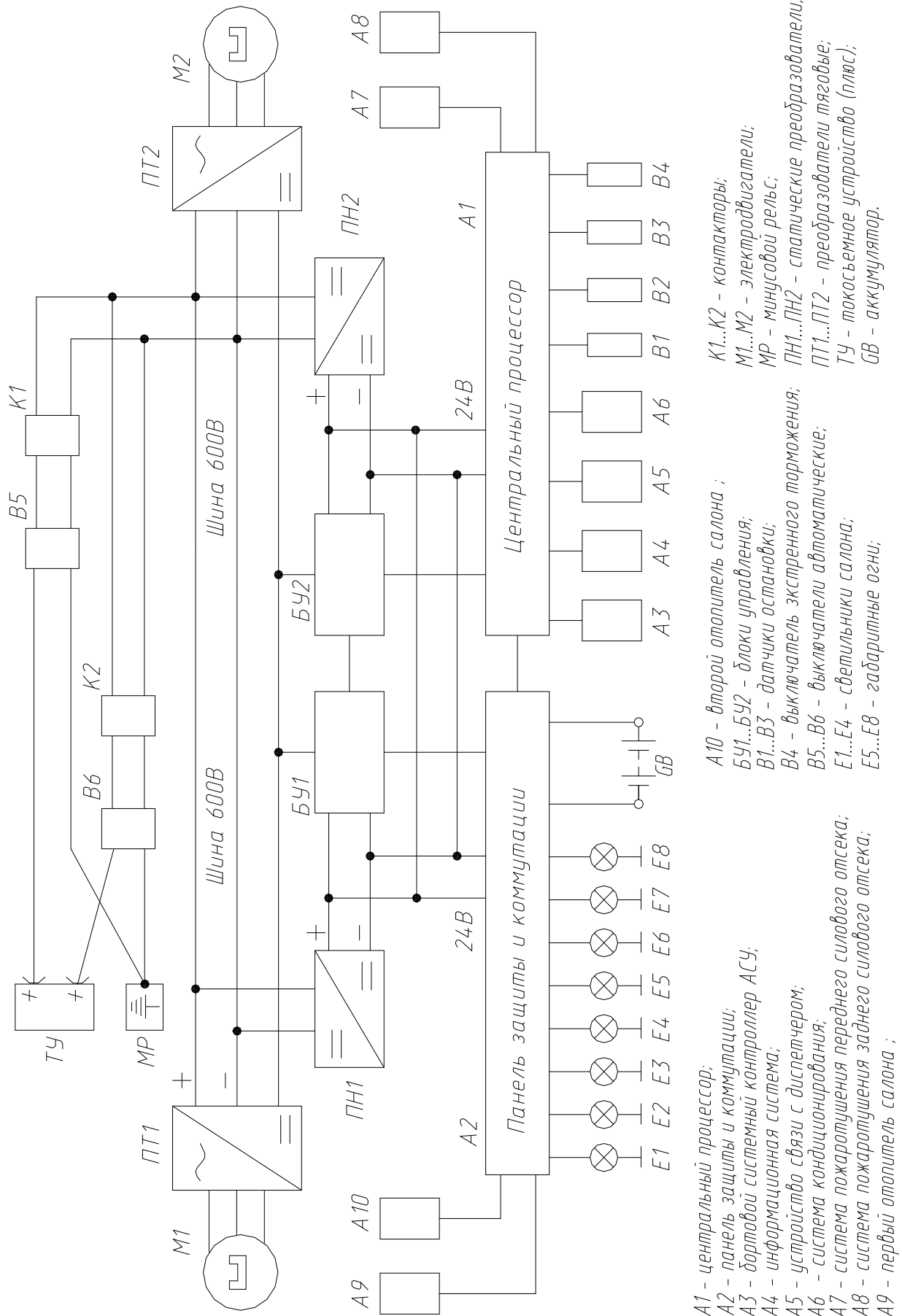


Рис. 1.34. Функциональная схема управления юнибуса модели Ю-325П

1.4.8. Проработка концепции управления юнибусом

В основу автоматизированной системы управления движением городских пассажирских двухрельсовых автомобилей — юнибусов Ю-325П — на трассе двухрельсового СТЮ в г. Екатеринбурге заложены принципы автоматизированной системы управления транспортом АСУ-Т (разработка ФГУП «КНИИТМУ», Россия) с дублированием всех каналов управления и связи.

АСУ-Т предназначена для использования в автоматизированных системах управления транспортом в качестве бортового устройства управления и обработки информации, определения навигационных параметров транспортного средства, приема-передачи данных по радиоканалам. АСУ-Т работает совместно с радиостанциями, независимо от диапазона частот, и поддерживает протоколы взаимодействия со средствами сотовой и транкинговой связи.

Система обеспечивает:

- автоматическое определение местоположения юнибусов и отображение их на мониторе диспетчера с привязкой к плану (карте) местности (или на экране коллективного пользования);
- автоматическое отслеживание отклонений с выдачей результатов диспетчеру;
- выдачу диспетчеру всех данных о любом юнибусе, в том числе координаты его местоположения, курса и скорости движения;
- оперативную коррекцию маршрутов и графиков движения юнибусов;
- одновременную и независимую работу диспетчеров, обслуживающих «свои» маршруты с возможностью распределения задач между диспетчерами в зависимости от оперативной обстановки;
- помехозащищенное кодирование передаваемых данных;
- селекторную индивидуальную и групповую речевую связь между диспетчером и обслуживающим персоналом (по инициативе любого из них);
- автоматическую подготовку отчетных материалов о работе юнибусов за требуемый период;
- непрерывную автоматическую самодиагностику с выдачей сообщений о

неисправностях системы;

- возможность передачи диспетчеру специальных сигналов в случае аварийной ситуации или при несанкционированном доступе к юнибусу, если он оборудован специальными датчиками.

В состав АСУ-Т входят:

- центральная диспетчерская станция (ЦДС), включающая базовую стойку, антенно-фидерные устройства и до 8 автоматизированных рабочих мест (АРМ);
- устройства подвижных единиц (УПЕ), устанавливаемые на юнибусы.

Основные технические данные АСУ-Т приведены в табл. 1.4.

Таблица 1.4

Основные технические данные АСУ-Т

№	Наименование параметра	Величина параметра
1	Количество обслуживаемых юнибусов	до 1000
2	Количество диспетчеров в центральной диспетчерской станции	до 8
3	Точность определения местоположения юнибусов в дифференциальном режиме, м:	2—3
4	Диапазон частот радиоканала, МГц	146—147
5	Количество радиоканалов	2—6
6	Напряжение питания, В: - диспетчерской станции - бортсети	220, 50 Гц 24
7	Выходная мощность радиостанций, Вт	10—25
8	Диапазон рабочих температур, °С	от -50 до +60

Базовая стойка ЦДС включает устройства обработки и управления, две базовые радиостанции (одна для передачи данных, вторая — для речевой связи и передачи данных) и устройство бесперебойного питания, обеспечивающее работу системы при отключениях первичной сети. АРМ диспетчера ЦДС состоит из ПЭВМ и телефонного аппарата. АРМ старшего диспетчера дополнительно оборудовано печатающим устройством.

Система УПЕ состоит из устройства обработки и управления со встроенным приемником спутниковой связи и мобильной радиостанцией. Бортовой системный

контроллер (БСК) выполнен на базе PIC-контроллера с использованием микросхем ПЛИС-технологии. Имеет 8 цифровых и 4 аналоговых входа для подключения датчиков, 4 выхода релейного типа для управления исполнительными устройствами. Содержит приемник сигналов спутниковых навигационных систем NAVSTAR / ГЛОНАСС, который вычисляет навигационные параметры юнибуса: местоположение (долгота, широта и высота), скорость, курс движения, текущее время. Навигационная информация вместе со служебной, включающей показания датчиков, упаковывается в пакет, модулируется и передается в канал связи. Предусмотрены различные режимы передачи пакетов и приема данных. Передача-прием данных осуществляется с использованием помехоустойчивого кодирования. Если юнибус оказывается в зоне «радиотени», то при восстановлении радиосвязи с диспетчерскими станциями, пропущенный участок может быть востребован и передан по радиоканалу.

В БСК предусмотрено сопряжение с ПЭВМ IBM PC (в бортовом варианте — «ноутбук») по стандартному стыку K3-232, что существенно расширяет функциональные возможности, в т.ч. позволяет обмениваться файлами данных с диспетчерской станцией на уровне ПЭВМ, что особенно удобно при проведении обслуживания юнибуса. По этому же стыку обеспечивается перезапись программы функционирования БСК. Основные параметры БСК приведены в табл. 1.5.

Таблица 1.5

Основные параметры БСК

№	Наименование параметра	Величина параметра
1	Точность определения местоположения, м	не хуже 15
2	Периодичность определения, с	1—600 (задается)
3	Скорость передачи данных, бит/с	1200/2400/4800
4	Помехоустойчивое кодирование	каскадный код
5	Обеспечиваемое быстродействие АСУ, ТС/с	12
6	Объем флэш-памяти, Кбайт	64
7	Напряжение питания, В	24
8	Потребляемая мощность, Вт	не более 3
9	Габаритные размеры, мм: - длина - ширина - высота	168 131 45

№	Наименование параметра	Величина параметра
10	Вес, кг	не более 0,6
11	Время готовности, мин.	не более 2

Следуя по контролируемому диспетчером участку, юнибус автоматически передает на пульт диспетчера полную информацию о работоспособности всех систем. Каждая связь продублирована, что позволит АСУ осуществлять бесперебойную, безопасную и безаварийную работу СТЮ.

В состав АСУ рельсо-струнной транспортной системы входит также телевизионный комплекс визуального наблюдения за текущей ситуацией на трассе «второго уровня» и в салоне каждого юнибуса. Управление комплексом визуального наблюдения расположено на ЦДС.

Для повышения безопасности движения юнибус дополнительно снабжен продублированной системой определения расстояния до впереди идущего юнибуса, которая автоматически снижает скорость его движения, вплоть до полной остановки юнибуса, при определении критического расстояния между ними.

1.4.9. Система отопления

Элементы системы отопления расположены в силовых отсеках.

На юнибусе Ю-325П установлены два электрических отопителя (см. рис. 1.35).

Отопители работают в режиме рециркуляции.

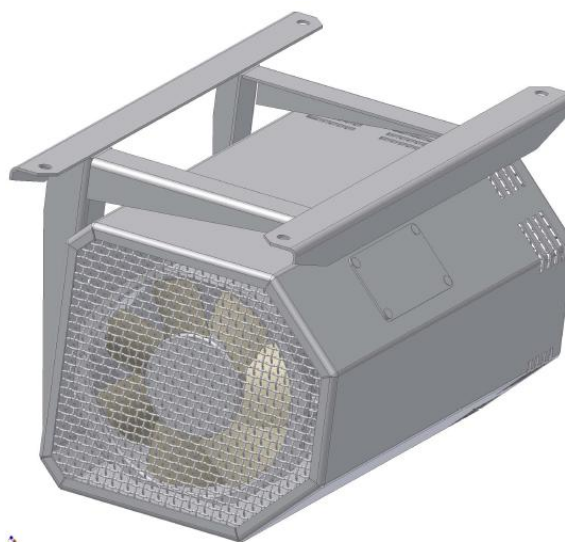


Рис. 1.35. Электрический отопитель

Максимальная суммарная теплопроизводительность отопителей — 5 кВт.

1.4.10. Система вентиляции и кондиционирования

Кондиционер расположен в отсеке над потолком юнибуса. Он состоит из компрессорного, конденсаторного, испарительного агрегатов и блока управления (см. рис. 1.36). Кондиционер может работать как в режиме кондиционирования, так и в режиме вентиляции салона.

Максимальная холодопроизводительность кондиционера — 6,2 кВт.

Для вентиляции воздуха в летнее и зимнее время используется вентилятор испарительного агрегата кондиционера.

Производительность вентилятора испарительного агрегата — 240 м³ воздуха в час.

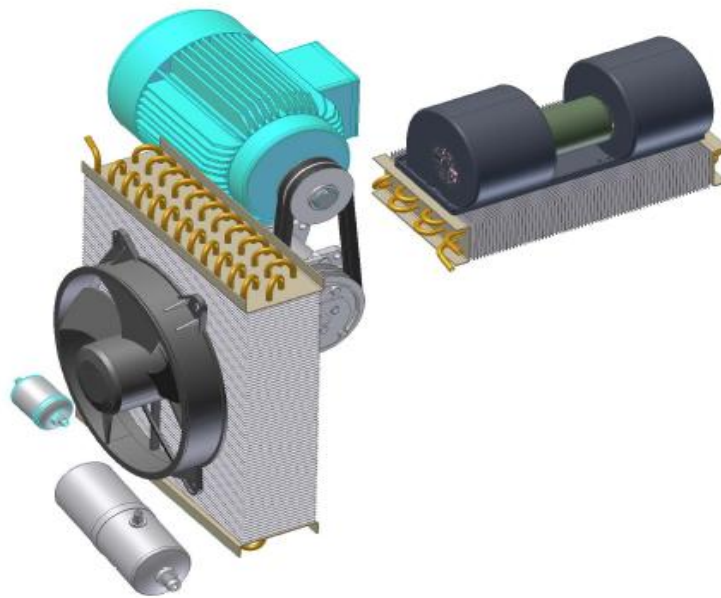


Рис. 1.36. Комплект системы кондиционирования и вентиляции

1.4.11. Пассажирская дверь с механизмом открывания

В юнибусе предусмотрены две двери: служебная и запасная.

Двери — двухстворчатые, поворотно-раздвижные, производства всемирно известной компании Hübner GmbH, Германия, за качеством продукции которой стоит многолетний опыт, а гарантом надежности являются всесторонние и объемные исследования, проводимые совместно с известными исследовательскими центрами и

лабораториями. Отличительной особенностью конструкции дверей поворотно-раздвижного типа является то, что, благодаря работе по схеме «выталкивание-открывание», створки дверей отходят за корпус юнибуса лишь на 70 мм, что важно для обеспечения быстрого, удобного и безопасного пассажирообмена между станцией и находящимся под навесом за пределами станции юнибусом.

Служебная дверь (см. рис. 1.37), расположенная с левой стороны юнибуса, позиционируется на остановках «второго уровня» напротив двери станции с точностью ± 30 мм, что позволяет пассажирам, не выходя на улицу, переходить из салона юнибуса в помещение станции и обратно.

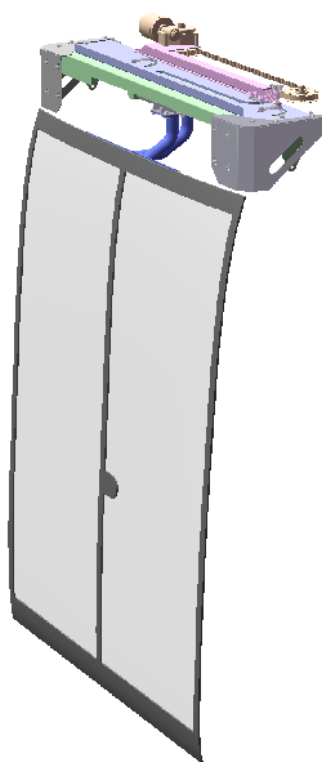


Рис. 1.37. Служебная дверь с механизмом открывания

Дверь состоит из двух створок, механического замка, механизма блокировки, двух стоек с верхним и нижним рычагами, механизма открывания двери, датчиков и блока управления.

Материал створок дверей — затемненный зеркальный высокопрочный поликарбонат.

Механизм открывания двери приводится в движение электрическим двигателем. Если при закрытии двери в проеме находится препятствие (человек,

багаж и т.п.), механизм автоматически производит открывание, не причинив вреда (травмы) препятствию, зажатому дверью. Закрытая дверь фиксируется механическим замком. Во время движения юнибуса механический замок двери блокируется от открывания.

Ширина проема дверного прохода — 1200 мм. Управление дверным приводом — электронное. Открывание двери сопровождается звуковым сигналом и световой сигнализацией. В аварийной ситуации, при невозможности открывания двери в автоматическом режиме, предусмотрена возможность разблокировки и открывания двери вручную из пассажирского салона на станции и, в исключительных случаях, — снаружи на «втором уровне» на перегоне.

Запасная дверь расположена с правой стороны и отличается от служебной двери отсутствием электропривода механизма открывания. Открывание этой двери при аварийной эвакуации пассажиров происходит вручную.

1.4.12. Пассажирские сиденья

В салоне юнибуса установлены два ряда сидений по три места в каждом ряду. Один ряд сидений расположен в передней части салона над кожухом переднего силового отсека, другой — в задней части салона над кожухом заднего силового отсека.

Сиденья изготовлены из высокопрочного прозрачного (или цветного полупрозрачного) поликарбоната (см. рис. 1.38).

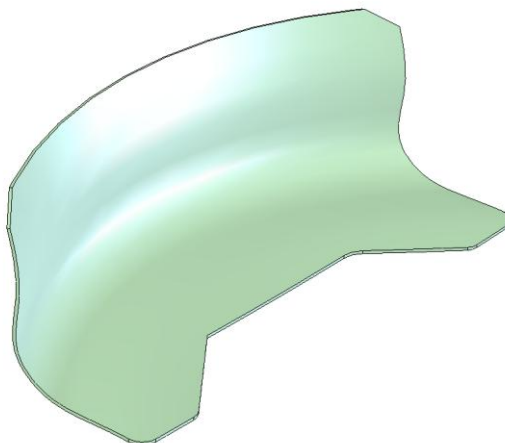


Рис. 1.38. Пассажирские сиденья

1.4.13. Информационное табло

Информационное табло расположено в салоне над задними сиденьями.

Табло предназначено для информирования пассажиров о текущей или следующей остановке (см. рис. 1.39). В промежутках между остановками на табло отражается текущее время или рекламная информация.



Рис. 1.39. Информационное табло

1.4.14. Система пожаротушения

Автоматическая система пожаротушения расположена в силовых отсеках юнибуса.

Система состоит из датчиков температуры, узлов запуска и генераторов огнетушащего аэрозоля МАГ (см. рис. 1.40). Для пожарного оповещения каждый юнибус снабжен центральным пожарным извещателем, который отправляет соответствующие обстановке сообщения через каналы связи на стационарную систему пожарного извещателя ЦДС.



Рис. 1.40. Генератор огнетушащего аэрозоля МАГ-5/1 и датчики температуры

Технические характеристики генератора огнетушащего аэрозоля МАГ:

Модель	МАГ-5/1
Защищаемый объем	7 м ³
Масса снаряженного генератора	2,1 кг
Диаметр генератора	95 мм
Длина генератора	200 мм
Тушение	пожаров классов А, Б, С, электрооборудования напряжением до 10000 В
Время ликвидации пожара	5—10 с
Температурный диапазон применения	± 50 °С
Срок хранения	10 лет

При возникновении пожара узел запуска автоматически или по команде ЦДС инициирует генератор огнетушащего аэрозоля. Огнетушащий аэрозоль быстро и равномерно заполняет силовой отсек и подавляет горение.

В пассажирском салоне дополнительно установлен углекислый огнетушитель ОУ-2 (см. рис. 1.41).



Рис. 1.41. Углекислотный огнетушитель ОУ-2

1.4.15. Устройство сцепное автоматическое

Для обеспечения возможности буксировки с любого места трассы неисправного юнибуса, каждый юнибус оснащается автоматическими сцепными устройствами — передними и задними (см. рис. 1.42). Сцепные устройства при сцепке двух юнибусов срабатывают автоматически без участия человека. При

аварийной сцепке стыковочный узел способен погасить удар (за счет сил трения во фрикционном узле) при относительной скорости сцепляемых юнибусов до 3 км/ч и ускорениях в салоне не выше $3,5 \text{ м/с}^2$. При этом стыковочный узел не повреждается. Для приведения его в исходное состояние предусмотрен возвратный механизм.



Рис. 1.42. Сцепное устройство

1.4.16. Система эвакуации пассажиров

В случае выхода из строя одного из двух автономно функционирующих электроприводов юнибуса, он доедет до станции на исправном. Несмотря на 100%-ное дублирование всех устройств, обеспечивающих движение юнибуса, гарантирующее доставку пассажиров до ближайшей станции, в транспортной системе «второго уровня» дополнительно предусмотрены три надежных варианта эвакуации пассажиров:

- если отказавший юнибус не может продолжать движение самостоятельно, то по тому же пути автоматически подгоняется впереди идущий или следующий за ним модуль, который берет аварийный юнибус на буксир и доставляет его до ближайшей станции, где он выводится с помощью стрелочного перевода с линии и отправляется в ремонт, а пассажиры из него выходят;
- если юнибус неисправен и не может продолжать движение с пассажирами на борту, то по рядом расположенному встречному пути отправляется юнибус с загруженными в него на станции переходными трапами, который

подгоняется точно напротив аварийного. Через запасную дверь по трапам пассажиры переходят в этот юнибус и едут до ближайшей станции (для отдельных случаев предусмотрен специальный юнибус-эвакуатор с автономным бортовым источником электроэнергии, который подгоняется по тому же пути и оборудование которого обеспечивает переход пассажиров на его борт и буксировку отказавшего юнибуса);

- если транспортная система полностью неработоспособна, или существует угроза здоровью и безопасности пассажиров, например, в случае военных действий, то на этот исключительный случай предусмотрены специальные эвакуационные устройства типа тросового эвакуатора, рассчитанного на поочередный спуск пассажиров на поверхность земли с высоты до 20 м.

При отсутствии напряжения в питающей сети буксировку «застрявших» юнибусов обеспечивает юнибус—эвакуатор. По желанию Заказчика каждый юнибус может быть оборудован дополнительно аварийным электроприводом, источником энергии для которого служит аккумуляторная батарея.

1.5. Краткие сведения о транспортной системе двухрельсового СТЮ в г. Екатеринбурге по маршруту «Железнодорожный вокзал — многофункциональный комплекс «Космос-сити, Екатеринбург, Россия»

В данном разделе приводится краткое описание рельсо-струнной путевой структуры двухрельсового СТЮ в транспортной системе «второго уровня» в г. Екатеринбурге по маршруту «Железнодорожный вокзал — многофункциональный комплекс «Космос-сити, Екатеринбург, Россия», а также даются рекомендации по организации движения юнибусов Ю-325П в ее составе и кратко раскрываются основные потребительские качества СТЮ городского применения.

1.5.1. Рельс-струна

Рельс-струна — это 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 двухрельсового среднего СТЮ, в зависимости от длины пролета, массы и скорости движения городских юнибусов колеей 1500 мм, составляет 120—160 тонн. Рельс-струна 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, а также тому, что 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 рельса-струны) пролета при проезде юнибуса, качение колеса юнибуса будет плавным, безударным, как в середине пролета, так и над опорой. Рельс-струна характеризуется высокой прочностью, жесткостью, ровностью, низкой материалоемкостью, широким диапазоном рабочих температур: от +70°С до минус 70°С. Для обеспечения плавного, бесшумного и безударного качения колес юнибусов относительные неровности пути не должны быть более 1/1000, что соответствует современным требованиям, предъявляемым к мостам, путепроводам и эстакадам на высокоскоростных железных дорогах. При этом неровности пути до 0,1 мм будут гаситься упругой демпфирующей прослойкой каждого колеса, размещенной между ободом и ступицей, а более крупные неровности — подвеской колес и подвеской корпуса юнибуса.

1.5.2. Струна

Струна — высокопрочная предварительно напряженная арматура в виде стального витого или невитого каната отечественного или зарубежного производства. 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, составляет 3—5 мм.

1.5.3. Рельсо-струнная путевая структура

Рельсо-струнная путевая структура двухрельсового среднего СТЮ представляет собой два рельса-струны, образующие колею шириной 1,5 м. Рельсы-

струны закреплены в анкерных опорах, установленных через 1—3 км и более, и размещены на промежуточных опорах-стойках с образованием пролетов длиной 30—35 м и более.

Путь в двухрельсовом городском СТЮ выполнен со строительным подъемом 30—50 мм в середине каждого пролета (для длины пролета 30—35 м).

У путевой структуры городского СТЮ имеются стрелочные переводы, размещенные на «втором уровне».

1.5.4. Опоры

Опоры подразделяются на анкерные, воспринимающие горизонтальную нагрузку от струн (устанавливаются через 1—3 км) и поддерживающие, воспринимающие вертикальную нагрузку (устанавливаются через 30—35 м). 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. На отдельных участках трассы, при необходимости, высота опор может быть снижена до 1 м и менее, и, наоборот, увеличена до 20—30 м и более.

1.5.5. Инфраструктура «второго уровня»

Инфраструктура «второго уровня» включает станции (см. рис. 1.43 и 1.44), гаражи-парки, размещенные на «втором уровне» или в подземной (фундаментальной) части станций, а также стрелочные переводы. Стрелочные переводы размещаются в станциях, гаражах-парках и, при необходимости, — на трассе на анкерных опорах.

Благодаря подъему путевой структуры на второй уровень в СТЮ расширяются возможности по устройству пассажирских станций и грузовых терминалов. Компактность юнибуса позволяет уменьшить размер и, соответственно, стоимость станций, гаражей-парков и длину перрона. Выход на линию юнибуса из подземного гаража-парка (и возвращение обратно) осуществляется при помощи специального лифтового устройства (см. рис. 1.45).



Рис. 1.43. Вариант выполнения станции двухпутного двухрельсового СТЮ в г. Екатеринбурге по маршруту «Железнодорожный вокзал — многофункциональный комплекс «Космос-сити, Екатеринбург, Россия» (вид сверху)



Рис. 1.44. Вариант выполнения станции двухпутного двухрельсового СТЮ в г. Екатеринбурге по маршруту «Железнодорожный вокзал — многофункциональный комплекс «Космос-сити, Екатеринбург, Россия» (фасад)

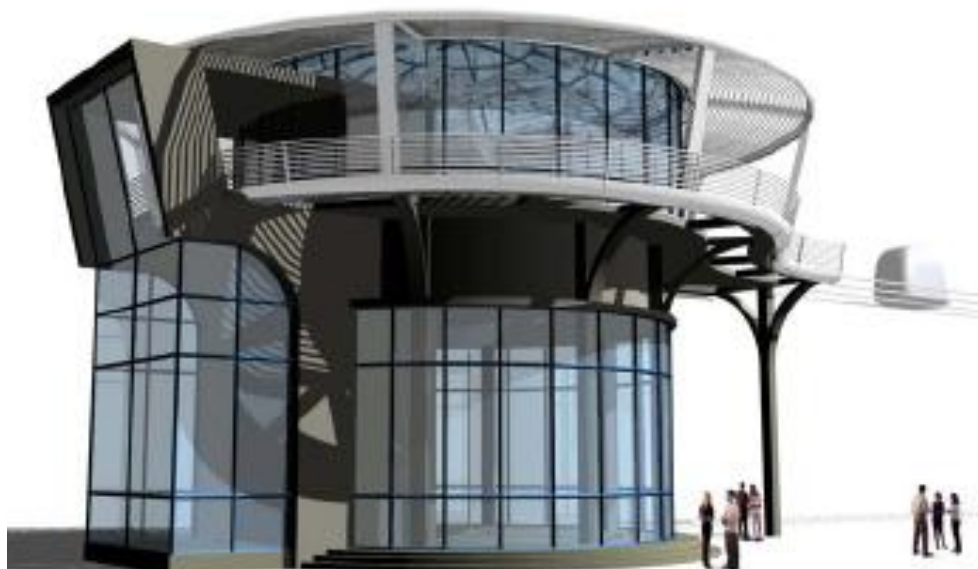


Рис. 1.45. Вариант выполнения станции двухпутного двухрельсового СТЮ в г. Екатеринбурге по маршруту «Железнодорожный вокзал — многофункциональный комплекс «Космос-сити, Екатеринбург, Россия» (вид на шахту лифтового устройства)

Юнибусы на станциях не заходят внутрь них, проходя по касательной на высоте 5—10 м и более. При позиционировании юнибуса «дверь в дверь», одновременно открываются двери станции и двери юнибуса и пассажир входит или выходит из юнибуса, не попадая на улицу, хотя юнибус и находится под навесом на открытом воздухе.

1.5.6. Организация движения юнибусов Ю-325П

Целесообразнее всего организовывать движение юнибусов Ю-325П транспортной системы СТЮ в г. Екатеринбурге по маршруту «Железнодорожный вокзал — многофункциональный комплекс «Космос-сити, Екатеринбург, Россия» в двух режимах:

- движение циклическое, по расписанию, с регулируемым автоматически (или дежурным оператором на ЦДС), в зависимости от пассажиропотока, временным интервалом (минимальный интервал можно довести до 15 сек.);
- режим такси (по вызову в позднее время суток, например, после 23 часов).

Двенадцатиместные юнибусы Ю-325П, совершающие движение в

г. Екатеринбурге по маршруту «Железнодорожный вокзал – многофункциональный комплекс «Космос-сити, Екатеринбург, Россия» с интервалом 15 сек., обеспечат тот же объем перевозок, что и шестивагонный состав московской монорельсовой транспортной системы (см. рис. 1.46) вместимостью 100 человек и стоимостью около 30 млн. рублей, осуществляющий движение с интервалом около 2 мин. При этом общая стоимость подвижного состава (12 юнибусов, с учетом трех резервных и одного юнибуса—эвакуатора) двухпутной двухрельсовой транспортной системы СТЮ в г. Екатеринбурге по маршруту «Железнодорожный вокзал — многофункциональный комплекс «Космос-сити, Екатеринбург, Россия», будет в 1,5 раз меньше стоимости указанного состава, которых должно быть не менее двух (т.е. подвижной состав СТЮ будет примерно в 3 раза дешевле подвижного состава монорельсовой системы).



Рис. 1.46. Шестивагонный состав московской монорельсовой транспортной системы

1.5.7. Потребительские характеристики городского двухпутного двухрельсового СТЮ

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.

Комфортность

СТЮ даст человеку возможность, наряду с комфортным решением основной функциональной задачи — быстрой, комфортной, экономичной 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 кондиционирования, причем исходный воздух будет чист, т.к. будет забираться на высоте 5—10 м и более (а не у поверхности асфальта, как на существующем автомобильном транспорте). Движение рельсовых юнибусов по рельсо-струнной путевой структуре мало 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 юнибусов Ю-325П будет более чем в 2 раза выше, чем в традиционном городском общественном транспорте. Это повысит комфортность для пассажиров, т.к. они быстрее и в более безопасных и комфортных условиях воспользуются транспортной услугой СТЮ.

Высокая возможная частота следования юнибусов Ю-325П (в часы пик до 15 с) и относительно небольшая их вместимость (12 пассажиров) позволят избежать скопления пассажиров на станциях и остановках, ускорят посадку—высадку пассажиров и, в конечном итоге, повысят комфортность транспортной услуги. При этом пассажиры не будут долго находиться 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.

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 10750 кгс/см^2 , при этом предельные (разрушающие) напряжения для этой проволоки составляют 17600 кгс/см^2 . За весь срок эксплуатации (100 лет) напряжения растяжения в струне путевой структуры среднего СТЮ будут изменяться от 8635 до 10750 кгс/см^2 , при этом температура (от $+45^\circ\text{C}$ до -55°C) даст диапазон изменения напряжений в струне на 2000 кгс/см^2 , максимальный ветер (скорость 250 км/час) — 30 кгс/см^2 , максимальное оледенение (20 кг льда на погонный метр рельса-струны) — 25 кгс/см^2 , подвижной состав (два юнибуса в механической сцепке, движущиеся в середине пролета) — 60 кгс/см^2 . В этом случае запас прочности струны по напряжениям от подвижного состава составит: $(17600 \text{ кгс/см}^2 - 10750 \text{ кгс/см}^2) / 60 \text{ кгс/см}^2 = 114$ раз. Нигде в транспортной технике сегодня нет таких (стократных) запасов прочности, а в СТЮ он создается благодаря особенной, присущей только рельсо-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 $2,5$ тонны транспортное средство, вес которого превышает 250 тонн, либо если скорость ветра превысит 500 км/ч , либо если ударит мороз ниже -100°C , что нереально в г. Екатеринбурге.

Юнибусы (в частности и Ю-325П) имеют высокую устойчивость движения по путевой структуре даже при скорости бокового ветра более 180 км/ч (см. далее п. 4.8.1 расчета на статическую и динамическую устойчивость 325П-0000010-02PP), т.е. в условиях урагана 3-ей категории по шкале ураганов Саффира-Симпсона, прежде всего благодаря низкопольной конструкции (расстояние от головки рельса до пола салона юнибуса составляет всего лишь 100 мм). А оснащение юнибусов противосходной системой, ролики которой снабжены страховочными буртами, заходящими за низ уширения рельсов, полностью исключает вероятность опрокидывания их с путевой структуры при боковом ветре в 300 км/ч и выше.

Эвакуация пассажиров из юнибуса на трассе предусмотрена лишь в чрезвычайных ситуациях, когда дальнейшее их нахождение в нем представляет опасность для здоровья и жизни людей (см. выше п. 1.4.16). Для пожарного оповещения каждый юнибус снабжен центральным пожарным извещателем, который постоянно запрашивает пожарные сигнализаторы, размещенные в силовых отсеках и

отправляет соответствующие сообщения через каналы связи на стационарную систему пожарного извещателя ЦДС. При возникновении пожара узел запуска автоматически или по команде ЦДС инициирует генератор огнетушащего аэрозоля. Огнетушащий аэрозоль быстро и равномерно заполняет силовой отсек и подавляет горение.

В салоне имеется включатель экстренного торможения. Если во время движения происходит активизация пожарного извещателя или системы экстренного торможения, то юнибус автоматически остановится на ближайшей по ходу движения станции (время движения — в пределах 1 мин.), а пассажиры покинут аварийный юнибус. Для связи пассажиров с дежурным ЦДС в салоне имеется двухстороннее переговорное устройство. Связь осуществляется через радио- и видеоканалы.

Для повышения безопасности движения юнибус дополнительно снабжен продублированной системой определения расстояния до впереди идущего юнибуса, которая автоматически снижает скорость его движения, вплоть до полной остановки юнибуса при определении критического расстояния между ними.

АСУ движения предусматривает также ручное управление всей транспортной системой «второго уровня», а также ручное управление каждым юнибусом.

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, токосяем с громоздким, тяжелым и шумным пантографным токоприемником. У СТЮ указанные источники шума 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), задемпфированным колесам, рельсам-струнам и железобетонным опорам, малой неподрессоренной массе

стального колеса юнибуса и малой массе самого юнибуса.

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), такой подвижной состав имеет избыточную мощность силовой установки. Так, например, для автобусов установленная мощность силовой установки на одного пассажира составляет 1,8 кВт и более, против 1,25 кВт у более просторного и комфортного, чем автобус, юнибуса Ю-325П. Электрификация транспортной системы СТЮ в г. Екатеринбурге по маршруту «Железнодорожный вокзал — многофункциональный комплекс «Космос-сити, Екатеринбург, Россия» обеспечит полное исключение загрязнений городской воздушной среды вредными веществами продуктов горения силовых установок на базе двигателей внутреннего сгорания, используемых в автобусах города. Так, например, одна из лучших в своем классе силовая установка Mercedes-Benz OM906LA городского автобуса модели MA3-103 (см. рис. 1.47) мощностью 170 кВт, отвечающая действующим в России нормам токсичности отработавших газов Евро-2, при эксплуатации ежедневно (18-ти часовая эксплуатация) вырабатывает более 16 м³ оксида углерода (угарного газа), 20 м³ оксидов азота и 450 г сажи.



Рис. 1.47. Городской автобус MA3-103

Доступность

По цене билета будущая автоматизированная транспортная система двухрельсового среднего СТЮ в г. Екатеринбурге по маршруту «Железнодорожный вокзал — многофункциональный комплекс «Космос-сити, Екатеринбург, Россия» будет на уровне городского тарифа за проезд в существующем общественном транспорте, благодаря чему он будет доступен всем слоям населения, в том числе малообеспеченным. Юнибус Ю-325П выполняет требования по перевозке детских и инвалидных колясок.

В перспективе трассы СТЮ могут быть проложены по застроенной территории, над скверами, парками, улицами и другими городскими территориями Екатеринбурга, где не могут быть проложены традиционные трамвайные и троллейбусные линии.

Другие экономические и неэкономические факторы

Для прохождения трассы СТЮ в г. Екатеринбурге по маршруту «Железнодорожный вокзал — многофункциональный комплекс «Космос-сити, Екатеринбург, Россия» не потребуется строительство эстакады (или путепровода) над железнодорожными путями.

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 1500 мм отнимают 30—40 м² земли, анкерные — 60—80 м². Для сравнения: троллейбусное, автобусное и трамвайное сообщение отнимают 0,7 га/км (7000 м²/км) ценной городской земли (ее стоимость — 20 млн. руб./га и более).

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 в г. Екатеринбурге с обильными снегопадами, требует затрат в 250—500 тыс. руб. 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 30 млн. руб./км, что примерно равно стоимости строительства 1 км трассы СТЮ колеей 1500 мм.

В рельсе-струне СТЮ могут быть дополнительно размещены, в специальных каналах, линии связи (проводные и опτικο-волоконные), на анкерных опорах — узлы радиорелейной и сотовой связи.

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

При необходимости транспортная система двухрельсового среднего СТЮ в г. Екатеринбурге по маршруту «Железнодорожный вокзал — многофункциональный комплекс «Космос-сити, Екатеринбург, Россия» может обеспечивать доставку грузов, в частности, юнибусы Ю-325П без всякого переоборудования могут взять на борт и перевезти европалет с грузом. Грузовые перевозки целесообразнее всего осуществлять ночью, в отсутствие пассажиров. Объем грузовых перевозок может составить 100—200 тонн в сутки.

1.6. Техничко-экономические показатели юнибуса Ю-325П

Основные технико-экономические показатели различных исполнений среднего двухрельсового юнибуса модели Ю-325П будущей автоматизированной транспортной системы двухрельсового СТЮ в г. Екатеринбурге по маршруту «Железнодорожный вокзал — многофункциональный комплекс «Космос-сити, Екатеринбург, Россия» приведены в табл. 1.6.

Стоимостные показатели основных ценообразующих комплектующих систем юнибуса при мелкосерийном производстве приведены в табл. 1.7.

Основные технико-экономические показатели различных исполнений юнибусов Ю-325П в составе транспортной системы СТЮ в г. Екатеринбурге по маршруту «Железнодорожный вокзал — многофункциональный комплекс «Космос-сити, Екатеринбург, Россия»

№	Показатель	Исполнения Ю-325П	
		01 и 04	02 и 03
1	Максимальная эксплуатационная скорость в середине перегона, км/ч	60	45
2	Средняя эксплуатационная скорость на перегоне, км/ч	34,5	32
3	Комфортная пассажироместимость, чел.	12 (из них 6 сидячих)	
4	Потребление электроэнергии юнибусом при выключенной системе кондиционирования и отопления в городском цикле движения (остановки через каждые 650 м): - кВт·ч/100 км - литров топлива (в пересчете электроэнергии в дизельное топливо): л/100 км л/100 пасс.-км	8,9 1,87 0,16	10,3 2,16 0,18
5	Потребление электроэнергии юнибусом при максимальной производительности системы кондиционирования, кВт·ч/100 км	19,6	22
6	Потребление электроэнергии юнибусом при максимальной производительности системы отопления, кВт·ч/100 км	18,2	20,4
7	Стоимость электроэнергии, затраченной на перевозку одного пассажира от станции «Железнодорожный вокзал» до станции «Космос-сити», при выключенной системе кондиционирования и отопления с учетом энергии, затраченной на подъем пассажира лифтом на станцию «второго уровня», руб./пасс.	0,0187	0,0208
8	Стоимость электроэнергии, затраченной на перевозку одного пассажира от станции «Железнодорожный вокзал» до станции «Космос-сити», при максимальной производительности системы кондиционирования с учетом энергии, затраченной на подъем пассажира лифтом на станцию «второго уровня», руб./пасс.	0,0339	0,0371
9	Стоимость электроэнергии, затраченной на перевозку одного пассажира от станции «Железнодорожный вокзал» до станции «Космос-сити», при максимальной производительности системы отопления с учетом энергии, затраченной на подъем пассажира лифтом на станцию «второго уровня», руб./пасс.	0,0318	0,0349

Основные показатели ценообразующих комплектов юнибуса Ю-325П при мелкосерийном производстве

№	Комплект оборудования	Производитель комплекта оборудования	Ориентировочная стоимость* комплекта оборудования Ю-325П по исполнениям, руб.		
			01 и 04	02	03
1	Силовая передача	СП «Дорэлектромаш», Белоруссия	78000		
2	Ходовая система	СП «Дорэлектромаш», Белоруссия; Gummi-Metall-Technik GmbH, Германия	104000		
3	Бортовой комплект АСУ	ИТЦ МП, Белоруссия; ФГУП «КНИИТМУ», РФ	52000		
4	Тормозная система	Mayr Antriebstechnik, Германия	208000		
5	Комплект силового электропривода	ООО «ЭТОН», Белоруссия; EUPEC GmbH, Германия; Motorola, США; Phytec, США-Германия; Mitsubishi Electric, Япония	338000**		
6	Каркас	СП «Дорэлектромаш», Белоруссия	364000	182000	234000
7	Облицовка	Venture, США	260000	78000	130000
8	Двери с механизмом открывания	Hubner, Германия	312000		
9	Система кондиционирования	Webasto, Германия	104000		
	Всего:		1820000	1456000	1560000

* в стоимости не учтены затраты на проектирование и изготовление опытно-промышленного образца, сертификацию и организацию производства юнибусов

** в стоимости не учтена стоимость аварийного электропривода

1.7. Организация разработки и производства юнибуса

1.7.1. Сроки разработки

Сроки разработки определяются отдельным договором и для любого исполнения юнибуса Ю-325П ориентировочно составляют 12 месяцев.

1.7.2. Головной разработчик и соисполнители разработки

Головной разработчик — ООО «Струнный транспорт Юницкого», г. Москва, Россия, имеющий соответствующие лицензии на проектирование городского пассажирского электрического транспорта «второго уровня» (на путевую структуру, опоры, подвижной состав и инфраструктуру).

Возможные соисполнители разработки и поставщики комплектующих систем:

- Gummi-Metall-Technik GmbH, Германия;
- ООО «ЭТОН», г. Смолевичи, Белоруссия;
- EUPES GmbH, Германия;
- Motorola, США
- Phytex, США—Германия
- Mitsubishi Electric, Япония
- ИТЦ МП, г. Молодечно, Белоруссия;
- ФГУП «КНИИТМУ», г. Калуга, Россия;
- Venture, США;
- Webasto, Германия;
- Hubner, Германия;
- Mayr Antriebstechnik, Германия.

1.7.3. Количество изготавливаемых опытных образцов, место проведения испытаний

Изготавливаемая партия — 1 образец.

Место проведения испытаний:

- предварительные испытания — на производственных площадях изготовителя;
- приемочные испытания — в составе первого участка транспортной системы СТЮ в г. Екатеринбурге по маршруту «Железнодорожный вокзал — многофункциональный комплекс «Космос-сити, Екатеринбург, Россия».

Рельсовый автомобиль — юнибус Ю-325П — является разновидностью городского трамвая (включает те же элементы, что и трамвай: стальные колеса, электропривод, однопроводную контактную сеть, пассажирский салон и т.д.), который, согласно действующему в России законодательству, не требует сертификации. Поэтому головной разработчик (ООО «СТЮ») и изготовитель (ООО «Этон») воспользуются своим правом добровольной сертификации и подвижной состав будет поставлен Заказчику сертифицированным в оговоренные договором сроки — к моменту ввода в эксплуатацию городской трассы СТЮ в г. Екатеринбурге.

1.7.4. Изготовитель опытного образца

Изготовитель опытного образца и первой партии юнибусов — ООО «Этон», г. Минск, Белоруссия, имеющий соответствующие лицензии и сертификаты на изготовление городских пассажирских электрических колесных транспортных средств.



115487, Москва, ул. Нагатинская, 18/29
тел./факс: (495) 680-52-53, (499) 616-15-48
e-mail: info@unitsky.ru
http: //www.unitsky.ru
skype: Anatoly Unitsky

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный конструктор
ООО «Струнный транспорт Юницкого»

_____ А.Э. Юницкий

«31» августа 2007 г.

**2. Расчет тягово-скоростных и технико-экономических показателей
трансмиссии двухрельсового автомобиля (юнибуса) Ю-325П
транспортной системы двухрельсового СТЮ в г. Екатеринбурге
по маршруту «Железнодорожный вокзал — многофункциональный
комплекс «Космос-сити, Екатеринбург, Россия»
(325П-0000010PP)**

Содержание расчета трансмиссии

2.1. Введение	84
2.2. Исходные данные	87
2.3. Условия и допущения	88
2.4. Выбор тягового электродвигателя	88
2.5. Расчет динамических показателей разгона	91
2.6. Динамические показатели торможения	95
2.7. Путь и время равномерного движения с максимальной скоростью	95
2.8. Общее время, необходимое для преодоления расстояния между станциями в 650 м	96
2.9. Энергия на тяговых колесах, потребная для разгона и равномерного движения юнибуса	97
2.10. Определение энергии рекуперации на участке торможения юнибуса	99
2.11. Расчет потребления электроэнергии	103
2.12. Анализ возможности использования бортового источника электроэнергии	106
2.13. Расчет энергии, потребляемой пассажирским лифтом на станции «Железнодорожный вокзал»	108
2.14. Техничко-экономические показатели трансмиссии	109
2.15. Выводы	113

2.1. Введение

Данный расчет производится для пассажирского двухрельсового автомобиля (юнибуса) модели Ю-325П для транспортной системы двухрельсового СТЮ в г. Екатеринбурге по маршруту «Железнодорожный вокзал — многофункциональный комплекс «Космос-сити, Екатеринбург, Россия».

Все четыре колеса юнибуса модели Ю-325П являются тяговыми. Юнибус снабжен двумя автономными электроприводами (по одному на пару колес). Каждый автономный электропривод содержит один трехфазный асинхронный электродвигатель, подключенный к частотному преобразователю, который обеспечивает плавное регулирование частоты вращения валов электродвигателей.

Передача к колесам и увеличение крутящего момента электродвигателей производится при помощи зубчатого редуктора. Торможение юнибуса — рекуперативное.

Юнибусы Ю-325П варианта исполнения 01 и 04 (см. рис. 2.1 и 2.2.) отличаются от вариантов исполнений 02 и 03 (см. рис. 2.3 и 2.4.) улучшенными аэродинамическими формами.

Целью настоящего расчета являются:

- определение установочной мощности тягового электродвигателя и его выбор;
- определение динамических параметров;
- определение энергетических параметров;
- определение технико-экономических показателей.

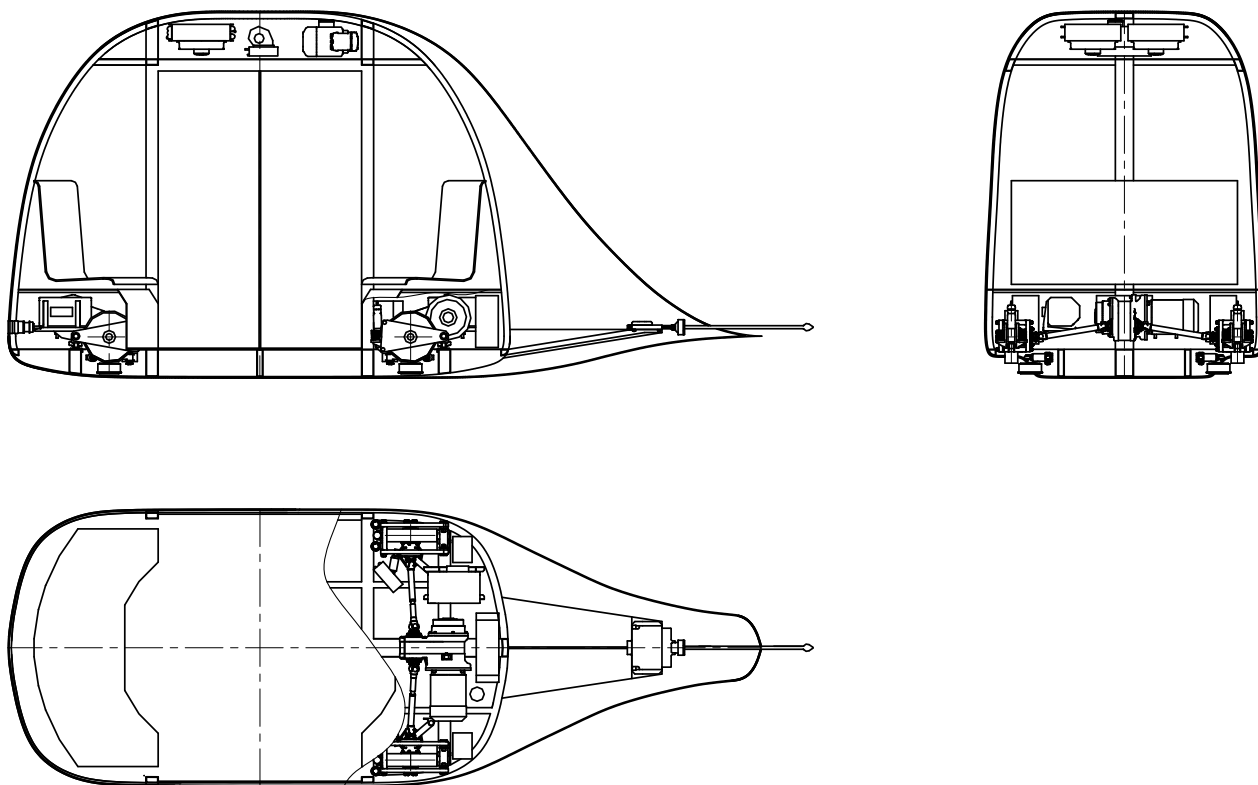


Рис. 2.1. Юнибус Ю-325П варианта исполнения 01

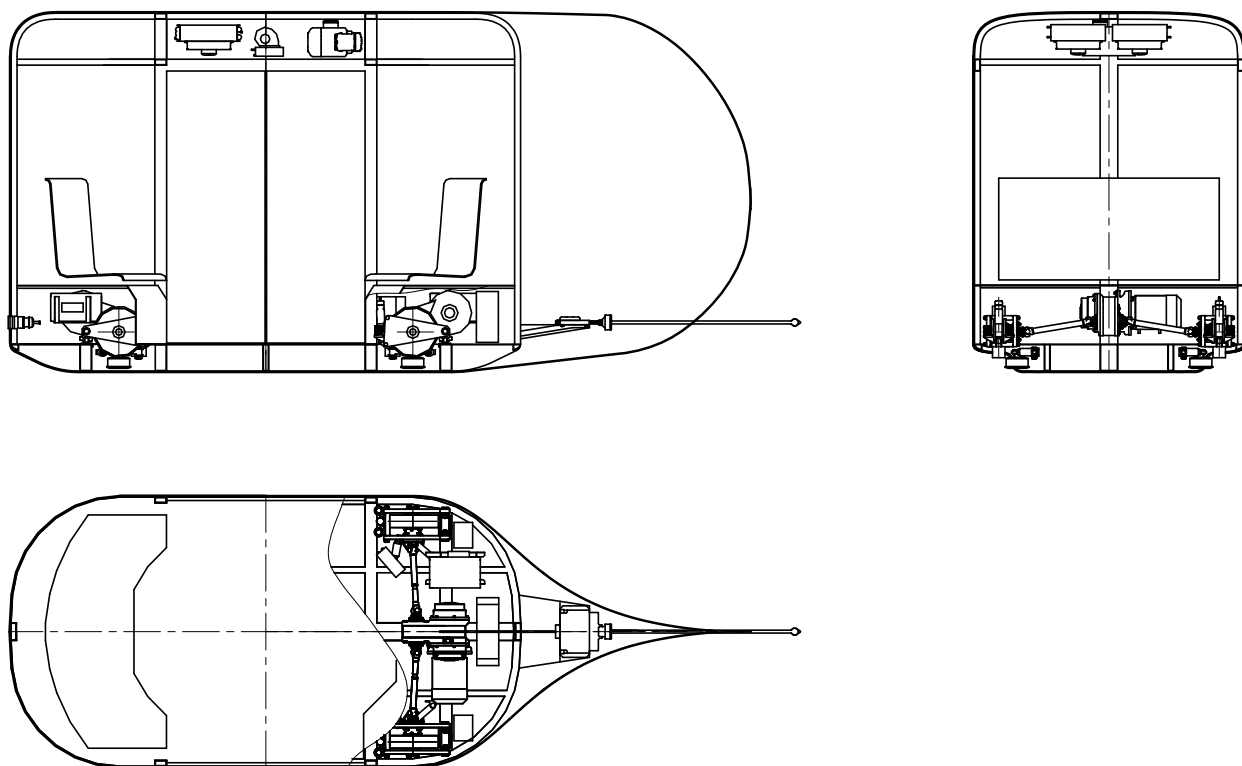


Рис. 2.2. Юнибус Ю-325П варианта исполнения 04

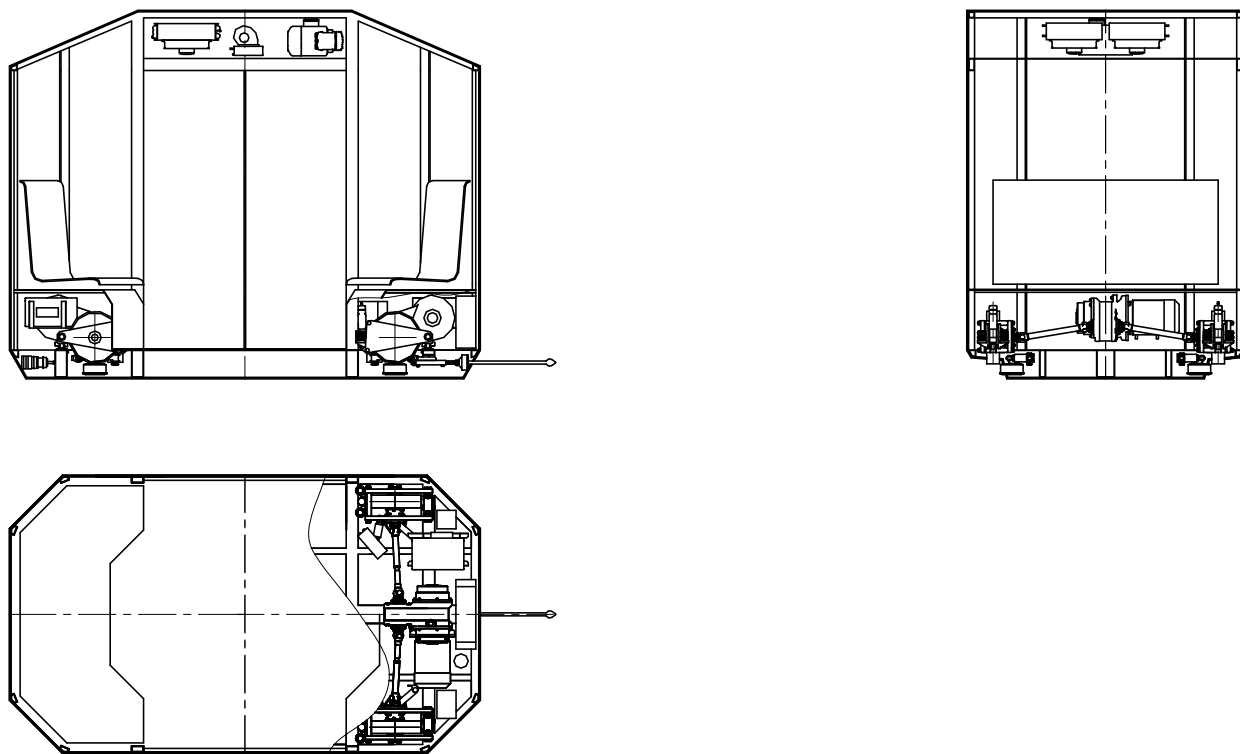


Рис. 2.3. Юнибус Ю-325П варианта исполнения 02

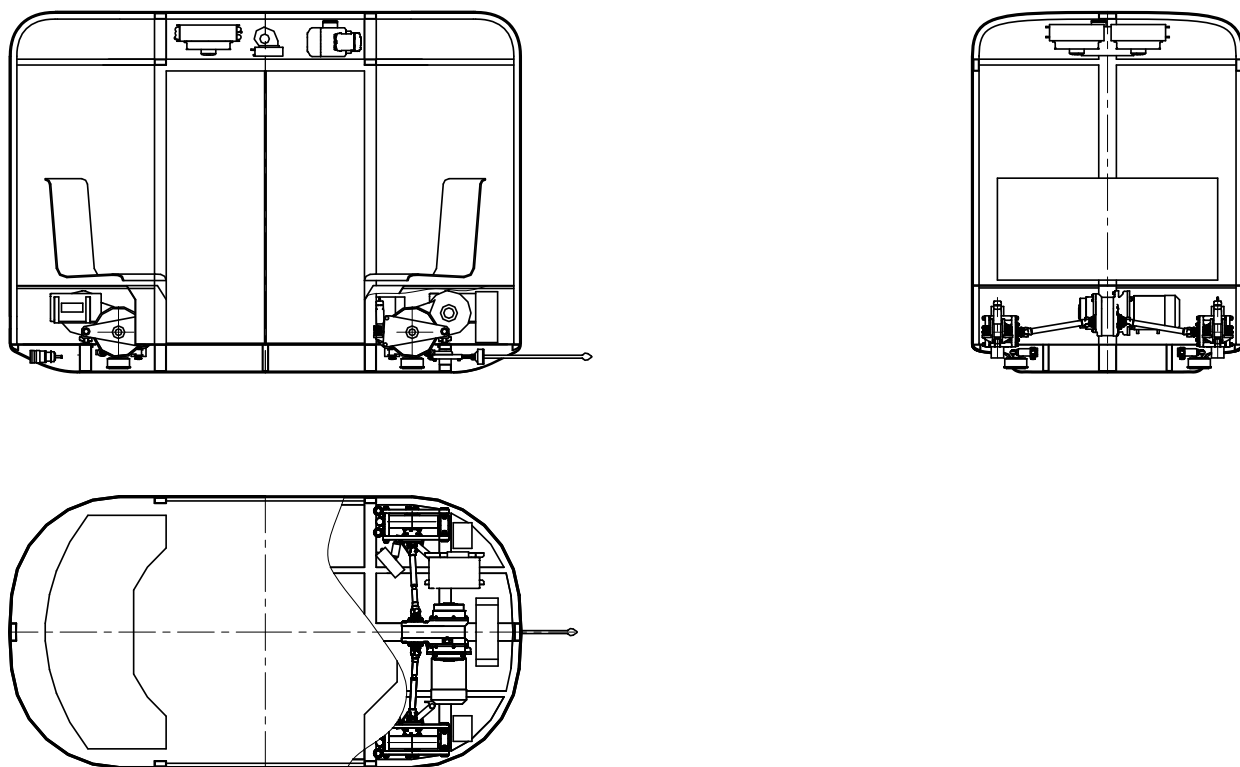


Рис. 2.4. Юнибус Ю-325П варианта исполнения 03

2.2. Исходные данные

Максимальная масса юнибуса, кг	$m = 2400$
Максимальная эксплуатационная скорость, км/ч:	
• вариантов исполнений 01 и 04	$V = 60$
• вариантов исполнений 02 и 03	$V = 45$
Коэффициент сопротивления качению колес юнибуса	$f = 0,0022$
Коэффициент лобового аэродинамического сопротивления:	
• вариантов исполнений 01 и 04	$C_w = 0,105$
• вариантов исполнений 02 и 03	$C_w = 0,5$
Размер лобовой площади (мидель), м ² :	
• вариантов исполнений 01 и 04	$A = 4,1$
• вариантов исполнений 02 и 03	$A = 4,5$
Радиус качения тягового колеса, м	$r = 0,175$
Распределение максимальной массы по колесам, %	25
Эксплуатационное ускорение (замедление), м/с ²	$a = 0,6$
Мощность компрессора кондиционера, Вт	$N_{ko} = 3000$
Мощность воздушного отопителя, Вт	$N_o = 3200$
КПД редуктора	
(две пары зубчатого зацепления с подшипниками качения)	$\eta_1 = 0,96$
КПД электродвигателей	$\eta_2 = 0,9$
КПД частотных преобразователей	$\eta_3 = 0,94$
Синхронная угловая скорость вращения вала тягового электродвигателя, при частоте напряжения сети 50 Гц, с ⁻¹	$\omega = 314$
Колесная формула	4×4
Коэффициент сцепления колеса с рельсом (наименьший)	$\varphi = 0,1$
Среднее расстояние между смежными станциями, м	$S = 650$
Ускорение свободного падения, м/с ²	$g = 9,81$
Плотность воздуха, кг/м ³	$\rho = 1,202$
Высота станции над поверхностью земли, м	$H = 10$

2.3. Условия и допущения

По условиям рассматриваются два варианта:

- вариант 1: безветрие;
- вариант 2: скорость встречного ветра 15 м/с, или 54 км/ч.

Эксплуатационный цикл движения юнибуса:

- разгон со станции отправления до скорости 60 км/ч для юнибуса Ю-325П исполнения 01 и 04, и до скорости 45 км/ч для юнибуса Ю-325П исполнения 02 и 03 (начальное ускорение ограничивается величиной $0,6 \text{ м/с}^2$);
- равномерное движение с максимальной кинематической скоростью;
- рекуперативное торможение с постоянным замедлением $0,6 \text{ м/с}^2$ до полной остановки на следующей станции (начало торможения определяется исходя из длины тормозного пути).

Момент инерции вращающихся масс не учитывается.

Потери в электроцепях не учитываются.

Смежные станции находятся на одном уровне.

Путь и время передвижения в пределах станций не учитываются.

КПД электронных преобразователей кондиционера и преобразователей пассажирского лифта на станции приняты такими же, как и для тягового привода юнибуса.

КПД приводного электродвигателя кондиционера и приводного электродвигателя лифта приняты такими же, как и для тягового привода юнибуса.

КПД привода кондиционера и привода лифта приняты такими же, как и для тягового привода.

2.4. Выбор тягового электродвигателя

Тяговый электродвигатель юнибуса выбирается из условия обеспечения потребного наибольшего крутящего момента на тяговом колесе.

2.4.1. Определение наибольшего крутящего момента на тяговом колесе юнибуса

Наибольший потребный крутящий момент на одном тяговом колесе (M_1) определяются из условия обеспечения тяговым электрооборудованием заданного максимального ускорения юнибуса, при встречном ветре 15 м/с, по формуле:

$$M_1 = r (m \cdot a + R + F) / 4, \text{ Нм},$$

где:

$F = m \cdot g \cdot f$ — сила сопротивления качению колес, Н;

$R = 0,5 \cdot \rho \cdot C_w \cdot A \cdot (V_1 + V_{\text{вет}})^2$ — сила аэродинамического сопротивления движению юнибуса, Н,

где:

V_1 — максимальная скорость юнибуса, развиваемая при величине ускорения $a = 0,6 \text{ м/с}^2$, м/с ($V_1 = 8,33 \text{ м/с}$ — для юнибуса Ю-325П исполнений 01 и 04, $V_1 = 6,67 \text{ м/с}$ — для юнибуса Ю-325П исполнений 02 и 03). Скорости уточнены в соответствии с главой «Расчет динамических показателей разгона» (см. ниже).

Результаты расчета — см. табл. 2.1.

2.4.2. Определение потребного наибольшего крутящего момента на валу тягового электродвигателя

Наибольший крутящий момент на валу тягового электродвигателя (M_2) определяется по формуле:

$$M_2 = 2 \cdot M_1 / i \cdot \eta_1, \text{ Нм},$$

где:

$i = n_2 / n_1 = 3600 / 909,5 = 3,95$ — передаточное число редуктора для юнибуса Ю-325П исполнения 01 и 04;

$i = n_2 / n_1 = 3600 / 682 = 5,28$ — передаточное число редуктора для юнибуса Ю-325П исполнения 02 и 03;

$n_2 = 3600$ об./мин. — синхронная частота вращения валов асинхронных трехфазных электродвигателей в соответствии с ГОСТ12139 при частоте питающего напряжения 60 Гц;

$n_1 = V / (0,377 \cdot r) = 60 / (0,377 \cdot 0,175) = 909,5$ об./мин. — частота вращения тяговых колес при максимальной кинематической скорости 60 км/ч;

$n_1 = V / (0,377 \cdot r) = 45 / (0,377 \cdot 0,175) = 682$ об./мин. — частота вращения тяговых колес при максимальной кинематической скорости 45 км/ч.

Результаты расчета — см. табл. 2.1.

2.4.3. Определение установочной мощности тягового электродвигателя и его выбор

Мощность тягового электродвигателя (N) находим по формуле:

$$N = M_2 \cdot \omega / k, \text{ Вт,}$$

где:

$k = 2,2$ — допускаемый коэффициент перегрузки асинхронных электродвигателей малой мощности.

Результаты расчета — см. табл. 2.1.

Таблица 2.1

Установочная мощность тяговых электродвигателей Ю-325П

Исполнения Ю-325П	R, Н	F, Н	M ₁ , Нм	M ₂ , Нм	N, Вт
01 и 04	140,9	51,8	71,43	36,09	6465
02 и 03	634,8	51,8	93,04	35,26	6315

Наиболее близкий типоразмер электродвигателя — АИР112М2 с номинальной мощностью 7,5 кВт при синхронной частоте вращения 3000 об./мин.

2.4.4. Проверка возможности движения юнибуса по условиям сцепления ведущих колес с рельсом

Для движения юнибуса без скольжения колес необходимо соблюдение условия:

$$P_{\text{сц}} \geq P_1,$$

где:

$P_{\text{сц}}$ — наименьшая сила сцепления колеса с рельсом;

P_1 — наибольшая сила сопротивления на одном колесе юнибуса.

$$P_{\text{сц}} = \varphi \cdot m \cdot g / 4 = 0,1 \cdot 2400 \cdot 9,81 / 4 = 588,6 \text{ Н.}$$

$$P_1 = M_1 / r = 93 / 0,175 = 531,7 \text{ Н}$$

$588,6 \geq 531,7$ — условие движения юнибуса без скольжения соблюдается.

2.5. Расчет динамических показателей разгона

Расчет динамических показателей разгона производится с временным интервалом 1,0 сек. (в конце участка разгона интервал может быть иным) из условия ограничения максимального ускорения величиной $0,6 \text{ м/с}^2$ (для обеспечения показателя плавности хода не ниже 2,0, а также — исключения пробуксовок тяговых колес) и использования максимальной мощности тяговых электродвигателей в дальнейшем (с момента начала падения ускорения), для продолжения более медленного ускорения до максимальной скорости (60 км/ч или 45 км/ч).

Сила аэродинамического сопротивления определяется по формуле:

$$R_i = 0,5 \cdot \rho \cdot C_w \cdot A \cdot (V_i + V_{\text{вет}})^2, \text{ Н,}$$

где:

V_i — текущая скорость юнибуса, м/с;

$V_{\text{вет}}$ — скорость встречного ветра, м/с.

Ускорение определяется по формуле:

$$a = (P - F - R) / m, \text{ м/с}^2,$$

где:

$P = N \cdot \eta_1 / V_i$ — суммарная сила тяги на колесах, Н.

Пройденный путь (S_p) определяется по формуле:

$$S_p = S_{i-1} + V_i \cdot \Delta t_i + a_i \cdot \Delta t_i^2 / 2.$$

Результаты расчета — см.:

1) для юнибуса Ю-325П исполнений 01 и 04:

- табл. 2.2 — для варианта 1 (безветрие);
- табл. 2.3 — для варианта 2.

2) для юнибуса Ю-325П исполнений 02 и 03:

- табл. 2.4 — для варианта 1 (безветрие);
- табл. 2.5 — для варианта 2.

Таблица 2.2

Динамические показатели разгона юнибуса Ю-325П исполнений 01 и 04 для варианта 1 (безветрие)

t, с	a, м/с ²	V, км/ч	V, м/с	P, Н	R, Н	S _р , м
0	0	0	0			0
1	0,6	2,16	0,600	23914,056	62,964654	0,9
2	0,6	4,32	1,200	11957,028	67,901232	2,4
3	0,6	6,48	1,800	7971,352	73,024096	4,5
4	0,6	8,64	2,400	5978,514	78,333246	7,2
5	0,6	10,8	3,000	4782,811	83,828682	10,5
6	0,6	12,96	3,600	3985,676	89,510404	14,4
7	0,6	15,12	4,200	3416,294	95,378412	18,9
8	0,6	17,28	4,800	2989,257	101,43271	24
9	0,6	19,44	5,400	2657,117	107,67328	29,7
10	0,6	21,6	6,000	2391,406	114,10015	36
11	0,6	23,76	6,600	2174,005	120,7133	42,9
12	0,6	25,92	7,200	1992,838	127,51274	50,4
13	0,6	28,08	7,800	1839,543	134,49846	58,5
14	0,6	30,24	8,400	1708,147	141,67047	67,2
15	0,5820244	32,3352879	8,982	1597,461	148,80561	76,473
16	0,541357	34,2841732	9,523	1506,653	155,59955	86,2671
17	0,506922	36,1090924	10,030	1430,508	162,09882	96,5509
18	0,4772497	37,8271912	10,508	1365,535	168,33919	107,297
19	0,4513139	39,4519213	10,959	1309,299	174,34885	118,482
20	0,4283739	40,9940674	11,387	1260,045	180,15055	130,083
21	0,4078801	42,4624357	11,795	1216,472	185,76294	142,082
22	0,3894148	43,8643288	12,185	1177,594	191,20158	154,461
23	0,3726543	45,2058845	12,557	1142,647	196,47961	167,205
24	0,3573437	46,4923217	12,915	1111,030	201,60829	180,298
25	0,3432785	47,7281243	13,258	1082,263	206,59733	193,727
26	0,3302931	48,9171795	13,588	1055,955	211,4552	207,481
27	0,3182514	50,0628845	13,906	1031,790	216,18938	221,546
28	0,3070406	51,1682306	14,213	1009,501	220,80645	235,913
29	0,2965661	52,2358684	14,510	988,868	225,31234	250,571
30	0,286748	53,268161	14,797	969,704	229,71232	265,511
31	0,2775183	54,2672268	15,074	951,852	234,0112	280,724
32	0,2688187	55,234974	15,343	935,175	238,21332	296,202
33	0,2605987	56,1731294	15,604	919,556	242,32264	311,936
34	0,2528148	57,0832626	15,856	904,895	246,3428	327,919
35	0,2454285	57,9668053	16,102	891,102	250,27715	344,143
36	0,2384065	58,8250687	16,340	878,101	254,12877	360,603
37	0,2317191	59,6592573	16,572	865,823	257,90054	377,291
37,5	0,229025	60	16,667	860,906	259,4492	385,624

Таблица 2.3

 Динамические показатели разгона юнибуса Ю-325П исполнений 01 и 04 для варианта 2
 (встречный ветер 15 м/с)

t, с	a, м/с ²	V, км/ч	V, м/с	P, Н	R, Н	S _{пр} , м
0	0	0	0			0
1	0,6	2,16	0,600	23914,056	0,093143	0,9
2	0,6	4,32	1,200	11957,028	0,3725719	2,4
3	0,6	6,48	1,800	7971,352	0,8382868	4,5
4	0,6	8,64	2,400	5978,514	1,4902877	7,2
5	0,6	10,8	3,000	4782,811	2,3285745	10,5
6	0,6	12,96	3,600	3985,676	3,3531473	14,4
7	0,6	15,12	4,200	3416,294	4,564006	18,9
8	0,6	17,28	4,800	2989,257	5,9611507	24
9	0,6	19,44	5,400	2657,117	7,5445814	29,7
10	0,6	21,6	6,000	2391,406	9,314298	36
11	0,6	23,76	6,600	2174,005	11,270301	42,9
12	0,6	25,92	7,200	1992,838	13,412589	50,4
13	0,6	28,08	7,800	1839,543	15,741164	58,5
14	0,6	30,24	8,400	1708,147	18,256024	67,2
15	0,6	32,4	9,000	1594,270	20,957171	76,5
16	0,5917944	34,5304597	9,592	1495,907	23,803858	86,3877
17	0,5564346	36,5336241	10,148	1413,885	26,645762	96,8141
18	0,5262119	38,4279868	10,674	1344,186	29,480707	107,752
19	0,4999748	40,227896	11,174	1284,043	32,307047	119,176
20	0,4769023	41,9447444	11,651	1231,486	35,123496	131,066
21	0,4563917	43,5877545	12,108	1185,066	37,92902	143,402
22	0,4379891	45,1645154	12,546	1143,693	40,722772	156,166
23	0,4213458	46,6813602	12,967	1106,531	43,504044	169,344
24	0,4061887	48,1436394	13,373	1072,922	46,272233	182,921
25	0,3923005	49,5559213	13,766	1042,345	49,026821	196,882
26	0,3795062	50,9221438	14,145	1014,379	51,767356	211,217
27	0,3676628	52,24573	14,513	988,681	54,493441	225,914
28	0,3566522	53,5296778	14,869	964,967	57,204723	240,961
29	0,3463759	54,7766312	15,216	943,000	59,900889	256,35
30	0,3367513	55,9889359	15,552	922,582	62,581656	272,071
31	0,3277081	57,168685	15,880	903,543	65,246772	288,115
32	0,3191863	58,3177556	16,199	885,740	67,896006	304,474
33	0,3111344	59,4378393	16,511	869,048	70,52915	321,14
33,2	0,3071832	60	16,667	860,906	71,869583	324,473

Таблица 2.4

Динамические показатели разгона юнибуса Ю-325П исполнений 02 и 03 для варианта 1 (безветрие)

t, с	a, м/с ²	V, км/ч	V, м/с	P, Н	R, Н	S _{пр} , м
0	0	0	0			0
1	0,6	2,16	0,600	23914,056	0,48681	0,9
2	0,6	4,32	1,200	11957,028	1,94724	2,4
3	0,6	6,48	1,800	7971,352	4,38129	4,5
4	0,6	8,64	2,400	5978,514	7,78896	7,2
5	0,6	10,8	3,000	4782,811	12,17025	10,5
6	0,6	12,96	3,600	3985,676	17,52516	14,4
7	0,6	15,12	4,200	3416,294	23,85369	18,9
8	0,6	17,28	4,800	2989,257	31,15584	24
9	0,6	19,44	5,400	2657,117	39,43161	29,7

t, с	a, м/с ²	V, км/ч	V, м/с	P, Н	R, Н	S _р , м
10	0,6	21,6	6,000	2391,406	48,681	36
11	0,6	23,76	6,600	2174,005	58,90401	42,9
12	0,6	25,92	7,200	1992,838	70,10064	50,4
13	0,6	28,08	7,800	1839,543	82,27089	58,5
14	0,6	30,24	8,400	1708,147	95,41476	67,2
15	0,5972867	32,3902322	8,997	1594,751	109,46622	76,4959
16	0,5530294	34,381138	9,550	1502,404	123,33675	86,3228
17	0,5152874	36,2361727	10,066	1425,492	137,00507	96,646
18	0,4825133	37,9732207	10,548	1360,284	150,45508	107,435
19	0,4536351	39,606307	11,002	1304,195	163,67437	118,664
20	0,4278837	41,1466884	11,430	1255,371	176,6533	130,308
21	0,4046919	42,6035793	11,834	1212,442	189,38438	142,344
22	0,3836307	43,98465	12,218	1174,372	201,86186	154,754
22,333	0,368662	45	12,500	1147,875	211,28906	158,921

Таблица 2.5

Динамические показатели разгона юнибуса Ю-325П исполнений 02 и 03 для варианта 2
(встречный ветер 15 м/с)

t, с	a, м/с ²	V, км/ч	V, м/с	P, Н	R, Н	S _р , м
0	0	0	0			0
1	0,6	2,16	0,600	23914,056	329,08356	0,9
2	0,6	4,32	1,200	11957,028	354,88449	2,4
3	0,6	6,48	1,800	7971,352	381,65904	4,5
4	0,6	8,64	2,400	5978,514	409,40721	7,2
5	0,6	10,8	3,000	4782,811	438,129	10,5
6	0,6	12,96	3,600	3985,676	467,82441	14,4
7	0,6	15,12	4,200	3416,294	498,49344	18,9
8	0,6	17,28	4,800	2989,257	530,13609	24
9	0,6	19,44	5,400	2657,117	562,75236	29,7
10	0,6	21,6	6,000	2391,406	596,34225	36
11	0,6	23,76	6,600	2174,005	630,90576	42,9
12	0,5396142	25,7026111	7,140	2009,693	662,82226	50,3094
13	0,4753555	27,4138908	7,615	1884,240	691,59048	58,1621
14	0,4231419	28,9372017	8,038	1785,050	717,71289	66,4118
15	0,3796588	30,3039733	8,418	1704,541	741,56304	75,0194
16	0,3427596	31,537908	8,761	1637,850	763,43003	83,9513
17	0,3109836	32,6574491	9,072	1581,702	783,54472	93,1783
18	0,2832958	33,6773139	9,355	1533,803	802,0962	102,675
19	0,2589383	34,6094917	9,614	1492,491	819,24251	112,418
20	0,2373409	35,4639188	9,851	1456,533	835,11796	122,388
21	0,2180642	36,2489499	10,069	1424,989	849,83831	132,566
22	0,200763	36,9716968	10,270	1397,133	863,50445	142,936
23	0,1851613	37,6382775	10,455	1372,389	876,20519	153,484
24	0,1710347	38,2540025	10,626	1350,300	888,01934	164,195
25	0,1581989	38,8235186	10,784	1330,491	899,01729	175,059
26	0,1465002	39,3509193	10,931	1312,660	909,26231	186,063
27	0,1358093	39,8398328	11,067	1296,551	918,81154	197,197
28	0,1260164	40,2934918	11,193	1281,953	927,71681	208,453
29	0,1170274	40,7147905	11,310	1268,688	936,02531	219,821
30	0,1087611	41,1063304	11,418	1256,604	943,78015	231,294
31	0,1011469	41,470459	11,520	1245,570	951,02079	242,864

t, с	a, м/с ²	V, км/ч	V, м/с	P, Н	R, Н	S _p , м
32	0,0941229	41,8093016	11,614	1235,475	957,78347	254,525
33	0,0876351	42,1247878	11,701	1226,222	964,10154	266,27
34	0,0816352	42,4186744	11,783	1217,727	970,00573	278,094
35	0,0760806	42,6925646	11,859	1209,915	975,52442	289,991
36	0,0709334	42,9479248	11,930	1202,721	980,68385	301,956
37	0,0661594	43,1860986	11,996	1196,088	985,5083	313,986
38	0,0617281	43,4083198	12,058	1189,965	990,02029	326,074
39	0,0576119	43,6157225	12,115	1184,306	994,24069	338,219
40	0,0537858	43,8093513	12,169	1179,072	998,18892	350,415
41	0,0502272	43,9901693	12,219	1174,225	1001,883	362,659
42	0,0469156	44,1590656	12,266	1169,734	1005,3397	374,949
43	0,0438324	44,3168621	12,310	1165,569	1008,5746	387,281
44	0,0409603	44,4643191	12,351	1161,704	1011,6022	399,653
45	0,0382838	44,6021407	12,389	1158,114	1014,4361	412,062
46	0,0357886	44,7309796	12,425	1154,778	1017,0888	424,505
47	0,0334615	44,8514412	12,459	1151,677	1019,5722	436,98
48	0,0312906	44,9640873	12,490	1148,791	1021,8973	449,486
48,333	0,0305995	45	12,500	1147,875	1022,6391	453,653

2.6. Динамические показатели торможения

Время, затраченное на участке торможения:

$t_{\text{торм}} = V / a = 16,667 / 0,6 = 27,7$ с — время торможения юнибуса Ю-325П исполнения 01 и 04;

$t_{\text{торм}} = V / a = 12,5 / 0,6 = 20,8$ с — время торможения юнибуса Ю-325П исполнения 02 и 03.

Тормозной путь для юнибуса Ю-325П исполнения 01 и 04 при служебном торможении (ускорение 0,6 м/с²):

$$S_{\text{торм}} = a \cdot t_{\text{торм}}^2 / 2 = 0,6 \cdot 27,7^2 / 2 = 230 \text{ м.}$$

Для юнибуса Ю-325П исполнения 02 и 03:

$$S_{\text{торм}} = a \cdot t_{\text{торм}}^2 / 2 = 0,6 \cdot 20,8^2 / 2 = 130 \text{ м.}$$

2.7. Путь и время равномерного движения с максимальной скоростью

Путь и время равномерного движения юнибуса будут равны:

$$S_{\text{равн}} = S - S_{\text{торм}} - S_p, \text{ м}$$

$$t_{\text{равн}} = S_{\text{равн}} / V, \text{ с}$$

Результаты расчета — см.:

- табл. 2.6 — для юнибуса Ю-325П исполнений 01 и 04;
- табл. 2.7 — для юнибуса Ю-325П исполнений 02 и 03.

2.8. Общее время, необходимое для преодоления расстояния между станциями в 650 м

Общее время, необходимое для преодоления юнибусом расстояния между станциями в 650 м, будет равно:

$$t = t_p + t_{\text{равн}} + t_{\text{торм}}, \text{ сек.}$$

Результаты расчета — см.:

- табл. 2.6 — для юнибуса Ю-325П исполнений 01 и 04;
- табл. 2.7 — для юнибуса Ю-325П исполнений 02 и 03.

Таблица 2.6

Время, необходимое юнибусу Ю-325П исполнений 01 и 04 для преодоления расстояния между станциями в 650 м

Варианты условий	$S_{\text{торм}}, \text{ м}$	$t_{\text{торм}}, \text{ с}$	$S_p, \text{ м}$	$t_p, \text{ с}$	$S_{\text{равн}}, \text{ м}$	$t_{\text{равн}}, \text{ с}$	$t, \text{ с}$
Вариант 1 (безветрие)	230	27,7	324,5	33,2	95,5	5,73	66,6
Вариант 2 (встречный ветер)	230	27,7	385,6	37,5	34,4	2,1	67,3

Таблица 2.7

Время, необходимое юнибусу Ю-325П исполнений 02 и 03 для преодоления расстояния между станциями в 650 м

Варианты условий	$S_{\text{торм}}, \text{ м}$	$t_{\text{торм}}, \text{ с}$	$S_p, \text{ м}$	$t_p, \text{ с}$	$S_{\text{равн}}, \text{ м}$	$t_{\text{равн}}, \text{ с}$	$t, \text{ с}$
Вариант 1 (безветрие)	130	20,8	159	22,3	361	28,9	72
Вариант 2 (встречный ветер)	130	20,8	453,7	48,3	66,3	5,3	74,4

2.9. Энергия на тяговых колесах, необходимая для разгона и равномерного движения юнибуса

Для расчета энергии, участок пути разделяется на временные отрезки $\Delta t = 1$ сек. Общая энергия, необходимая для разгона и равномерного движения юнибуса, составит:

$$W = \sum \Delta W_i, \text{ Дж},$$

где:

$\Delta W_i = P_i \cdot \Delta S$ — энергия, необходимая для движения юнибуса по участку пути длиной ΔS за время Δt , Дж;

$P_i = (m \cdot a_i + R_i + F)$ — сила тяги на участке пути, Н;

R_i — сила аэродинамического сопротивления на участке пути, Н (см. табл. 2.8 и 2.9);

a_i — максимальное ускорение юнибуса на i -от участке, м/с^2 ;

$\Delta S = (S_i - S_{i-1})$ — протяженность i -го участка пути, м (см. табл. 2.8 и 2.9).

Результаты расчета — см.:

- табл. 2.8 — для юнибуса Ю-325П исполнений 01 и 04;
- табл. 2.9 — для юнибуса Ю-325П исполнений 02 и 03.

Таблица 2.8

Энергия на тяговых колесах юнибуса Ю-325П исполнений 01 и 04, необходимая для разгона и равномерного движения на перегоне длиной 650 м

Вариант 1 (безветрие)				Вариант 2 (встречный ветер)			
$R_i, \text{ Н}$	$S_i, \text{ м}$	$P_i, \text{ Н}$	$\Delta W_i, \text{ Дж}$	$R_i, \text{ Н}$	$S_i, \text{ м}$	$P_i, \text{ Н}$	$\Delta W_i, \text{ Дж}$
	0				0		
0,093143	0,9	1491,89	1342,701	62,964654	0,9	1554,761	1399,285
0,3725719	2,4	1492,169	2238,254	67,901232	2,4	1559,698	2339,547
0,8382868	4,5	1492,635	3134,534	73,024096	4,5	1564,821	3286,124
1,4902877	7,2	1493,287	4031,875	78,333246	7,2	1570,13	4239,351
2,3285745	10,5	1494,125	4930,614	83,828682	10,5	1575,625	5199,564
3,3531473	14,4	1495,15	5831,085	89,510404	14,4	1581,307	6167,098
4,564006	18,9	1496,361	6733,624	95,378412	18,9	1587,175	7142,288
5,9611507	24	1497,758	7638,566	101,43271	24	1593,23	8125,47
7,5445814	29,7	1499,341	8546,246	107,67328	29,7	1599,47	9116,979
9,314298	36	1501,111	9457	114,10015	36	1605,897	10117,15
11,270301	42,9	1503,067	10371,16	120,7133	42,9	1612,51	11126,32
13,412589	50,4	1505,209	11289,07	127,51274	50,4	1619,31	12144,82

Вариант 1 (безветрие)				Вариант 2 (встречный ветер)			
R _i , Н	S _i , м	P _i , Н	ΔW _i , Дж	R _i , Н	S _i , м	P _i , Н	ΔW _i , Дж
15,741164	58,5	1507,538	12211,06	134,49846	58,5	1626,295	13172,99
18,256024	67,2	1510,053	13137,46	141,67047	67,2	1633,467	14211,17
20,957171	76,5	1512,754	14068,61	148,80561	76,473	1597,461	14813,31
23,803858	86,3877	1495,907	14791,07	155,59955	86,2671	1506,653	14756,25
26,645762	96,8141	1413,885	14741,8	162,09882	96,5509	1430,508	14711,01
29,480707	107,752	1344,186	14702,1	168,33919	107,297	1365,535	14674,28
32,307047	119,176	1284,043	14669,43	174,34885	118,482	1309,299	14643,89
35,123496	131,066	1231,486	14642,08	180,15055	130,083	1260,045	14618,32
37,92902	143,402	1185,066	14618,86	185,76294	142,082	1216,472	14596,52
40,722772	156,166	1143,693	14598,9	191,20158	154,461	1177,594	14577,72
43,504044	169,344	1106,531	14581,55	196,47961	167,205	1142,647	14561,34
46,272233	182,921	1072,922	14566,34	201,60829	180,298	1111,03	14546,94
49,026821	196,882	1042,345	14552,89	206,59733	193,727	1082,263	14534,19
51,767356	211,217	1014,379	14540,92	211,4552	207,481	1055,955	14522,82
54,493441	225,914	988,681	14530,18	216,18938	221,546	1031,79	14512,62
57,204723	240,961	964,9668	14520,51	220,80645	235,913	1009,501	14503,41
59,900889	256,35	943	14511,75	225,31234	250,571	988,8677	14495,07
62,581656	272,071	922,5816	14503,77	229,71232	265,511	969,7042	14487,46
65,246772	288,115	903,5429	14496,48	234,0112	280,724	951,8519	14480,51
67,896006	304,474	885,7399	14489,79	238,21332	296,202	935,1749	14474,13
70,52915	321,14	869,0484	14483,63	242,32264	311,936	919,5564	14468,25
71,869583	324,473	123,6664	412,2213	246,3428	327,919	904,895	14462,82
71,869583	434,473	123,6664	412,2213	250,27715	344,143	891,1024	14457,78
			412,2213	254,12877	360,603	878,1012	14453,11
			412,2213	257,90054	377,291	865,8231	14448,75
			412,2213	259,4492	385,624	311,246	2593,717
			412,2213	259,4492	435,624	311,246	2593,717
		ΣΔW _i	391935,9			ΣΔW _i	461143,7

Таблица 2.9

Энергия на тяговых колесах юнибуса Ю-325П исполнений 02 и 03,
 потребная для разгона и равномерного движения

Вариант 1 (безветрие)				Вариант 2 (встречный ветер)			
R _i , Н	S _i , м	P _i , Н	ΔW _i , Дж	R _i , Н	S _i , м	P _i , Н	ΔW _i , Дж
	0				0		
0,48681	0,9	1492,284	1343,055	329,08356	0,9	1820,88	1638,792
1,94724	2,4	1493,744	2240,616	354,88449	2,4	1846,681	2770,022
4,38129	4,5	1496,178	3141,974	381,65904	4,5	1873,456	3934,257
7,78896	7,2	1499,586	4048,882	409,40721	7,2	1901,204	5133,251
12,17025	10,5	1503,967	4963,091	438,129	10,5	1929,926	6368,755
17,52516	14,4	1509,322	5886,356	467,82441	14,4	1959,621	7642,523
23,85369	18,9	1515,65	6820,427	498,49344	18,9	1990,29	8956,306
31,15584	24	1522,953	7767,058	530,13609	24	2021,933	10311,86
39,43161	29,7	1531,228	8728,002	562,75236	29,7	2054,549	11710,93
48,681	36	1540,478	9705,01	596,34225	36	2088,139	13155,28
58,90401	42,9	1550,701	10699,84	630,90576	42,9	2122,703	14646,65
70,10064	50,4	1561,897	11714,23	662,82226	50,3094	2009,693	14890,66
82,27089	58,5	1574,068	12749,95	691,59048	58,1621	1884,24	14796,28
95,41476	67,2	1587,212	13808,74	717,71289	66,4118	1785,05	14726,1

Вариант 1 (безветрие)				Вариант 2 (встречный ветер)			
R _i , Н	S _i , м	P _i , Н	ΔW _i , Дж	R _i , Н	S _i , м	P _i , Н	ΔW _i , Дж
109,46622	76,4959	1594,751	14824,7	741,56304	75,0194	1704,541	14672,01
123,33675	86,3228	1502,404	14763,87	763,43003	83,9513	1637,85	14629,13
137,00507	96,646	1425,492	14715,7	783,54472	93,1783	1581,702	14594,38
150,45508	107,435	1360,284	14676,61	802,0962	102,675	1533,803	14565,69
163,67437	118,664	1304,195	14644,25	819,24251	112,418	1492,491	14541,67
176,6533	130,308	1255,371	14617,01	835,11796	122,388	1456,533	14521,28
189,38438	142,344	1212,442	14593,77	849,83831	132,566	1424,989	14503,8
201,86186	154,754	1174,372	14573,7	863,50445	142,936	1397,133	14488,68
211,28906	158,921	263,0859	1096,191	876,20519	153,484	1372,389	14475,49
211,28906	533,921	263,0859	1096,191	888,01934	164,195	1350,3	14463,91
			1096,191	899,01729	175,059	1330,491	14453,67
			1096,191	909,26231	186,063	1312,66	14444,59
			1096,191	918,81154	197,197	1296,551	14436,48
			1096,191	927,71681	208,453	1281,953	14429,21
			1096,191	936,02531	219,821	1268,688	14422,67
			1096,191	943,78015	231,294	1256,604	14416,77
			1096,191	951,02079	242,864	1245,57	14411,43
			1096,191	957,78347	254,525	1235,475	14406,58
			1096,191	964,10154	266,27	1226,222	14402,16
			1096,191	970,00573	278,094	1217,727	14398,14
			1096,191	975,52442	289,991	1209,915	14394,46
			1096,191	980,68385	301,956	1202,721	14391,09
			1096,191	985,5083	313,986	1196,088	14388
			1096,191	990,02029	326,074	1189,965	14385,16
			1096,191	994,24069	338,219	1184,306	14382,55
			1096,191	998,18892	350,415	1179,072	14380,14
			1096,191	1001,883	362,659	1174,225	14377,92
			1096,191	1005,3397	374,949	1169,734	14375,87
			1096,191	1008,5746	387,281	1165,569	14373,98
			1096,191	1011,6022	399,653	1161,704	14372,23
			1096,191	1014,4361	412,062	1158,114	14370,6
			1096,191	1017,0888	424,505	1154,778	14369,1
			1096,191	1019,5722	436,98	1151,677	14367,7
			1096,191	1021,8973	449,486	1148,791	14366,41
			1096,191	1022,6391	453,653	1074,436	4476,816
			1096,191	1022,6391	532,819	1074,436	4476,816
		ΣΔW _i	321196,7			ΣΔW _i	711516,1

2.10. Определение энергии рекуперации на участке торможения юнибуса

Мощность тормозного воздействия на юнибус от силы аэродинамического сопротивления и сопротивления качению колес:

$$N_{тi} = (R_i + F) V_i, \text{ Вт.}$$

Энергия, затрачиваемая юнибусом на преодоление на перегоне длиной 650 м сил аэродинамического сопротивления, сопротивления качению колес и встречного ветра ($W_{\text{п}}$), определяется как сумма приращений в интервалах времени (Δt):

$$W = \sum \Delta W_i, \text{ Дж.}$$

Приращение энергии в интервале определяется по формуле:

$$\Delta W_i = N_{\text{т ср}i} \cdot \Delta t, \text{ Дж,}$$

где:

$$N_{\text{т ср}i} = 0,5 \cdot (N_{\text{т}i} + N_{\text{т}i+1}), \text{ Вт;}$$

$$\Delta t = 1 \text{ с.}$$

Результаты расчета — см.:

1) для юнибуса Ю-325П исполнений 01 и 04:

- табл. 2.10 — для варианта 1 (безветрие);
- табл. 2.11 — для варианта 2.

2) для юнибуса Ю-325П исполнений 02 и 03:

- табл. 2.12 — для варианта 1 (безветрие);
- табл. 2.13 — для варианта 2.

Таблица 2.10

Энергия, затрачиваемая на преодоление сил аэродинамического сопротивления и сопротивления качению колес при торможении юнибуса Ю-325П исполнений 01 и 04 для варианта 1 (безветрие)

a, м/с²	V, км/ч	V, м/с	R, Н	F, Н	N_т, Вт	ΔW, Дж
-0,6	60	16,66667	71,86958	51,7968	0	0
-0,6	57,84	16,06667	66,78812	51,7968	1905,2643	1831,8328
-0,6	55,68	15,46667	61,89294	51,7968	1758,4012	1689,2915
-0,6	53,52	14,86667	57,18404	51,7968	1620,1818	1555,2263
-0,6	51,36	14,26667	52,66143	51,7968	1490,2708	1429,3018
-0,6	49,2	13,66667	48,32511	51,7968	1368,3327	1311,1826
-0,6	47,04	13,06667	44,17507	51,7968	1254,0324	1200,5335
-0,6	44,88	12,46667	40,21132	51,7968	1147,0346	1097,0192
-0,6	42,72	11,86667	36,43385	51,7968	1047,0038	1000,3043
-0,6	40,56	11,26667	32,84267	51,7968	953,60475	910,05347
-0,6	38,4	10,66667	29,43778	51,7968	866,5022	825,9315
-0,6	36,24	10,06667	26,21917	51,7968	785,3608	747,60302
-0,6	34,08	9,466667	23,18685	51,7968	709,84524	674,73272
-0,6	31,92	8,866667	20,34082	51,7968	639,6202	606,98529
-0,6	29,76	8,266667	17,68107	51,7968	574,35037	544,0254

а, м/с ²	V, км/ч	V, м/с	R, Н	F, Н	N _г , Вт	ΔW, Дж
-0,6	27,6	7,666667	15,2076	51,7968	513,70043	485,51775
-0,6	25,44	7,066667	12,92043	51,7968	457,33507	431,12701
-0,6	23,28	6,466667	10,81953	51,7968	404,91896	380,51789
-0,6	21,12	5,866667	8,904929	51,7968	356,11681	333,35505
-0,6	18,96	5,266667	7,176609	51,7968	310,59329	289,30319
-0,6	16,8	4,666667	5,634575	51,7968	268,01308	248,02699
-0,6	14,64	4,066667	4,278828	51,7968	228,04089	209,19113
-0,6	12,48	3,466667	3,109366	51,7968	190,34137	172,46031
-0,6	10,32	2,866667	2,12619	51,7968	154,57924	137,4992
-0,6	8,16	2,266667	1,3293	51,7968	120,41916	103,97249
-0,6	6	1,666667	0,718696	51,7968	87,525826	71,544875
-0,6	3,84	1,066667	0,294378	51,7968	55,563923	39,881029
-0,6	1,68	0,466667	0,056346	51,7968	24,198135	12,099067
-0,6	0	0	0	51,7968	0	0
					ΣΔWi	18338,519

Таблица 2.11

Энергия, затрачиваемая на преодоление сил аэродинамического сопротивления, сопротивления качению колес и встречного ветра при торможении юнибуса Ю-325П исполнений 01 и 04 для варианта 2 (встречный ветер 15 м/с)

а, м/с ²	V, км/ч	V, м/с	R, Н	F, Н	N _г , Вт	ΔW, Дж
-0,6	60	16,66667	259,4492	51,7968	0	0
-0,6	57,84	16,06667	249,7106	51,7968	4844,2186	4679,895
-0,6	55,68	15,46667	240,1582	51,7968	4515,5714	4358,364
-0,6	53,52	14,86667	230,7922	51,7968	4201,1566	4050,8976
-0,6	51,36	14,26667	221,6124	51,7968	3900,6386	3757,1604
-0,6	49,2	13,66667	212,619	51,7968	3613,6823	3476,8172
-0,6	47,04	13,06667	203,8118	51,7968	3339,9522	3209,5327
-0,6	44,88	12,46667	195,1909	51,7968	3079,1132	2954,9715
-0,6	42,72	11,86667	186,7563	51,7968	2830,8298	2712,7983
-0,6	40,56	11,26667	178,5079	51,7968	2594,7668	2482,6778
-0,6	38,4	10,66667	170,4459	51,7968	2370,5888	2264,2747
-0,6	36,24	10,06667	162,5701	51,7968	2157,9606	2057,2537
-0,6	34,08	9,466667	154,8807	51,7968	1956,5468	1861,2794
-0,6	31,92	8,866667	147,3775	51,7968	1766,0121	1676,0166
-0,6	29,76	8,266667	140,0606	51,7968	1586,0211	1501,1299
-0,6	27,6	7,666667	132,93	51,7968	1416,2387	1336,284
-0,6	25,44	7,066667	125,9857	51,7968	1256,3293	1181,1436
-0,6	23,28	6,466667	119,2276	51,7968	1105,9579	1035,3734
-0,6	21,12	5,866667	112,6559	51,7968	964,78893	898,63807
-0,6	18,96	5,266667	106,2704	51,7968	832,4872	770,60229
-0,6	16,8	4,666667	100,0712	51,7968	708,71737	650,93074
-0,6	14,64	4,066667	94,05831	51,7968	593,14412	539,28813
-0,6	12,48	3,466667	88,2317	51,7968	485,43213	435,33912
-0,6	10,32	2,866667	82,59138	51,7968	385,2461	338,74841
-0,6	8,16	2,266667	77,13734	51,7968	292,25071	249,18067
-0,6	6	1,666667	71,86958	51,7968	206,11064	166,30061
-0,6	3,84	1,066667	66,78812	51,7968	126,49058	89,772894
-0,6	1,68	0,466667	61,89294	51,7968	53,05521	26,527605
-0,6	0	0	58,21436	51,7968	0	0
					ΣΔWi	48761,198

Таблица 2.12

Энергия, затрачиваемая на преодоление сил аэродинамического сопротивления и сопротивления качению колес при торможении юнибуса Ю-325П исполнений 02 и 03 для варианта 1 (безветрие)

а, м/с ²	V, км/ч	V, м/с	R, Н	F, Н	N _т , Вт	ΔW, Дж
-0,6	45	12,5	211,2891	51,7968	0	0
-0,6	42,84	11,9	191,4921	51,7968	2895,1382	2715,7997
-0,6	40,68	11,3	172,6688	51,7968	2536,4613	2373,6257
-0,6	38,52	10,7	154,8191	51,7968	2210,7902	2063,5812
-0,6	36,36	10,1	137,943	51,7968	1916,3722	1783,9136
-0,6	34,2	9,5	122,0406	51,7968	1651,4549	1532,8704
-0,6	32,04	8,9	107,1117	51,7968	1414,2859	1308,6991
-0,6	29,88	8,3	93,1565	51,7968	1203,1124	1109,6473
-0,6	27,72	7,7	80,1749	51,7968	1016,1821	933,96227
-0,6	25,56	7,1	68,16692	51,7968	851,74243	779,89164
-0,6	23,4	6,5	57,13256	51,7968	708,04086	645,68286
-0,6	21,24	5,9	47,07182	51,7968	583,32487	529,58342
-0,6	19,08	5,3	37,9847	51,7968	475,84196	429,84079
-0,6	16,92	4,7	29,8712	51,7968	383,83961	344,70246
-0,6	14,76	4,1	22,73132	51,7968	305,5653	272,41591
-0,6	12,6	3,5	16,56506	51,7968	239,26652	211,22863
-0,6	10,44	2,9	11,37242	51,7968	183,19075	159,38811
-0,6	8,28	2,3	7,153403	51,7968	135,58547	115,14182
-0,6	6,12	1,7	3,908003	51,7968	94,698164	76,737245
-0,6	3,96	1,1	1,636223	51,7968	58,776325	42,421878
-0,6	1,8	0,5	0,338063	51,7968	26,067431	13,033716
-0,6	0	0	0	51,7968	0	0
					ΣΔWi	17442,168

Таблица 2.13

Энергии, затрачиваемая на преодоление сил аэродинамического сопротивления, сопротивления качению колес и встречного ветра при торможении юнибуса Ю-325П исполнений 02 и 03 для варианта 2 (встречный ветер 15 м/с)

а, м/с ²	V, км/ч	V, м/с	R, Н	F, Н	N _т , Вт	ΔW, Дж
-0,6	45	12,5	1022,639	51,7968	0	0
-0,6	42,84	11,9	978,5016	51,7968	12260,551	11707,586
-0,6	40,68	11,3	935,3378	51,7968	11154,621	10632,763
-0,6	38,52	10,7	893,1476	51,7968	10110,905	9619,2781
-0,6	36,36	10,1	851,931	51,7968	9127,651	8665,3786
-0,6	34,2	9,5	811,6881	51,7968	8203,1062	7769,3122
-0,6	32,04	8,9	772,4187	51,7968	7335,5182	6929,3263
-0,6	29,88	8,3	734,123	51,7968	6523,1344	6143,6683
-0,6	27,72	7,7	696,8009	51,7968	5764,2023	5410,5859
-0,6	25,56	7,1	660,4524	51,7968	5056,9695	4728,3264
-0,6	23,4	6,5	625,0776	51,7968	4399,6834	4095,1374
-0,6	21,24	5,9	590,6763	51,7968	3790,5914	3509,2663
-0,6	19,08	5,3	557,2487	51,7968	3227,9412	2968,9606
-0,6	16,92	4,7	524,7947	51,7968	2709,9801	2472,4678
-0,6	14,76	4,1	493,3143	51,7968	2234,9556	2018,0354
-0,6	12,6	3,5	462,8076	51,7968	1801,1153	1603,9109
-0,6	10,44	2,9	433,2744	51,7968	1406,7065	1228,3417
-0,6	8,28	2,3	404,7149	51,7968	1049,9769	889,57539
-0,6	6,12	1,7	377,129	51,7968	729,17386	585,85937

а, м/с ²	V, км/ч	V, м/с	R, Н	F, Н	N _т , Вт	ΔW, Дж
-0,6	3,96	1,1	350,5167	51,7968	442,54487	315,44115
-0,6	1,8	0,5	324,8781	51,7968	188,33743	94,168716
-0,6	0	0	304,2563	51,7968	0	0
					ΣΔWi	91387,39

Энергия, затрачиваемая на преодоление сил аэродинамического сопротивления и сопротивления качению колес, при торможении юнибуса составит для:

1) Ю-325П исполнений 01 и 04:

- вариант 1 (без встречного ветра): $W_{п} = 18338$ Дж;
- вариант 2 (встречный ветер 15 м/с): $W_{п} = 48761$ Дж.

2) Ю-325П исполнений 02 и 03:

- вариант 1 (без встречного ветра): $W_{п} = 17442$ Дж;
- вариант 2 (встречный ветер 15 м/с): $W_{п} = 91387$ Дж.

Энергия рекуперации на участке торможения юнибуса определяется по формуле:

$$W_p = (W_k - W_{п}) \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3, \text{ Дж},$$

где:

$W_k = m \cdot V^2 / 2 = 2400 \cdot 16,667^2 / 2 = 333346$ Дж — кинетическая энергия юнибуса, движущегося со скоростью 60 км/ч;

$W_k = m \cdot V^2 / 2 = 2400 \cdot 12,5^2 / 2 = 187500$ Дж — кинетическая энергия юнибуса, движущегося со скоростью 45 км/ч.

Результаты расчета — см.:

- табл. 2.14 — для юнибуса Ю-325П исполнений 01 и 04;
- табл. 2.15 — для юнибуса Ю-325П исполнений 02 и 03.

2.11. Расчет потребления электроэнергии

2.11.1. Электроэнергия, затраченная на движение

Электроэнергия, затраченная на движение юнибуса на перегоне длиной 650 м, определяется по формуле:

$$W_d = W / (\eta_2 \cdot \eta_3) - W_p, \text{ Дж.}$$

Результаты расчета — см.:

- табл. 2.14 — для юнибуса Ю-325П исполнений 01 и 04;
- табл. 2.15 — для юнибуса Ю-325П исполнений 02 и 03.

2.11.2. Электроэнергия, затраченная на кондиционирование воздуха в салоне

Электроэнергия, затраченная на кондиционирование воздуха в салоне юнибуса на перегоне длиной 650 м, определяется по формуле:

$$W_{ko} = N_{ko} \cdot t / (\eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3), \text{ Дж.}$$

Результаты расчета — см.:

- табл. 2.14 — для юнибуса Ю-325П исполнений 01 и 04;
- табл. 2.15 — для юнибуса Ю-325П исполнений 02 и 03.

2.11.3. Электроэнергия, затраченная на обогрев салона

Электроэнергия, затраченная на обогрев салона юнибуса на перегоне длиной 650 м, определяется по формуле:

$$W_o = N_o \cdot t, \text{ Дж.}$$

Результаты расчета — см.:

- табл. 2.14 — для юнибуса Ю-325П исполнений 01 и 04;
- табл. 2.15 — для юнибуса Ю-325П исполнений 02 и 03.

2.11.4. Электроэнергия, затраченная на преодоление участка пути юнибусом и на кондиционирование воздуха в салоне

Электроэнергия, затраченная юнибусом на преодоление участка пути длиной 650 м и на кондиционирование воздуха в салоне на этом участке пути, определяется как сумма:

$$W_{\text{общ } 1} = W_{\text{д}} + W_{\text{ко}}, \text{ Дж.}$$

Результаты расчета — см.:

- табл. 2.14 — для юнибуса Ю-325П исполнений 01 и 04;
- табл. 2.15 — для юнибуса Ю-325П исполнений 02 и 03.

2.11.5. Электроэнергия, затраченная на преодоление участка пути юнибусом и на обогрев салона

Электроэнергия, затраченная юнибусом на преодоление участка пути длиной 650 м и на обогрев салона на этом участке пути, определяется как сумма:

$$W_{\text{общ } 2} = W_{\text{д}} + W_{\text{о}}, \text{ Дж.}$$

Результаты расчета — см.:

- табл. 2.14 — для юнибуса Ю-325П исполнений 01 и 04;
- табл. 2.15 — для юнибуса Ю-325П исполнений 02 и 03.

Таблица 2.14

Электроэнергия, затраченная юнибусом Ю-325П исполнений 01 и 04 на преодоление участка пути длиной 650 м, кондиционирование и обогрев воздуха в салоне

Варианты	$W_{\text{р}},$ Дж (кВт·ч)	$W_{\text{д}},$ Дж (кВт·ч)	$W_{\text{ко}},$ Дж (кВт·ч)	$W_{\text{о}},$ Дж (кВт·ч)	$W_{\text{общ } 1},$ Дж (кВт·ч)	$W_{\text{общ } 2},$ Дж (кВт·ч)
1 (безветрие)	254910 (0,071)	208371 (0,058)	251343 (0,0698)	216960 (0,060)	459714 (0,128)	425331 (0,118)
2 (встречный ветер)	230291 (0,064)	314796 (0,087)	253938 (0,071)	219200 (0,061)	568735 (0,158)	533997 (0,148)

Таблица 2.15

Электроэнергия, затраченная юнибусом Ю-325П исполнений 02 и 03 на преодоление участка пути длиной 650 м, кондиционирование и обогрев воздуха в салоне

Варианты	W_p , Дж (кВт·ч)	W_d , Дж (кВт·ч)	$W_{ко}$, Дж (кВт·ч)	W_o , Дж (кВт·ч)	$W_{общ 1}$, Дж (кВт·ч)	$W_{общ 2}$, Дж (кВт·ч)
1 (безветрие)	137620 (0,038)	242046 (0,067)	271856 (0,076)	234667 (0,065)	513901 (0,143)	476712 (0,132)
2 (встречный ветер)	77779 (0,022)	763256 (0,212)	280506 (0,078)	242133 (0,067)	1043762 (0,290)	1005390 (0,279)

2.12. Анализ возможности использования бортового источника электроэнергии

В отдельных случаях может быть более целесообразным организовать электропитание юнибуса не от контактной сети, а от бортового источника электроэнергии, подзарядка (или замена) которого будет производиться на станциях.

По длительности заряда и величине циклового ресурса наиболее подходящим вариантом бортового источника электроэнергии для юнибуса в настоящее время является электрохимический конденсатор. В частности, можно использовать блок из шести электрохимических конденсаторов 30ЭК404 разработки компании ЭСМА (Россия).

Электрохимический конденсатор 30ЭК404 имеет следующие основные показатели:

Диапазон рабочих напряжений, В	48—24
Запасаемая энергия в окне рабочих напряжений, Дж	$W_k = 458000$
Масса, кг	40
Габаритные размеры, мм	546×210×260
Интервал рабочих температур, °С	-50...+70
Ресурс, циклы	1000000
Срок службы, лет	15, не менее
Стоимость, руб.	104000

2.12.1. Суммарный запас электроэнергии на борту юнибуса

Суммарный запас электроэнергии на борту юнибуса в окне рабочих напряжений 144—288 В определяется как произведение:

$$W_{\text{сумм}} = W_{\text{к}} \cdot 6 = 458000 \cdot 6 = 2748000 \text{ Дж.}$$

Как видно из результатов расчета затраченной электроэнергии (см. табл. 2.14 и 2.15) суммарного бортового запаса энергии 2748000 Дж будет более чем достаточно для преодоления расстояния 650 м между смежными станциями всеми исполнениями юнибуса Ю-325П, как в условиях безветрия, так и в условиях встречного ветра.

2.12.2. Время, необходимое для восполнения энергии блока конденсаторов

Минимальное время, необходимое для восполнения энергии блока конденсаторов на станции, определяется из выражений:

$t_{\text{д}} = W_{\text{д}} / (N_3 \cdot \eta_4)$, с — минимальное время, необходимое для восполнения энергии блока конденсаторов на станции для случая преодоления участка пути с выключенным кондиционером и отопителем;

$t_{\text{общ 1}} = W_{\text{общ 1}} / (N_3 \cdot \eta_4)$, с — минимальное время, необходимое для восполнения энергии блока конденсаторов на станции для случая преодоления участка пути с включенным кондиционером;

$t_{\text{общ 2}} = W_{\text{общ 2}} / (N_3 \cdot \eta_4)$, с — минимальное время, необходимое для восполнения энергии блока накопителей на станции для случая преодоления участка пути с включенным отопителем.

где:

$N_3 = 60000$ Вт — мощность зарядного устройства на станции;

$\eta_4 = 0,65$ — КПД заряда блока конденсаторов.

Результаты расчета — см.:

- табл. 2.16 — для юнибуса Ю-325П исполнений 01 и 04;
- табл. 2.17 — для юнибуса Ю-325П исполнений 02 и 03.

Таблица 2.16

Минимальное время, необходимое для восполнения энергии блока конденсаторов на станции юнибусом Ю-325П исполнений 01 и 04 при длине перегона 650 м

Вариант	t_d, c	$t_{обш1}, c$	$t_{обш2}, c$
1 (безветрие)	5,34	11,79	10,9
2 (ветер 15 м/с)	8,1	14,58	13,7

Таблица 2.17

Минимальное время необходимое для восполнения энергии блока конденсаторов на станции юнибуса Ю-325П исполнений 02 и 03 при длине перегона 650 м

Вариант	t_d, c	$t_{обш1}, c$	$t_{обш2}, c$
1 (безветрие)	6,2	13,2	12,2
2 (ветер 15 м/с)	19,6	27,8	25,8

Суммарная масса блока шести электрохимических конденсаторов типа 30ЭК404 составит не менее 240 кг, а занимаемый блоком объем пространства — около 190 л. Вследствие этого количество перевозимых пассажиров, в частности, в модели юнибуса Ю-325П, уменьшится с 12 до 8.

2.13. Расчет энергии, потребляемой пассажирским лифтом на станции «Железнодорожный вокзал»

При движении лифта, уравновешенного в порожнем состоянии, вверх с 12 пассажирами на высоту $H = 10$ м, потребуется энергия:

$$W_h = M \cdot g \cdot H / (\eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3) = 852 \cdot 9,81 \cdot 10 / (0,96 \cdot 0,9 \cdot 0,94) = 102912 \text{ Дж} = 28,6 \text{ Вт} \cdot \text{ч},$$

где:

$$M = m_q \cdot n = 71 \cdot 12 = 852 \text{ кг} \text{ — масса пассажиров, подымаемая лифтом (для}$$

12-тиместного юнибуса);

$m_{\text{ч}} = 71$ кг — средняя масса пассажира, включая ручную кладь;

$n = 12$ — количество пассажиров, перевозимых юнибусом.

2.14. Техничко-экономические показатели трансмиссии

Средняя скорость преодоления перегона рассчитывается по формуле:

$$V_{\text{ср}} = S / t, \text{ км/ч,}$$

где:

$S = 650$ м — расстояние между станциями;

t — время, потраченное на преодоление перегона, сек.

Потребление электроэнергии юнибусом при выключенной системе кондиционирования и отопления на 100 км пути (в городском цикле движения, с остановками через 650 м):

$$W_{\text{д}100} = W_{\text{д}} \cdot 100 / S, \text{ кВт}\cdot\text{ч}/100 \text{ км.}$$

Потребление электроэнергии юнибусом при максимальной производительности системы кондиционирования на 100 км пути составит:

$$W_{\text{общ}1100} = W_{\text{общ}1} \cdot 100 / S, \text{ кВт}\cdot\text{ч}/100 \text{ км.}$$

Потребление электроэнергии юнибусом при максимальной производительности системы отопления на 100 км пути:

$$W_{\text{общ}2100} = W_{\text{общ}2} \cdot 100 / S, \text{ кВт}\cdot\text{ч}/100 \text{ км.}$$

Результаты расчета — см. табл. 2.19.

Стоимость электроэнергии, затраченной на перевозку 12 пассажиров от станции «Железнодорожный вокзал» до станции «Космос-сити», при выключенной системе кондиционирования и отопления составит:

$$C_d = W_d \cdot C_э, \text{ руб.},$$

где:

$C_э = 2,6$ руб. — стоимость 1 кВт · ч электроэнергии.

Стоимость электроэнергии, затраченной на перевозку одного пассажира от станции «Железнодорожный вокзал» до станции «Космос-сити», при выключенной системе кондиционирования и отопления составит:

$$C_{дч} = C_d / n, \text{ руб.},$$

где:

n — количество пассажиров, перевозимых одним юнибусом.

Стоимость электроэнергии, затраченной на перевозку 12 пассажиров от станции «Железнодорожный вокзал» до станции «Космос-сити», при максимальной производительности системы кондиционирования, составит:

$$C_{об1} = W_{общ1} \cdot C_э, \text{ руб.}$$

Стоимость электроэнергии, затраченной на перевозку одного пассажира от станции «Железнодорожный вокзал» до станции «Космос-сити», при максимальной производительности системы кондиционирования составит:

$$C_{об1ч} = C_{об1} / n, \text{ руб.}$$

Стоимость электроэнергии, затраченной на перевозку 12 пассажиров от станции «Железнодорожный вокзал» до станции «Космос-сити», при максимальной производительности системы отопления, составит:

$$C_{об2} = W_{общ2} \cdot C_э, \text{ руб.}$$

Стоимость электроэнергии, затраченной на перевозку одного пассажира от станции «Железнодорожный вокзал» до станции «Космос-сити», при максимальной производительности системы отопления составит:

$$C_{об2ч} = C_{об2} / n, \text{ руб.}$$

Стоимость электроэнергии, затраченной на подъем 12 пассажиров лифтом на станцию «второго уровня», составит:

$$C_h = W_h \cdot C_э, \text{ руб.}$$

Стоимость электроэнергии, затраченной на подъем одного пассажира лифтом на станцию «второго уровня», составит:

$$C_{hч} = C_h / n, \text{ руб.}$$

Общая стоимость электроэнергии, затраченной на перевозку одного пассажира от станции «Железнодорожный вокзал» до станции «Космос-сити»:

$C_{0ч} = C_{дч} + C_{hч}$, руб. — при выключенной системе кондиционирования и отопления;

$C_{1ч} = C_{об1ч} + C_{hч}$, руб. — при максимальной производительности системы кондиционирования;

$C_{2ч} = C_{об2ч} + C_{hч}$, руб. — при максимальной производительности системы отопления.

Результаты расчета — см. табл. 2.18.

Таблица 2.18

Стоимость электроэнергии, затраченной на перевозку пассажиров, руб.

	$C_d (C_{дч})$	$C_{об1} (C_{об1ч})$	$C_{об2} (C_{об2ч})$	$C_h (C_{hч})$	$C_{0ч}$	$C_{1ч}$	$C_{2ч}$
Ю-325П исполнения 01 и 04	0,150 (0,013)	0,332 (0,028)	0,307 (0,026)	0,074 (0,006)	0,019	0,034	0,032
Ю-325П исполнения 02 и 03	0,175 (0,015)	0,371 (0,031)	0,344 (0,029)	0,074 (0,006)	0,021	0,037	0,035

Основные технико-экономические показатели исполнений юнибуса модели Ю-325П будущей автоматизированной транспортной системы СТЮ в г. Екатеринбурге по маршруту «Железнодорожный вокзал — многофункциональный комплекс «Космос-сити, Екатеринбург, Россия» приведены в табл. 2.19.

Основные технико-экономические показатели различных исполнений юнибусов Ю-325П в составе транспортной системы СТЮ в г. Екатеринбурге по маршруту «Железнодорожный вокзал — многофункциональный комплекс «Космос-сити, Екатеринбург, Россия»

№	Показатель	Обозначение	Исполнения Ю-325П	
			01 и 04	02 и 03
1	Максимальная эксплуатационная скорость, км/ч	V	60	45
2	Средняя скорость преодоления перегона, км/ч	V _{ср}	34,5	32
3	Комфортная пассажировместимость, чел.	n	12	12
4	Потребление электроэнергии юнибусом при выключенной системе кондиционирования и отопления на перегоне длиной 650 м, кВт·ч/100 км	W _{д100}	8,9	10,3
5	Потребление электроэнергии юнибусом при максимальной производительности системы кондиционирования, кВт·ч/100 км	W _{общ1100}	19,6	22
6	Потребление электроэнергии юнибусом при максимальной производительности системы отопления, кВт·ч/100 км	W _{общ2100}	18,2	20,4
7	Стоимость электроэнергии, затраченной на перевозку одного пассажира от станции «Железнодорожный вокзал» до станции «Космос-сити», при выключенной системе кондиционирования и отопления с учетом энергии, затраченной на подъем пассажира лифтом на станцию, руб.	C _д	0,019	0,021
8	Стоимость электроэнергии, затраченной на перевозку одного пассажира от станции «Железнодорожный вокзал» до станции «Космос-сити», при максимальной производительности системы кондиционирования с учетом энергии, затраченной на подъем пассажира лифтом на станцию, руб.	C _{об1}	0,034	0,037
9	Стоимость электроэнергии, затраченной на перевозку одного пассажира от станции «Железнодорожный вокзал» до станции «Космос-сити», при максимальной производительности системы отопления с учетом энергии, затраченной на подъем пассажира лифтом на станцию, руб.	C _{об2}	0,032	0,035

2.15. Выводы

2.15.1. Два электродвигателя типоразмера АИР112М2 с номинальной мощностью 7,5 кВт каждый обеспечивают разгон полностью загруженных юнибусов Ю-325П исполнений 01 и 04 до скорости 60 км/ч, а исполнений 02 и 03 — до скорости 45 км/ч, как в условиях безветрия, так и при встречном ветре 54 км/ч. Юнибусы исполнений 02 и 03 при встречном ветре 54 км/ч не в состоянии развивать скорость 60 км/ч в силу своих менее аэродинамичных внешних форм — их максимальная скорость составит 45 км/ч.

2.15.2. Время и путь штатного разгона (ускорение $0,6 \text{ м/с}^2$) полностью загруженных юнибусов Ю-325 исполнений 01 и 04 до скорости 60 км/ч в условиях безветрия на горизонтальном участке пути составит, соответственно: $t_p = 33,2 \text{ с}$ и $S_p = 324,5 \text{ м}$.

Время и путь штатного разгона (ускорение $0,6 \text{ м/с}^2$) полностью загруженных юнибусов Ю-325 исполнений 02 и 03 до скорости 45 км/ч в таких же условиях составит, соответственно: $t_p = 22,3 \text{ с}$ и $S_p = 159 \text{ м}$.

2.15.3. Общее время преодоления груженым юнибусом Ю-325П расстояния в 650 м между двумя смежными станциями, практически не зависит от силы встречного ветра в диапазоне его скорости 0—54 км/ч и не превысит:

- для исполнений 01 и 04: $t = 67,3 \text{ с}$;
- для исполнений 02 и 03: $t = 74,4 \text{ с}$.

2.15.4. Количество электроэнергии, затраченной груженым юнибусом Ю-325П на преодоление расстояния в 650 м между двумя смежными станциями при выключенной системе кондиционирования и отопления в условиях безветрия составит:

- для исполнений 01 и 04: $W_d = 57,9 \text{ Вт}\cdot\text{ч}$;
- для исполнений 02 и 03: $W_d = 67,2 \text{ Вт}\cdot\text{ч}$.

2.15.5. Количество электроэнергии, затраченной груженым юнибусом Ю-325П

на преодоление расстояния в 650 м между двумя смежными станциями, при выключенной системе кондиционирования и отопления в условиях встречного ветра 54 км/ч, составит:

- для исполнений 01 и 04: $W_d = 87,4$ Вт·ч;
- для исполнений 02 и 03: $W_d = 212$ Вт·ч.

2.15.6. Количество электроэнергии, затраченной грузным юнибусом Ю-325П на преодоление расстояния в 650 м между двумя смежными станциями, при включенной системе кондиционирования в условиях ветра 54 км/ч и температуре наружного воздуха +40 °С, составит:

- для исполнений 01 и 04: $W_{ко} = 158$ Вт·ч;
- для исполнений 02 и 03: $W_{ко} = 290$ Вт·ч.

2.15.7. Количество электроэнергии, затраченной грузным юнибусом Ю-325П на преодоление расстояния в 650 м между двумя смежными станциями, при включенной системе отопления в условиях встречного ветра 54 км/ч и температуре наружного воздуха –45 °С, составит:

- для исполнений 01 и 04: $W_o = 148,3$ Вт·ч;
- для исполнений 02 и 03: $W_o = 279,3$ Вт·ч.

2.15.8. Количество электроэнергии, затраченной на подъем 12 пассажиров в лифте на станцию отправления, составит 28,6 Вт·ч. Стоимость этой электроэнергии составит 0,0744 руб., или в пересчете на одного пассажира — 0,0062 руб./пасс.

2.15.9. Наибольшее количество электроэнергии (290 Вт·ч) потребуется юнибусу Ю-325П исполнений 02 и 03, при движении юнибуса в условиях встречного ветра и температуре наружного воздуха +40 °С. При тарифе 2,6 руб. за 1 кВт·ч стоимость этой электроэнергии составит 0,754 руб., или в пересчете на одного пассажира — 0,0628 руб./пасс. (для 12-тиместного юнибуса).

2.15.10. Наименьшее количество электроэнергии (57,9 Вт·ч) потребуется юнибусу Ю-325П исполнений 01 и 04, при движении юнибуса в условиях безветрия и

отключенной системе кондиционирования и отопления. Стоимость электроэнергии в данном случае составит 0,151 руб., или в пересчете на одного пассажира — 0,0126 руб./пасс. (для 12-тиместного юнибуса).

2.15.11. Юнибусы Ю-325П вариантов исполнения 01 и 04, отличающиеся улучшенными аэродинамическими формами, снижают энергозатраты на движение юнибуса по сравнению с вариантами исполнений 02 и 03 на 16% при безветрии и на 142% — при встречном ветре 54 км/ч.

В условиях безветрия юнибус Ю-325П исполнений 01 и 04, с приводом мощностью 15 кВт, в состоянии развивать скорость 60 км/ч. В этом случае (равные условия движения юнибусов исполнений 01, 04 и 02, 03 по скорости) снижение энергозатрат на движение юнибусов исполнения 01 и 04, благодаря их высоким аэродинамическим формам, в сравнении с исполнением 02 и 03, составит 60,5%.

2.15.12. Количество электроэнергии, затраченной на кондиционирование воздуха в салоне при безветрии и наружной температуре воздуха +40 °С, составит от электроэнергии, затраченной на движение:

- для исполнений 01 и 04: 120,6%;
- для исполнений 02 и 03: 112,3%.

2.15.13. Количество электроэнергии, затраченной на обогрев салона при безветрии и наружной температуре воздуха –45 °С составит от электроэнергии, затраченной на движение:

- для исполнений 01 и 04: 104%;
- для исполнений 02 и 03: 97%.

2.15.14. При электропитании юнибуса не от контактной сети, а от шести электрохимических конденсаторов 30ЭК404, наибольшее время, необходимое для восполнения энергии блока конденсаторов на станции, составит:

- для исполнений 01 и 04: 14,6 с;
- для исполнений 02 и 03: 27,8 с.

2.15.15. При расчете затрат на электропитание юнибуса, в случае использования электрохимических конденсаторов 30ЭК404, к стоимости электроэнергии, затраченной юнибусом на перегоне, необходимо добавлять приведенную к одному циклу (заряд—разряд) стоимость конденсаторов (0,624 руб.). В этом случае наибольшие затраты также будут при движении юнибуса Ю-325П исполнений 02 и 03, в условиях встречного ветра и температуре наружного воздуха +40 °С, — 1,378 руб., а наименьшие — при движении юнибуса Ю-325П исполнений 01 и 04 в условиях безветрия с отключенной системой кондиционирования (отопления) — 0,7745 руб.

При выборе варианта электропитания юнибуса (от контактной сети или от электрохимических конденсаторов 30ЭК404 или иных бортовых источников электроэнергии), необходимо учесть, кроме вышеуказанных затрат, также затраты, связанные с монтажом на путевую структуру и эксплуатацией впоследствии контактной сети. Кроме того, следует иметь в виду, что бортовые источники питания в настоящее время еще имеют плохие удельные весогабаритные показатели. Так, например, суммарная масса блока из шести электрохимических конденсаторов типа 30ЭК404 составит не менее 240 кг, а занимаемый блоком объем пространства — около 190 л. Вследствие этого количество пассажиров, в частности, в модели юнибуса Ю-325П, уменьшится с 12 до 8. Соответственно удельные затраты на перевозку одного пассажира возрастут и составят:

- наибольшие: для исполнений 02 и 03 в условиях встречного ветра и температуре наружного воздуха минус 45 °С — 0,172 руб./пасс., что будет выше в 2,74 раза по сравнению с вариантом организации электропитания от контактной сети;
- наименьшие: для исполнений 01 и 04 в условиях безветрия с отключенной системой кондиционирования (отопления) — 0,0968 руб./пасс., что выше в 7,7 раза по сравнению с вариантом организации электропитания от контактной сети.

2.15.16. Для двухпутной транспортной системы СТЮ увеличение энергозатрат юнибусов, движущихся навстречу ветру, будет компенсироваться их снижением при движении юнибусов попутно ветру.



115487, Москва, ул. Нагатинская, 18/29
тел./факс: (495) 680-52-53, (499) 616-15-48
e-mail: info@unitsky.ru
http: //www.unitsky.ru
skype: Anatoly Unitsky

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный конструктор
ООО «Струнный транспорт Юницкого»

_____ А.Э. Юницкий

«31» августа 2007 г.

**3. Тепловой баланс
двухрельсового автомобиля СТЮ (юнибуса) транспортной системы
двухрельсового СТЮ в г. Екатеринбурге по маршруту
«Железнодорожный вокзал – многофункциональный комплекс
«Космос-сити, Екатеринбург, Россия»
(325П-0000010-01PP)**

Содержание расчета теплового баланса

3.1. Введение	119
3.2. Цель расчета	119
3.3. Исходные данные	119
3.4. Условия и допущения расчета	122
3.5. Тепловой баланс салона юнибуса в зимний период года	124
3.6. Тепловой баланс салона юнибуса в летний период года	133
3.7. Выводы	139

3.1. Введение

Данный расчет производится для двухрельсового автомобиля — юнибуса Ю-325П исполнения 01 — транспортной системы двухрельсового СТЮ в г. Екатеринбурге по маршруту «Железнодорожный вокзал — многофункциональный комплекс «Космос-сити, Екатеринбург, Россия». Эксплуатация, хранение и транспортировка юнибуса предусматривается в макроклиматическом районе с умеренным климатом (У1 по ГОСТ 15150-69).

3.2. Цель расчета

Целью настоящего расчета является:

- определение теплового баланса в зимний и летний периоды эксплуатации юнибуса;
- определение элементов конструкции, наиболее влияющих на тепловой баланс юнибуса.

3.3. Исходные данные

Внешний вид юнибуса Ю-325П исполнения 01 изображен на рис. 3.1.

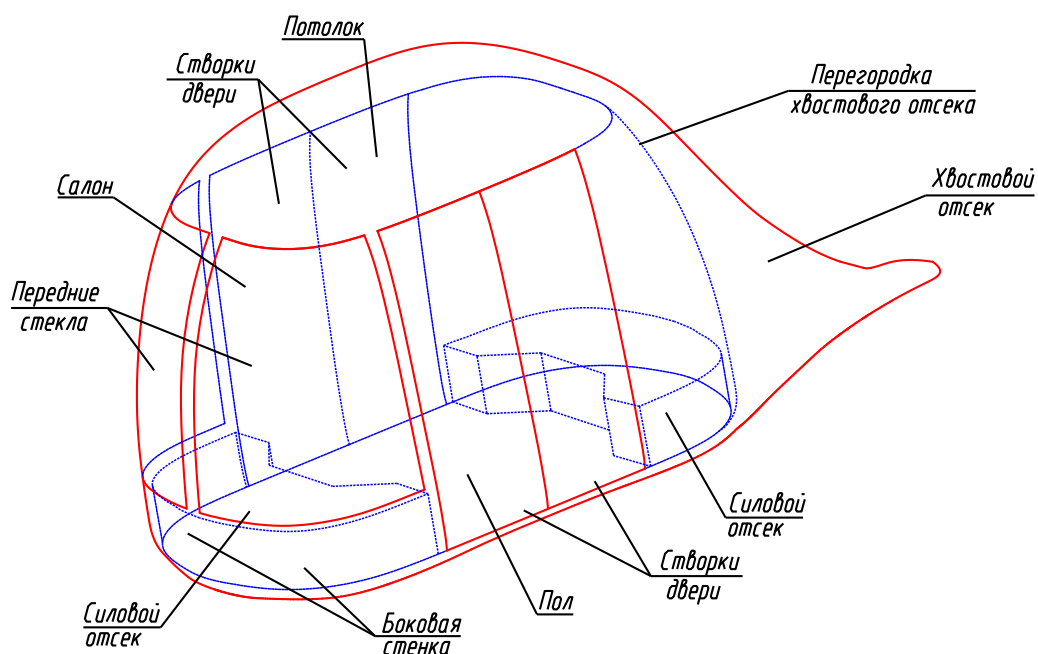


Рис. 3.1. Внешний вид юнибуса Ю-325П исполнения 01

Салон юнибуса ограничен шестью поверхностями:

- поверхностью стекол (передние стекла и стекла створок дверей);
- поверхностью боковой стенки;
- поверхностью пола;
- поверхностью потолка;
- поверхностью перегородки хвостового отсека;
- поверхностями кожухов силовых отсеков.

Схема салона юнибуса изображена на рисунке 3.2.

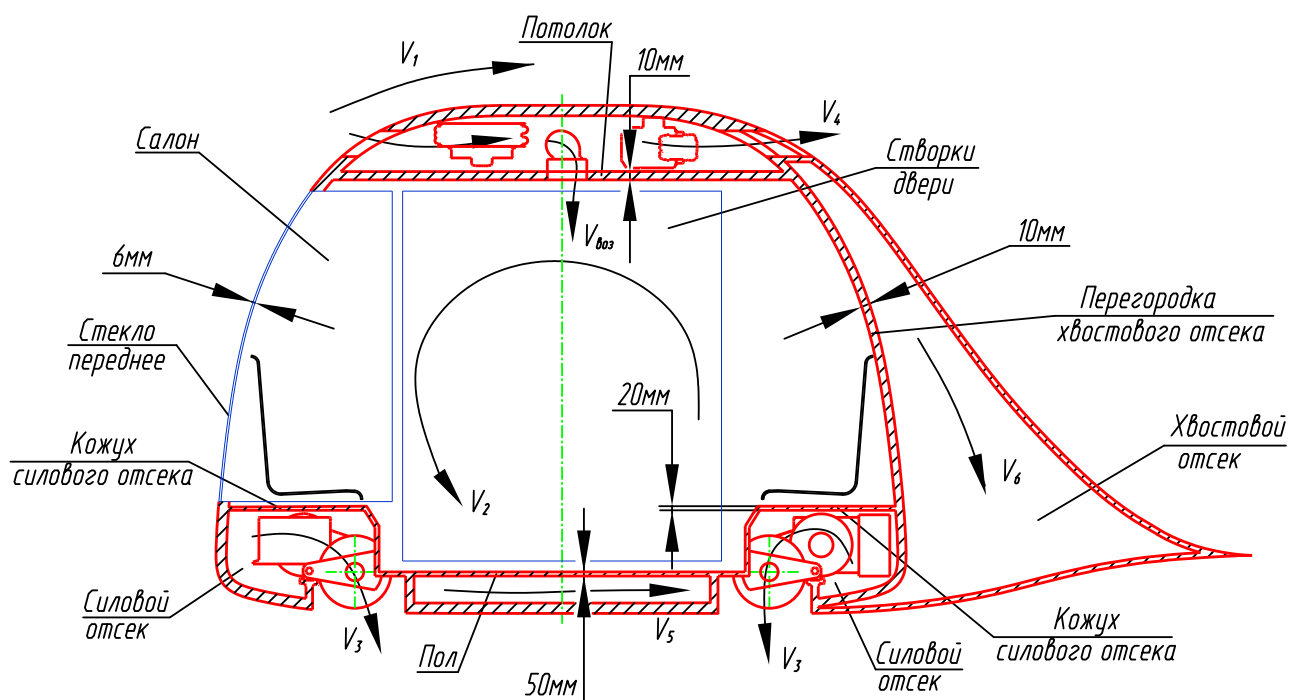


Рис. 3.2. Схема салона юнибуса Ю-325П исполнения 01

V_1 — скорость наружного воздуха относительно наружных поверхностей стекол и боковой стенки;

V_2 — скорость воздуха в салоне относительно внутренней поверхности салона;

V_3 — скорость воздуха в силовом отсеке относительно кожуха силового отсека;

V_4 — скорость воздуха в отсеке над потолком относительно потолка;

V_5 — скорость воздуха в отсеке под полом относительно пола;

V_6 — скорость воздуха в хвостовом отсеке относительно перегородки хвостового отсека;

$V_{\text{воз}}$ — объем свежего воздуха, подаваемого в салон.

Исходные данные представлены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Исходные данные

Наименование параметра	Размерность	Величина параметра	Примечание
Площадь стекол (переднее стекло и стекла створок дверей)	м ²	8,93	Рис. 3.1
Площадь боковой стенки	м ²	1,56	Рис. 3.1
Площадь поверхности пола	м ²	2,80	Рис. 3.1
Площадь поверхности потолка	м ²	6,90	Рис. 3.1
Площадь поверхности перегородки хвостового отсека	м ²	6,43	Рис. 3.1
Площадь поверхностей кожухов силовых отсеков	м ²	4,40	Рис. 3.1
Толщина материала стекол	м	0,006	Рис. 3.2
Толщина теплоизолятора потолка, боковой стенки и перегородки хвостового отсека	м	0,010	Рис. 3.2
Толщина теплоизолятора пола	м	0,050	Рис. 3.2
Толщина теплоизолятора кожуха силового отсека	м	0,020	Рис. 3.2
Коэффициент теплопроводности материала стекол	Вт/(м·°С)	0,21	
Коэффициент теплопроводности материала теплоизолятора потолка, пола, боковой стенки, перегородки хвостового отсека и кожухов силовых отсеков	Вт/(м·°С)	0,04	
Минимальная температура наружного воздуха в зимний период	°С	-45	
Максимальная температура наружного воздуха в летний период	°С	+40	
Температура воздуха в салоне в зимний период	°С	+5	
Температура воздуха в салоне в летний период	°С	+20	
Температура воздуха в отсеке под полом в зимний период	°С	-45	
Температура воздуха в отсеке под полом в летний период	°С	+40	
Температура воздуха в отсеке над потолком в зимний период	°С	-45	
Температура воздуха в отсеке над потолком в летний период	°С	+40	

Наименование параметра	Размерность	Величина параметра	Примечание
Температура воздуха в хвостовом отсеке в зимний период	°С	-45	
Температура воздуха в хвостовом отсеке в летний период	°С	+40	
Температура воздуха в силовых отсеках в зимний период	°С	-30	
Температура воздуха в силовых отсеках в летний период	°С	+70	
Количество свежего воздуха на одного пассажира: - в зимний период - в летний период	м ³ /ч м ³ /ч	10 20	
Количество пассажиров	чел.	12	
Скорость наружного воздуха относительно наружной поверхности юнибуса	км/ч	60	Рис. 3.2
Скорость воздуха в салоне относительно внутренней поверхности салона	км/ч	3,5	Рис. 3.2
Скорость воздуха в отсеке под полом пола относительно поверхности пола	км/ч	0	Рис. 3.2
Скорость воздуха в отсеке над потолком относительно поверхности потолка	км/ч	20	Рис. 2
Скорость воздуха в силовых отсеках относительно кожуха силового отсека	км/ч	10	Рис. 3.2

В качестве материала стекол выбран зеркальный высокопрочный поликарбонат.

В качестве материала теплоизолятора потолка, пола, боковой стенки, перегородки хвостового отсека и кожухов силовых отсеков выбран негорючий пенопласт ПХВ.

3.4. Условия и допущения расчета

3.4.1. Условия расчета

1) Тепловой баланс салона юнибуса в зимний период состоит из:

- тепла, необходимого для прогрева свежего воздуха, поступающего в салон;
- теплопотерь через поверхности, ограничивающие салон юнибуса;
- тепловыделений пассажиров.

Теплопотери в салоне вызваны теплообменом салона юнибуса с внешней средой. Теплообмен салона юнибуса с внешней средой происходит через шесть поверхностей: поверхности из стекла (передние стекла и стекла створок дверей), поверхность боковой стенки, поверхность пола, поверхность потолка, поверхность перегородки хвостового отсека и поверхности кожухов силовых отсеков (см. рис. 3.1).

При расчете теплопотерь учитывались следующие виды переноса тепла через поверхности, ограничивающие салон юнибуса:

- конвекция: между наружным воздухом и наружными поверхностями стекол и боковой стенки; между воздухом в отсеке под полом и наружной поверхностью пола; между воздухом в отсеке над потолком и наружной поверхностью потолка; между воздухом в хвостовом отсеке и внутренней поверхностью перегородки хвостового отсека; между воздухом в силовых отсеках и внутренней поверхностью кожухов силовых отсеков;
- конвекция между внутренними поверхностями стекол, боковой стенки, пола, потолка, перегородки хвостового отсека, кожухов силовых отсеков и воздухом салона;
- теплопроводность через стекла, боковую стенку, пол, потолок, перегородку хвостового отсека и кожуха силовых отсеков.

2) Тепловой баланс салона юнибуса в летний период состоит из:

- мощности, необходимой для охлаждения свежего воздуха, поступающего в салон;
- теплопритоков через поверхности, ограничивающие салон юнибуса;
- тепловыделений пассажиров;
- тепла солнечного излучения, поступающего в салон через стекла.

Теплопритоки в салоне связаны с теплообменом внешней среды с салоном юнибуса. При расчете теплопритоков учитывались следующие виды переноса тепла через поверхности, ограничивающие салон юнибуса:

- конвекция: между наружным воздухом и наружными поверхностями стекол и боковой стенки; между воздухом в отсеке под полом и наружной поверхностью пола; между воздухом в отсеке над потолком и наружной поверхностью потолка; между воздухом в хвостовом отсеке и внутренней поверхностью перегородки хвостового отсека; между воздухом в силовых отсеках и внутренней поверхностью кожухов силовых отсеков;
- конвекция между внутренними поверхностями стекол, боковой стенки, пола, потолка, перегородки хвостового отсека, кожухов силовых отсеков и воздухом салона;
- теплопроводность через стекла, боковую стенку, пол, потолок, перегородку хвостового отсека и кожуха силовых отсеков.

3.4.2. Допущения при расчете

Боковая стенка, пол, потолок, перегородка хвостового отсека и кожухи силовых отсеков представляют собой многослойную конструкцию, состоящую из теплоизолятора и наружной или внутренней обшивки (лист алюминия, стеклопластик и др.). Толщина обшивки по сравнению с толщиной теплоизолятора незначительна и влияние ее на процесс теплопередачи также незначителен. Поэтому в расчете учитывалась только толщина теплоизолятора.

3.5. Тепловой баланс салона юнибуса в зимний период года

3.5.1. Формула теплового баланса юнибуса в зимний период года

Тепловой баланс юнибуса в зимний период состоит из:

$$\Sigma Q_3 = - Q_{вз} - Q_{стз} - Q_{бсз} - Q_{плз} - Q_{птз} - Q_{хоз} - Q_{кз} + Q_{пспз},$$

где:

$Q_{вз}$ — количество тепла, необходимого для прогрева свежего воздуха, поступающего в салон;

$Q_{стз}$ — потери тепла из салона в окружающую среду через поверхности

стекло;

$Q_{бсз}$ — потери тепла из салона в окружающую среду через поверхность боковой стенки;

$Q_{плз}$ — потери тепла из салона в окружающую среду через поверхность пола;

$Q_{птз}$ — потери тепла из салона в окружающую среду через поверхность потолка;

$Q_{хоз}$ — потери тепла из салона через поверхность перегородки хвостового отсека;

$Q_{ксз}$ — потери тепла из салона через поверхности кожухов силовых отсеков;

$Q_{ппз}$ — тепловыделение пассажиров.

3.5.2. Расчет количества тепла, необходимого для прогрева зимой свежего воздуха, поступающего в салон

$$Q_{вз} = V_{вз} \cdot \rho_{вз} \cdot C_{L3} \cdot \Delta T_{вз},$$

где:

$V_{вз}$ — объем свежего воздуха, поступающего в салон, м³/ч;

$$V_{вз} = V_{п} \cdot n;$$

$V_{п} = 10$ м³/ч — количество свежего воздуха на одного пассажира в зимний период;

$n = 12$ — количество пассажиров;

$$V_{вз} = 10 \cdot 12 = 120 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$\rho_{вз}$ — плотность воздуха, кг/м³:

$$\rho_{вз} = 1,293 \cdot 273 / t_{нз} \cdot (P_б / 760 - 0,378 \cdot P_{пз} / 760), \text{ кг/м}^3.$$

Температура наружного воздуха $t_{нз} = -45^\circ\text{C}$;

Относительная влажность наружного воздуха — 30%;

Влагосодержание из психрометрической диаграммы $d_{нз} = 0,1$ г/кг;

$P_б = 745$ мм. рт. ст. — барометрическое давление;

$P_{пз}$ — парциальное давление водяных паров в воздухе:

$$P_{пз} = (P_б \cdot d_{нз}) / (622 + d_{нз}).$$

$$P_{пз} = (745 \cdot 0,1) / (622 + 0,1) = 0,12 \text{ мм рт. ст};$$

$$\rho_{вз} = 1,293 \cdot 273 / 213 \cdot (745 / 760 - 0,378 \cdot 0,12 / 760) = 1,62 \text{ кг/м}^3;$$

$\Delta T_{вз}$ — разность между температурой воздуха в салоне и наружной температурой воздуха, °С:

$$\Delta T_{вз} = t_{сз} - t_{нз}.$$

Температура воздуха в салоне $t_{сз} = +5 \text{ }^\circ\text{C}$;

Относительная влажность воздуха в салоне — 40%;

Отсюда,

$$\Delta T_{вз} = 5^\circ\text{C} - (-45^\circ\text{C}) = 50 \text{ }^\circ\text{C};$$

$C_{Lз}$ — среднее теплосодержание воздуха, Вт · ч / (кг · °С);

$$C_{Lз} = 0,22 \text{ Вт} \cdot \text{ч} / (\text{кг} \cdot ^\circ\text{C});$$

$$Q_{вз} = 120 \cdot 1,52 \cdot 0,22 \cdot 50 = \mathbf{2003 \text{ Вт}}.$$

3.5.3. Расчет потерь тепла из салона в окружающую среду через поверхности стекол

$$Q_{стз} = K_{ст} \cdot S_{ст} \cdot \Delta T_{вз},$$

где:

$K_{ст}$ — коэффициент теплопередачи поверхностей из стекла, Вт / (м² · °С):

$$K_{ст} = 1 \cdot (1 / \alpha_{нст} + \delta_{пр} / \lambda_{пр} + 1 / \alpha_{вст}),$$

где:

$\alpha_{нст}$ и $\alpha_{вст}$ — коэффициенты теплоотдачи от наружного воздуха к наружным поверхностям стекол и от внутренних поверхностей стекол к воздуху салона;

$$\alpha_{нст} = 5 + 0,0945 \cdot V_1;$$

$V_1 = 60 \text{ км/ч}$ — скорость наружного воздуха относительно наружной

поверхности стекол;

$$\alpha_{\text{нст}} = 5 + 0,0945 \cdot 60 = 10,67 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C});$$

$$\alpha_{\text{вст}} = 7,1 + 0,018 \cdot V_2;$$

$V_2 = 3,5$ км/ч — скорость воздуха в салоне относительно внутренних поверхностей стекол;

$$\alpha_{\text{вст}} = 7,1 + 0,018 \cdot 3,5 = 7,16 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C});$$

$\delta_{\text{ст}} = 0,006$ м — толщина стекол;

$\lambda_{\text{ст}} = 0,21$ Вт/(м · °C) — коэффициент теплопроводности материала стекол;

$$K_{\text{ст}} = 1 / (1 / 10,67 + 0,006 / 0,21 + 1 / 7,16) = 3,82 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C});$$

$S_{\text{ст}} = 8,93$ м² — площадь поверхностей стекол;

$\Delta T_{\text{вз}}$ — разность между температурой воздуха в салоне и наружной температурой воздуха, °C;

$$\Delta T_{\text{вз}} = 5 \text{ °C} - (-45 \text{ °C}) = 50 \text{ °C}.$$

$$Q_{\text{стз}} = 3,82 \cdot 8,93 \cdot 50 = \mathbf{1705 \text{ Вт}}.$$

3.5.4. Расчет потерь тепла из салона в окружающую среду через боковую стенку

$$Q_{\text{бсз}} = K_{\text{бс}} \cdot S_{\text{бс}} \cdot \Delta T_{\text{вз}},$$

где:

$K_{\text{бс}}$ — коэффициент теплопередачи боковой стенки, Вт / (м² · °C):

$$K_{\text{бс}} = 1 \cdot (1 / \alpha_{\text{нбс}} + \delta_{\text{бс}} / \lambda_{\text{бс}} + 1 / \alpha_{\text{вбс}}),$$

где:

$\alpha_{\text{нбс}}$ и $\alpha_{\text{вбс}}$ — коэффициенты теплоотдачи от наружного воздуха к наружной поверхности боковой стенки и от внутренней поверхности боковой стенки к воздуху салона;

$$\alpha_{\text{нбс}} = 5 + 0,0945 \cdot V_1;$$

$V_1 = 60$ км/ч — скорость наружного воздуха относительно наружной поверхности боковой стенки;

$$\alpha_{\text{нбс}} = 5 + 0,0945 \cdot 60 = 10,67 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C});$$

$$\alpha_{\text{вбс}} = 7,1 + 0,018 \cdot V_2;$$

$V_2 = 3,5$ км/ч — скорость воздуха в салоне относительно внутренней поверхности боковой стенки;

$$\alpha_{\text{вбс}} = 7,1 + 0,018 \cdot 5 = 7,16 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C});$$

$\delta_{\text{бс}} = 0,01$ м — толщина боковой стенки;

$\lambda_{\text{бс}} = 0,04$ Вт/(м · °C) — коэффициент теплопроводности материала боковой стенки;

$$K_{\text{бс}} = 1 / (1 / 10,67 + 0,01 / 0,04 + 1 / 7,16) = 2,07 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C});$$

$S_{\text{бс}} = 1,56$ м² — площадь боковых поверхностей;

$\Delta T_{\text{вз}}$ — разность между температурой воздуха в салоне и наружной температурой воздуха, °C;

$$\Delta T_{\text{вз}} = 5\text{°C} - (-45\text{°C}) = 50\text{°C}.$$

$$Q_{\text{бсз}} = 2,07 \cdot 1,56 \cdot 50 = 161 \text{ Вт}.$$

3.5.5. Расчет потерь тепла из салона в окружающую среду через поверхность пола

$$Q_{\text{плз}} = K_{\text{пл}} \cdot S_{\text{пл}} \cdot \Delta T_{\text{вплз}},$$

где:

$K_{\text{пл}}$ — коэффициент теплопередачи пола, Вт / (м² · °C):

$$K_{\text{пл}} = 1 \cdot (1 / \alpha_{\text{нпл}} + \delta_{\text{пл}} / \lambda_{\text{пл}} + 1 / \alpha_{\text{впл}}),$$

где:

$\alpha_{\text{нпл}}$ и $\alpha_{\text{впл}}$ — коэффициенты теплоотдачи от воздуха в отсеке под полом к наружной поверхности пола и от внутренней поверхности пола к воздуху салона соответственно;

$$\alpha_{\text{нпл}} = 5 + 0,0945 \cdot V_5;$$

$V_5 = 0$ км/ч — скорость воздуха в отсеке под полом относительно наружной поверхности пола;

$$\alpha_{\text{нпл}} = 5 + 0,0945 \cdot 0 = 5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C});$$

$$\alpha_{\text{впл}} = 7,1 + 0,018 \cdot V_2;$$

$V_2 = 3,5$ км/ч — скорость воздуха в салоне относительно внутренней поверхности пола;

$$\alpha_{\text{впл}} = 7,1 + 0,018 \cdot 5 = 7,16 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C});$$

$\delta_{\text{пл}} = 0,05$ м — толщина пола;

$\lambda_{\text{пл}} = 0,04$ Вт/(м · °C) — коэффициент теплопроводности материала пола;

$$K_{\text{пл}} = 1 / (1 / 5 + 0,05 / 0,04 + 1 / 7,16) = 0,63 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C});$$

$S_{\text{пл}} = 2,8$ м² — площадь поверхности пола;

$\Delta T_{\text{вплз}}$ — разность между температурой воздуха в салоне и температурой воздуха в отсеке под полом, °C;

$$\Delta T_{\text{вплз}} = 5\text{°C} - (-45\text{°C}) = 50\text{°C}.$$

$$Q_{\text{плз}} = 0,63 \cdot 2,8 \cdot 50 = \mathbf{88 \text{ Вт}}.$$

3.5.6. Расчет потерь тепла из салона в окружающую среду через поверхность потолка

$$Q_{\text{птз}} = K_{\text{пт}} \cdot S_{\text{пт}} \cdot \Delta T_{\text{вптз}},$$

где:

$K_{\text{пт}}$ — коэффициент теплопередачи потолка, Вт / (м² · °C):

$$K_{\text{пт}} = 1 \cdot (1 / \alpha_{\text{нпт}} + \delta_{\text{пт}} / \lambda_{\text{пт}} + 1 / \alpha_{\text{впт}}),$$

где:

$\alpha_{\text{нпт}}$ и $\alpha_{\text{впт}}$ — коэффициенты теплоотдачи от воздуха в отсеке над потолком к наружной поверхности потолка и от внутренней поверхности потолка к воздуху салона соответственно;

$$\alpha_{\text{нпт}} = 5 + 0,0945 \cdot V_4;$$

$V_4 = 20$ км/ч — скорость воздуха в отсеке над потолком относительно наружной поверхности потолка;

$$\alpha_{\text{нпт}} = 5 + 0,0945 \cdot 20 = 6,89 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C});$$

$$\alpha_{\text{впт}} = 7,1 + 0,018 \cdot V_2;$$

$V_2 = 3,5$ км/ч — скорость воздуха в салоне относительно внутренней поверхности потолка;

$$\alpha_{\text{внт}} = 7,1 + 0,018 \cdot 5 = 7,16 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°С});$$

$$\delta_{\text{пт}} = 0,01 \text{ м} \text{ — толщина потолка};$$

$$\lambda_{\text{пт}} = 0,04 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°С}) \text{ — коэффициент теплопроводности материала потолка};$$

$$K_{\text{пт}} = 1 / (1 / 6,89 + 0,05 / 0,04 + 1 / 7,16) = 1,87 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°С});$$

$$S_{\text{пт}} = 6,9 \text{ м}^2 \text{ — площадь поверхности потолка};$$

$\Delta T_{\text{вптз}}$ — разность между температурой воздуха в салоне и температурой воздуха в отсеке над потолком, °С;

$$\Delta T_{\text{вптз}} = 5\text{°С} - (-45\text{°С}) = 50\text{°С}.$$

$$Q_{\text{птз}} = 1,87 \cdot 6,9 \cdot 50 = \mathbf{645 \text{ Вт}}.$$

3.5.7. Расчет потерь тепла из салона через поверхность перегородки хвостового отсека

$$Q_{\text{пхз}} = K_{\text{пх}} \cdot S_{\text{пх}} \cdot \Delta T_{\text{впхз}},$$

где:

$K_{\text{пх}}$ — коэффициент теплопередачи перегородки хвостового отсека, Вт/(м² · °С):

$$K_{\text{пх}} = 1 \cdot (1 / \alpha_{\text{нпх}} + \delta_{\text{пх}} / \lambda_{\text{пх}} + 1 / \alpha_{\text{впх}}),$$

где:

$\alpha_{\text{нпх}}$ и $\alpha_{\text{впх}}$ — коэффициенты теплоотдачи от воздуха в хвостовом отсеке к внутренней поверхности перегородки хвостового отсека и от наружной поверхности перегородки хвостового отсека к воздуху салона соответственно;

$$\alpha_{\text{нпх}} = 5 + 0,0945 \cdot V_6;$$

$V_6 = 10 \text{ км}/\text{ч}$ — скорость воздуха в хвостовом отсеке относительно внутренней поверхности перегородки хвостового отсека;

$$\alpha_{\text{нпх}} = 5 + 0,0945 \cdot 10 = 5,95 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°С});$$

$$\alpha_{\text{впх}} = 7,1 + 0,018 \cdot V_2;$$

$V_2 = 3,5 \text{ км}/\text{ч}$ — скорость воздуха в салоне относительно наружной поверхности перегородки силового отсека;

$$\alpha_{\text{впх}} = 7,1 + 0,018 \cdot 5 = 7,16 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°С});$$

$\delta_{\text{пх}} = 0,01$ м — толщина перегородки;

$\lambda_{\text{пх}} = 0,04$ Вт/(м · °С) — коэффициент теплопроводности материала перегородки хвостового отсека;

$K_{\text{пх}} = 1 / (1 / 5,95 + 0,01 / 0,04 + 1 / 7,16) = 1,79$ Вт/(м² · °С);

$S_{\text{пх}} = 6,43$ м² — площадь поверхности перегородки хвостового отсека;

$\Delta T_{\text{впхз}}$ — разность между температурой воздуха в салоне и температурой воздуха в хвостовом отсеке, °С;

$\Delta T_{\text{впхз}} = 5^\circ\text{С} - (-45^\circ\text{С}) = 50^\circ\text{С}$.

$$Q_{\text{пхз}} = 1,79 \cdot 6,43 \cdot 50 = 576 \text{ Вт.}$$

3.5.8. Расчет потерь тепла из салона через поверхность кожухов силовых отсеков

$$Q_{\text{кзз}} = K_{\text{кcx}} \cdot S_{\text{кcx}} \cdot \Delta T_{\text{вкcx}},$$

где:

$K_{\text{кcx}}$ — коэффициент теплопередачи кожухов силовых отсеков, Вт / (м² · °С):

$$K_{\text{кcx}} = 1 \cdot (1 / \alpha_{\text{нкс}} + \delta_{\text{кс}} / \lambda_{\text{кс}} + 1 / \alpha_{\text{вкс}}),$$

где:

$\alpha_{\text{нкс}}$ и $\alpha_{\text{вкс}}$ — коэффициенты теплоотдачи от воздуха в силовом отсеке к внутренней поверхности кожуха силового отсека и от наружной поверхности кожуха силового отсека к воздуху салона соответственно;

$$\alpha_{\text{нкс}} = 5 + 0,0945 \cdot V_3;$$

$V_3 = 10$ км/ч — скорость воздуха в силовых отсеках относительно внутренней поверхности кожухов силовых отсеков;

$$\alpha_{\text{нкс}} = 5 + 0,0945 \cdot 10 = 5,95 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°С)};$$

$$\alpha_{\text{вкс}} = 7,1 + 0,018 \cdot V_2;$$

$V_2 = 3,5$ км/ч — скорость воздуха в салоне относительно наружной поверхности кожухов силовых отсеков;

$$\alpha_{\text{вкс}} = 7,1 + 0,018 \cdot 3,5 = 7,16 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°С)};$$

$\delta_{\text{кс}} = 0,02$ м — толщина кожуха силового отсека;

$\lambda_{\text{кж}} = 0,04 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{С})$ — коэффициент теплопроводности материала кожуха.

$$K_{\text{кж}} = 1 / (1 / 5,95 + 0,02 / 0,04 + 1 / 7,16) = 1,24 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С});$$

$S_{\text{кж}} = 4,4 \text{ м}^2$ — площадь поверхностей перегородок силовых отсеков;

$\Delta T_{\text{вкжз}}$ — разность между температурой воздуха в салоне и температурой воздуха в силовых отсеках, $^\circ\text{С}$;

$$\Delta T_{\text{вкжз}} = 5^\circ\text{С} - (-30^\circ\text{С}) = 35^\circ\text{С}.$$

$$Q_{\text{кжз}} = 1,24 \cdot 4,4 \cdot 35 = \mathbf{191 \text{ Вт}}.$$

3.5.9. Расчет тепловыделения пассажиров

Тепловыделения пассажира состоят из явного тепла влажного воздуха и скрытого тепла водяного пара, содержащегося в этом же воздухе:

$$Q_{\text{пз}} = Q_{\text{яз}} + Q_{\text{скрз}},$$

где:

$Q_{\text{яз}}$ — явное тепло влажного воздуха;

$Q_{\text{скрз}}$ — скрытое тепло водяного пара, содержащегося в этом же воздухе.

Величины явного тепла влажного воздуха и скрытого тепла водяного пара, в зависимости от температуры воздуха, представлены в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Зависимость явного тепла влажного воздуха и скрытого тепла водяного пара от температуры воздуха

$Q_{\text{яз}}, \text{ Вт}$	165	155	145	135	125	115	105	100	90	85	75	70	60	45	30
$Q_{\text{скрз}}, \text{ Вт}$	20	20	20	20	20	20	20	25	25	35	40	50	60	70	80
$t_{\text{в}}, ^\circ\text{С}$	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32

Для $t_{\text{в}} = +5^\circ\text{С}$ тепловыделение одного пассажира $Q_{\text{пз}} = 160 + 20 = 180 \text{ Вт}$.

Для двенадцати пассажиров:

$$Q_{\text{пассз}} = 12 \cdot 180 = \mathbf{2160 \text{ Вт}}.$$

3.5.10. Результаты расчета теплового баланса салона юнибуса в зимний период

$$\Sigma Q_3 = - Q_{вз} - Q_{стз} - Q_{бсз} - Q_{плз} - Q_{птз} - Q_{пхз} - Q_{кцз} + Q_{пспз},$$

$$\Sigma Q_3 = - 2003 - 1705 - 161 - 88 - 645 - 576 - 191 + 2160 = - 3209 \text{ Вт.}$$

Результаты расчета представлены в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Тепловой баланс юнибуса Ю-325П в зимний период

Количество тепла, необходимого для прогрева свежего воздуха, поступающего в салон		Потери тепла в окружающую среду через поверхности стекол		Потери тепла в окружающую среду через поверхность боковой стенки		Потери тепла в окружающую среду через поверхность пола		Потери тепла в окружающую среду через поверхность потолка		Потери тепла в окружающую среду через поверхность перегородки хвостового отсека		Потери тепла в окружающую среду через поверхность кожухов силовых отсеков		Тепловыделение пассажиров	Тепловой баланс салона в зимний период
$Q_{вз}$		$Q_{стз}$		$Q_{бсз}$		$Q_{плз}$		$Q_{птз}$		$Q_{пхз}$		$Q_{кцз}$		$Q_{пспз}$	ΣQ_3
Вт	%	Вт	%	Вт	%	Вт	%	Вт	%	Вт	%	Вт	%	Вт	Вт
-2003	37,3	-1705	31,8	-161	3,0	-88	1,6	-645	12,0	-575	10,7	-191	3,6	2160	-3209

3.6. Тепловой баланс салона юнибуса в летний период года

3.6.1. Формула теплового баланса юнибуса в летний период

Тепловой баланс юнибуса в летний период состоит из:

$$\Sigma Q_{л} = Q_{вл} + Q_{стл} + Q_{бсл} + Q_{плл} + Q_{птл} + Q_{пхл} + Q_{ксл} + Q_{пспл} + Q_{изл},$$

где:

$Q_{вл}$ — количество тепла, поступающего в салон со свежим воздухом;

$Q_{стл}$ — количество тепла, поступающего из окружающей среды в салон через поверхности стекол;

- $Q_{\text{бсл}}$ — количество тепла, поступающего из окружающей среды в салон через поверхность боковой стенки;
- $Q_{\text{плл}}$ — количество тепла, поступающего из окружающей среды в салон через поверхность пола;
- $Q_{\text{птл}}$ — количество тепла, поступающего из окружающей среды в салон через поверхность потолка;
- $Q_{\text{пхл}}$ — количество тепла, поступающего из окружающей среды в салон через поверхность перегородки хвостового отсека;
- $Q_{\text{ксл}}$ — количество тепла, поступающего из окружающей среды в салон через поверхности кожухов силовых отсеков;
- $Q_{\text{псл}}$ — тепловыделение пассажиров;
- $Q_{\text{излл}}$ — количество тепла солнечного излучения, поступающего в салон через стекла.

3.6.2. Расчет количества тепла, поступающего в салон со свежим воздухом

$$Q_{\text{л}} = V_{\text{вл}} \cdot \rho_{\text{л}} \cdot C_{\text{Лл}} \cdot \Delta T_{\text{л}},$$

где:

$V_{\text{вл}}$ — объем свежего воздуха, поступающего в салон, $\text{м}^3/\text{ч}$;

$$V_{\text{вл}} = V_{\text{п}} \cdot n;$$

$V_{\text{п}} = 20 \text{ м}^3/\text{ч}$ — количество свежего воздуха на одного пассажира в летний период;

n — количество пассажиров в салоне;

$$V_{\text{вл}} = 20 \cdot 12 = 240 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$\rho_{\text{л}}$ — плотность подаваемого воздуха, $\text{кг}/\text{м}^3$:

$$\rho_{\text{л}} = 1,293 \cdot 273 / t_{\text{нл}} \cdot (P_{\text{б}} / 760 - 0,378 \cdot P_{\text{п}} / 760), \text{ кг}/\text{м}^3;$$

Температура наружного воздуха $t_{\text{нл}} = +40^\circ\text{C}$;

Относительная влажность наружного воздуха — 80%;

Влагосодержание из психрометрической диаграммы $d_{\text{нл}} = 10 \text{ г}/\text{кг}$;

$P_6 = 745$ мм рт. ст. — барометрическое давление;

$P_{пл}$ — парциальное давление водяных паров в воздухе;

$$P_{пл} = (P_6 \cdot d_{нл}) / (622 + d_{нл}) = (745 \cdot 10) / (622 + 10) = 11,79 \text{ мм рт. ст.};$$

$$\rho_{л} = 1,293 \cdot 273 / 313 \cdot (745 / 760 - 0,378 \cdot 11,79 / 760) = 1,1 \text{ кг/м}^3;$$

$\Delta T_{вл}$ — разность между наружной температурой воздуха и температурой воздуха в салоне, °С;

$$\Delta T_{вл} = t_{нл} - t_{сл};$$

Температура воздуха в салоне $t_{вл} = +20^\circ\text{С}$;

Относительная влажность воздуха в салоне — 33%;

$$\text{Отсюда, } \Delta T_{вл} = 40 - 20 = 20^\circ\text{С};$$

$C_{Лл}$ — среднее теплосодержание воздуха, Вт · ч/(кг · °С):

$$C_{Лл} = 0,34 \text{ Вт} \cdot \text{ч} / (\text{кг} \cdot ^\circ\text{С}).$$

$$Q_{вл} = 240 \cdot 1,1 \cdot 0,34 \cdot 20 = \mathbf{1793 \text{ Вт}}.$$

3.6.3. Расчет количества тепла, поступающего в салон из окружающей среды через поверхности стекол

$$Q_{стл} = K_{ст} \cdot S_{ст} \cdot \Delta T_{вл},$$

где:

$$K_{ст} = 3,82 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С});$$

$$S_{ст} = 8,93 \text{ м}^2;$$

$\Delta T_{вл}$ — разность между наружной температурой воздуха и температурой воздуха в салоне, °С:

$$\Delta T_{вл} = 20^\circ\text{С}.$$

$$Q_{стл} = 3,82 \cdot 8,93 \cdot 20 = \mathbf{682 \text{ Вт}}.$$

3.6.4. Расчет количества тепла, поступающего из окружающей среды в салон через поверхность боковой стенки

$$Q_{бсл} = K_{бс} \cdot S_{бс} \cdot \Delta T_{вл},$$

где:

$$K_{\text{бс}} = 2,07 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C});$$

$$S_{\text{бс}} = 1,56 \text{ м}^2;$$

$\Delta T_{\text{вз}}$ — разность между наружной температурой воздуха и температурой воздуха в салоне, °C:

$$\Delta T_{\text{вл}} = 20\text{°C}.$$

$$Q_{\text{бсл}} = 2,07 \cdot 1,56 \cdot 20 = \mathbf{65 \text{ Вт}}.$$

3.6.5. Расчет количества тепла, поступающего из окружающей среды в салон через поверхность пола

$$Q_{\text{плл}} = K_{\text{плл}} \cdot S_{\text{плл}} \cdot \Delta T_{\text{вплл}},$$

где:

$$K_{\text{плл}} = 0,63 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C});$$

$$S_{\text{плл}} = 2,8 \text{ м}^2;$$

$\Delta T_{\text{вплл}}$ — разность между температурой воздуха в отсеке под полом и температурой воздуха в салоне, °C:

$$\Delta T_{\text{вплл}} = 40 - 20 = 20\text{°C}.$$

$$Q_{\text{плл}} = 0,63 \cdot 2,8 \cdot 20 = 35 \text{ Вт}.$$

3.6.6. Расчет количества тепла, поступающего из окружающей среды в салон через поверхность потолка

$$Q_{\text{птл}} = K_{\text{птл}} \cdot S_{\text{птл}} \cdot \Delta T_{\text{вптл}},$$

где:

$$K_{\text{птл}} = 1,87 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C});$$

$$S_{\text{птл}} = 6,9 \text{ м}^2;$$

$\Delta T_{\text{вптл}}$ — разность между температурой воздуха в отсеке над потолком и температурой воздуха в салоне, °C:

$$\Delta T_{\text{вптл}} = 40 - 20 = 20\text{°C}.$$

$$Q_{\text{ПТЛ}} = 1,87 \cdot 6,9 \cdot 20 = \mathbf{258 \text{ Вт.}}$$

3.6.7. Расчет количества тепла, поступающего в салон через поверхность перегородки хвостового отсека

$$Q_{\text{ПХЛ}} = K_{\text{ПХ}} \cdot S_{\text{ПХ}} \cdot \Delta T_{\text{ВПХЛ}},$$

где:

$$K_{\text{ПХ}} = 1,79 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C});$$

$$S_{\text{ПХ}} = 6,43 \text{ м}^2;$$

$\Delta T_{\text{ВПХЛ}}$ — разность между температурой воздуха в хвостовом отсеке и температурой воздуха в салоне, °C:

$$\Delta T_{\text{ВПХЛ}} = 40 - 20 = 20\text{°C}.$$

$$Q_{\text{ПХЛ}} = 1,79 \cdot 6,43 \cdot 20 = \mathbf{231 \text{ Вт.}}$$

3.6.8. Расчет количества тепла, поступающего в салон через поверхность кожухов силовых отсеков

$$Q_{\text{КСЛ}} = K_{\text{КС}} \cdot S_{\text{КС}} \cdot \Delta T_{\text{ВКСЛ}},$$

где:

$$K_{\text{КС}} = 1,24 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C});$$

$$S_{\text{КС}} = 4,4 \text{ м}^2;$$

$\Delta T_{\text{ВКСЛ}}$ — разность между температурой воздуха в силовых отсеках и температурой воздуха в салоне, °C:

$$\Delta T_{\text{ВКСЛ}} = 70\text{°C} - 20\text{°C} = 50\text{°C}.$$

$$Q_{\text{КСЛ}} = 1,24 \cdot 4,4 \cdot 50 = \mathbf{272 \text{ Вт.}}$$

3.6.9. Расчет тепловыделения пассажиров

$$Q_{\text{Л}} = Q_{\text{ЯЛ}} + Q_{\text{СКРЛ}},$$

где:

$Q_{\text{ял}}$ — явное тепло влажного воздуха;

$Q_{\text{скрл}}$ — скрытое тепло водяного пара, содержащегося в этом же воздухе.

Из табл. 3.2 для $t_{\text{вл}}^{\circ} = 20^{\circ}\text{C}$; $Q_{\text{ч}} = 90 + 25 = 115 \text{ Вт}$.

Для двенадцати пассажиров:

$$Q_{\text{плл}} = 12 \cdot 115 = \mathbf{1380 \text{ Вт}}$$

3.6.10. Расчет количества тепла солнечного излучения, поступающего в салон через прозрачные перекрытия

$$Q_{\text{изл}} = (S_1 \cdot I \cdot a + (S_{\text{ст}} - S_1) \cdot I_{\text{диф}}) \cdot b,$$

где:

$S_1 = 4,0 \text{ м}^2$ — площадь наружной поверхности юнибуса, облученная прямым излучением солнца;

$S_{\text{ст}} = 8,93 \text{ м}^2$ — площадь поверхностей стекол, м^2 ;

I — интенсивность прямой и рассеянной солнечной радиации:

$$I = I_{\text{пр}} + I_{\text{рас}},$$

где:

$I_{\text{пр}}$ — интенсивность прямой солнечной радиации на горизонтальную поверхность;

$I_{\text{рас}}$ — интенсивность рассеянной солнечной радиации на вертикальную поверхность;

$$I_{\text{пр}} = 203,3 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч});$$

$$I_{\text{рас}} = 158,2 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч});$$

$$I = 203,3 + 158,2 = 361,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч}).$$

a — корректировочный коэффициент для затемненного стекла;

Принимаем $a = 0,5$;

b — коэффициент пропускания для различных конструкции стекол;

Принимаем $b = 1$.

$$Q_{\text{изл}} = (4,0 \cdot 361,5 \cdot 0,5 + (8,93 - 4,0) \cdot 158,2) \cdot 1 = \mathbf{1503 \text{ Вт}}$$

3.6.11. Результаты расчета теплового баланса салона юнибуса в летний период

$$\Sigma Q_{\text{л}} = Q_{\text{вл}} + Q_{\text{стл}} + Q_{\text{бсл}} + Q_{\text{плл}} + Q_{\text{птл}} + Q_{\text{пхл}} + Q_{\text{ксл}} + Q_{\text{пспл}} + Q_{\text{изл}},$$

$$\Sigma Q_{\text{л}} = 1793 + 682 + 65 + 35 + 258 + 231 + 272 + 1380 + 1503 = \mathbf{6219 \text{ Вт.}}$$

Результаты расчета представлены в табл. 3.4.

Таблица 3.4

Тепловой баланс юнибуса Ю-325П в летний период

Количество тепла, поступающего в салон со свежим воздухом		Количество тепла, поступающего в салон через поверхности стекол		Количество тепла, поступающего в салон через поверхность боковой стенки		Количество тепла, поступающего в салон через поверхность пола		Количество тепла, поступающего в салон через поверхность потолка		Количество тепла, поступающего в салон через поверхность перегородки хвостового отсека		Количество тепла, поступающего в салон через поверхности кожухов силовых отсеков		Тепловыделения пассажиров		Количество тепла солнечного излучения, поступающего в салон через поверхности из стекла		Тепловой баланс салона в летний период	
$Q_{\text{вл}}$		$Q_{\text{стл}}$		$Q_{\text{бсл}}$		$Q_{\text{плл}}$		$Q_{\text{птл}}$		$Q_{\text{пхл}}$		$Q_{\text{ксл}}$		$Q_{\text{пспл}}$		$Q_{\text{изл}}$		$\Sigma Q_{\text{л}}$	
Вт	%	Вт	%	Вт	%	Вт	%	Вт	%	Вт	%	Вт	%	Вт	%	Вт	%	Вт	
1793,4	28,84	681,94	10,97	64,55	1,04	35,23	0,57	258,0,7	4,15	230,54	3,71	272,34	4,38	1380	22,19	1502,93	24,17	6219	

3.7. Выводы

3.7.1. Выводы по тепловому балансу в зимний период эксплуатации

Для поддержания в салоне юнибуса в зимний период эксплуатации комфортной температуры воздуха $+5^{\circ}\text{C}$ (пассажиры в салоне юнибуса будут находиться в теплой зимней одежде), при температуре наружного воздуха -45°C и подаче в салон $120 \text{ м}^3/\text{ч}$ свежего воздуха для 12 пассажиров, необходимо на обогрев

расходовать 3,2 кВт тепловой мощности (см. табл. 3.3).

3.7.2. Выводы по тепловому балансу в летний период эксплуатации

Для поддержания в салоне юнибуса в летний период эксплуатации комфортной температуры воздуха +20°C, при температуре наружного воздуха +40°C и подаче в салон 240 м³/ч свежего воздуха для 12-ти пассажиров, необходимо удалять из салона избыточное тепло мощностью 6,2 кВт (см. табл. 3.4).

3.7.3. Элементы конструкции юнибуса, наиболее влияющие на его тепловой баланс

Зимний период

Наибольшие энергозатраты для поддержания комфортных условий в юнибусе связаны с необходимостью прогрева свежего воздуха, поступающего в салон, и с компенсацией теплопотерь через поверхности стекол (см. табл. 3.3):

- для прогрева свежего воздуха, поступающего в салон, необходимо затратить 2003 Вт тепловой мощности, что составляет 37,3% от всех затрат тепла на поддержание комфортных условий в салоне юнибуса;
- для компенсации потерь тепла через поверхности стекол салона юнибуса, необходимо затратить 1705 Вт тепловой мощности, что составляет 31,75% от всех затрат тепла на поддержание комфортных условий в салоне юнибуса.

Летний период

Наибольшие энергозатраты для поддержания комфортных условий в юнибусе связаны с удалением из пассажирского салона тепла, поступающего через поверхности стекол, и с охлаждением свежего наружного воздуха, поступающего в салон (см. табл. 3.4):

- для удаления тепла, поступающего в салон через поверхности стекол, необходимо затратить 2185 Вт тепловой мощности (количество тепла, поступающего теплопередачей, — 682 Вт, и количество тепла,

поступающего с солнечным излучением, — 1503 Вт), что составляет 35,1% от всех затрат энергии на поддержание комфортных условий в салоне юнибуса;

- для удаления тепла, поступающего со свежим воздухом в салон юнибуса, необходимо затратить 1793 Вт тепловой мощности, что составляет 28,8% от всех затрат энергии на поддержание комфортных условий в салоне юнибуса.



115487, Москва, ул. Нагатинская, 18/29
тел./факс: (495) 680-52-53, (499) 616-15-48
e-mail: info@unitsky.ru
http: //www.unitsky.ru
skype: Anatoly Unitsky

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный конструктор
ООО «Струнный транспорт Юницкого»

_____ А.Э. Юницкий

«31» августа 2007 г.

**4. Расчет на статическую и динамическую устойчивость
двухрельсового автомобиля СТЮ (юнибуса) транспортной системы
двухрельсового СТЮ в г. Екатеринбурге по маршруту
«Железнодорожный вокзал — многофункциональный комплекс
«Космос-сити, Екатеринбург, Россия»
(325П-0000010-02PP)**

Содержание расчета на устойчивость

4.1. Введение	144
4.2. Исходные данные и условия	145
4.3. Определение координат приведенного центра масс юнибуса с пассажирами	145
4.4. Определение угла крена и изменившихся приведенных координат центра масс юнибуса	146
4.5. Оценка устойчивости юнибуса в зависимости от силы бокового ветра и асимметричной нагрузки от массы пассажиров	149
4.6. Оценка устойчивости юнибуса при прохождении им криволинейного участка минимального радиуса с эксплуатационной скоростью 60 км/ч под воздействием центробежной силы и с учетом смещения центра масс вследствие крена, вызванного деформацией подвески колес	150
4.7. Определение предельно допустимой скорости прохождения юнибусом криволинейного участка пути на станции минимальным радиусом 10 метров	153
4.8. Выводы	154

4.1. Введение

В данном расчете производится оценка поперечной устойчивости двухрельсового автомобиля (юнибуса) Ю-325П исполнения 02 колес 1500 мм. Оценка производится для двух вариантов схем размещения пассажиров:

- вариант 1 (см. рис. 4.1) — три пассажира в положении стоя размещены в предельной близости к дверям;
- вариант 2 (см. рис. 4.2) — максимально возможное количество пассажиров (10 человек) размещено на одной половине юнибуса в положении стоя.

Целью расчета является определение следующих показателей поперечной устойчивости:

- устойчивость юнибуса в средней части рельсо-струнного пролета длиной 30 м путевой структуры при воздействии на него силы бокового ветра и асимметричной нагрузки от массы пассажиров;
- устойчивость юнибуса на криволинейном участке пути при воздействии на него центробежной силы и асимметричной нагрузки от массы пассажиров.

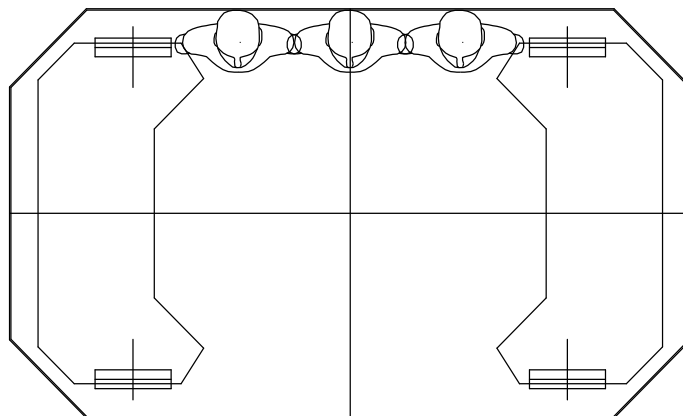


Рис. 4.1. Вариант 1 размещения пассажиров в юнибусе Ю-325П

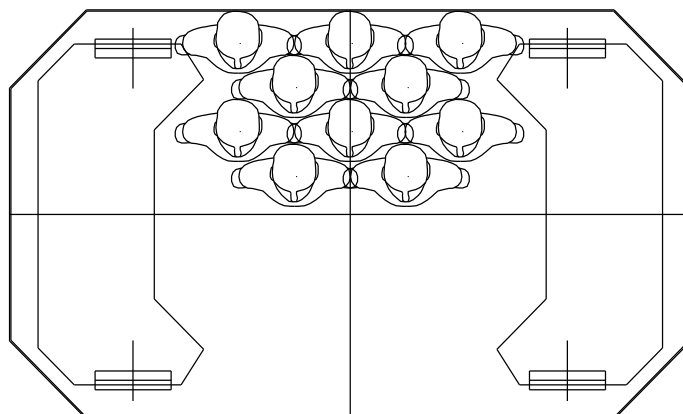


Рис. 4.2. Вариант 2 размещения пассажиров в юнибусе Ю-325П

4.2. Исходные данные и условия

Масса юнибуса Ю-325П снаряженная , т, кг	1500
Размер колеи, А, м	1,5
Коэффициент бокового аэродинамического сопротивления, C_w	0,8
Площадь продольного (бокового) сечения юнибуса, $S_{бок}, м^2$	7,3
Плотность воздуха, $\rho, кг/м^3$	1,202
Расстояние от центра парусности боковой поверхности юнибуса до головки рельса, Н, м	1,15
Расчетная скорость движения юнибуса, V, км/ч	60
Бортовая жесткость подвески юнибуса, $c_{п}, Н/мм$	1200
Вертикальная жесткость одного рельса-струны в середине пролета, $c_c, Н/мм$	240

Центр осей координат расположен на оси головки левого рельса в поперечной плоскости юнибуса.

4.3. Определение координат приведенного центра масс юнибуса с пассажирами (см. рис. 4.3)

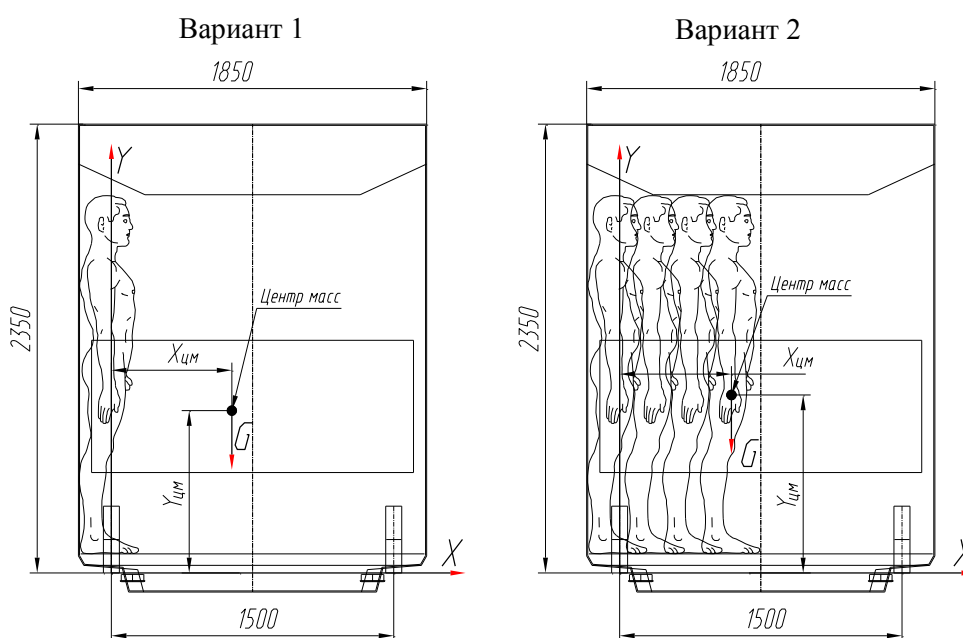


Рис. 4.3. Варианты размещения пассажиров в юнибусе Ю-325П

4.3.1. Определение координат приведенного центра масс по оси X

$$X_{\text{цм}} = \sum m_i \cdot x_i / \sum m_i, \text{ м,}$$

где:

m_i — масса i -ой составляющей юнибуса (см. табл. 4.1), кг;

x_i — координата центра масс i -ой составляющей юнибуса (см. табл. 4.1), м.

Результаты — см. табл. 4.2.

4.3.2. Определение координат приведенного центра масс по оси Y

$$Y_{\text{цм}} = \sum m_i \cdot y_i / \sum m_i, \text{ мм,}$$

где:

y_i — координата центра масс i -ой составляющей юнибуса (см. табл. 4.1), м.

Результаты — см. табл. 4.2.

Таблица 4.1

Координаты центра масс составляющих юнибуса

Наименование	m_i , кг	x_i , м	y_i , м
Юнибус снаряженный, кг	1500	0,75	0,8
Три пассажира, кг	240	-0,04	1,18
Десять пассажиров, кг	800	0,3	1,18

Таблица 4.2

Координаты приведенного центра масс юнибуса

Варианты		1	2
Масса, т, кг		1740	2300
Координаты центра масс, м	$X_{\text{цм}}$	0,64	0,594
	$Y_{\text{цм}}$	0,85	0,932

4.4. Определение угла крена и изменившихся приведенных координат центра масс юнибуса

Расчет угла крена производится для условий 1-ой, 2-ой и 3-ей категорий ураганов по шкале ураганов Саффира—Симпсона.

4.4.1. Сила бокового ветра

Сила бокового ветра определяется по формуле:

$$P = V^2 \cdot 0,5 \cdot \rho \cdot C_w \cdot S_{\text{бок}}, \text{ Н,}$$

где:

V — скорость ветра (см. табл. 4.3), м/с.

Результаты — см. табл. 4.3.

4.4.2. Определение реакций опор

Реакция опор — колес юнибуса — под воздействием весовой и боковой ветровой нагрузок показаны на рис. 4.4.

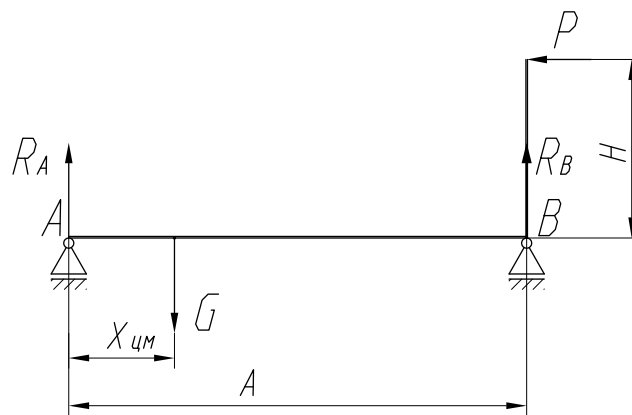


Рис. 4.4. Реакции опор (колес юнибусов)

$$\sum M_A = 0; \quad G \cdot X_{\text{ЦМ}} - R_B \cdot 1,5 - P \cdot H = 0$$

$$R_B = (G \cdot X_{\text{ЦМ}} - P \cdot H) / 1,5$$

$$\sum M_B = 0; \quad R_A \cdot 1,5 - G \cdot (1,5 - X_{\text{ЦМ}}) - P \cdot H = 0$$

$$R_A = (G \cdot (1,5 - X_{\text{ЦМ}}) + P \cdot H) / 1,5,$$

где:

$G = m \cdot g$, H — сила тяжести юнибуса;

P — сила ветра, H .

Результаты — см. табл. 4.3.

4.4.3. Определение максимальной суммарной деформации рельса-струны путевой структуры на пролете и упругих элементов подвески колес юнибуса

Суммарная деформация равна сумме двух деформаций:

$$L = L_{\Pi} + L_C,$$

где:

L_{Π} и L_C — деформация подвески колес и рельса-струны (в центре пролета), соответственно.

Находим деформацию каждого звена упругой системы:

$$L_{\Pi} = R / c_{\Pi},$$

$$L_C = R / c_c,$$

где:

R — реакция опор, H .

Результаты — см. табл. 4.3.

4.4.4. Угол крена юнибуса на рельсо-струнной путевой структуре

Угол крена юнибуса на рельсо-струнной путевой структуре «второго уровня» определяется из выражения:

$$\beta = \arcsin (L_A - L_B) \cdot 10^{-3} / A ,$$

где:

L_A , L_B — суммарная деформация подвески и струны соответственно на опорах А и В.

Результаты — см. табл. 4.3.

4.4.5. Координаты центра масс груженого юнибуса

Координаты центра масс груженого юнибуса определяются геометрическим способом с помощью программы AutoCAD.

Результаты — см. табл. 4.3.

Таблица 4.3

Координаты центра масс юнибуса

Варианты загрузки		1				2			
		Без ветра	1	2	3	Без ветра	1	2	3
Категория ураганов		0	33,1	42,8	49,7	0	33,1	42,8	49,7
Скорость ветра, м/с		0	33,1	42,8	49,7	0	33,1	42,8	49,7
Сила ветра, Н		0	3846	6430	8670	0	3846	6430	8670
Реакции опор, Н	R _A	9776,5	12762	14708	16426	13614	16564	18546	20264
	R _B	7275,5	4326	2344	626	8926	5976	3994	2276
Суммарная деформация, мм	L _A	49	64	73,5	82	68	83	93	101,3
	L _B	36,4	21,6	11,7	3	44,6	30	20	11,4
Угол крена, β°		0,48	1,62	2,36	3	0,89	2	2,79	3,44
Координаты центра масс, м	X _{ЦМ}	0,633	0,616	0,605	0,595	0,58	0,561	0,548	0,537
	Y _{ЦМ}	0,855	0,868	0,877	0,882	0,941	0,952	0,96	0,966

4.5. Оценка устойчивости юнибуса в зависимости от силы бокового ветра и асимметричной нагрузки от массы пассажиров

Юнибус будет устойчив на рельсо-струнной путевой структуре «второго уровня» (см. рис. 4.5) при соблюдении следующего условия:

$$G \cdot X_{\text{ЦМ}} > P \cdot H.$$

Результаты — см. табл. 4.4.

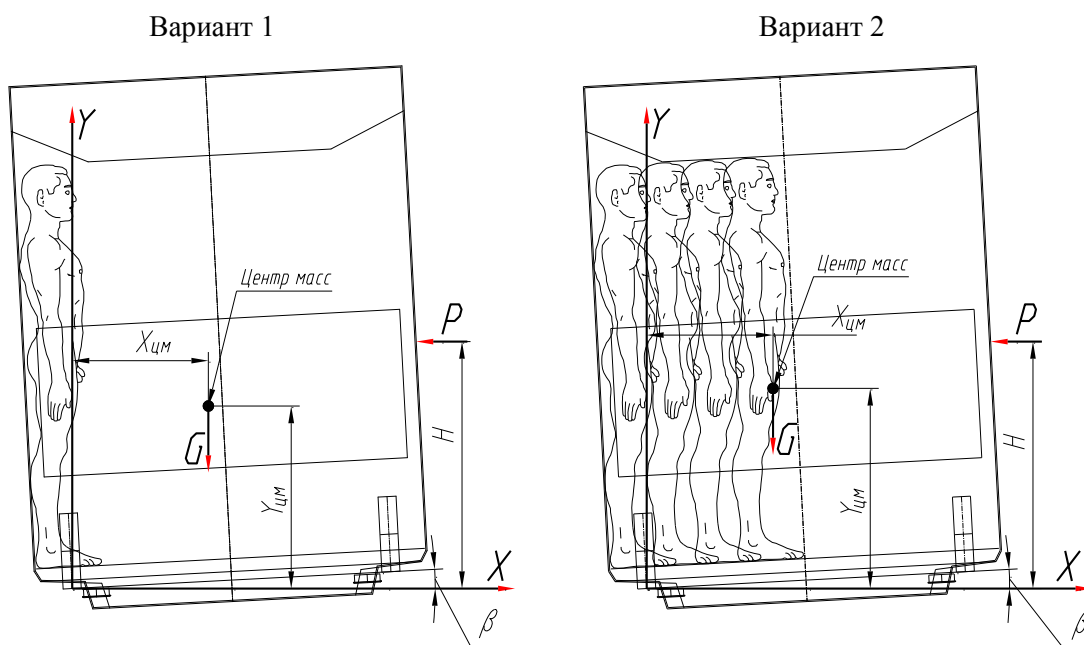


Рис. 4.5. Варианты размещения пассажиров

Таблица 4.4

Оценка устойчивости юнибуса от силы бокового ветра

Варианты загрузки	1				2			
	Без ветра	1	2	3	Без ветра	1	2	3
$G \cdot X_{цм}$, Нм	10794	10504	10317	9890	13073	12645	12352	12104
$P \cdot H$, Нм	0	4423	7395	9971	0	4423	7395	9971

4.6. Оценка устойчивости юнибуса при прохождении им криволинейного участка минимального радиуса с эксплуатационной скоростью 60 км/ч под воздействием центробежной силы и с учетом смещения центра масс вследствие крена, вызванного деформацией подвески колес

Варианты размещения пассажиров в салоне юнибуса, для оценки его устойчивости при прохождении криволинейного участка пути, показаны на рис. 4.6.

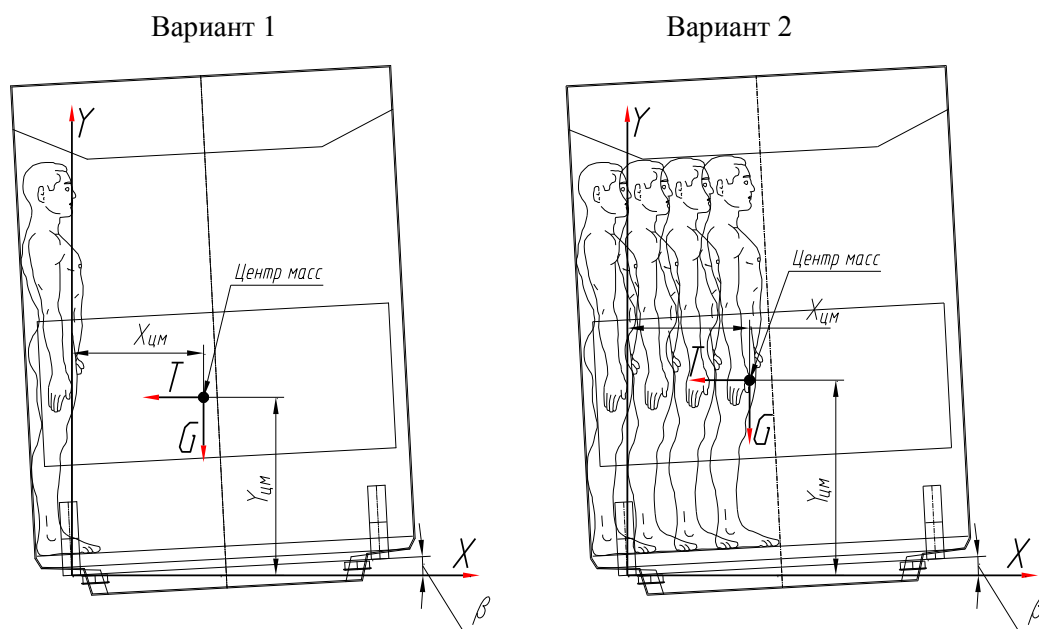


Рис. 4.6. Варианты размещения пассажиров

4.6.1. Деформация упругих элементов подвески

Деформация упругих элементов подвески определяется из выражения:

$$L_{\Pi} = R / c_{\Pi},$$

где:

R — реакция опор при условии «без ветра» (см. табл. 4.3), Н.

Результаты — см. табл. 4.5.

4.6.2. Угол крена юнибуса

Угол крена юнибуса определяется из выражения:

$$\beta = \arcsin (L_{\Pi A} - L_{\Pi B}) \cdot 10^{-3} / A.$$

Результаты — см. табл. 4.5.

4.6.3. Координаты центра масс

Координаты центра масс определяются геометрическим способом с помощью

программы AutoCAD.

Результаты — см. табл. 4.5.

Таблица 4.5

Координаты центра масс юнибуса

Варианты загрузки		1	2
Реакции опор, Н	R _A	9776	13614
	R _B	7276	8926
Деформация подвески, мм	L _{ПА}	8,2	11,4
	L _{ПВ}	6	7,4
Угол крена, β°		0,084	0,153
Координаты центра масс, м	X _{ЦМ}	0,639	0,5915
	Y _{ЦМ}	0,851	0,9336

4.6.4. Оценка поперечной устойчивости юнибуса на криволинейном участке

Юнибус будет устойчив на криволинейном участке пути при соблюдении следующего условия:

$$G \cdot X_{\text{ЦМ}} > T \cdot Y_{\text{ЦМ}},$$

где:

$T = V^2 \cdot m / r$ — центробежная сила, действующая на юнибус, Н,

r — заданный радиус поворота (до центра масс), м.

Результаты — см. табл. 4.6.

Таблица 4.6

Оценка боковой устойчивости юнибуса на криволинейном участке пути при скорости 60 км/ч

Вариант загрузки	1		2	
	Радиус поворота, м	40	37	45
Центробежная сила, Н	12088	13068	14203	15218
T · Y _{ЦМ} , Нм	11121	10287	13927	13260
G · X _{ЦМ} , Нм	10896		13332	
Оценка устойчивости	устойчив	неустойчив	устойчив	неустойчив

4.7. Определение предельно допустимой скорости прохождения юнибусом криволинейного участка пути на станции минимальным радиусом 10 метров

Предельно допустимая центробежная сила инерции юнибуса на криволинейном участке пути на станции определяется из уравнения его поперечного равновесия (см. рис. 4.7).

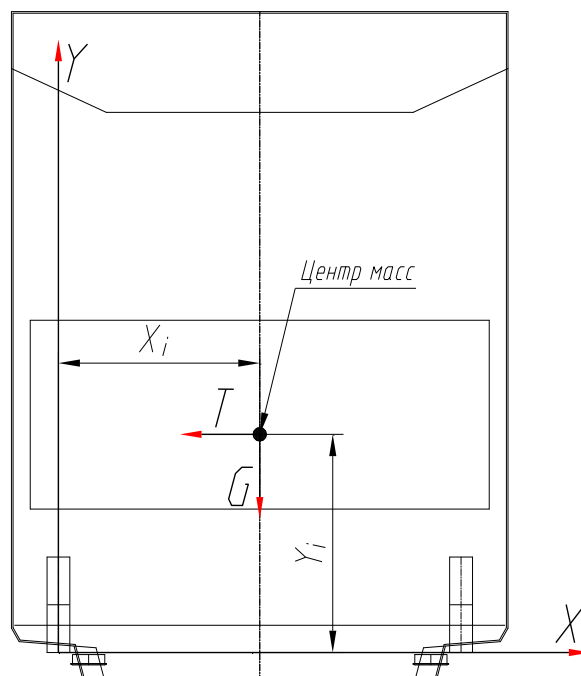


Рис. 4.7. Воздействия на юнибус на криволинейном участке пути

Уравнение равновесия юнибуса в этом случае может быть записано в следующем виде:

$$G \cdot x_i - T \cdot y_i = 0.$$

Откуда,

$$T = G \cdot x_i / y_i, \text{ Н — центробежная сила инерции,}$$

где:

x_i и y_i — расстояние до центра масс юнибуса (см. табл. 4.1).

Результаты расчета — см. табл. 4.7.

Предельно допустимая скорость прохождения криволинейного участка пути

определяется из выражения:

$$V = (T \cdot r / m) / 2, \text{ м/с,}$$

где:

r — заданный радиус поворота (до центра масс), м.

Результаты расчета — см. табл. 4.7.

Таблица 4.7

Предельно допустимая скорость прохождения юнибусом
криволинейного участка пути на станции радиусом 10 м

m , кг	G , Н	T , Н	V , м/с (км/ч)
1500	14700	13781	9,6 (34,6)
2400	23520	22050	9,6 (34,6)

4.8. Выводы

4.8.1. Юнибус Ю-325П в состоянии полностью сохранить устойчивость движения на прямолинейных участках пути в средней части пролета рельсо-струнной путевой структуры, без принятия каких-либо специальных мер, при схеме размещения пассажиров:

- по варианту 1 (три пассажира в положении стоя размещены в предельной близости к дверям) — при скорости бокового ветра около 180 км/ч, т. е. в условиях урагана 2-ой и частично 3-ей категории по шкале ураганов Саффира—Симпсона;
- по варианту 2 (10 пассажиров размещено на одной половине юнибуса в положении стоя) — при скорости бокового ветра более 180 км/ч, т.е. в условиях урагана 3-ей категории по шкале ураганов Саффира—Симпсона.

4.8.2. Юнибус Ю-325П, при прохождении криволинейных участков пути на эксплуатационной скорости 60 км/ч, будет иметь боковую устойчивость на минимальном радиусе:

- по варианту 1 — 40 метров;
- по варианту 2 — 45 метра.

4.8.3. Расчеты показывают, что юнибус имеет высокие показатели устойчивости и может эксплуатироваться, даже без оснащения боковых роликов противосходными страховочными буртами, в условиях урагана 3-ей категории, для которого характерны такие последствия воздействий на наземные предметы, как поваленные деревья, поврежденные окна, двери и крыши зданий. При оснащении боковых упорных роликов противосходными буртами, юнибус может эксплуатироваться на трассе «второго уровня» при боковом ветре до 300 км/ч.