



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

Выбор типа двухрельсового автомобиля (юнибуса) (по колее, расчетной скорости движения и вместимости) и подготовка технического предложения по нему применительно к природно-климатическим условиям г. Ханты-Мансийска

Государственный контракт № 12у от 07 августа 2007 г. на выполнение работ по разработке технико-экономического обоснования строительства высотной городской пассажирской двухпутной струнной транспортной системы в г. Ханты-Мансийске

Этап 1. Определение, выбор и оптимизация основных технических, технологических и эксплуатационных параметров двух вариантов (двухрельсового и монорельсового) рельсо-струнной путевой структуры, подвижного состава и инфраструктуры струнного транспорта Юницкого (СТЮ) применительно к условиям г. Ханты-Мансийска

Подэтап 1.3.1.7. Выбор типа двухрельсового автомобиля (юнибуса) (по колее, расчетной скорости движения и вместимости) и подготовка технического предложения по нему применительно к природно-климатическим условиям г. Ханты-Мансийска



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


_____ А.Э. Юницкий
«12» 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

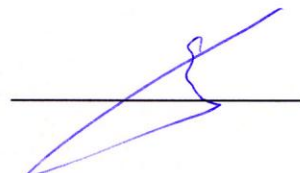
Главный инженер ООО «СТЮ»


А.В. Пархоменко

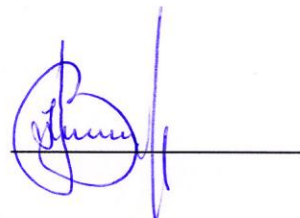
Начальник конструкторского бюро
«Юнибус» ООО «СТЮ»


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 выбору типа двухрельсового автомобиля (юнибуса) (по колее, расчетной скорости движения и вместимости) и подготовке технического предложения по нему применительно к природно-климатическим условиям г. Ханты-Мансийска	6
2. Тягово-динамический расчет двухрельсового автомобиля (юнибуса) модели Ю-324П применительно к природно-климатическим условиям г. Ханты-Мансийска (324П-0000010РР)	74
3. Тепловой баланс двухрельсового автомобиля (юнибуса) модели Ю-324П исполнения 01 (324П-0000010-01РР)	105
4. Расчет на статическую и динамическую устойчивость двухрельсового автомобиля (юнибуса) модели Ю-324П (324П-0000010-02РР)	130

Резюме

Двухрельсовый автомобиль (юнибус) модели Ю-324П колеей 1,5 м разработан ООО «Струнный транспорт Юницкого» для городского двухрельсового двухпутного струнного транспорта Юницкого (СТЮ), колеей 1,5 м, в г. Ханты-Мансийске — центре управления экономикой обширной территории Ханты-Мансийского автономного округа—Югры с огромным природно-ресурсным потенциалом.

Разработаны четыре варианта юнибуса, два из которых высокоаэродинамичны и будут потреблять меньше энергии на движение (на 50%), но будут дороже в производстве (на 10—14 тыс. USD), а два других варианта — имеют улучшенную эргономику и будут дешевле в производстве, но менее экономичны по расходу энергии на движение.

Вместимость юнибуса — 12 пассажиров (из них 6 для сидения), масса (с пассажирами) — 2,4 тонны, эксплуатационная скорость — 60 км/ч, средняя скорость на перегоне — 40,6 км/ч, максимальный продольный уклон пути – 8,8% при встречном ветре 54 км/ч, время в пути между остановками (станциями «второго уровня»), отстоящими друг от друга на расстоянии 1 км, — 1,5 мин.

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. Для обеспечения аварийных режимов работы (например, из-за выхода из строя одного из двух двигателей), модуль имеет два силовых блока с электродвигателями мощностью по 7,5 кВт каждый — по двигателю на колесную пару. Избыточная мощность привода позволяет, при необходимости, получать юнибусу на длинных горизонтальных перегонах более высокие скорости движения — до 100 км/ч и выше для юнибуса исполнений 01 и 04, и 75 км/ч — для исполнений 02 и 03.

Выполнены тягово-динамические расчеты юнибуса и его тепловой баланс: определена мощность отопителя в зимний период года при температуре наружного воздуха –60 °С — 5 кВт, а также мощность кондиционера в летний период при температуре воздуха +40 °С — 6,2 кВт. Определена устойчивость юнибуса на рельсо-струнной путевой структуре при асимметричном размещении пассажиров в салоне и штормовом боковом ветре: во всех вариантах исполнения, при оснащении юнибусов

противосходной системой, они могут эксплуатироваться на трассе «второго уровня» при боковом ветре 300 км/ч и более.

В юнибусе предусмотрены: автоматические стыковочные узлы для транспортировки аварийного модуля до ближайшей станции или гаража-парка; троекратно продублированная система эвакуации пассажиров, в том числе, при необходимости, — их спуск на землю, а также — автоматическая и ручная системы пожаротушения.

Благодаря своим конструктивным особенностям, не имеющим аналогов в мире, СТЮ имеет беспрецедентно высокую эффективность. Например, на городской трассе, с остановками каждые 1000 м, двенадцатиместный юнибус будет потреблять всего 7,1 кВт·ч электроэнергии на 100 км пути, или, в переводе на дизельное топливо, — 2,1 л/100 км (в переводе на одного пассажира — 0,18 л/100 пасс·км).

Парк городских юнибусов в количестве 30—40 шт. обойдется Заказчику примерно в 2 млн. USD, т.е. столько, сколько стоит один современный сочлененный трамвайный вагон известной компании *Bombardier*. Но, в отличие от одного трамвайного вагона вместимостью 180 пассажиров, парк 12-местных юнибусов способен перевезти в перспективе по 15-тикилометровой городской трассе СТЮ до 150 миллионов пассажиров в год. При этом на одну поездку пассажира (в среднем на дальность 3 км) будет расходоваться всего 19,1 Вт·ч электроэнергии стоимостью 0,00191 USD (или 5 копеек). Учитывая другие невысокие эксплуатационные издержки (небольшой обслуживающий персонал, т.к. система автоматизирована; нет необходимости очищать зимой путевую структуру от снега и льда, а летом — мыть юнибус от грязи и т.п.), себестоимость проезда пассажира на городской трассе СТЮ в г. Ханты-Мансийске будет невысокой, в пределах 1 руб./пасс. Поэтому высотные рельсо-струнные городские трассы и юнибусы будут высокорентабельными (рентабельность более 200—300%) и быстро окупятся, даже при невысоких пассажиропотоках, характерных для городов с небольшим населением, таких как г. Ханты-Мансийск.



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

«12» августа 2007 г.

**1. Пояснительная записка
к выбору типа двухрельсового автомобиля (юнибуса)
(по колее, расчетной скорости движения и вместимости)
и подготовке технического предложения по нему
применительно к природно-климатическим условиям
г. Ханты-Мансийска**

Содержание пояснительной записки

1.1. Введение	9
1.1.1. Основание для разработки	9
1.1.2. Наименование Заказчика	9
1.1.3. Назначение, область применения и цель разработки	9
1.1.4. Обоснование выбора типа юнибуса (по колее, расчетной скорости движения и вместимости)	10
1.2. Технические характеристики юнибуса	14
1.3. Технические решения, используемые при разработке юнибуса модели Ю-324П	30
1.3.1. Компоновка	30
1.3.2. Корпус и внешние формы	34
1.3.3. Силовая установка	36
1.3.4. Силовая передача	37
1.3.5. Ходовая система	38
1.3.6. Тормозная система	41
1.3.7. Электрооборудование	41
1.3.8. Автоматизированная система управления движением	50
1.3.9. Система отопления	53
1.3.10. Система вентиляции и кондиционирования	54
1.3.11. Пассажирская дверь с механизмом открывания	54
1.3.12. Пассажирские сиденья	56
1.3.13. Информационное табло	56
1.3.14. Система пожаротушения	57
1.3.15. Устройство сцепное автоматическое	58
1.3.16. Система эвакуации пассажиров	59
1.4. Краткие сведения о высотном городском двухпутном автоматизированном СТЮ для г. Ханты-Мансийска	59

1.4.1. Рельс-струна	60
1.4.2. Струна	61
1.4.3. Рельсо-струнная путевая структура	61
1.4.4. Опоры	61
1.4.5. Инфраструктура «второго уровня»	62
1.4.6. Организация движения юнибусов Ю-324П	63
1.4.7. Потребительские характеристик городских юнибусов	65
1.4.7.1. Комфортность	65
1.4.7.2. Безопасность	66
1.4.7.3. Экологичность	67
1.4.7.4. Доступность	68
1.4.7.5. Другие экономические и неэкономические факторы	69
1.5. Техничко-экономические показатели юнибуса модели Ю-324П	71
1.6. Организация разработки и производства юнибуса	73
1.6.1. Сроки разработки	73
1.6.2. Головной разработчик и соисполнители разработки	73
1.6.3. Количество изготавливаемых опытных образцов, место проведения испытаний	73
1.6.4. Изготовитель опытного образца	73

1.1. Введение

1.1.1. Основание для разработки

Основанием для разработки двухрельсового автомобиля (юнибуса) модели Ю-324П колесей 1500 мм, применительно к природно-климатическим условиям г. Ханты-Мансийска (см. рис. 1.1), является государственный контракт № ____ от «__» _____ 2007 г. на разработку технико-экономического обоснования строительства высотной городской пассажирской двухпутной струнной транспортной системы в г. Ханты-Мансийске.



Рис. 1.1. Город Ханты-Мансийск (июль 2006 г.)

1.1.2. Наименование Заказчика

Департамент инвестиций, науки и технологий Ханты-Мансийского автономного округа — Югры.

1.1.3. Назначение, область применения и цель разработки

Двухрельсовый автомобиль (далее юнибус) модели Ю-324П предназначен для высотной городской пассажирской двухпутной струнной транспортной системы (с

колеей 1500 мм) в городе Ханты-Мансийске, самом современном и динамично развивающемся городе Ханты-Мансийского автономного округа — Югры.

Целью разработки опытного образца юнибуса является проверка конструкторских и технологических решений и уточнение отдельных характеристик для использования их при разработке конструкций рельсовых автомобилей для городского струнного транспорта Юницкого (СТЮ) в городе Ханты-Мансийске.

Юнибус модели Ю-324П разрабатывается впервые, заменяемое изделие отсутствует.

1.1.4. Обоснование выбора типа юнибуса (по колее, расчетной скорости движения и вместимости)

Стандарты разработчика СТЮ — 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

По предварительным рабочим результатам разрабатываемого в настоящее время ООО «СТЮ» проекта «Генеральная транспортная стратегия применения и создания трасс струнного транспорта Юницкого (СТЮ) в Ханты-Мансийском автономном округе — Югре», согласно Государственному контракту № 7у от 31.05.2007 г., наиболее подходящим типом двухрельсового СТЮ, способным обеспечить в перспективе транспортные услуги в Ханты-Мансийском автономном округе — Югре с интеграцией в общую транспортную инфраструктуру Российской Федерации, является средний тип двухрельсового СТЮ с колеей 1500 мм (см. рис. 1.2).

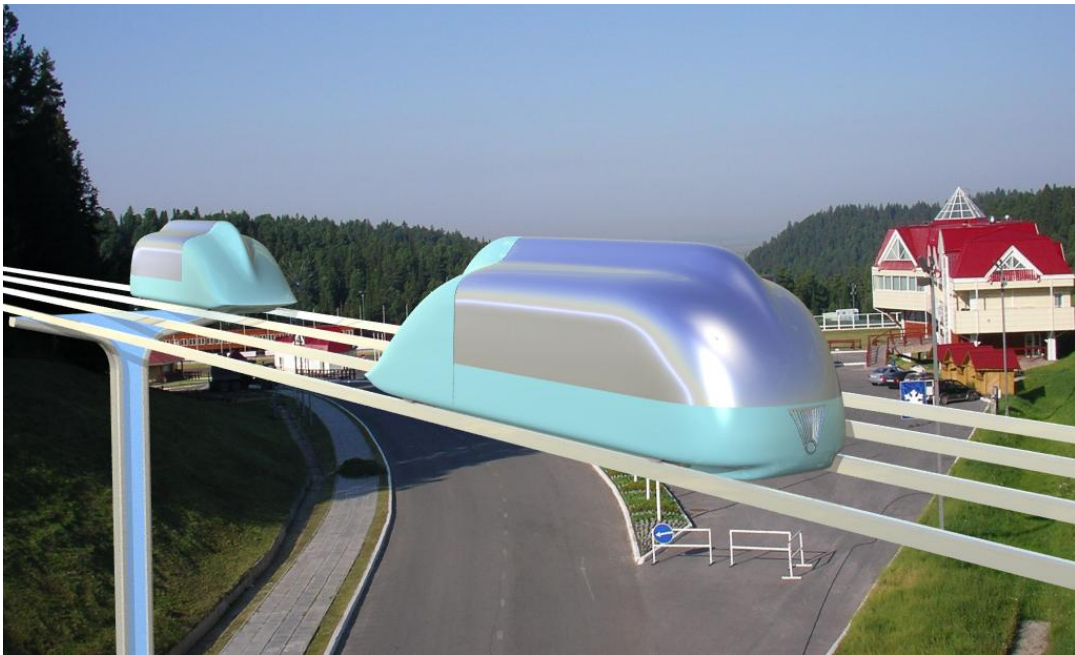


Рис. 1.2. Средний двухрельсовый СТЮ

(показан въезд высокоскоростного юнибуса на городскую трассу СТЮ в г.Ханты-Мансийске)

Для создания единой сети рельсо-струнной путевой структуры с типовой инфраструктурой в ХМАО—Югре целесообразно унифицировать ширину колеи 1500 мм высокоскоростных междугородных двухрельсовых СТЮ «второго уровня» с колеями 1500 мм путевой структуры городского двухпутного электрифицированного СТЮ в городе Ханты-Мансийске. Поскольку срок службы СТЮ составит не менее 100 лет, то колею рельсо-струнных трасс «второго уровня» необходимо определять исходя из перспективных транспортных целей и задач. Средний двухрельсовый СТЮ при относительно невысокой стоимости рельсо-струнной путевой структуры и опор (около 1 млн.USD/км) обеспечит в перспективе большой объем высокоскоростных (в городе до 150 км/ч, между городами и регионами — до 500 км/ч) объем пассажирских и грузовых перевозок, соответственно, не менее 100 тыс. пасс./сутки и 10 тыс. тонн/сутки.

При оговоренной стандартом для среднего СТЮ полезной нагрузке 1000 кг, средней массе пассажира 71 кг (согласно правил ЕЭК ООН № 52 «Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения транспортных средств категорий М₂, М₃ в отношении их общей конструкции») и ручной клади 4—6 кг, один юнибус, соответствующий среднему типу двухрельсового СТЮ, может вместить 12—13 пассажиров. Двенадцатиместный юнибус модели Ю-324П, предлагаемый

Заказчику, как основа подвижного состава высотного городского двухпутного электрифицированного СТЮ в городе Ханты-Мансийске, кроме перевозки пассажиров, будет удовлетворять также требованиям, предъявляемым к городскому общественному транспорту по перевозке детских и инвалидных колясок. Кроме того, эти юнибусы легко могут быть переоборудованы для перевозок грузов в количестве до 1—1,5 т (при перевозке грузов допустим коэффициент перегрузки, равный 1,5).

В настоящее время в качестве транспортных средств общего пользования в Ханты-Мансийске задействованы автобусы городского типа, курсирующие на 17-ти маршрутах города и пригорода, как основной вид общественного транспорта. По данным служб мониторинга пассажирских перевозок разных городов РФ средняя скорость движения городских автобусов находится в интервале 15—20 км/ч при разрешенной в городах максимальной эксплуатационной скорости в 60 км/ч. Столь значительная разница в скоростях вызвана во многом дорожными условиями, наличием светофоров и пересечений в одном уровне с другими видами транспорта и пешеходами. Так, например, на автобусном маршруте № 11 города Ханты-Мансийска (см. рис. 1.3) имеются 26 светофоров, три пешеходных перекрестка и три участка ограничения скорости движения до 30 км/ч. Движение рельсовых автомобилей по рельсо-струнной путевой структуре не зависит от вышеприведенных факторов, благодаря чему средняя скорость движения юнибусов может быть много выше 15—20 км/ч. Как показывают результаты тягово-динамического расчета юнибуса модели Ю-324П, применительно к природно-климатическим условиям г. Ханты-Мансийска (см. далее документ 324П-0000010РР, п. 2) наиболее оптимальной эксплуатационной скоростью движения юнибуса является скорость 60 км/ч, при этом средняя скорость на маршруте составит 40,6 км/ч, что в 2,0—2,7 раза превышает аналогичный показатель городских автобусов. Благодаря высокой средней скорости 3—4 юнибуса пассажироместимостью 12 человек способны заменить большой городской автобус с пассажироместимостью 100 человек. Стоимость современных полностью низкопольных городских автобусов, оснащенных импортными силовыми агрегатами и системами (например, МА3203 комплектации: дизельный двигатель Mercedes-Benz OM906LA, автоматическая коробка передач ZF 6P3 502C, пневмоподвеска с электронным управлением, кондиционер и др.), составляет на настоящее время 150—200 тыс. USD. Прогнозируемая стоимость юнибуса модели Ю-324П, в частности

исполнения 02, при среднесерийном производстве не будет превышать 50 тыс. USD. Таким образом, затраты, связанные с приобретением электрического подвижного состава для городского пассажирского двухрельсового двухпутного электрифицированного СТЮ, практически будут соответствовать уровню сегодняшних затрат при обновлении автобусного парка Ханты-Мансийского автотранспортного предприятия. При этом, в отличие от автобусов, электрические юнибусы являются экологически чистыми и, кроме того, в пересчете на одного перевезенного пассажира, будут потреблять в 2—3 раза меньше энергии, которая, к тому же, будет в 3—4 раза дешевле. Таким образом, применение электрических юнибусов на стальных колесах будет в 6—12 раз эффективнее городских автобусов на пневматических шинах и с двигателем внутреннего сгорания.

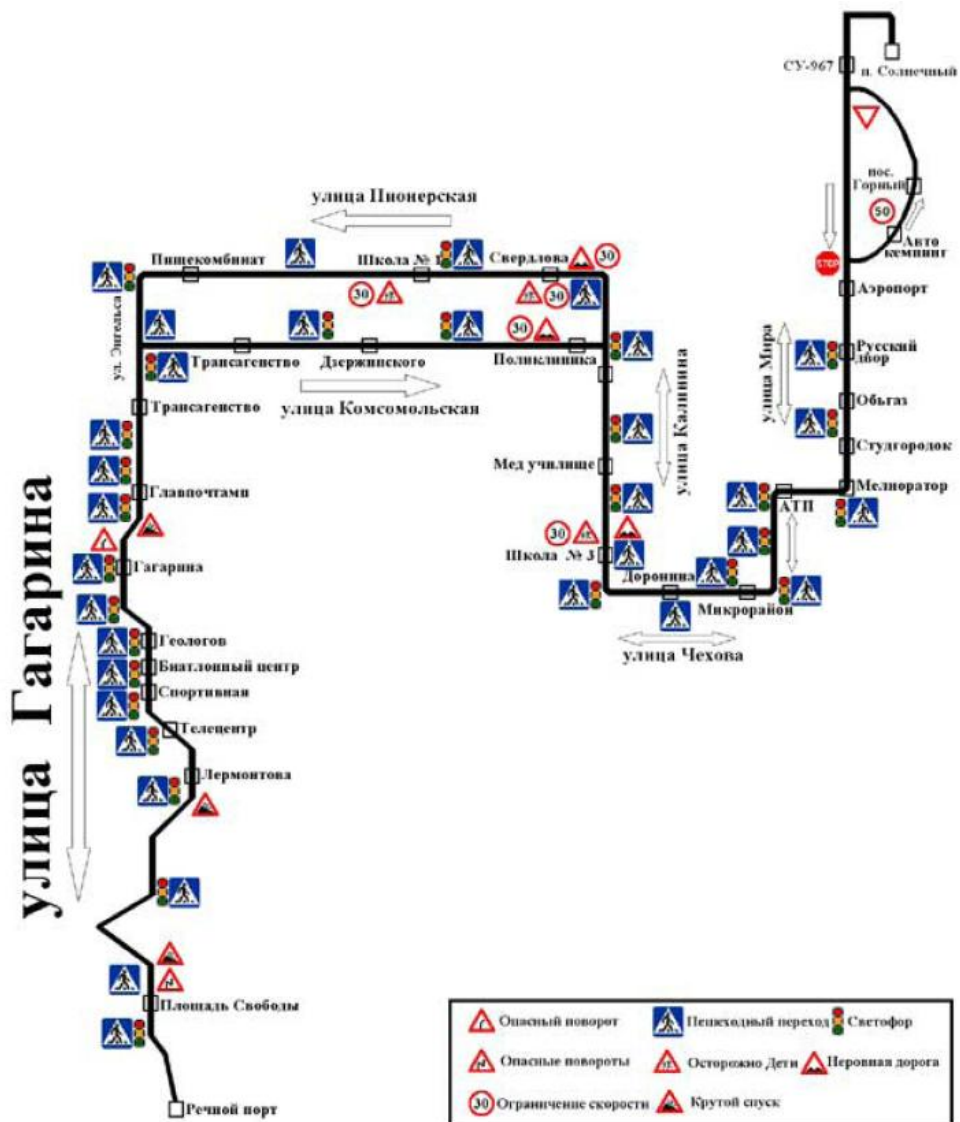


Рис. 1.3. Автобусный маршрут № 11 «Речной порт — п. Солнечный» в городе Ханты-Мансийске

1.2. Технические характеристики юнибуса

В целях предоставления Заказчику возможности выбора наиболее приемлемой конструкции по технико-экономическим показателям и его предпочтениям по дизайну подвижного состава городского СТЮ, юнибус модели Ю-324П 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 этот юнибус наиболее сложен (внешний вид – см. рис. 1.4; габаритный чертеж — см. рис. 1.8; чертеж общего вида — см. рис. 1.9);
- **исполнение 02** — корпус юнибуса состоит из плоских элементов, коэффициент лобового аэродинамического сопротивления $C_w = 0,5$, что увеличивает потребление электроэнергии в эксплуатации на 49%. Однако он прост в изготовлении и имеет наименьшую стоимость (внешний вид – см. рис. 1.5; габаритный чертеж — см. рис. 1.10; чертеж общего вида — см. рис. 1.11);
- **исполнение 03** — корпус юнибуса отличается от исполнения 02 закругленной формой носовой и кормовой частей и других обводов (внешний вид — см. рис. 1.6). В сравнении с исполнением 02 такой юнибус более сложен в изготовлении (габаритный чертеж — см. рис. 1.12; чертеж общего вида — см. рис. 1.13);
- **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. 1.7). В сравнении с исполнением 01 он менее сложен в изготовлении (габаритный чертеж — см. рис. 1.14; чертеж общего вида — см. рис. 1.15).

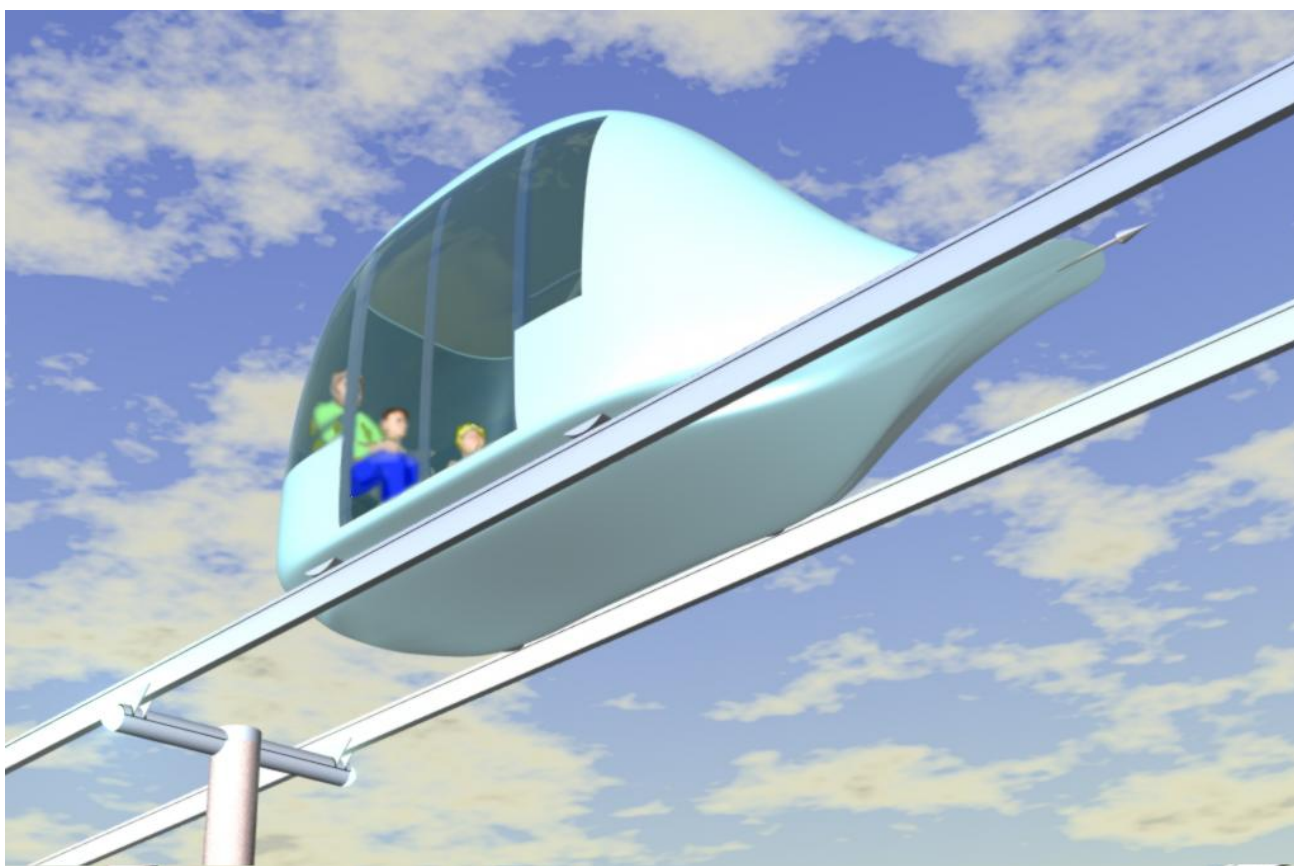
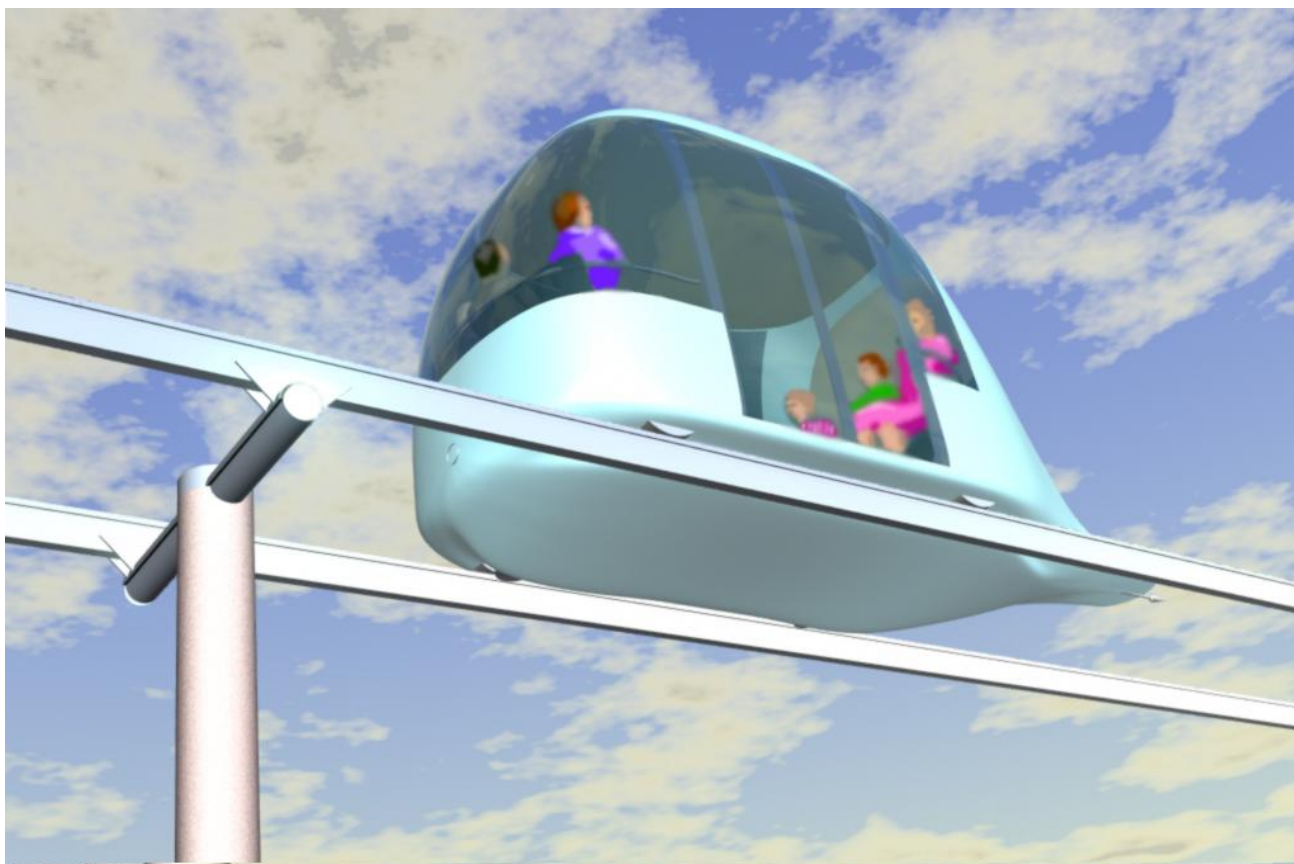


Рис. 1.4. Юнибус Ю-324 исполнения 01 (вид спереди и сзади)

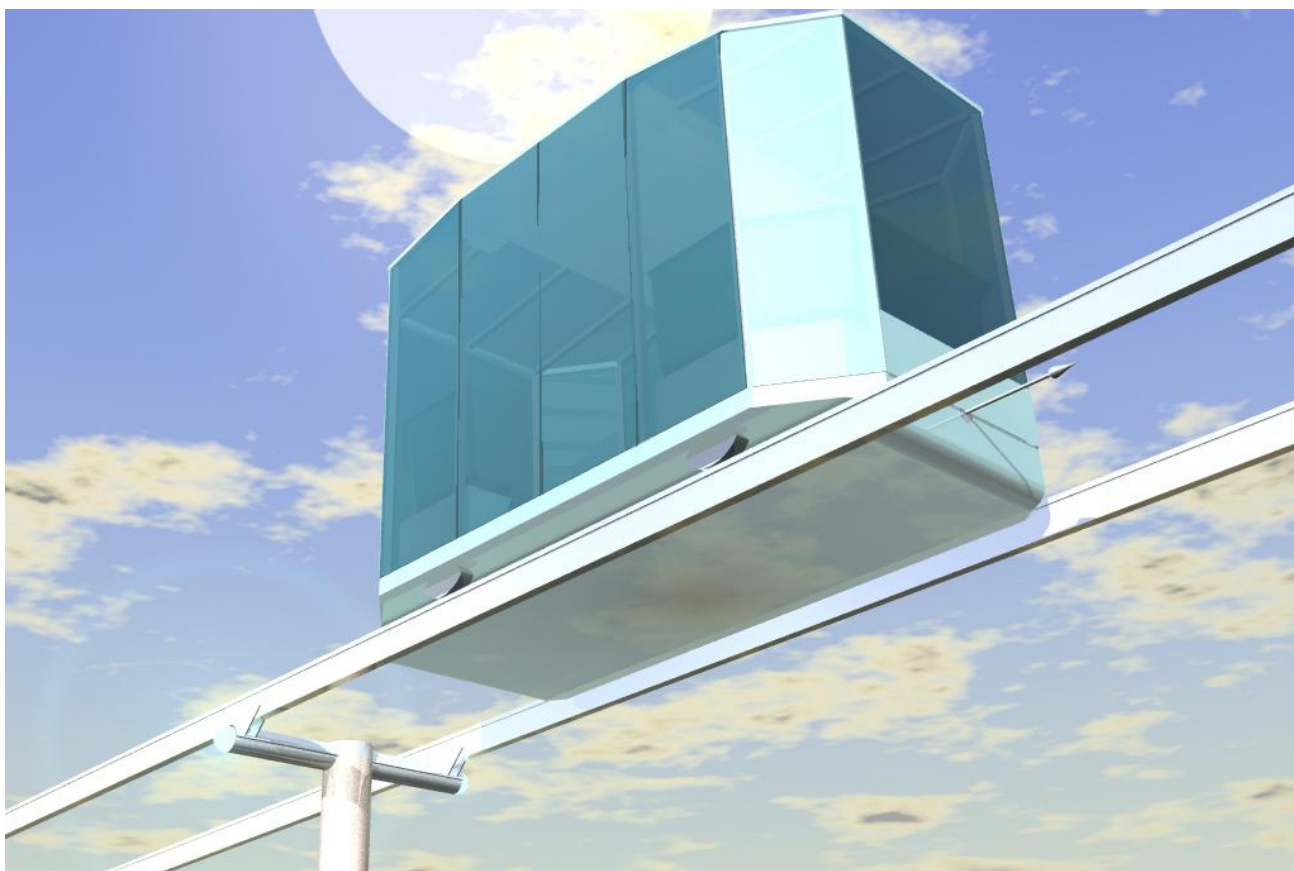
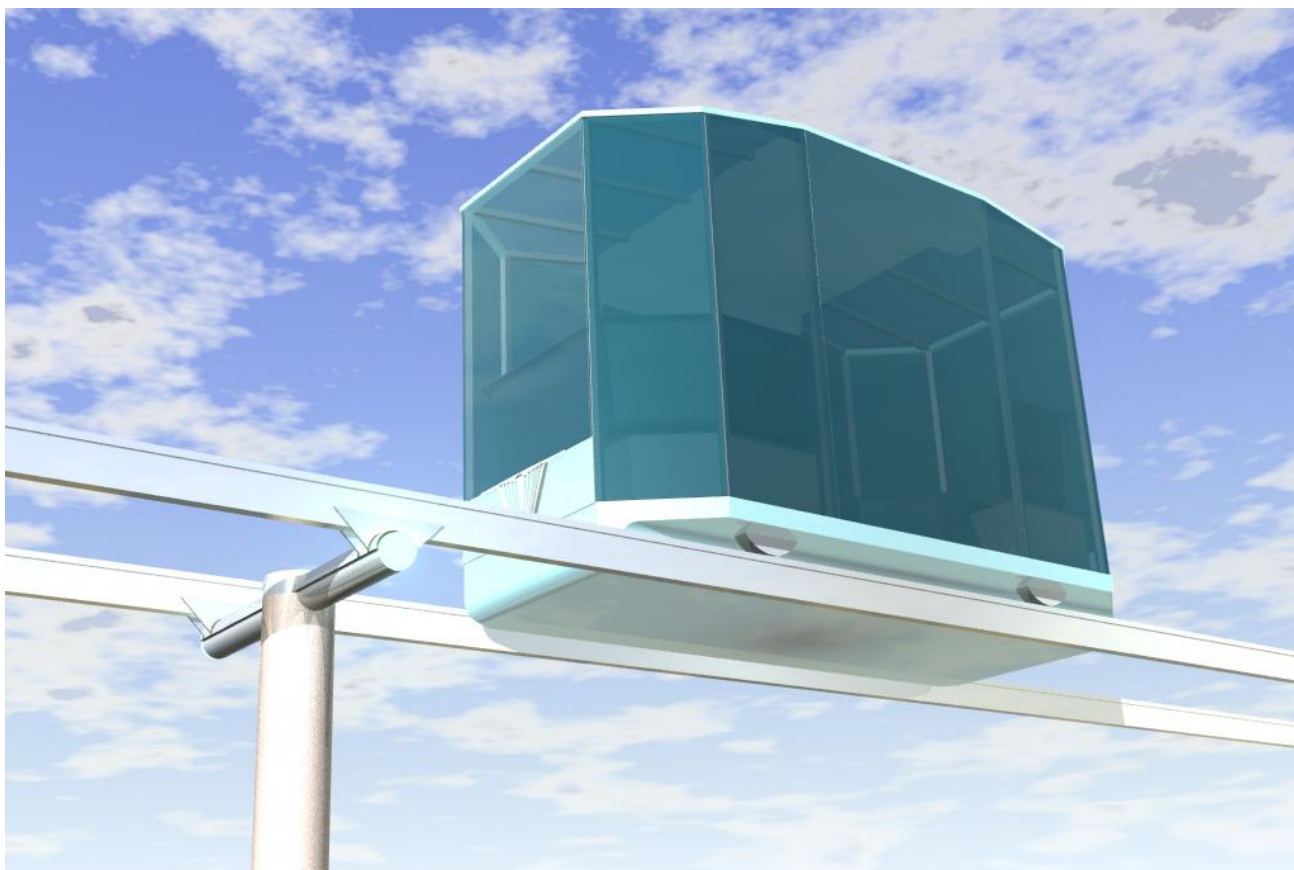


Рис. 1.5. Юнибус Ю-324 исполнения 02 (вид спереди и сзади)

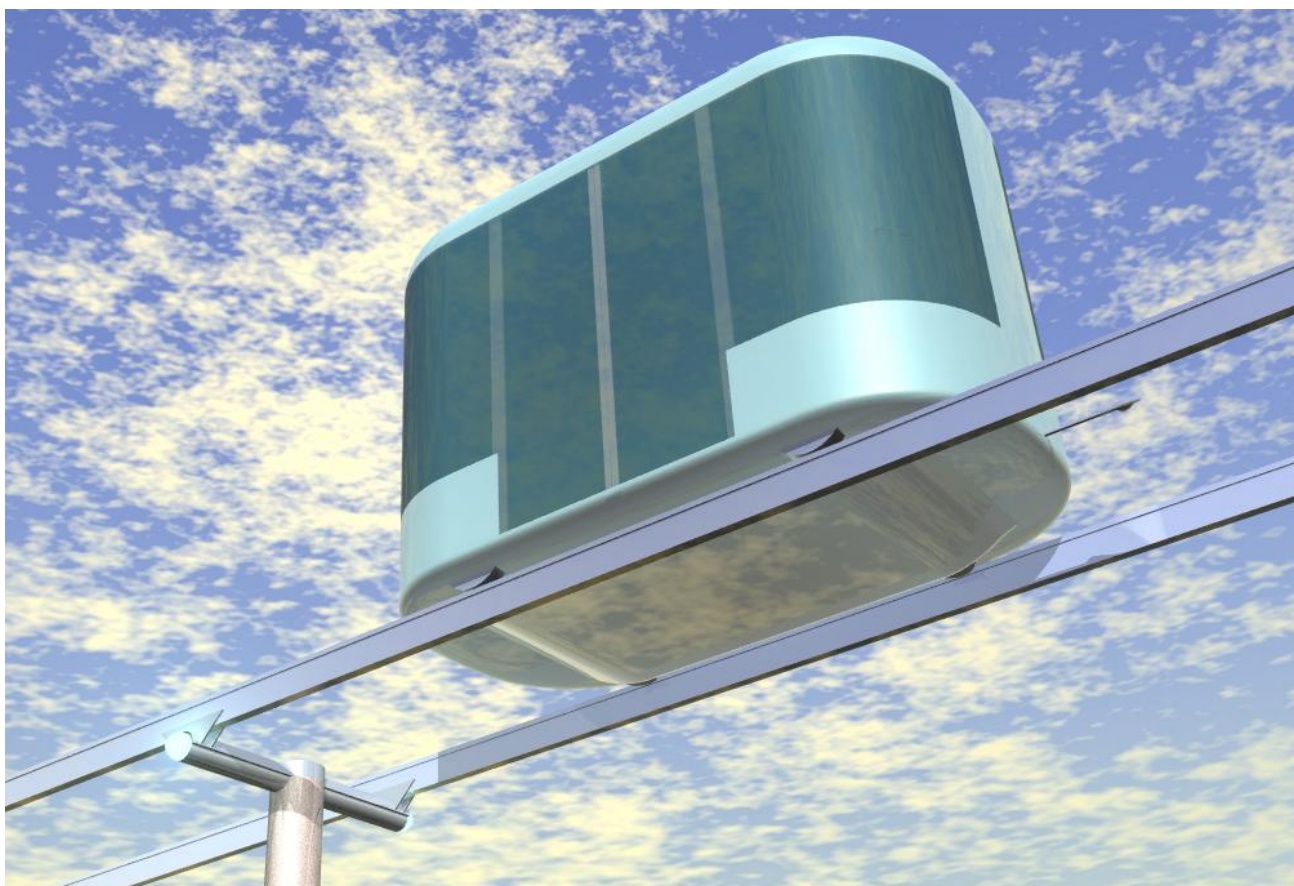
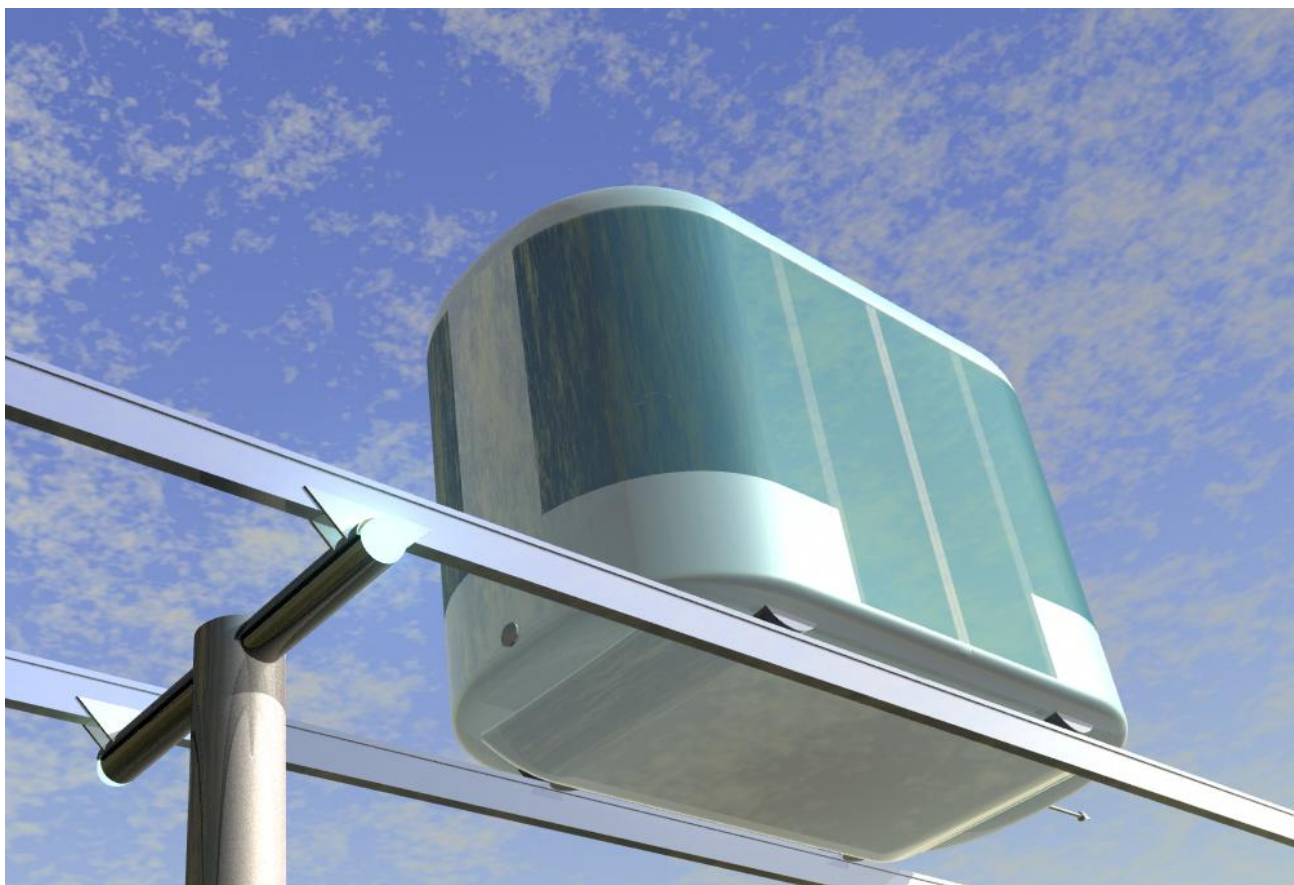


Рис. 1.6. Юнибус Ю-324 исполнения 03 (вид спереди и сзади)

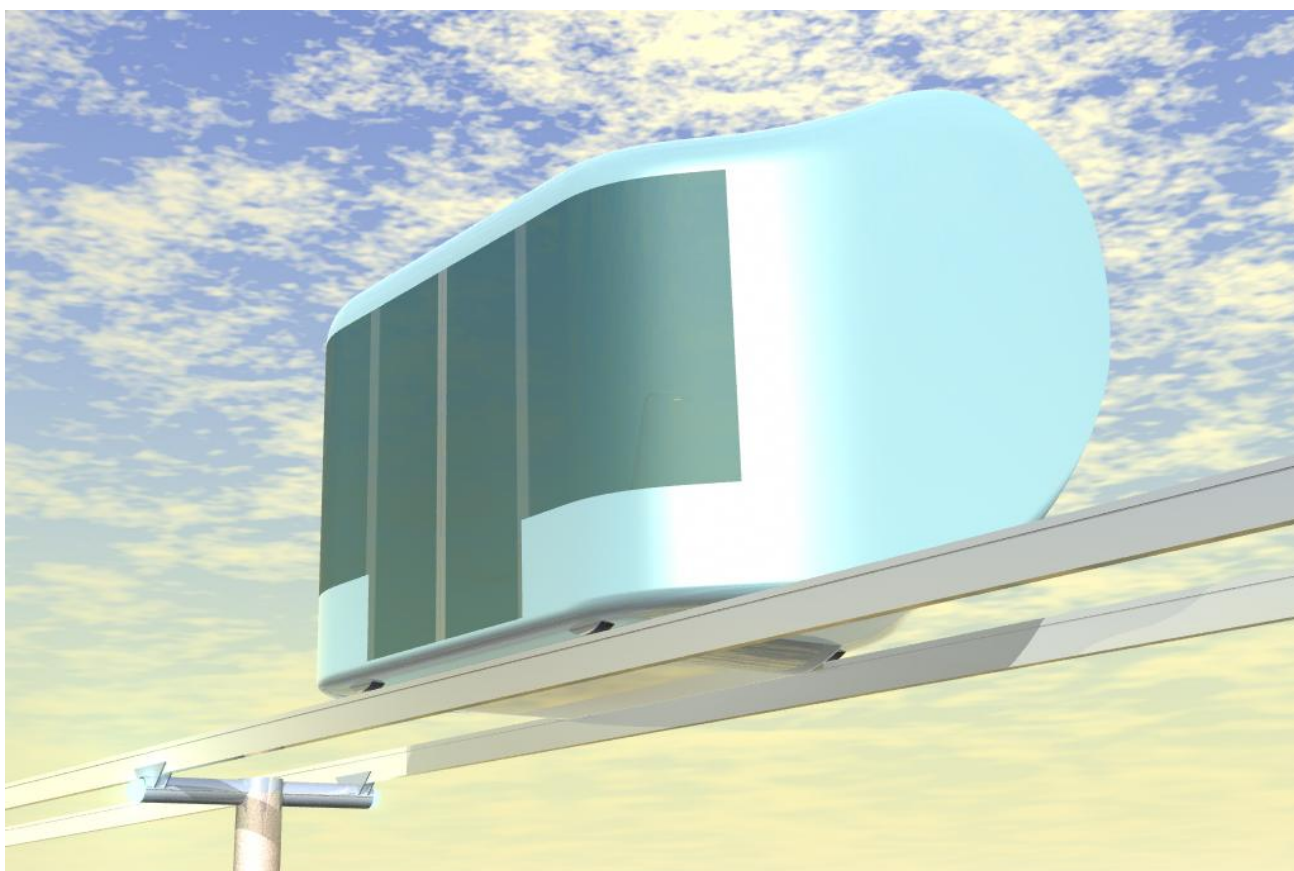
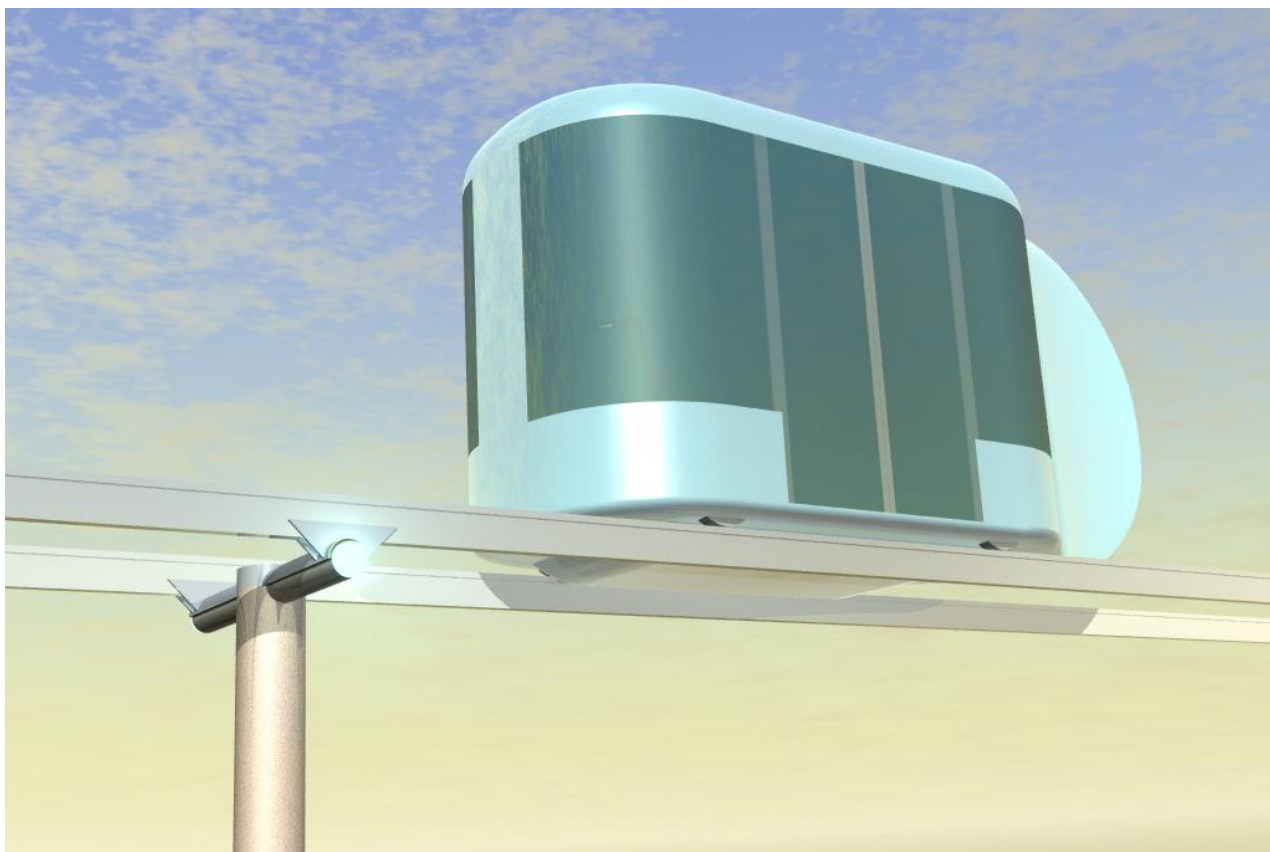


Рис. 1.7. Юнибус Ю-324 исполнения 04 (вид спереди и сзади)

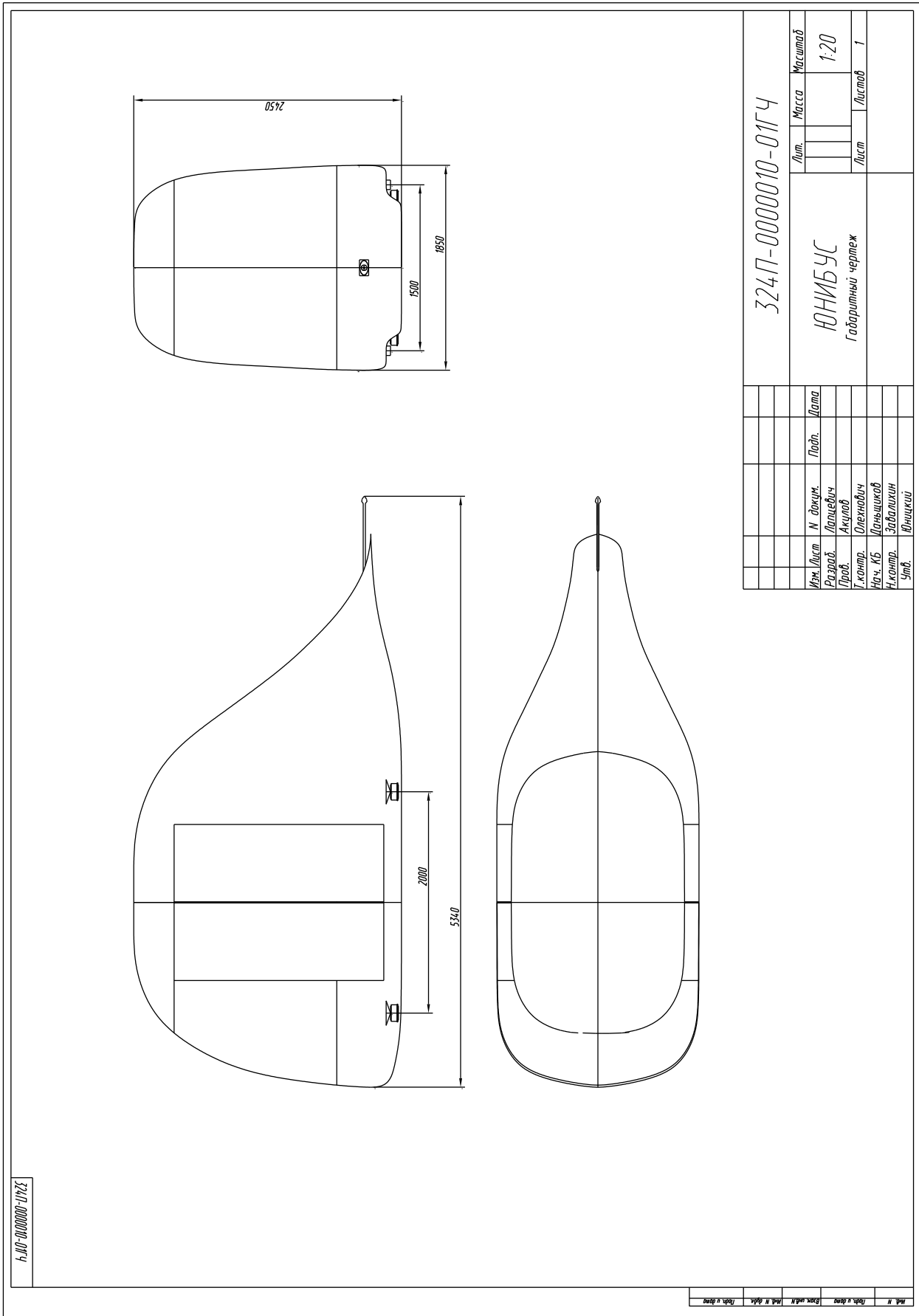


Рис. 1.8. Габаритный чертеж городского пассажирского юнибуса модели Ю-324П исполнения 01

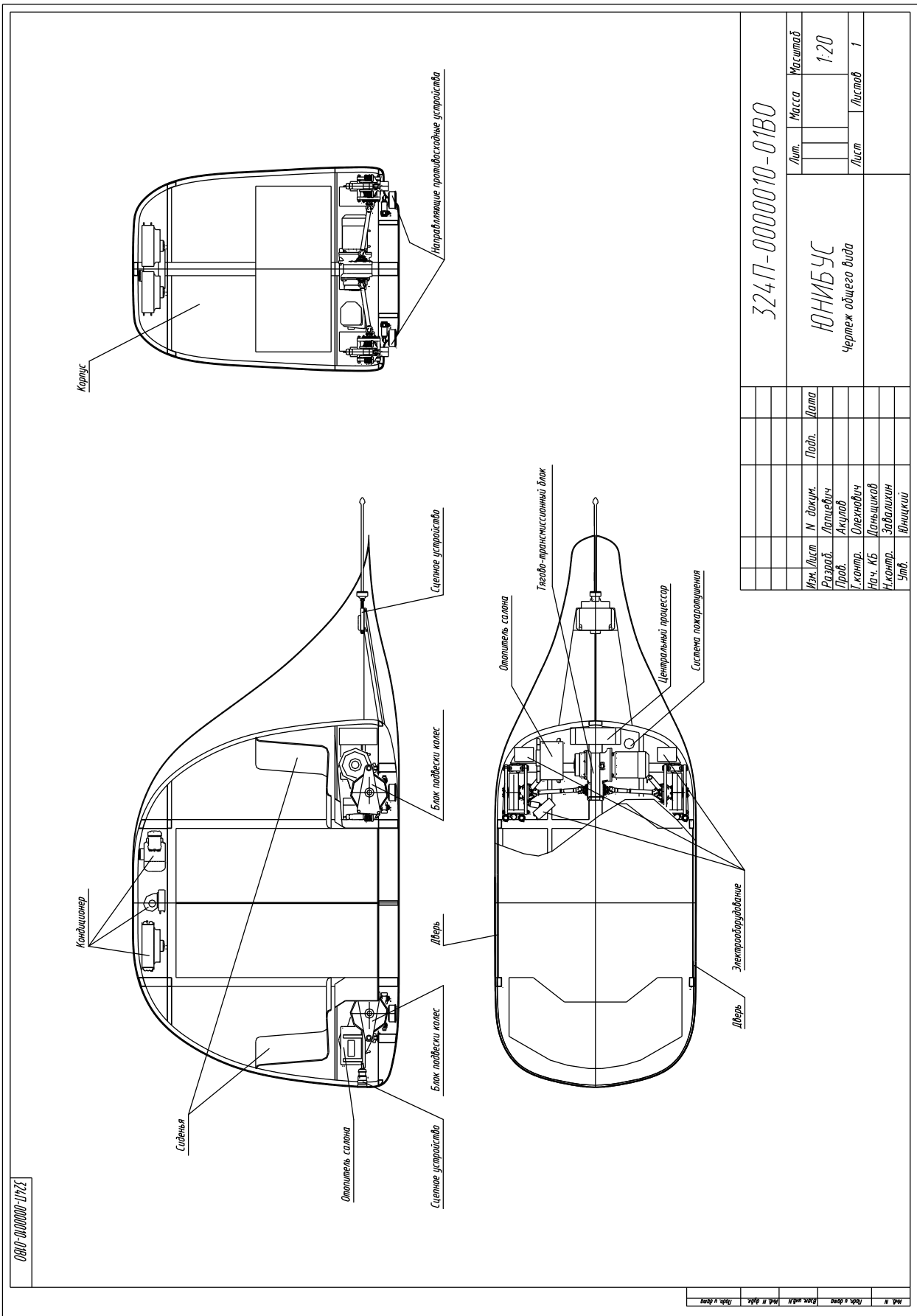
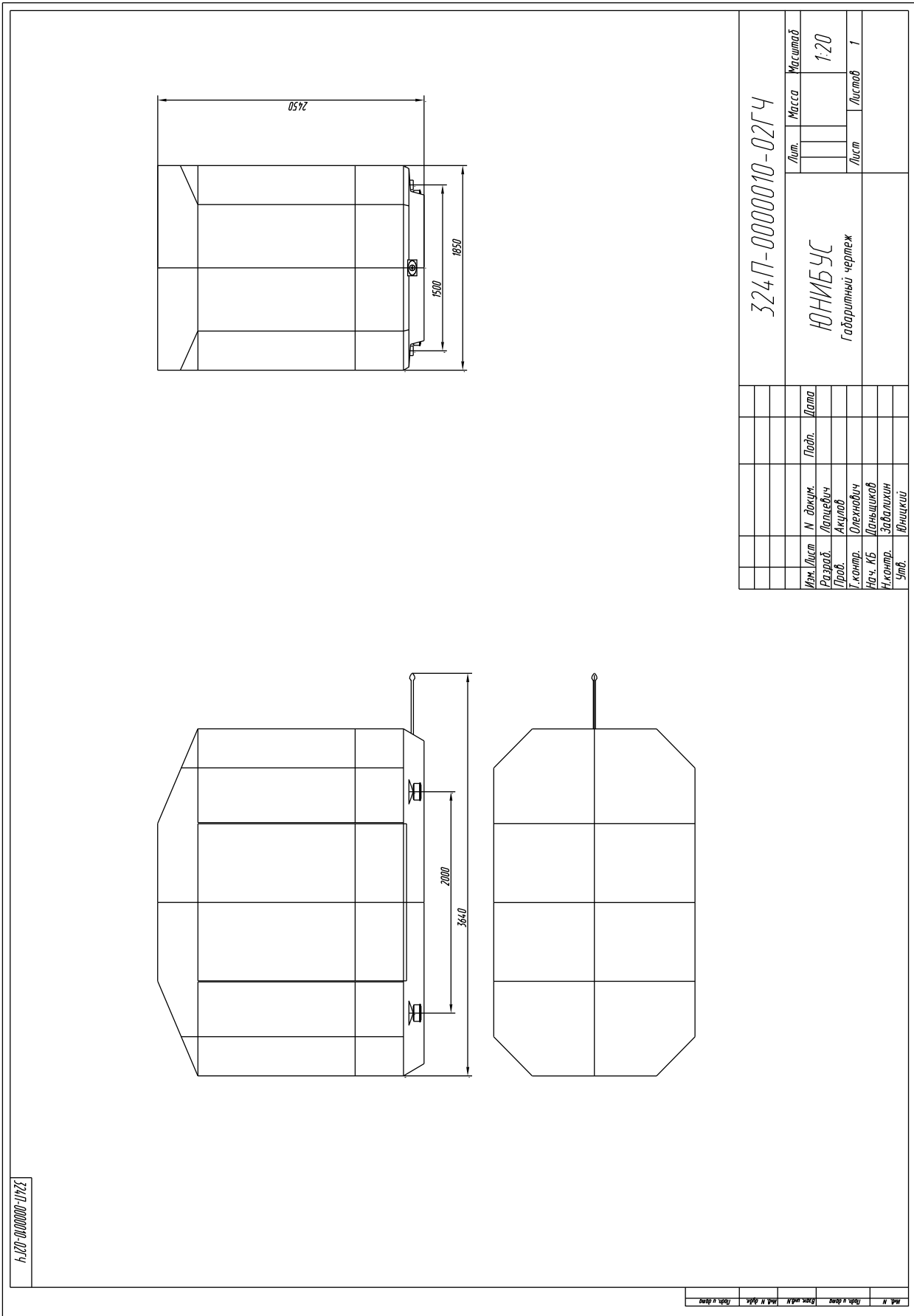


Рис. 1.9. Чертеж общего вида городского пассажирского юнибуса модели Ю-324П исполнения 01



324П-0000010-02ГЧ

Изм. И. докуч. Подп. Дата

Рис. 1.10. Габаритный чертеж городского пассажирского юнибуса модели Ю-324П исполнения 02

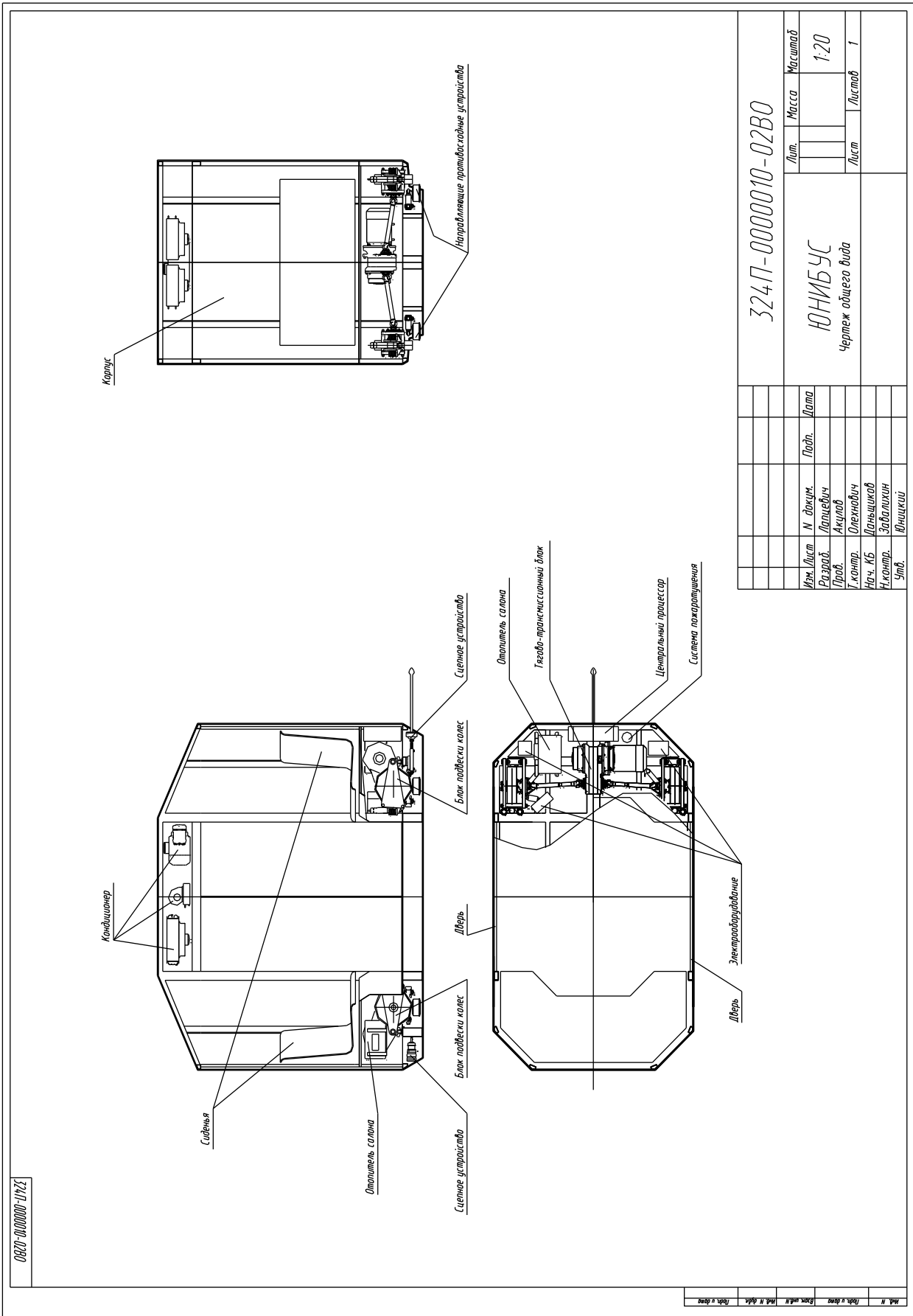
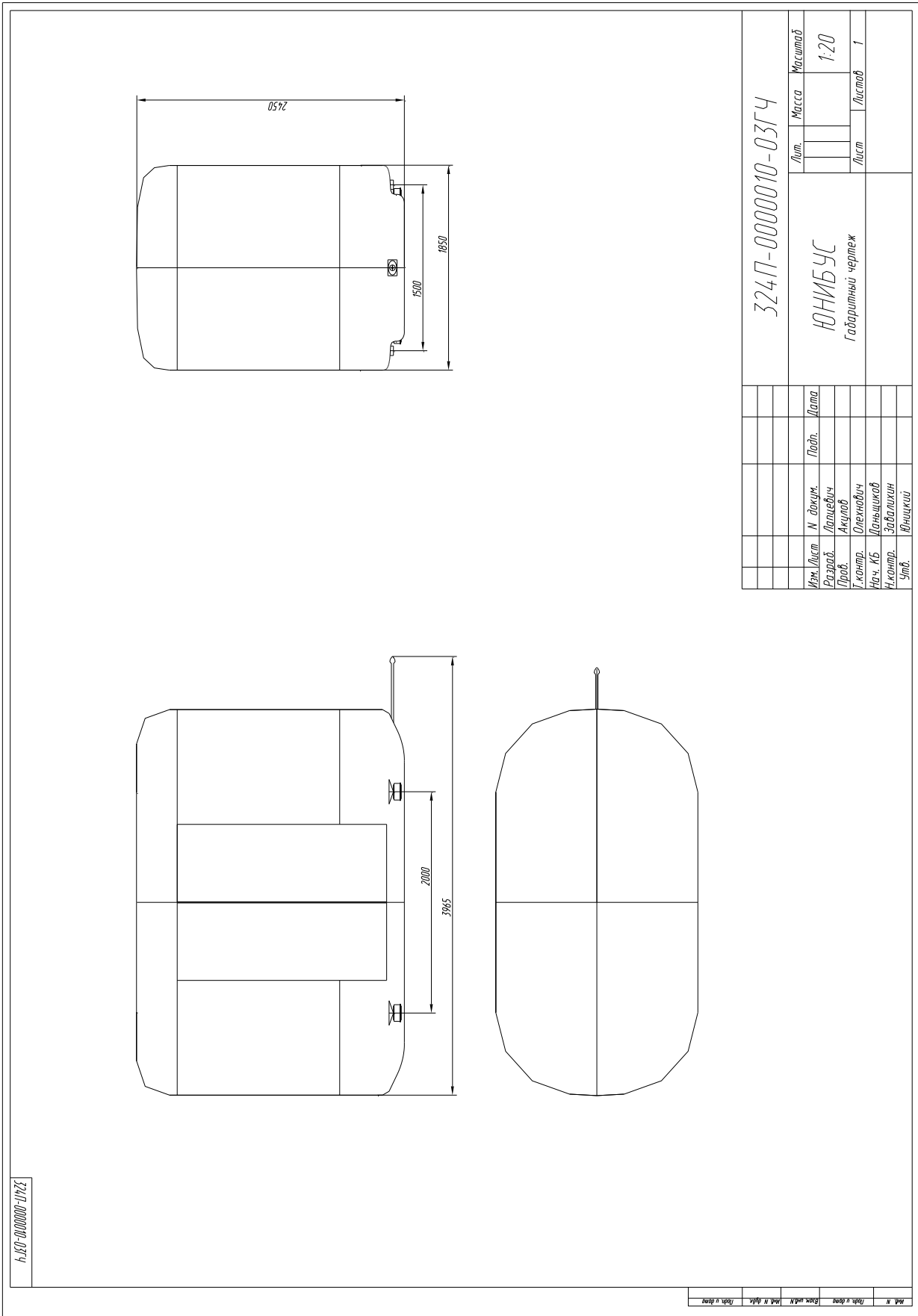


Рис. 1.11. Чертеж общего вида городского пассажирского юнибуса модели Ю-324П исполнения 02



324П-0000010-03ГЧ

Рис. 1.12. Габаритный чертеж городского пассажирского юнибуса модели Ю-324П исполнения 03

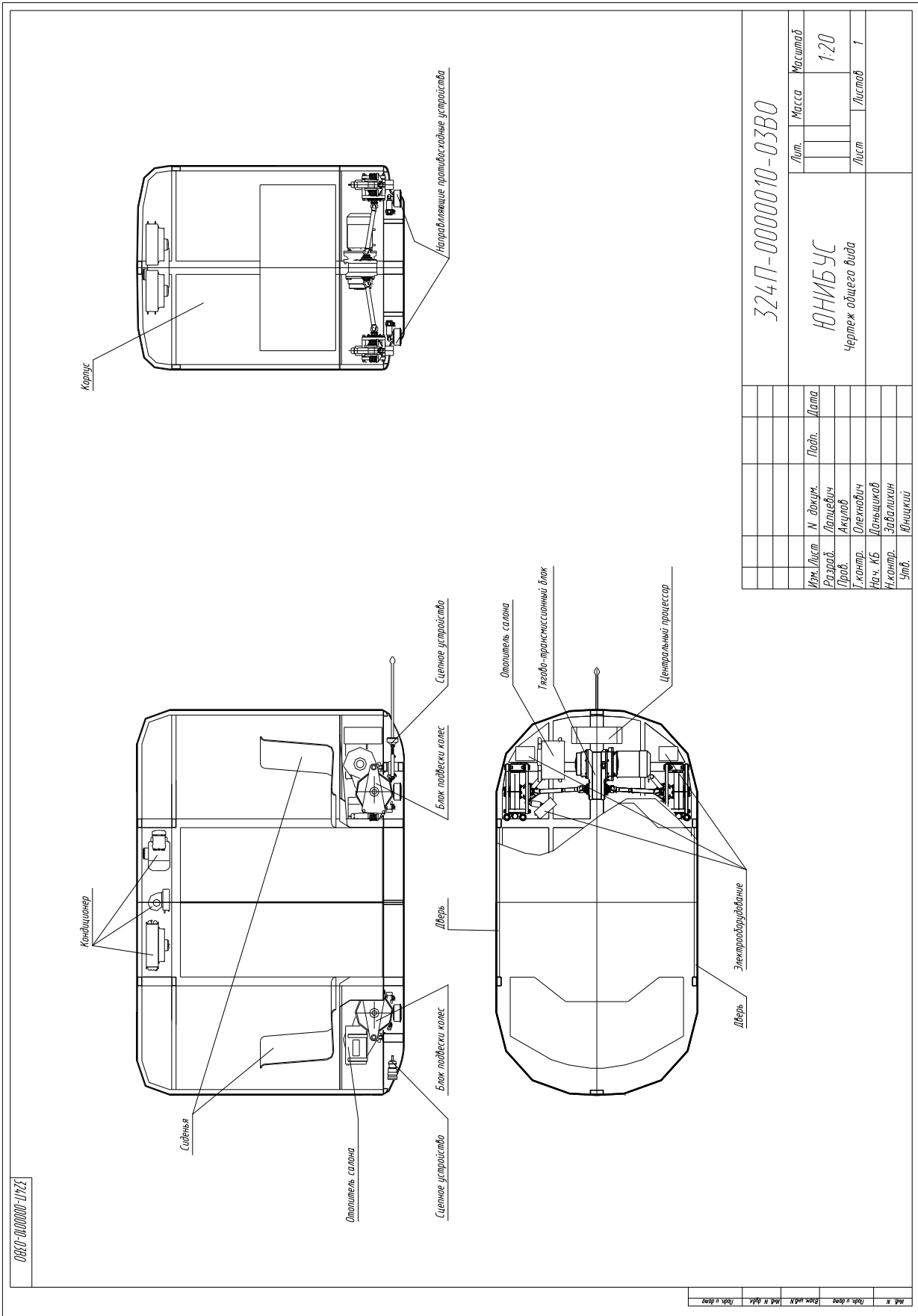


Рис. 1.13. Чертеж общего вида городского пассажирского юнибуса модели Ю-324П исполнения 03

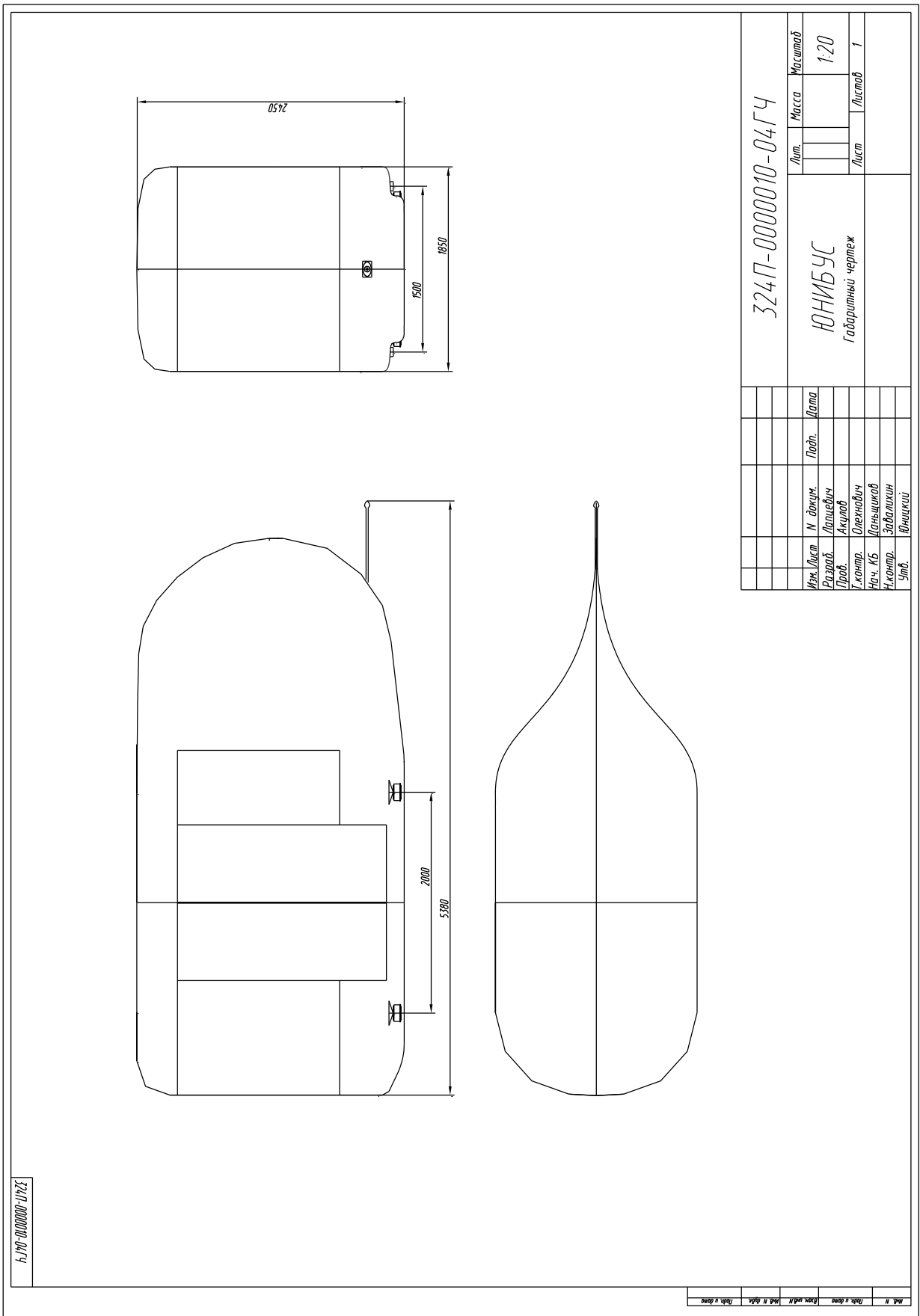
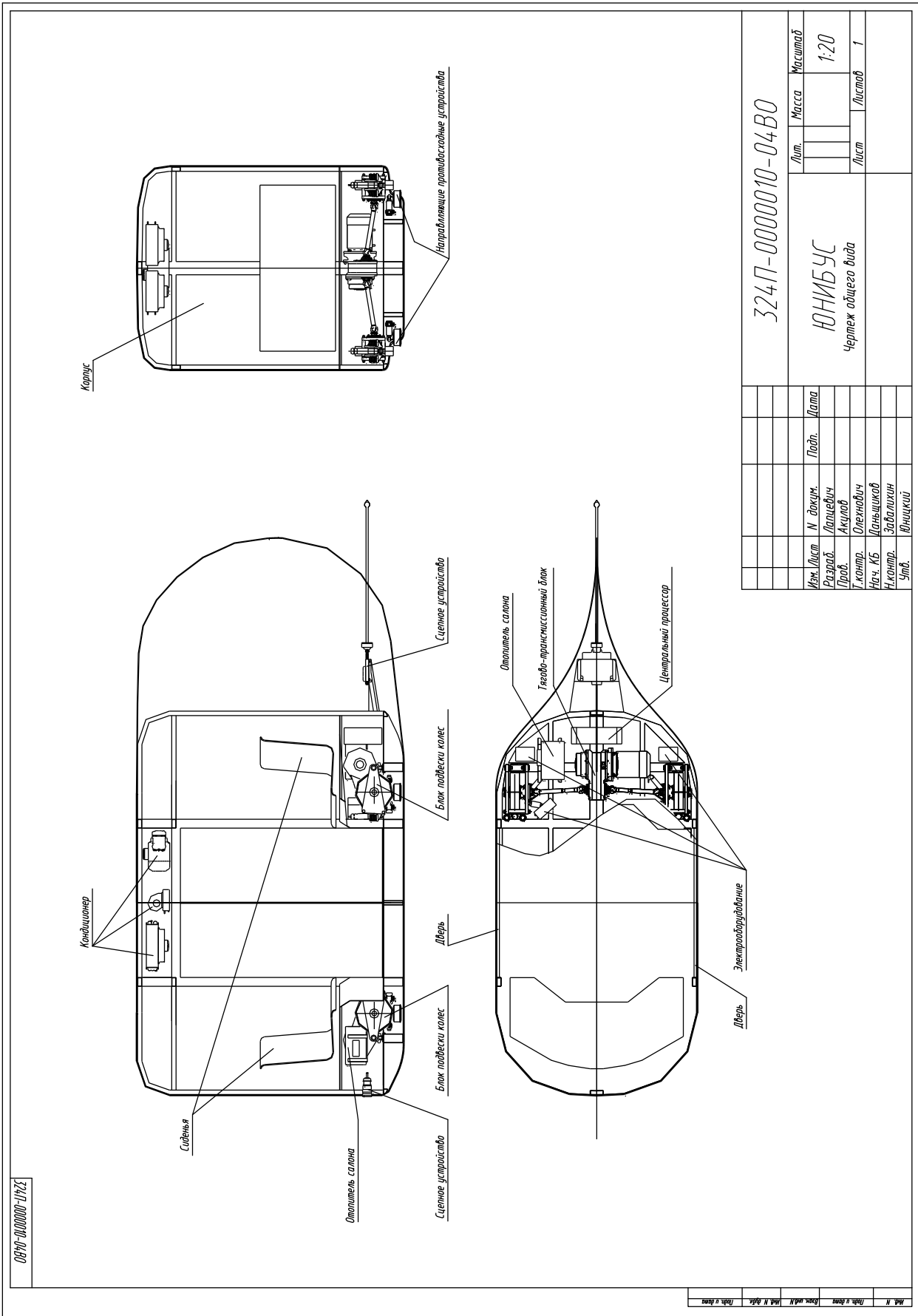


Рис. 1.14. Габаритный чертеж городского пассажирского юнибуса модели Ю-324П исполнения 04



324П-0000010-04В0		Лист	Масса	Масштаб
ЮНИБУС		Лист	Листов	1:20
Чертеж общего вида		Лист	Листов	1
Изм. Лист	И. докуч.	Подп.	Дата	
Разраб.	Лаптевич			
Проб.	Акулов			
Г. контр.	Олежневич			
Нач. КБ	Цыганский			
Нач. отд.	Заввалякин			
Утв.	Юнчикова			

Рис. 1.15. Чертеж общего вида городского пассажирского юнибуса модели Ю-324П исполнения 04

Юнибус модели Ю-324П всех исполнений предназначен для эксплуатации на электрифицированном СТЮ в автоматическом режиме. Техническим предложением проанализирован также вариант электропитания юнибуса от бортового источника электроэнергии, подзарядка (или замена) которого будет производиться на станциях (см. п. 2.17 тягово-динамического расчета 324П-0000010PP, п. 2).

Во всех вариантах исполнения юнибуса Ю-324П использованы единые унифицированные технические решения по конструкции и размещению агрегатов и систем.

Технические характеристики вариантов исполнений юнибуса Ю-324П приведены в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Технические характеристики вариантов исполнений юнибуса модели Ю-324П

№	Параметр	Исполнения Ю-324П			
		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 - задняя	1200 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			
8	Конструкционная скорость, км/ч, не менее	100			



9	Время штатного разгона до скорости 60 км/ч, с	33,1	37,6	37,6	33,1
10	Длина тормозного пути при служебном торможении (начальная скорость 60 км/ч), м, не более	230			
11	Длина тормозного пути при экстренном торможении (начальная скорость 60 км/ч), м, не более	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: - кВт·ч/100 км -литров топлива (в пересчете электроэнергии в дизельное топливо): л/100 км л/100 пасс.-км	7,03 2,1 0,18	10,6 3,2 0,27	10,6 3,2 0,27	7,1 2,1 0,18
15	Потребление электроэнергии при включенной на полную производительность системы кондиционирования в городском цикле движения, кВт·ч/100 км	16,1	19,6	19,6	16,1
16	Потребление электроэнергии при включенной на полную производительность системы отопления, кВт·ч/100 км	20,8	24,3	24,3	20,8
17	Количество дверей: - служебная - запасная	1 1			
18	Колесная формула	4×4			



19	Характеристики агрегатов и систем	
19.1	Корпус	Сварной каркас из высокопрочного алюминиевого сплава, облицованный пластиком. Остекление — поликарбонат.
19.2	Оборудование салона	Служебная дверь, запасная дверь, сидения, поручни. Освещение салона. Обогрев и кондиционирование воздуха в салоне. Огнетушитель. Включатель экстренного торможения. Связь с ЦДС. Аптечка. Информационное табло.
19.3	Силовая установка: - количество - модель - тип - максимальная мощность, кВт - масса, кг - система управления	2 АИР112М2 асинхронный 7,5 50 электронная
19.4	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
19.5	Тормозная система остановочная	электродинамическая
19.5	Тормозная система стояночная, аварийная	пассивная, электромеханическая
19.6	Тормозные механизмы	дисковые, с электромагнитным отключением
19.7	Система управления движением	автоматическая
19.8	Электрооборудование	АКБ, 24В, двухпроводное; внешняя сеть 600В постоянного тока
19.9	Силовой электропривод	трехфазные асинхронные электродвигатели, тяговые преобразователи
19.10	Система отопления	отопитель электрический
19.11	Система вентиляции	кондиционер
19.12	Система пожаротушения силовых отсеков	автоматическая, генераторы огнетушащего аэрозоля
19.13	Устройство сцепное	автоматическое, с фрикционным энергогасителем удара

19.14	Система эвакуации пассажиров	буксировка юнибуса на станцию; переход пассажиров в специальный эвакуационный модуль; тросовый эвакуатор пассажиров на поверхность земли
-------	------------------------------	--

1.3. Технические решения, используемые при разработке юнибуса модели Ю-324

1.3.1. Компоновка

Юнибус модели Ю-324П городского грузопассажирского двухрельсового двухпутного СТЮ в г. Ханты-Мансийске конструктивно разделен на четыре отсека:

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

Компоновка юнибуса Ю-324П исполнения 01 в трехмерном изображении показана на рис. 1.16 и рис. 1.17.



Рис. 1.16. Компоновка юнибуса Ю-324П исполнения 01 (вид на носовую часть)



Рис. 1.17. Компоновка юнибуса Ю-324П исполнения 01 (вид на кормовую часть)

Компоновка Ю-324П исполнения 02 в трехмерном изображении показана на рис. 1.18 и рис. 1.19.

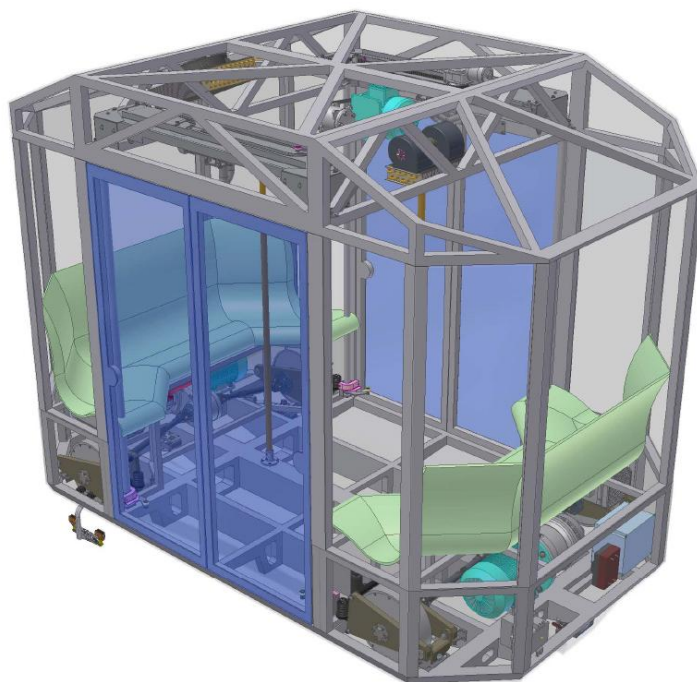


Рис. 1.18. Компоновка юнибуса Ю-324П исполнения 02 (вид на носовую часть)

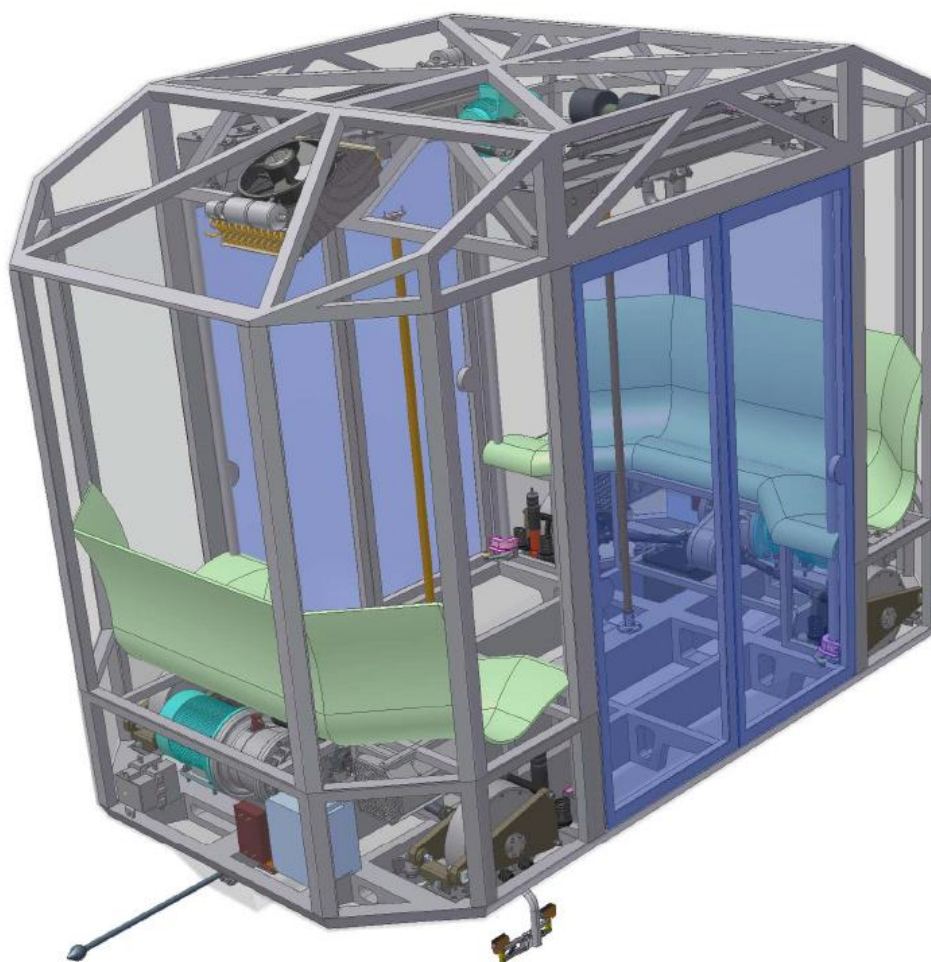


Рис. 1.19. Компоновка юнибуса Ю-324П исполнения 02 (вид на кормовую часть)

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.

Силовые отсеки (по одному на переднюю и заднюю пары колес) расположены под пассажирскими сидениями и закрыты кожухами. В переднем силовом отсеке размещены блоки подвески с колесами, силовой блок (см. рис. 1.20), состоящий из тягового электродвигателя мощностью 7,5 кВт, редуктора с тормозом стояночной системы торможения, двух карданных валов и двух упругих муфт.



Рис. 1.20. Силовой блок

Кроме того, в переднем силовом отсеке размещены комплектующие блоки тягового электрооборудования и первый отопитель салона. К корпусу юнибуса в носовой части закреплен передний узел сцепного устройства и предусмотрены места закрепления отбойников, которые воспрепятствуют 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, центральный процессор, панель защиты и коммутации, второй 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.

1.3.2. Корпус и внешние формы

Корпус юнибуса Ю-324П (рис. 1.21, 1.22) каркасный, несущий, металлический, с термошумоизоляцией, двухдверный, с окнами и с наружной и внутренней облицовкой.

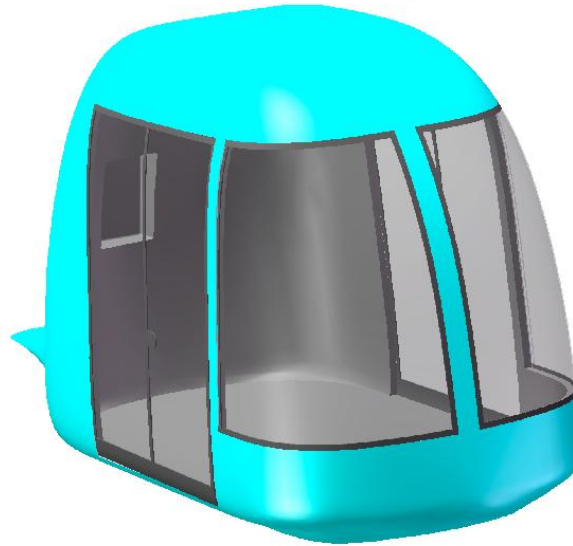


Рис. 1.21. Корпус юнибуса Ю-324П исполнения 01

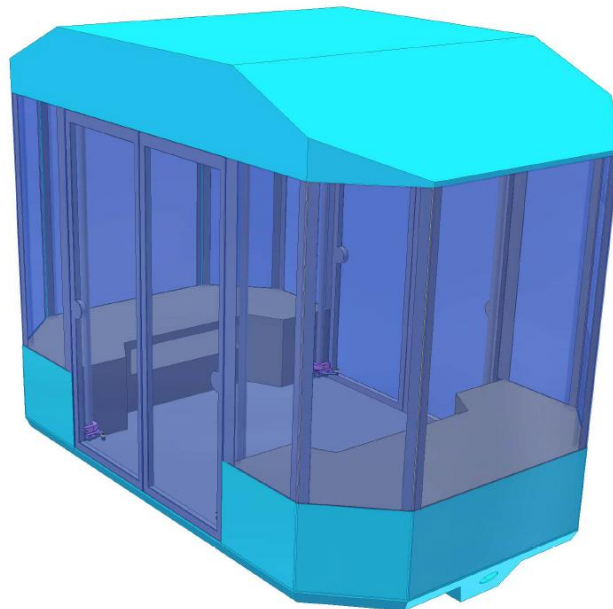


Рис. 1.22. Корпус юнибуса Ю-324П исполнения 02

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

Сварной каркас (рис. 1.23, 1.24) состоит из нижней рамы и верхнего строения.



Рис. 1.23. Каркас сварной юнибуса Ю-324П исполнения 01

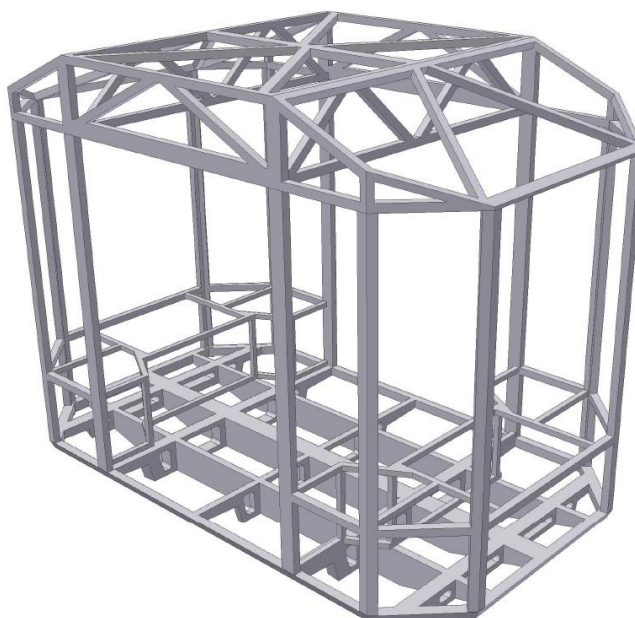


Рис. 1.24. Каркас сварной юнибуса Ю-324П исполнения 02

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

Верхнее строение состоит из дверных 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 авиастроении и космической технике.

Остекление юнибуса состоит из окон. В качестве материала окон применен затемненный зеркальный высокопрочный поликарбонат.

Наружная поверхность корпуса облицована непрозрачным высокопрочным поликарбонатом, используемом в авиации и вертолетостроении.

Внутренняя поверхность салона облицована декоративным негорючим пластиком.

Для термозвукоизоляции 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 качественных высокопрочных материалов, позволят 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-324П осуществлено с учетом результатов многократных продувок моделей масштаба 1:5 в ЦНИИ им. А.Н. Крылова (г. Санкт-Петербург), что позволило добиться получения коэффициента аэродинамического сопротивления (C_w), равного примерно 0,1. Для сравнения, величина коэффициента аэродинамического сопротивления исполнений 02 и 03 юнибуса, как, например, и в традиционных автобусах, составляет примерно $C_w = 0,5$. Благодаря этой особенности юнибус Ю-324П исполнений 01 (или 04) позволит экономить при эксплуатации до 49% электроэнергии.

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

1.3.3. Силовая установка

В качестве силовой установки на юнибусе модели Ю-324П используются два асинхронных трехфазных электродвигателя АИР112М2 (см. рис. 1.25) — по одному двигателю на переднюю и заднюю пары колес.

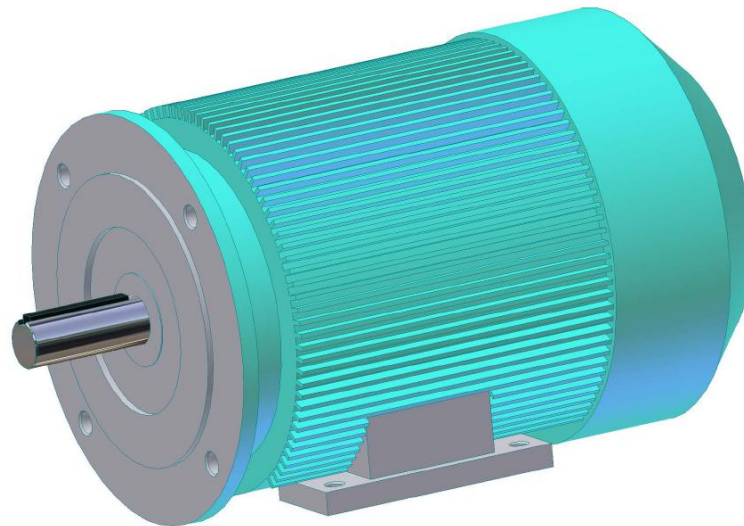


Рис. 1.25. Тяговый электрический асинхронный двигатель юнибуса Ю-324П мощностью 7,5 кВт

1.3.4. Силовая передача

Все четыре колеса юнибуса модели Ю-324П являются тяговыми. Юнибус снабжен двумя автономными электроприводами (по одному на пару колес). Мощность тяговых электродвигателей к колесам передается при помощи силовой передачи (см. рис. 1.26).

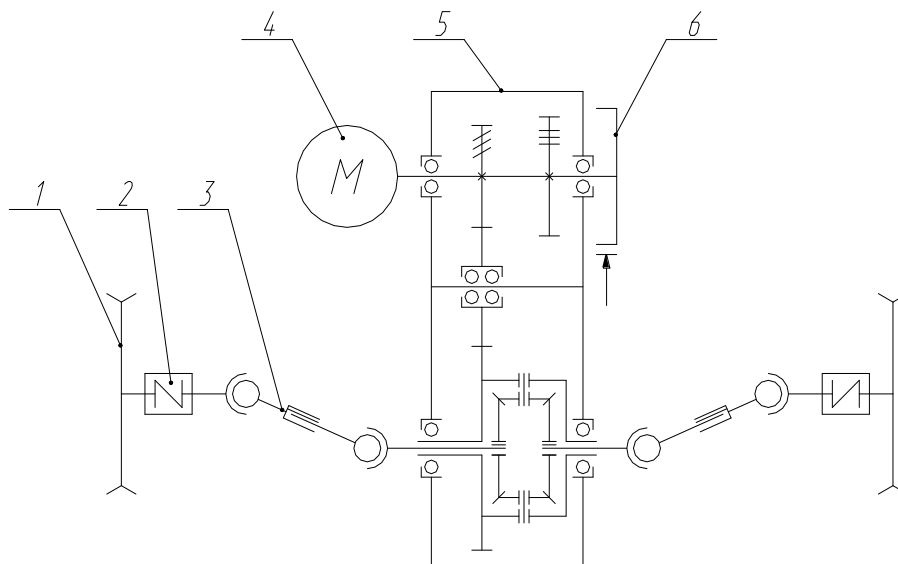


Рис. 1.26. Кинематическая схема силовой передачи автономного электропривода юнибуса Ю-324П

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

1.3.5. 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 обеспечит постоянство линейного контакта цилиндрической опорной поверхности колеса с плоской поверхностью качения головки рельса. Блок подвески показан на рис. 1.27.

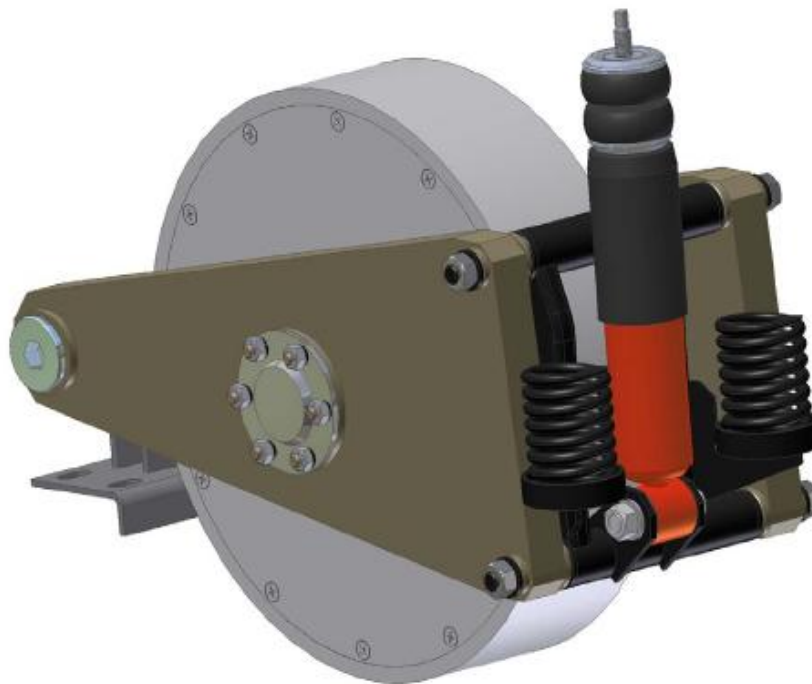


Рис. 1.27. Блок подвески юнибуса Ю-324П

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 ролика (по ролику на каждое колесо), контактирующие изнутри путевой структуры с боковыми дорожками качения головок левого и правого рельсов-струн (см. рис. 1.28). Ролики снабжены страховочными буртами, заходящими за низ уширения рельсов. Ролики прижимаются к рельсу-струне определенным 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% гарантию устойчивости юнибуса даже в случае вынужденной эксплуатации при ураганном ветре. При прекращении действия боковой возмущающей силы юнибус возвращается направляющими и противосходными роликами в исходное положение, симметричное относительно левого и правого рельсов-струн.

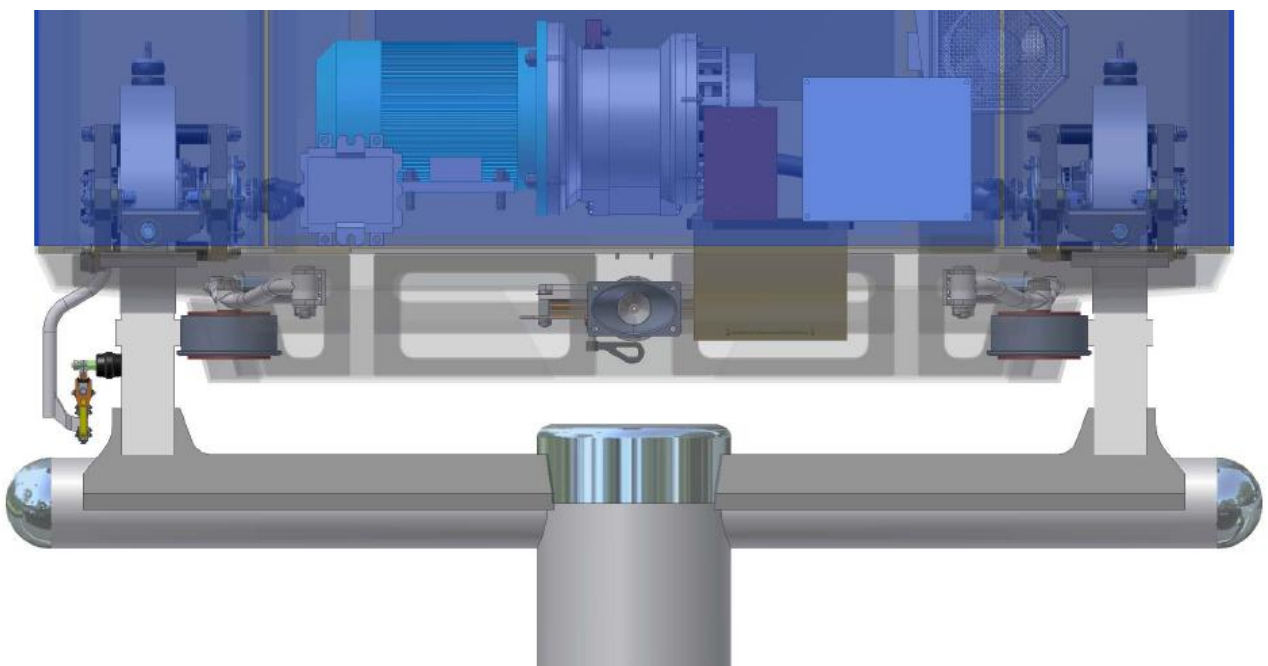


Рис. 1.28. Схема размещения направляющего и противосходного устройств юнибуса Ю-324П (слева показан токосъем)

Линейный контакт обода с головкой рельса и замена в противосходном устройстве традиционных на железной дороге реборд на боковые упорные ролики, позволили снизить коэффициент сопротивления качения (f) до величины 0,0022, т.е. на один порядок по сравнению с коэффициентом сопротивления качения пневматических шин колес автомобиля 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-324П исполнения 01 в условиях безветрия и выключенной системе кондиционирования (отопления).

Таблица 1.3

Анализ влияния коэффициента сопротивления качению колес (f) юнибуса на показатель среднего энергопотребления юнибуса Ю-324П

Показатель	$f = 0,0022$ (стальное колесо)	$f = 0,013$ (пневмошина)	Ухудшение показателя, %
Среднее потребление электроэнергии, кВт·ч/100 км	7,1	13,5	90

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 19-ти часовой эксплуатации в сутки примерно 350 тыс. кВт·ч (на один юнибус), или в денежном выражении — примерно 35 тыс. USD (при ценах на электроэнергию 2007 г.). При наличии даже небольшого парка юнибусов на городском двухпутном СТЮ в г. Ханты-Мансийске, например, в количестве 50 шт., аналогичная экономия электроэнергии составит 17,5 млн. кВт·ч стоимостью 1,75 миллиона USD. Такое количество электроэнергии эквивалентно 5200 тонн дизельного топлива.

Улучшение аэродинамических качеств юнибуса в исполнении 01 и 04 в сравнении с 02 и 03 даст экономию электроэнергии за срок его службы в количестве 200 тыс. кВт·ч (примерно 20 тыс. USD), а для парка юнибусов в количестве 50 шт. — 10 млн. кВт·ч (1 млн. USD).

1.3.6. Тормозная система

Юнибус модели Ю-324П 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 передают выработанную электроэнергию назад 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. 1.29) выполнен дисковым с электромагнитным отключением.

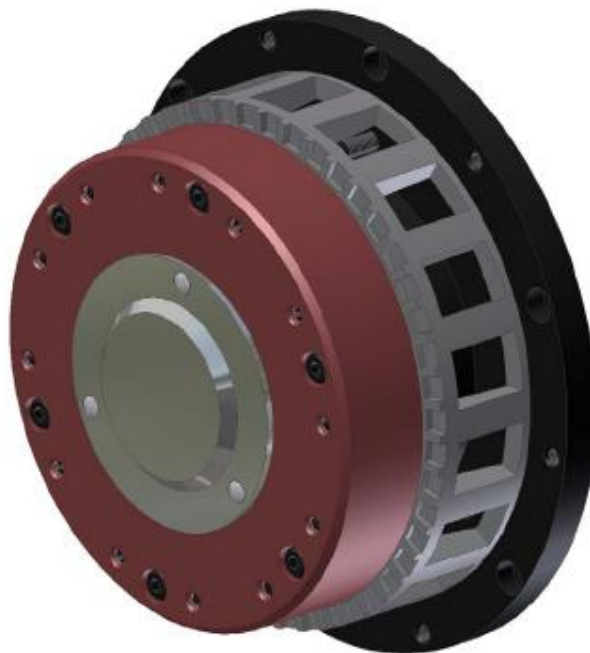


Рис. 1.29. Механический тормоз юнибуса Ю-324П

1.3.7. Электрооборудование

В качестве силового привода юнибуса Ю-324П используется электропривод. Питание его осуществляется от контактной сети постоянного тока напряжением 600 В.



Силовой электропривод состоит из:

- двух тяговых асинхронных электродвигателей (см. рис. 1.25);
- двух тяговых преобразователей;
- двух блоков управления;
- двух статических преобразователей для питания цепей управления и вспомогательного оборудования;
- выключателя автоматического;
- контактора линейного;
- центрального процессора;
- токосъемного устройства.

Управление тяговыми двигателями осуществляют тяговые преобразователи, которые преобразуют 600В 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 — технология IGBT (биполярный транзистор с изолированным затвором). Применение указанных элементов обеспечивает высокое качество управления асинхронными двигателями при минимальных весогабаритных показателях преобразовательного устройства.

В блоке управления тяговым приводом применены современные DSP-микроконтроллеры, 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 модуля. 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, а следовательно — остановки модуля. 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 воспроизводить электроэнергию и передают ее в контактную сеть. Произведенная энергия может быть использована 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. 1.30 изображена функциональная схема системы управления приводом юнибуса Ю-324П.

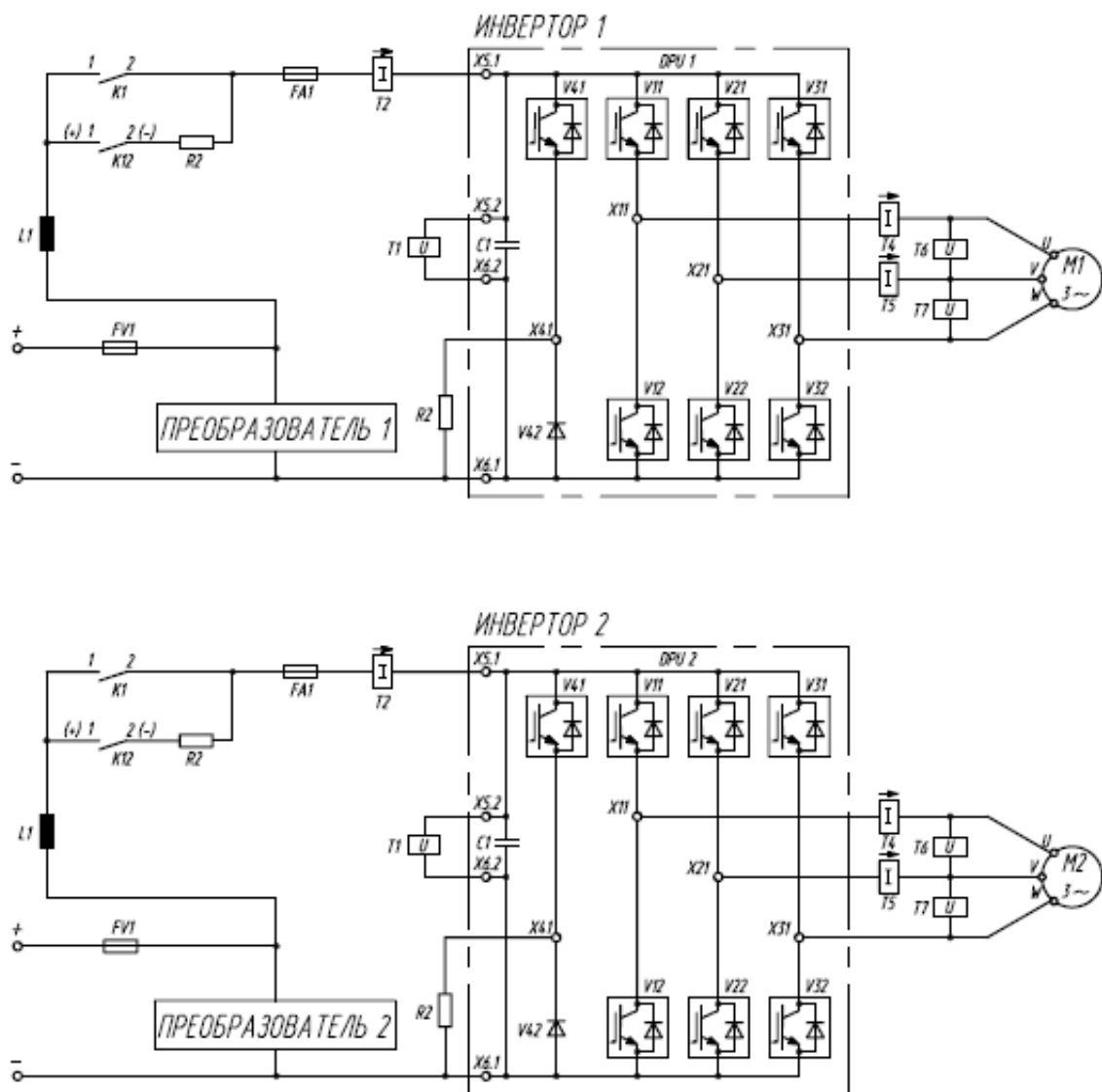


Рис. 1.30. Функциональная схема системы управления приводом Ю-324П

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

Статические преобразователи, также как и тяговые преобразователи, изготовлены из элементов IGBT, что позволяет снизить их энергопотребление, уменьшить габариты и вес.

Бортовые статические преобразователи, аналогично тяговому приводу, имеют в своем составе развернутую систему диагностики, обеспечивающую удобство обслуживания и ремонта.

Токосъемное устройство (см. рис. 1.31) 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 в качестве заземленной токоведущей шины (-600 В) корпуса рельса-струны повышает безопасность юнибуса, так как любое попадание высокого напряжения (+600 В) 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.

Система электропитания и управления силовых приводов состоит из двух независимых токосъемов. Такая схема позволяет юнибусу выполнять свои функции в транспортном комплексе до прибытия к ближайшему пункту технического обслуживания, даже при возникновении отказа в одной из цепей управления.

Система бортового электрооборудования реализована с использованием современных сетевых решений информационных технологий. Все оборудование юнибуса охвачено CAN-сетью и управляется по шине. В модуле установлено порядка 15 однотипных CAN-узлов, выполняющих задачи по функционально-территориальному признаку.

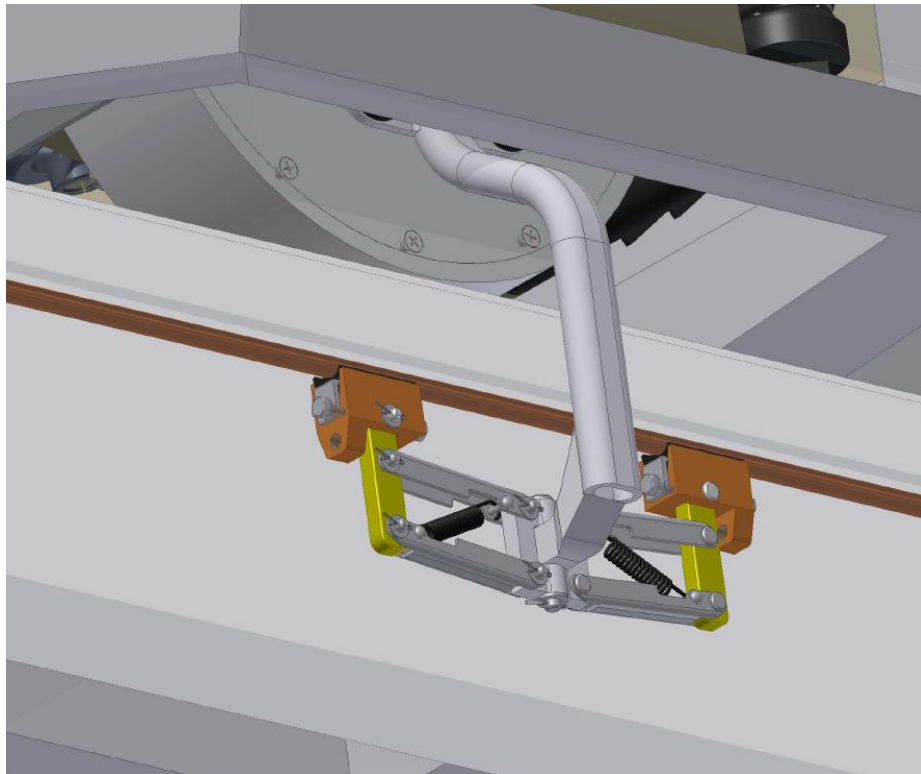


Рис. 1.31. Токосъемное устройство юнибуса Ю-324П

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.

Фотография CAN-узла представлена на рис. 1.32.

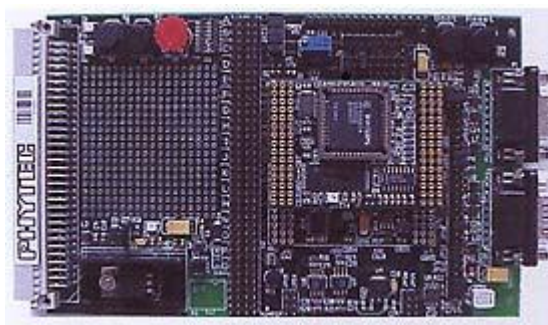


Рис. 1.32. CAN-узел

Каждый CAN-узел контролирует и управляет группой устройств, рядом с которыми он установлен. Отдельные CAN-узлы обеспечивают сопряжение с тяговыми преобразователями 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.

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, гораздо меньшее 0,1 сек. В случае же 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 модуля на станции и т.д. и т.п. При этом данные не только фиксируются в памяти, а в определенных случаях, посредством GSM связи, немедленно 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 модуля 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 каждой транспортной единице 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 и даже в процессе штатного движения модуля 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 преобразователей, обеспечивающих 100%-ное дублирование.

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

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. 1.33.

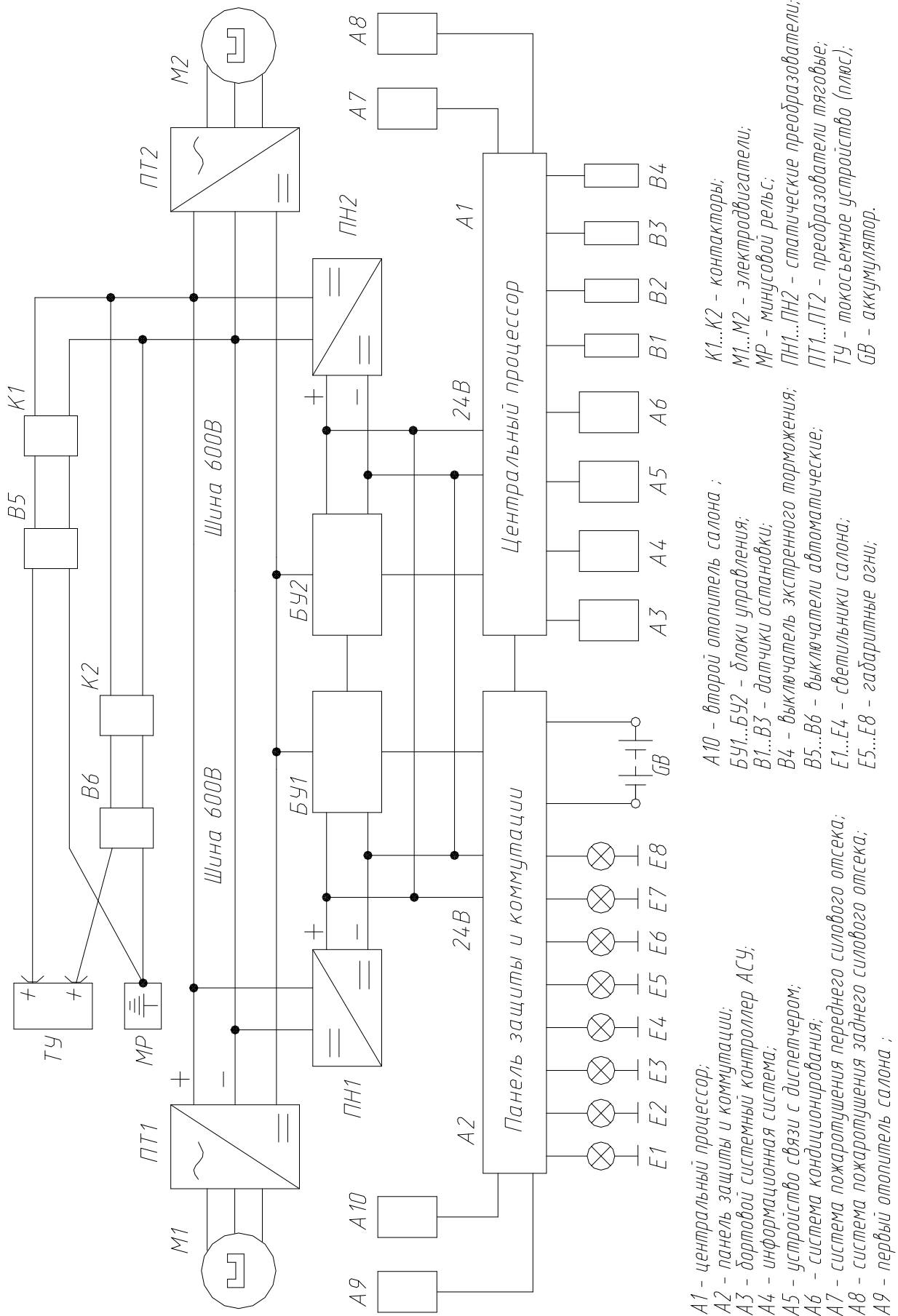


Рис. 1.33. Функциональная схема управления юнибуса модели Ю-324П

1.3.8. Автоматизированная система управления движением

В основу автоматизированной системы управления движением пассажирских рельсовых автомобилей Ю-324П на городском СТЮ в г. Ханты-Мансийске заложены принципы автоматизированной системы управления транспортом АСУ-Т (разработка ФГУП «КНИИТМУ»), 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 транспортных средств 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 транспортные средства.

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, м: - обычный режим - дифференциальный режим	50—100 2—5
4	Диапазон частот радиоканала, МГц	146—147
5	Количество радиоканалов	2—6
6	Напряжение питания, В: - диспетчерской станции - борсеть	220, 50 Гц 24
7	Выходная мощность радиостанций, Вт	10—25
8	Диапазон рабочих температур, °С	от -50 до +60

Базовая стойка ЦДС включает устройство 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 ТС: 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», 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

№	Наименование параметра	Величина параметра
9	Габаритные размеры, мм: - длина - ширина - высота	168 131 45
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 работу.

В состав АСУ 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 каждый юнибус дополнительно снабжен системой определения расстояния до впереди идущего юнибуса, которая автоматически снижает скорость его движения, вплоть до полной остановки, при определении критического расстояния между ними.

1.3.9. Система отопления

Элементы системы отопления расположены в силовых отсеках.

На юнибусе Ю-324П установлены два электрических отопителя (см. рис. 1.34).

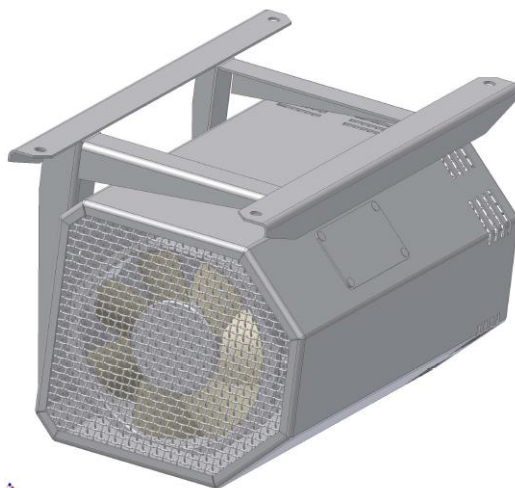


Рис. 1.34. Электрический отопитель

Отопители работают в режиме рециркуляции.

Максимальная теплопроизводительность отопителей 5 кВт.

1.3.10. Система вентиляции и кондиционирования

Кондиционер расположен в отсеке над потолком юнибуса. Он состоит из компрессорного, конденсаторного и испарительного агрегатов (см. рис. 1.35). 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 (по 20 м³ воздуха в час на одного пассажира).

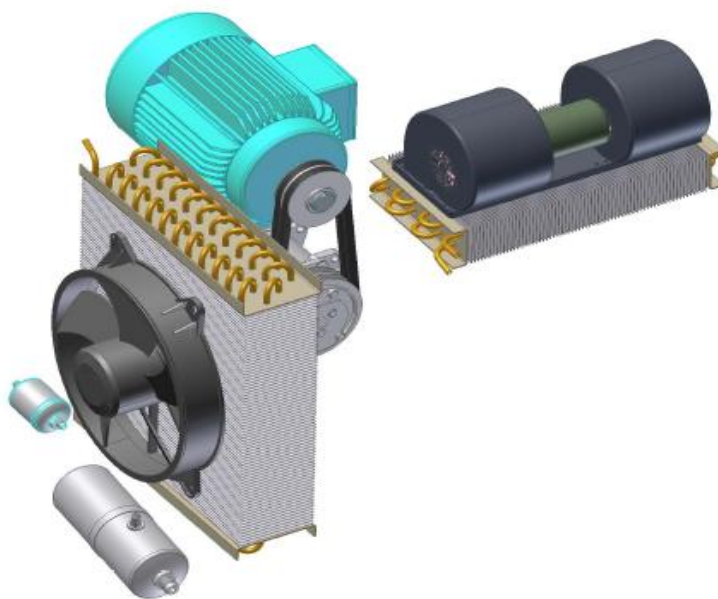


Рис. 1.35. Комплект системы кондиционирования и вентиляции

1.3.11. Пассажирская дверь с механизмом открывания

Во всех вариантах юнибусов предусмотрены две двери: служебная и запасная.

Двери двухстворчатые поворотно-раздвижные.

Служебная дверь (см. рис. 1.36) расположена с левой стороны юнибуса.

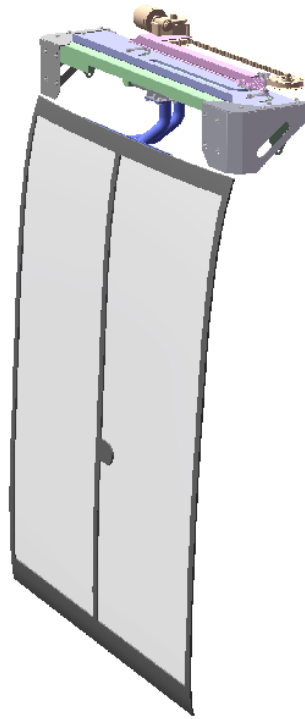


Рис. 1.36. Служебная дверь с механизмом открывания

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 — прозрачный 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. 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 перегоне.

Запасная дверь расположена с правой стороны и отличается от служебной двери отсутствием механизма открывания.

1.3.12. Пассажи́рские сиденья

В салоне юнибусов 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 поликарбоната.

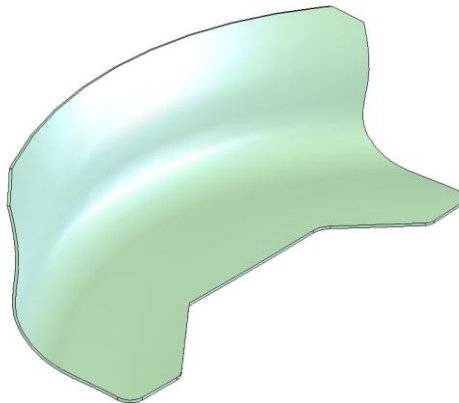


Рис. 1.37. Пассажи́рские сиденья

1.3.13. Информационное табло

Информационное табло расположено в салоне над задними сиденьями.

Табло предназначено для информирования пассажиров о текущей или о следующей остановке (см. рис. 1.38). В промежутках между остановками на табло отражается текущее время или рекламная информация.



Рис. 1.38. Информационное табло

1.3.14. Система пожаротушения

Система пожаротушения расположена в силовых отсеках.

Система состоит из датчиков температуры и генераторов огнетушащего аэрозоля МАГ (см. рис. 1.39). Для пожарного оповещения каждый юнибус снабжен центральным пожарным извещателем, который отправляет соответствующие обстановке сообщения через каналы связи на стационарную систему пожарного извещателя ЦДС.



Рис. 1.39. 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

В пассажирском салоне установлен углекислый огнетушитель ОУ-2 (см. рис. 1.40).



Рис. 1.40. Углекислотный огнетушитель ОУ-2

1.3.15. Устройство сцепное автоматическое

Для обеспечения возможности буксировки с любого места трассы юнибусы оснащаются автоматическими сцепными устройствами (см. рис. 1.41). Сцепные устройства при сцепке двух юнибусов срабатывают автоматически без участия человека. При аварийной сцепке стыковочный узел способен погасить удар при относительной скорости сцепляемых юнибусов до 3 км/ч и ускорениях в салоне до $3,5 \text{ м/с}^2$. При этом стыковочный узел не повреждается, а для того, чтобы привести его в работоспособное состояние, необходимо лишь установить сцепную тягу в исходное положение (вытянуть ее обратно).



Рис. 1.41. Сцепное устройство

1.3.16. Система эвакуации пассажиров

В случае выхода из строя одного из двух автономно функционирующих электроприводов юнибуса, он доедет до станции на исправном. Однако, несмотря на 100%-ное дублирование всех устройств, обеспечивающих движение юнибуса, гарантирующее доставку пассажиров до ближайшей станции, для юнибуса предусмотрены три надежных варианта их эвакуации:

- если отказавший юнибус не может продолжать движение самостоятельно, то по тому же пути подгоняется впереди идущий или следующий за ним юнибус, который в автоматическом режиме берет аварийный юнибус на буксир и доставляет его до ближайшей станции, где пассажиры выходят. Один исправный юнибус может буксировать до трех неисправных юнибусов;
- если юнибус неисправен и не может продолжать движение, то по рядом расположенному встречному пути отправляется специальный модуль с загруженными в него на станции переходными трапами, который подгоняется точно напротив аварийного. Через аварийный боковой проем по трапам пассажиры переходят в специальный модуль и едут до ближайшей станции (для отдельных случаев предусмотрен специальный модуль-эвакуатор, который подгоняется по тому же пути и оборудование которого обеспечивает переход пассажиров на его борт и буксировку отказавшего юнибуса);
- если транспортная система «второго уровня» полностью неработоспособна (например, при длительном отключении электричества), или существует угроза здоровью и безопасности пассажиров, то на этот исключительный случай предусмотрены специальные эвакуационные устройства типа тросового эвакуатора, рассчитанного на спуск пассажиров из юнибуса на поверхность земли с высоты до 20 м.

1.4. Краткие сведения о высотном городском двухпутном автоматизированном СТЮ для г. Ханты-Мансийска

В данном разделе приводится краткое описание рельсо-струнной путевой

структуры высотного пассажирского двухпутного автоматизированного СТЮ для г. Ханты-Мансийска, а также даются рекомендации по организации движения юнибусов Ю-324П в его составе и кратко раскрываются основные потребительские качества городского СТЮ.

1.4.1. Рельс-струна

Рельс-струна — это обычная неразрезная (по длине) стальная, железобетонная или сталежелезобетонная балка, оснащенная головкой рельса и дополнительно усиленно армированная предварительно напряженной (растянутой) арматурой — струнами. Максимальное натяжение струн на один рельс, в зависимости от длины пролета, массы и скорости движения городских двухрельсовых юнибусов (скорость до 120 км/ч) колеблется 1500 мм, — 120—160 тонн. Сочетает в себе свойства гибкой нити — на большом пролете между опорами, и жесткой балки — на малом пролете (под колесом юнибуса и непосредственно над опорой). Благодаря этому, а также тому, что строительный провис струны на каждом пролете «зашит» 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 –70 °С. Представляет собой идеально ровный путь для движения стального колеса, так как по всей своей длине не имеет технологических и температурных швов (головка рельса сварена в одну плеть).

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.

1.4.2. 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, — 3—5 мм.

1.4.3. Рельсо-струнная путевая структура

Рельсо-струнная путевая структура двухрельсового СТЮ представляет собой два рельса-струны, образующие колею шириной 1,5 м (для городского СТЮ, предлагаемого г. Ханты-Мансийску). 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. СТЮ может быть выполнено однопутным, двухпутным или многопутным.

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

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

1.4.4. Опоры

Опоры подразделяются на анкерные, воспринимающие горизонтальную нагрузку от струн (устанавливаются через 1—3 км и более) 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 10—20 м и более.

1.4.5. Инфраструктура «второго уровня»

Инфраструктура городских трасс «второго уровня» включает станции (см. рис. 1.42 и 1.43), гаражи-парки, размещенные на «втором уровне», а также стрелочные переводы. Стрелочные переводы размещаются в станциях, гаражах-парках и, при необходимости, — на трассе на анкерных опорах.



Рис. 1.42. Вариант выполнения конечной станции высотного городского двухрельсового двухпутного СТЮ в г. Ханты-Мансийске (вид сверху)



Рис. 1.43. Вариант выполнения конечной станции высотного городского двухрельсового двухпутного СТЮ в г. Ханты-Мансийске (фасад)

Благодаря подъему путевой структуры на второй уровень в СТЮ расширяются возможности по устройству станций и терминалов. Компактность юнибуса позволяет уменьшить размер и, соответственно, стоимость станций, гаражей-парков и длину перрона. Вывод на линию юнибуса из подземного гаража-парка (и возвращение обратно) осуществляется при помощи специального лифтового устройства (см. рис. 1.44).

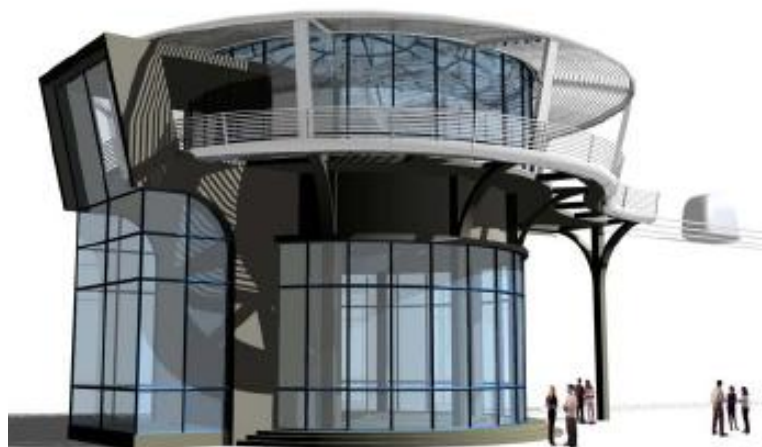


Рис. 1.44. Вариант выполнения конечной станции высотного городского двухрельсового двухпутного СТЮ в г. Ханты-Мансийске (вид на шахту лифтового устройства)

Юнибусы на промежуточных и конечных станциях не заходят внутрь них, проходя по касательной на высоте 5—8 м. 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.

1.4.6. Организация движения юнибусов Ю-324П

Целесообразнее всего организовывать движение юнибусов модели Ю-324П на городской автоматизированной трассе СТЮ в г. Ханты-Мансийске в двух режимах:

- движение циклическое, по расписанию, с регулируемым автоматически (или посредством дежурного на ЦДС), в зависимости от пассажиропотока, временным интервалом (минимальный интервал можно довести до 20 сек.);
- режим такси (по вызову в позднее время суток, например, после 23 часов).

Двенадцатиместные юнибусы модели Ю-324П, совершающие движение в составе городского СТЮ с интервалом 40 с, обеспечат в обоих направлениях тот же объем перевозок, что и сочлененные трамвайные вагоны К4001 известной компании Bombardier стоимостью около 2 млн. USD каждый (см. рис. 1.45), при нормальном наполнении 180 пассажиров, осуществляющие движение с интервалом 5 мин. За один час юнибусы Ю-324П, осуществляющие движение с указанным интервалом, способны перевезти из конца в конец трассы 2160 пассажиров, а за год (при 17-ти часовой эксплуатации) — 13,4 млн. пассажиров. При этом весь парк юнибусов, в количестве 30—40 шт., будет стоить примерно столько же, что и один сочлененный трамвайный вагон К4001 (около 2 млн. USD), который, к тому же, в единственном экземпляре никак не сможет организовать движение не только по сети городских дорог, но и даже по единичной и короткой трассе. Поскольку средняя дальность поездок пассажиров в небольшом и компактном городе не превысит 3 км, то, например, 15-тикилометровая сеть высотных городских трасс среднего двухрельсового СТЮ с колеей 1500 мм, может перевезти в год более 60 млн. пассажиров (для сравнения: в 2006 г. всеми видами общественного транспорта г. Ханты-Мансийска было перевезено около 10 млн. пассажиров). В перспективе, при 30-тисекундном интервале движения и эшелонной организации движения юнибусов (в одном «эшелоне» — по три юнибуса в электронной сцепке, идущих с интервалом 3—5 сек.), объем пассажирских перевозок по упомянутой трассе может превысить 150 млн. человек в год.



Рис. 1.45. Сочлененный трамвайный вагон К4001

1.4.7. Потребительские характеристики городских юнибусов

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.

1.4.7.1. Комфортность

СТЮ даст человеку возможность, наряду с комфортным решением основной функциональной задачи — быстрой и безопасной доставкой пассажира, — решать эстетические функции. Большая площадь остекления юнибуса, комфортные сидения, мягкий бархатный путь превратят обычную дорогу в наслаждение окружающим городским или природным пейзажем с высоты птичьего полета. Каждый юнибус будет снабжен системой кондиционирования, причем исходный воздух будет чист, т.к. будет забираться на высоте 5—6 м и более (а не у поверхности асфальта, как на существующем автомобильном транспорте). Движение рельсовых автомобилей 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 городских юнибусов модели Ю-324П будет более чем в 2 раза выше, чем в существующем наземном общественном транспорте г. Ханты-Мансийска. 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-324П (в часы пик до 20 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 стоять на остановке в ожидании транспорта, что особенно важно в экстремальных погодных условиях (сильный мороз, ветер, проливной дождь, жара и т.д.), а также для пожилых людей, детей, людей с ослабленным здоровьем.



1.4.7.2. Безопасность

Самым опасным для рельсового транспорта, в том числе размещенного на «втором уровне», 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 городского 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 в рельсе 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/час , либо если ударит мороз ниже -200°C , что нереально.

Юнибусы (в частности и модель Ю-324П) имеют высокую устойчивость движения по путевой структуре даже при скорости ветра более 180 км/ч (см. п. 4.8.1 расчета на статическую и динамическую устойчивость 324П-0000010-02PP, п. 4), 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. 1.3.16). 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. В салоне имеется включатель экстренного торможения. Если во время движения происходит активизация пожарного извещателя или включение экстренного торможения, то юнибус автоматически остановится на ближайшей по ходу движения станции. Для связи пассажиров с дежурным ЦДС в салоне имеется 2-х стороннее переговорное устройство. Связь осуществляется через радио- и видеоканалы.

На случай отказа АСУ движения, в ЦДС предусмотрено ручное управление всей транспортной системой «второго уровня», а также ручное управление каждым юнибусом.

1.4.7.3. 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, токоъем с громоздким, тяжелым и шумным пантографным токоприемником. У троллейбуса — мощный двигатель, протектор шин. У СТЮ указанные источники шумов отсутствуют.

Существующий городской транспорт является источником вибраций почвы, что оказывает вредное воздействие не только на людей, но и на городские здания и сооружения. СТЮ не будет создавать вибраций почвы благодаря высокой ровности пути, отсутствию стыков в рельсе (он будет сварен в одну плеть), задемпфированным колесам, рельсам-струнам и железобетонным опорам, малой неподрессоренной массе стального колеса модуля и малой массе самого модуля.

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 (основной вид общественного городского транспорта в Ханты-Мансийске) мощность силовой установки на одного пассажира составляет 1,8 кВт и более, против 1,25 кВт у более просторного и комфортного, чем автобус, юнибуса модели Ю-324П (до 2 пасс. на квадратный метр пола салона против 3—5 пасс. и более в автобусе). Электрификация городского двухпутного СТЮ в г. Ханты-Мансийске обеспечит полное исключение загрязнения городской воздушной среды этого чистого и уютного города вредными веществами продуктов горения силовых установок на базе двигателей внутреннего сгорания, используемых ныне в автобусах города. Автобусы ежедневно выполняют до 300 рейсов и, при средней мощности силовой установки 180 кВт, в сумме ежечасно выбрасывают (по действующим в РФ нормам токсичности отработавших газов Евро 2) более 250 м³ ядовитого оксида углерода (угарного газа), 300 м³ оксидов азота и 10 кг сажи (такого количества сажи достаточно, чтобы загрязнять каждый день дополнительно около 100 тыс. м² поверхности).

1.4.7.4. Доступность

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

Поэтому, с точки зрения пешеходной доступности, СТЮ будет предпочтительнее наземных видов городского транспорта.

Юнибус модели Ю-324П выполняет требования по перевозке детских и инвалидных колясок.

По цене билета высотный двухпутный автоматизированный СТЮ в г. Ханты-Мансийске будет на уровне городского тарифа за проезд в существующем общественном транспорте, благодаря чему он будет доступен всем слоям населения, в том числе малообеспеченным.

1.4.7.5. Другие экономические и неэкономические факторы

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

СТЮ является транспортом второго уровня, т.к. путевая структура в нем поднята над землей на опоры. Благодаря этому уменьшается изъятие земли под дорогу: промежуточные опоры на 1 км двухпутной трассы колеями 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 0,5 млн. USD/га и более).

Квадратный метр проезжей части современных городских дорог, рассчитанных на пропуск тяжелых автобусов и троллейбусов, стоит примерно столько же, сколько стоит квадратный метр площади нового жилого дома (около 1000 USD/м²). При этом проезжая часть российских дорог уступает по прочности и долговечности зарубежным (в ряде зарубежных стран толщина дорожной одежды достигает 1,5 м и более), поэтому с течением времени стоимость дорожного полотна будет расти, как за счет увеличения расхода материалов, так и за счет роста цен на них. Таким образом, на решение традиционной российской проблемы «Дороги», если использовать традиционные же методы, в перспективе еще больше будет недоставать средств, чем в настоящее время, поэтому эта проблема не может быть решена традиционно и в будущем, учитывая суровые природно-климатические условия города Ханты-Мансийска. Асфальтобетонное покрытие городских улиц ежегодно требует заделки

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

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 Ханты-Мансийска с обильными снегопадами требует затрат в 10—20 тыс. USD в год на один километр протяженности улиц (сюда входит не только зарплата занятых на уборке снега людей, но и стоимость снегоуборочных машин и самосвалов для вывоза снега, расход горюче-смазочных материалов, ухудшение дорожно-транспортных условий на период уборки снега и увеличение дорожно-транспортных происшествий с повреждением транспортных средств, травматизмом и гибелью людей, простой общественного городского транспорта и личного транспорта, опоздания на работу из-за образования «пробок», расход антиобледенительных реагентов и др.). За срок службы городских участков трасс СТЮ (50—100 лет) экономия на этом составит в городском бюджете около 1 млн.USD/км, что примерно равно стоимости строительства 1 км трассы СТЮ колеей 1500 мм.

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

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

При необходимости высотный пассажирский двухпутный автоматизированный СТЮ в г. Ханты-Мансийске может обеспечивать доставку грузов, в частности, пассажирские юнибусы модели Ю-324П без всякого переоборудования могут взять на борт и перевезти стандартный европалет с грузом.

1.5. Техничко-экономические показатели юнибуса модели Ю-324П

Основные технико-экономические показатели исполнения юнибуса модели Ю-324П для высотного двухрельсового двухпутного автоматизированного СТЮ, для условий г. Ханты-Мансийска, приведены в табл. 1.6.

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

Таблица 1.6

Основные технико-экономические показатели исполнений юнибуса Ю-324П

№	Показатель	Исполнения Ю-324П	
		01 и 04	02 и 03
1	Эксплуатационная скорость в середине перегона, км/ч	60	
2	Средняя эксплуатационная скорость на перегоне, км/ч	40,6	
3	Пассажировместимость	12	
4	Потребление электроэнергии юнибусом при выключенной системе кондиционирования и отопления: - кВт·ч/100 км - литров топлива (в пересчете электроэнергии в дизельное топливо): л/100 км л/100 пасс.-км	7,1 2,1 0,18	10,6 3,2 0,27
5	Потребление электроэнергии юнибусом при максимальной производительности системы кондиционирования, кВт·ч/100 км	16,1	19,6
6	Потребление электроэнергии юнибусом при максимальной производительности системы отопления, кВт·ч/100 км	20,8	24,3
7	Стоимость электроэнергии, затраченной на перевозку 10 пассажиров на расстояние 10 километров при выключенной системе кондиционирования и отопления, USD	0,059	0,088

8	Стоимость электроэнергии, затраченной на перевозку 10 пассажиров на расстояние 10 километров при максимальной производительности системы кондиционирования, USD	0,134	0,163
9	Стоимость электроэнергии, затраченной на перевозку 10 пассажиров на расстояние 10 километров при максимальной производительности системы отопления, USD	0,173	0,203

Таблица 1.7

Основные показатели ценообразующих комплектов юнибуса Ю-324П при мелкосерийном производстве

№	Комплект оборудования	Производитель комплекта оборудования	Ориентировочная стоимость комплекта оборудования Ю-324П по исполнениям,*		
			USD		
			01 и 04	02	03
1	Силовая передача	ООО «ЭТОН», Белоруссия	3000		
2	Ходовая система	ООО «ЭТОН», Белоруссия Gummi-Metall-Technik GmbH, Германия	4000		
3	Бортовой комплект АСУ	ИТЦ МП, Белоруссия ФГУП «КНИИТМУ», РФ	2000		
4	Тормозная система	Mayr Antriebstechnik, Германия	8000		
5	Комплект силового электропривода	ООО «ЭТОН», Белоруссия	12000		
6	Каркас	ООО «ЭТОН», Белоруссия	14000	7000	9000
7	Облицовка	Venture, США	10000	3000	5000
8	Двери с механизмом открывания	Hubner, Германия	12000		
9	Система кондиционирования	Webasto, Германия	4000		
	Всего:		69000	55000	59000

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

1.6. Организация разработки и производства юнибуса

1.6.1. Сроки разработки

Сроки разработки определяются отдельным договором и для любого исполнения юнибуса Ю-324П ориентировочно составляют 12 месяцев.

1.6.2. Головной разработчик и соисполнители разработки

Головной разработчик — ООО «Струнный транспорт Юницкого», г. Москва.

Возможные соисполнители разработки и поставщики комплектующих систем:

- Gummi-Metall-Technik GmbH, Германия;
- ООО «ЭТОН», г. Смолевичи, Белоруссия;
- ИТЦ МП, г. Молодечно, Белоруссия;
- ФГУП «КНИИТМУ», г. Калуга, Российская Федерация;
- Venture, США;
- Webasto, Германия;
- Hubner, Германия;
- Mayr Antriebstechnik, Германия.

1.6.3. Количество изготавливаемых опытных образцов, место проведения испытаний

Изготавливаемая партия — 1 образец.

Место проведения испытаний:

- стационарные испытания — на производственных площадях изготовителя;
- ходовые испытания — в составе первого участка высотной, пассажирской, двухпутной трассы СТЮ в г. Ханты-Мансийске.

1.6.4. Изготовитель опытного образца

Изготовитель опытного образца — ООО «Этон», г. Минск, Белоруссия.



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

«12» августа 2007 г.

**2. Тягово-динамический расчет
двухрельсового автомобиля (юнибуса) модели Ю-324П
применительно к природно-климатическим условиям
г. Ханты-Мансийска
(324П-0000010PP)**

Содержание тягово-динамического расчета

2.1.	Введение	76
2.2.	Исходные данные	79
2.3.	Условия и допущения	79
2.4.	Выбор тягового электродвигателя	80
2.5.	Расчет динамических показателей разгона	82
2.6.	Динамические показатели торможения	87
2.7.	Путь и время равномерного движения со скоростью 60 км/час	87
2.8.	Общее время, необходимое для преодоления расстояния между станциями в 1000 м	87
2.9.	Энергия на тяговых колесах, необходимая для разгона	88
2.10.	Энергия на тяговых колесах, необходимая для равномерного движения	88
2.11.	Определение энергии рекуперации на участке торможения	89
2.12.	Электроэнергия, затраченная на движение	96
2.13.	Электроэнергия, затраченная на кондиционирование воздуха в салоне	96
2.14.	Электроэнергия, затраченная на обогрев салона зимой	97
2.15.	Электроэнергия, затраченная на преодоление участка пути юнибусом и на кондиционирование воздуха в салоне	97
2.16.	Электроэнергия, затраченная на преодоление участка пути юнибусом и на обогрев салона зимой	97
2.17.	Анализ возможности использования бортового источника электроэнергии	98
2.18.	Выводы	100

2.1. Введение

Данный расчет производится для пассажирского двухрельсового автомобиля (юнибуса) модели Ю-324П, с колеей 1500 мм, применительно к природно-климатическим условиям г. Ханты-Мансийска.

Все четыре колеса юнибуса модели Ю-324П 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-324П 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.

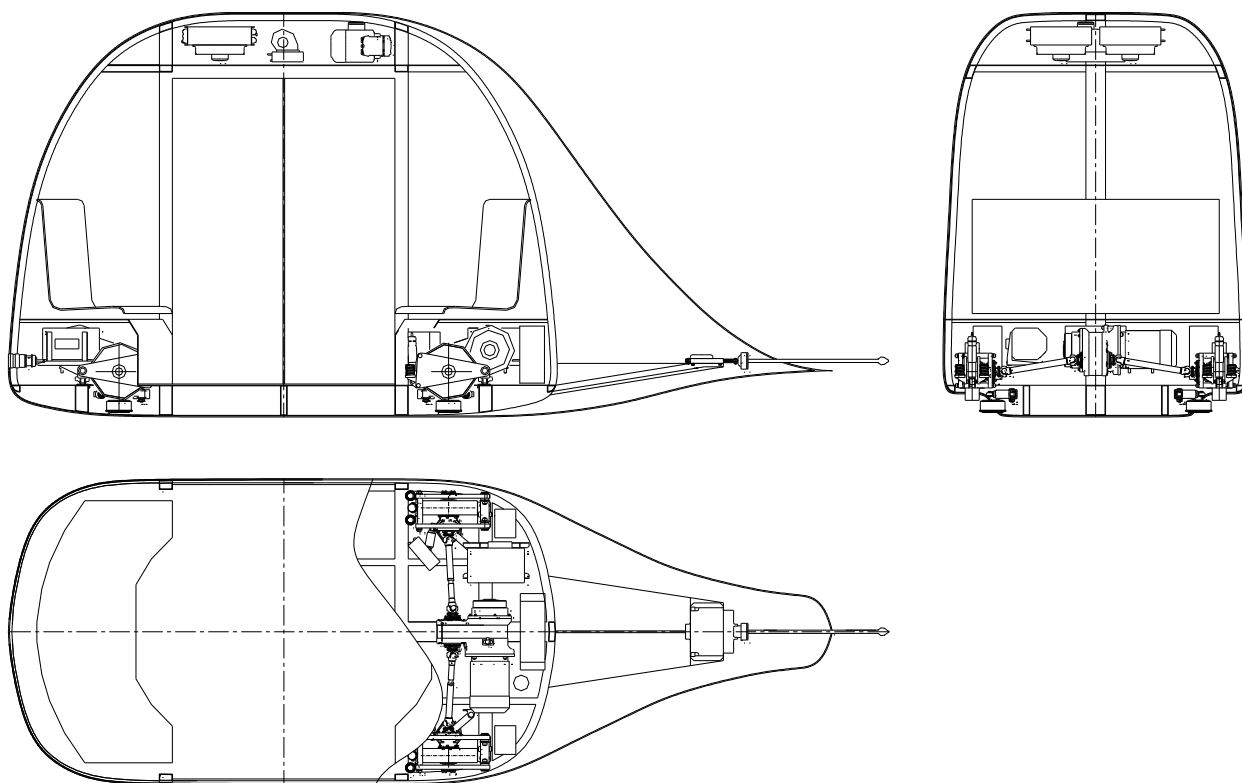


Рис. 2.1. Юнибус Ю-324П варианта исполнения 01

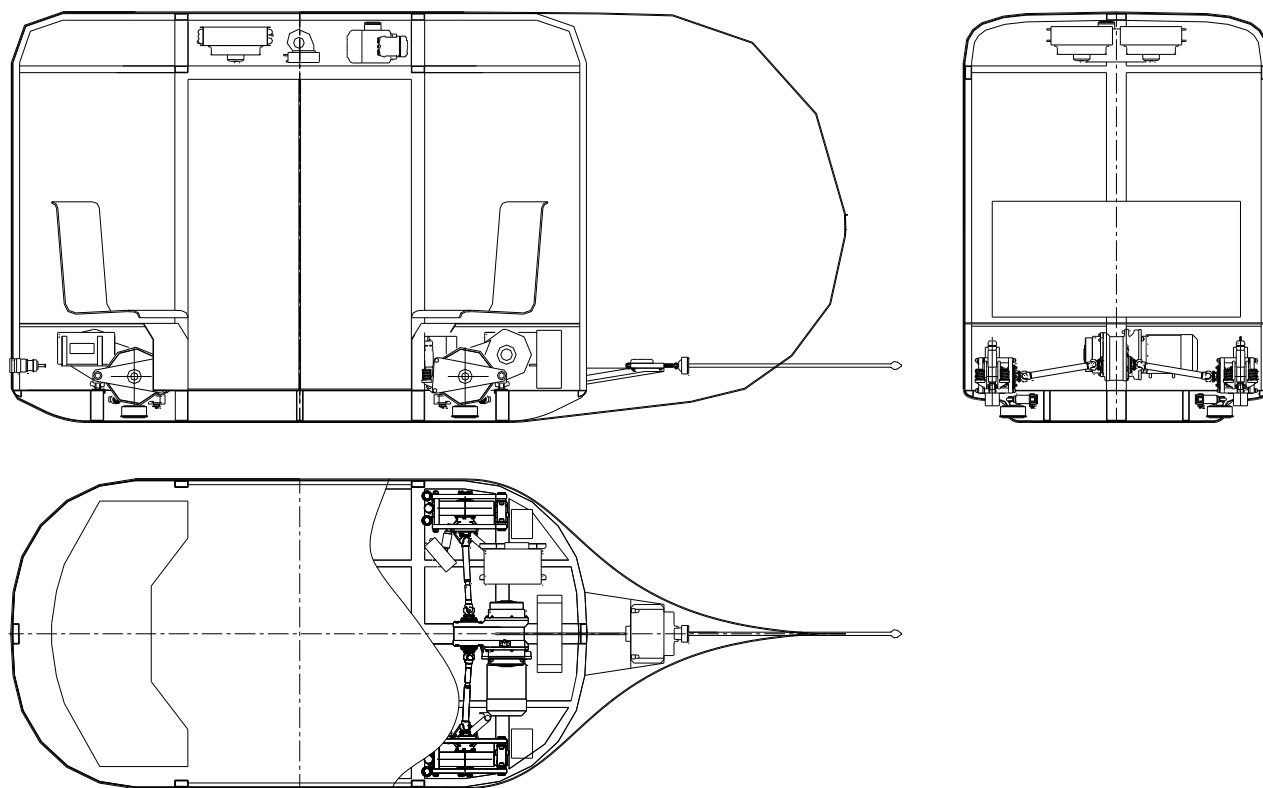


Рис. 2.2. Юнибус Ю-324П варианта исполнения 04

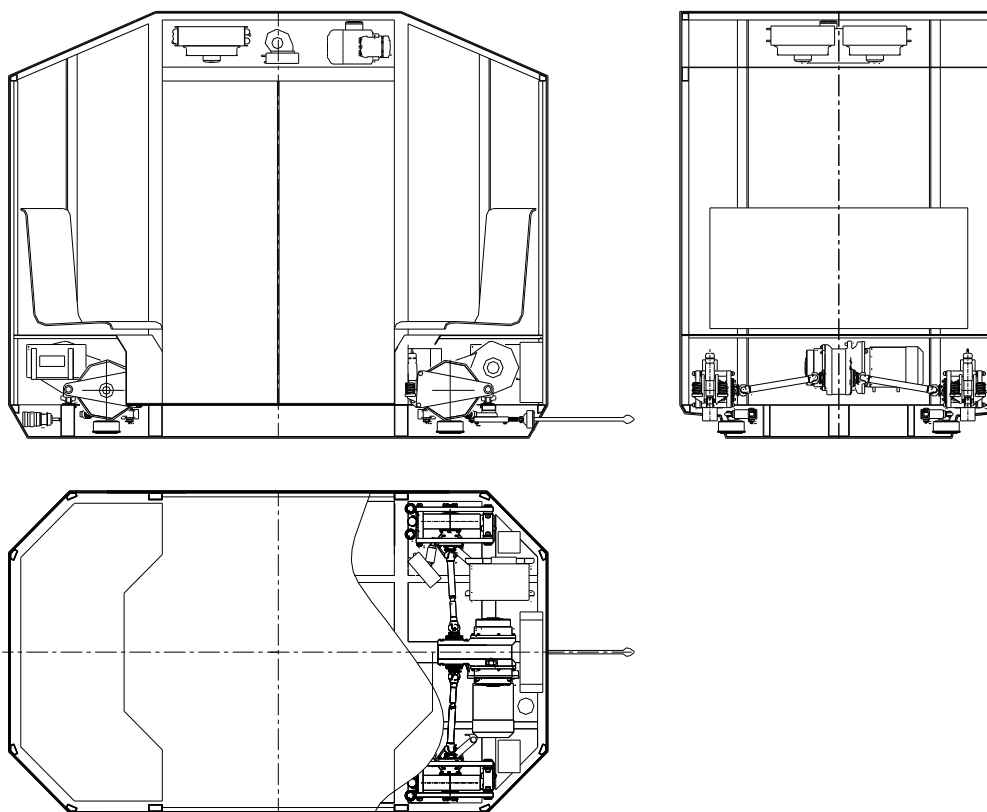


Рис. 2.3. Юнибус Ю-324П варианта исполнения 02

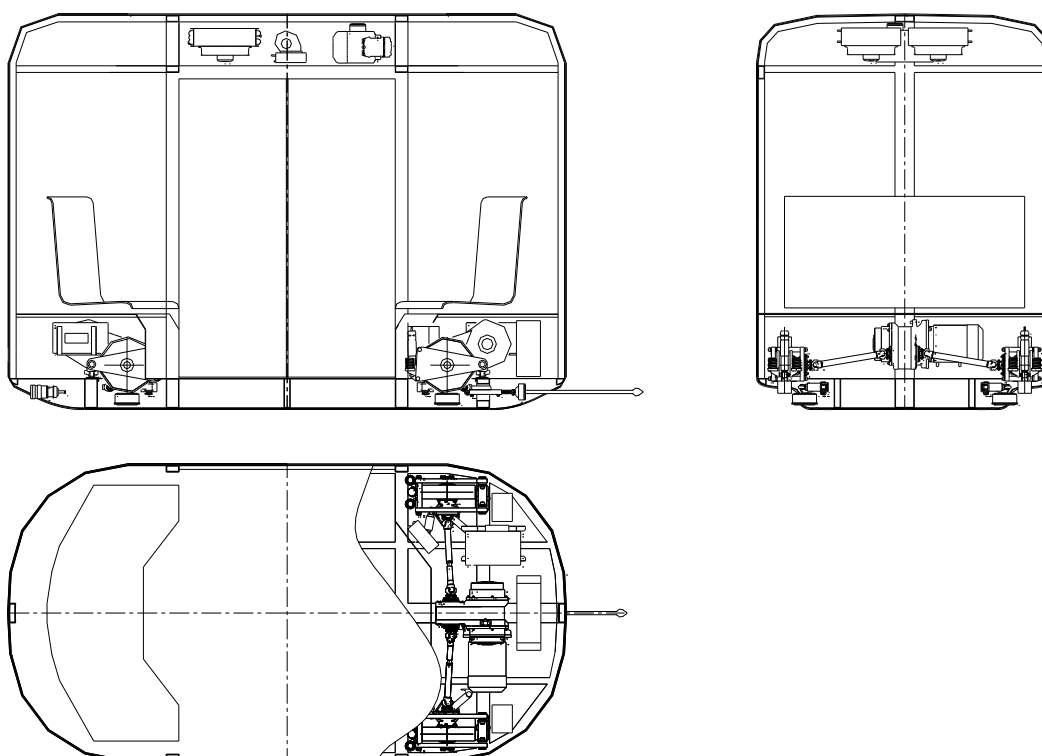


Рис. 2.4. Юнибус Ю-324П варианта исполнения 03

2.2. Исходные данные

Максимальная масса юнибуса, кг	$m = 2400$
Расчетная кинематическая скорость, км/ч	$V = 60$
Коэффициент сопротивления качению колес юнибуса	$f = 0,0022$
Коэффициент лобового аэродинамического сопротивления:	
- вариантов исполнений 01 и 04	$C_w = 0,1$
- вариантов исполнений 02 и 03	$C_w = 0,5$
Размер лобовой площади (мидель), м ²	$A = 4,1$
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	$N_o = 5600$
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, сек ⁻¹	$\omega = 314$
Колесная формула	4×4
Коэффициент сцепления колеса с рельсом (наименьший)	$\varphi = 0,1$
Среднее расстояние между смежными станциями, м	$S = 1000$
Угол наибольшей крутизны продольного уклона пути, °	$\alpha = 5,0$
Ускорение свободного падения, м/с ²	$g = 9,8$
Плотность воздуха, кг/м ³	$\rho = 1,202$

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 (начальное ускорение ограничивается величиной $0,6 \text{ м / с}^2$);
- равномерное движение со скоростью 60 км/ч;
- 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, приводного электродвигателя и привода кондиционера приняты такими же, как и для тягового привода.

2.4. Выбор тягового электродвигателя

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

2.4.1. Наибольший требуемый крутящий момент (M_1) на одном тяговом колесе определяется из условия преодоления наибольшей крутизны продольного уклона ($\alpha = 5,0^\circ$), при встречном ветре 15 м/с, по формуле:

$$M_1 = r (m \cdot g \cdot \sin \alpha + F_{\text{вет}} + F) / 4, \quad \text{Нм},$$

где:

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

$F_{\text{вет}} = 0,5 \cdot \rho \cdot C_w \cdot A \cdot V_{\text{вет}}^2$ — сила сопротивления ветра, Н.

Результаты расчета — см. табл. 2.1.

2.4.2. Определение требуемого наибольшего крутящего момента на валу тягового электродвигателя.

Наибольший крутящий момент на валу тягового электродвигателя (M_2)

определяется по формуле:

$$M_2 = 2 \cdot M_1 / i \cdot \eta_1, \quad \text{Н м},$$

где:

$i = n_2 / n_1 = 3600 / 909,5 = 3,95$ — передаточное число редуктора;

$n_2 = 3600$ об/мин — синхронная частота вращения валов асинхронных трехфазных электродвигателей в соответствии с ГОСТ12139 при частоте питающего напряжения 50 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.

Результаты расчета — см. табл. 2.1.

2.4.3. Определение установочной мощности (N) тягового электродвигателя и его выбор.

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

где:

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

Результаты расчета — см. табл. 2.1.

Таблица 2.1

Установочная мощность электродвигателей Ю-324П исполнений 01—04 для варианта 1 (безветрие)

Исполнение Ю-324П	$F_{\text{вет}}, \text{ Н}$	$F, \text{ Н}$	$M_1, \text{ Нм}$	$M_2, \text{ Нм}$	$N, \text{ Вт}$
01 и 04	58,2	51,5	94,3	49,7	7093
02 и 03	277,0	51,5	103,8	54,7	7807

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.

Для движения юнибуса без скольжения колес необходимо соблюдение условия:

$$P_{\text{сц}} \geq P_1,$$

где:

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

P_1 — наибольшая сила тяги на одном колесе юнибуса.

$$P_{\text{сц}} = \varphi \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha / 4 = 0,1 \cdot 2400 \cdot 9,8 \cdot \cos 5^\circ / 4 = 585,7 \text{ Н.}$$

$$P_1 = M_1 / r = 95 / 0,175 = 543 \text{ Н}$$

$585,7 > 543$ — условие движения юнибуса без скольжения соблюдается.

2.5. Расчет динамических показателей разгона

Расчет динамических показателей разгона юнибуса производится из условия ограничения 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 ускорения до набора скорости 60 км/ч .

Сила аэродинамического сопротивления движению юнибуса определяется по формуле:

$$R_i = 0,5 \cdot \rho \cdot C_w \cdot A \cdot V_i^2, \quad \text{Н,}$$

где:

V_i — текущая скорость юнибуса, м/с.

Результаты расчета — см.:

1) для Ю-324П исполнений 01 и 04:

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

2) для Ю-324П исполнений 02 и 03:

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

Ускорение юнибуса определяется по формуле:

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

где:

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

Результаты расчета — см.:

1) для Ю-324П исполнений 01 и 04:

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

2) для Ю-324П исполнений 02 и 03:

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

Время (T_p) и путь разгона (S_p) определятся как сумма приращений в интервалах скорости (ΔV , км/час): 0—2; 2—4; и т.д.

Приращение времени в каждом интервале скорости:

$$\Delta T = \Delta V / a_{\text{cp}}, \quad \text{с},$$

где:

$a_{\text{cp}} = 0,5 \cdot (a_i + a_{i+1})$ — среднее ускорение, м/с²

Результаты расчета — см.:

1) для Ю-324П исполнений 01 и 04:

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

2) для Ю-324П исполнений 02 и 03:

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

Приращение пути разгона в каждом интервале:

$$\Delta S = \Delta T \cdot V_{\text{cp}}, \quad \text{м},$$

где:

$V_{\text{cp}} = 0,5 \cdot (V_i + V_{i+1})$ — средняя скорость в каждом интервале, м/с.

Результаты расчета — см.:

- 1) для Ю-324П исполнений 01 и 04:
- табл. 2.2 — для варианта 1 (безветрие);
 - табл. 2.3 — для варианта 2.
- 2) для Ю-324П 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-324П исполнений 01 и 04
для варианта 1 (безветрие)

V, км/ч	V, м/с	P, Н	R, Н	a ср, м/с	Vср, м/с	ΔS, м	Тр, с	Sp, м
0								
2	0,556	25920,000	0,080	0,600	0,278	0,257	0,926	0,257
4	1,111	12960,000	0,319	0,600	0,833	0,772	1,852	1,029
6	1,667	8640,000	0,719	0,600	1,389	1,286	2,778	2,315
8	2,222	6480,000	1,278	0,600	1,944	1,800	3,704	4,115
10	2,778	5184,000	1,996	0,600	2,500	2,315	4,630	6,430
12	3,333	4320,000	2,875	0,600	3,056	2,829	5,556	9,259
14	3,889	3702,857	3,913	0,600	3,611	3,344	6,481	12,603
16	4,444	3240,000	5,111	0,600	4,167	3,858	7,407	16,461
18	5,000	2880,000	6,468	0,600	4,722	4,372	8,333	20,833
20	5,556	2592,000	7,986	0,600	5,278	4,887	9,259	25,720
22	6,111	2356,364	9,662	0,600	5,833	5,401	10,185	31,121
24	6,667	2160,000	11,499	0,600	6,389	5,916	11,111	37,037
26	7,222	1993,846	13,496	0,600	6,944	6,430	12,037	43,467
28	7,778	1851,429	15,652	0,600	7,500	6,944	12,963	50,412
30	8,333	1728,000	17,967	0,600	8,056	7,459	13,889	57,870
32	8,889	1620,000	20,443	0,600	8,611	7,973	14,815	65,844
34	9,444	1524,706	23,078	0,600	9,167	8,488	15,741	74,331
36	10,000	1440,000	25,873	0,584	9,722	9,251	16,692	83,583
38	10,556	1364,211	28,828	0,551	10,278	10,358	17,700	93,941
40	11,111	1296,000	31,942	0,520	10,833	11,574	18,769	105,515
42	11,667	1234,286	35,216	0,492	11,389	12,871	19,899	118,386
44	12,222	1178,182	38,650	0,466	11,944	14,251	21,092	132,636
46	12,778	1126,957	42,243	0,442	12,500	15,718	22,349	148,354
48	13,333	1080,000	45,997	0,420	13,056	17,276	23,672	165,630
50	13,889	1036,800	49,909	0,399	13,611	18,930	25,063	184,560
52	14,444	996,923	53,982	0,380	14,167	20,685	26,523	205,245
54	15,000	960,000	58,214	0,363	14,722	22,547	28,055	227,791
56	15,556	925,714	62,606	0,346	15,278	24,522	29,660	252,313
58	16,111	893,793	67,158	0,330	15,833	26,618	31,341	278,931
60	16,667	864,000	71,870	0,316	16,389	28,842	33,1	307,8

Таблица 2.3

Динамические показатели разгона юнибуса Ю-324П исполнений 01 и 04 для варианта 2 (встречный ветер 15 м/с)

V, км/ч	V, м/с	P, Н	R, Н	a ср, м/с	Vcp, м/с	ΔS, м	Тр, с	Sp, м
0								
2	0,556	25920,000	0,080	0,600	0,278	0,257	0,926	0,257
4	1,111	12960,000	0,319	0,600	0,833	0,772	1,852	1,029
6	1,667	8640,000	0,719	0,600	1,389	1,286	2,778	2,315
8	2,222	6480,000	1,278	0,600	1,944	1,800	3,704	4,115
10	2,778	5184,000	1,996	0,600	2,500	2,315	4,630	6,430
12	3,333	4320,000	2,875	0,600	3,056	2,829	5,556	9,259
14	3,889	3702,857	3,913	0,600	3,611	3,344	6,481	12,603
16	4,444	3240,000	5,111	0,600	4,167	3,858	7,407	16,461
18	5,000	2880,000	6,468	0,600	4,722	4,372	8,333	20,833
20	5,556	2592,000	7,986	0,600	5,278	4,887	9,259	25,720
22	6,111	2356,364	9,662	0,600	5,833	5,401	10,185	31,121
24	6,667	2160,000	11,499	0,600	6,389	5,916	11,111	37,037
26	7,222	1993,846	13,496	0,600	6,944	6,430	12,037	43,467
28	7,778	1851,429	15,652	0,600	7,500	6,944	12,963	50,412
30	8,333	1728,000	17,967	0,600	8,056	7,459	13,889	57,870
32	8,889	1620,000	20,443	0,600	8,611	7,973	14,815	65,844
34	9,444	1524,706	23,078	0,590	9,167	8,633	15,757	74,476
36	10,000	1440,000	25,873	0,562	9,722	9,617	16,746	84,093
38	10,556	1364,211	28,828	0,527	10,278	10,835	17,800	94,928
40	11,111	1296,000	31,942	0,496	10,833	12,141	18,921	107,068
42	11,667	1234,286	35,216	0,467	11,389	13,539	20,109	120,607
44	12,222	1178,182	38,650	0,441	11,944	15,034	21,368	135,641
46	12,778	1126,957	42,243	0,418	12,500	16,631	22,698	152,272
48	13,333	1080,000	45,997	0,396	13,056	18,335	24,103	170,607
50	13,889	1036,800	49,909	0,375	13,611	20,154	25,584	190,761
52	14,444	996,923	53,982	0,356	14,167	22,093	27,143	212,854
54	15,000	960,000	58,214	0,339	14,722	24,162	28,784	237,016
56	15,556	925,714	62,606	0,322	15,278	26,370	30,510	263,386
58	16,111	893,793	67,158	0,306	15,833	28,726	32,325	292,112
60	16,667	864,000	71,870	0,291	16,389	31,243	34,2	323,3

Таблица 2.4

Динамические показатели разгона юнибуса Ю-324П исполнений 02 и 03 для варианта 1 (безветрие)

V, км/ч	V, м/с	P, Н	R, Н	a ср, м/с	Vcp, м/с	ΔS, м	Тр, с	Sp, м
0								
2	0,556	25920,000	0,380	0,600	0,278	0,257	0,926	0,257
4	1,111	12960,000	1,521	0,600	0,833	0,772	1,852	1,029
6	1,667	8640,000	3,422	0,600	1,389	1,286	2,778	2,315
8	2,222	6480,000	6,084	0,600	1,944	1,800	3,704	4,115
10	2,778	5184,000	9,507	0,600	2,500	2,315	4,630	6,430
12	3,333	4320,000	13,689	0,600	3,056	2,829	5,556	9,259
14	3,889	3702,857	18,633	0,600	3,611	3,344	6,481	12,603
16	4,444	3240,000	24,337	0,600	4,167	3,858	7,407	16,461
18	5,000	2880,000	30,801	0,600	4,722	4,372	8,333	20,833
20	5,556	2592,000	38,026	0,600	5,278	4,887	9,259	25,720
22	6,111	2356,364	46,012	0,600	5,833	5,401	10,185	31,121

V, км/ч	V, м/с	P, Н	R, Н	a ср, м/с	Vср, м/с	ΔS, м	Тр, с	Sp, м
24	6,667	2160,000	54,758	0,600	6,389	5,916	11,111	37,037
26	7,222	1993,846	64,264	0,600	6,944	6,430	12,037	43,467
28	7,778	1851,429	74,531	0,600	7,500	6,944	12,963	50,412
30	8,333	1728,000	85,559	0,600	8,056	7,459	13,889	57,870
32	8,889	1620,000	97,347	0,600	8,611	7,973	14,815	65,844
34	9,444	1524,706	109,896	0,584	9,167	8,721	15,766	74,564
36	10,000	1440,000	123,205	0,548	9,722	9,865	16,781	84,429
38	10,556	1364,211	137,275	0,508	10,278	11,231	17,874	95,660
40	11,111	1296,000	152,105	0,472	10,833	12,741	19,050	108,402
42	11,667	1234,286	167,696	0,439	11,389	14,414	20,315	122,816
44	12,222	1178,182	184,047	0,408	11,944	16,274	21,678	139,090
46	12,778	1126,957	201,159	0,378	12,500	18,351	23,146	157,441
48	13,333	1080,000	219,031	0,351	13,056	20,683	24,730	178,123
50	13,889	1036,800	237,664	0,324	13,611	23,317	26,443	201,441
52	14,444	996,923	257,057	0,299	14,167	26,317	28,301	227,757
54	15,000	960,000	277,211	0,275	14,722	29,761	30,322	257,518
56	15,556	925,714	298,126	0,251	15,278	33,757	32,532	291,275
58	16,111	893,793	319,801	0,229	15,833	38,450	34,960	329,725
60	16,667	864,000	342,236	0,207	16,389	44,044	37,6	373,8

Таблица 2.5

Динамические показатели разгона юнибуса Ю-324П исполнений 02 и 03 для варианта 2 (встречный ветер 15 м/с)

V, км/ч	V, м/с	P, Н	R, Н	a ср, м/с	Vср, м/с	ΔS, м	Тр, с	Sp, м
0								
2	0,556	25920,000	0,380	0,600	0,278	0,257	0,926	0,257
4	1,111	12960,000	1,521	0,600	0,833	0,772	1,852	1,029
6	1,667	8640,000	3,422	0,600	1,389	1,286	2,778	2,315
8	2,222	6480,000	6,084	0,600	1,944	1,800	3,704	4,115
10	2,778	5184,000	9,507	0,600	2,500	2,315	4,630	6,430
12	3,333	4320,000	13,689	0,600	3,056	2,829	5,556	9,259
14	3,889	3702,857	18,633	0,600	3,611	3,344	6,481	12,603
16	4,444	3240,000	24,337	0,600	4,167	3,858	7,407	16,461
18	5,000	2880,000	30,801	0,600	4,722	4,372	8,333	20,833
20	5,556	2592,000	38,026	0,600	5,278	4,887	9,259	25,720
22	6,111	2356,364	46,012	0,600	5,833	5,401	10,185	31,121
24	6,667	2160,000	54,758	0,600	6,389	5,916	11,111	37,037
26	7,222	1993,846	64,264	0,600	6,944	6,430	12,037	43,467
28	7,778	1851,429	74,531	0,600	7,500	6,944	12,963	50,412
30	8,333	1728,000	85,559	0,574	8,056	7,802	13,931	58,213
32	8,889	1620,000	97,347	0,522	8,611	9,159	14,995	67,372
34	9,444	1524,706	109,896	0,475	9,167	10,723	16,165	78,095
36	10,000	1440,000	123,205	0,432	9,722	12,502	17,451	90,598
38	10,556	1364,211	137,275	0,393	10,278	14,533	18,865	105,131
40	11,111	1296,000	152,105	0,357	10,833	16,865	20,422	121,996
42	11,667	1234,286	167,696	0,323	11,389	19,561	22,139	141,558
44	12,222	1178,182	184,047	0,292	11,944	22,706	24,040	164,263
46	12,778	1126,957	201,159	0,263	12,500	26,413	26,153	190,676
48	13,333	1080,000	219,031	0,235	13,056	30,841	28,515	221,517

V, км/ч	V, м/с	P, Н	R, Н	a ср, м/с	Vср, м/с	ΔS, м	Тр, с	Sp, м
50	13,889	1036,800	237,664	0,209	13,611	36,217	31,176	257,734
52	14,444	996,923	257,057	0,184	14,167	42,876	34,203	300,610
54	15,000	960,000	277,211	0,159	14,722	51,336	37,690	351,946
56	15,556	925,714	298,126	0,136	15,278	62,441	41,777	414,387
58	16,111	893,793	319,801	0,113	15,833	77,661	46,682	492,049
60	16,667	864,000	342,236	0,091	16,389	99,815	52,8	591,8

2.6. Динамические показатели торможения

$T_{\text{торм}} = V / a = 16,667 / 0,6 = 27,7$ с — время штатного торможения (при ускорении торможения $0,6 \text{ м/с}^2$);

$S_{\text{торм}} = a \cdot T_{\text{торм}}^2 / 2 = 0,6 \cdot 27,7^2 / 2 = 230$ м — штатный тормозной путь.

2.7. Путь и время равномерного движения со скоростью 60 км/час

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

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

Результаты расчета — см.:

- табл. 2.6 — для Ю-324П исполнений 01 и 04;
- табл. 2.7 — для Ю-324П исполнений 02 и 03.

2.8. Общее время, необходимое для преодоления расстояния между станциями в 1000 м

$T = T_p + T_{\text{равн}} + T_{\text{торм}}$, с.

Результаты расчета — см.:

- табл. 2.6 — для Ю-324П исполнений 01 и 04;
- табл. 2.7 — для Ю-324П исполнений 02 и 03.

Таблица 2.6

Время, необходимое юнибусу Ю-324П исполнений 01 и 04 для преодоления расстояния между станциями в 1000 м

Варианты условий	S_p , м	T_p , с	$S_{\text{равн}}$, м	$T_{\text{равн}}$, с	T , с
Вариант 1 (безветрие)	307,8	33,1	462,2	27,73	88,5
Вариант 2 (встречный ветер)	323,3	34,2	446,7	26,8	88,7

Таблица 2.7

Время, необходимое юнибусу Ю-324П исполнений 02 и 03 для преодоления расстояния между станциями в 1000 м

Варианты условий	S_p , м	T_p , с	$S_{равн}$, м	$T_{равн}$, с	T , с
Вариант 1 (безветрие)	373,8	37,6	396,2	23,77	89,0
Вариант 2 (встречный ветер)	591,8	52,8	178,2	10,7	91,2

2.9. Энергия на тяговых колесах, необходимая для разгона

$$W_1 = W_{11} + W_{12}, \text{ Дж,}$$

где:

$W_{11} = (m \cdot a + R_1 + F + F_{вет}) S_1$ — энергия, необходимая для разгона юнибуса с постоянным ускорением $0,6 \text{ м/с}^2$, Дж;

R_1 — усредненная аэродинамическая сила сопротивления на участке разгона с постоянным ускорением $0,6 \text{ м/с}^2$ (см. табл. 2.2, 2.3, 2.4 и 2.5);

S_1 — протяженность участка разгона с постоянным ускорением $0,6 \text{ м/с}^2$ (см. табл. 2.2, 2.3, 2.4 и 2.5);

$W_{12} = N_{max} \cdot (t_2 - t_1)$ — энергия, необходимая для дальнейшего разгона юнибуса до достижения скорости 60 км/ч , Дж;

t_2 — время разгона до скорости 60 км/ч (см. табл. 2.2, 2.3, 2.4 и 2.5);

t_1 — время разгона с постоянным ускорением $0,6 \text{ м/с}^2$ (см. табл. 2.2, 2.3, 2.4 и 2.5);

Результаты расчета — см.:

- табл. 2.8 — для Ю-324П исполнений 01 и 04
- табл. 2.9 — для Ю-324П исполнений 02 и 03.

2.10. Энергия на тяговых колесах, необходимая для равномерного движения

Энергия на тяговых колесах, необходимая для равномерного движения со скоростью 60 км/ч , определяется по формуле:

$$W_2 = (R_2 + F + F_{вет}) S_{равн}, \text{ Дж}$$

где:

$R_2 = 71,8 \text{ Н}$ — сила аэродинамического сопротивления движению юнибуса Ю-324П исполнений 01 и 04 при скорости 60 км/ч (см. табл. 2.2 и 2.3).

$R_2 = 342,2 \text{ Н}$ — сила аэродинамического сопротивления движению юнибуса Ю-324П исполнений 02 и 03 при скорости 60 км/ч (см. табл. 2.4 и 2.5).

Результаты расчета — см.:

- табл. 2.8 — для Ю-324П исполнений 01 и 04;
- табл. 2.9 — для Ю-324П исполнений 02 и 03.

Таблица 2.8

Энергия на тяговых колесах юнибуса Ю-324П исполнений 01 и 04, необходимая для разгона и равномерного движения

Вариант	W_{11} , Дж	W_{12} , Дж	W_1 , Дж	W_2 , Дж
1 (безветрие)	111710	260385	372095	57022
2 (встречный ветер)	102714	290775	393489	81107

Таблица 2.9

Энергия на тяговых колесах юнибуса Ю-324П исполнений 02 и 03, необходимая для разгона и равномерного движения

Вариант	W_{11} , Дж	W_{12} , Дж	W_1 , Дж	W_2 , Дж
1 (безветрие)	101419,5	341775	443194,5	71942
2 (встречный ветер)	91041,5	597555	688596,5	119525

2.11. Определение энергии рекуперации на участке торможения

Мощность тормозного воздействия на юнибус от сил аэродинамического сопротивления, сопротивления качению колес и встречного ветра определяется по формуле:

$$N_T = (R + F + F_{\text{вет}}) V_i, \text{ Вт.}$$

Результаты расчета — см.:

1) для Ю-324П исполнений 01 и 04:

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

- табл. 2.11 — для варианта 2.
- 2) для Ю-324П исполнений 02 и 03:
- табл. 2.12 — для варианта (безветрие) 1;
 - табл. 2.13 — для варианта 2.

Энергия, затрачиваемая на преодоление сил аэродинамического сопротивления, сопротивления качению колес и встречного ветра (W), определяется как сумма приращений в интервалах скорости (ΔV): 60—59; 59—58; и т.д. до 1—0 км/ч. При расчете приращение энергии в интервале определяется по формуле:

$$\Delta W = N_{T\text{cp}} \cdot \Delta T, \text{ Дж}$$

где:

$$N_{T\text{cp}} = 0,5 \cdot (N_{Ti} + N_{Ti+1}), \text{ Вт},$$

$$\Delta T = \Delta V / a = 0,28 / 0,6 = 0,463 \text{ с.}$$

Результаты расчета — см.:

- 1) для Ю-324П исполнений 01 и 04:
- табл. 2.10 — для варианта 1(безветрие);
 - табл. 2.11 — для варианта 2.
- 2) для Ю-324П исполнений 02 и 03:
- табл. 2.12 — для варианта 1 (безветрие);
 - табл. 2.13 — для варианта 2.

Таблица 2.10

Приращение энергии, затрачиваемой на преодоление сил аэродинамического сопротивления и сопротивления качению колес при торможении юнибуса Ю-324П исполнений 01 и 04 для варианта 1 (безветрие)

V, км/ч	V, м/с	R, Н	R+F, Н	N _T , Вт	N _{тср} , Вт	ΔW, Дж
60	16,67	71,870	123,614	2060,226389	2023,590384	936,85
59	16,39	69,494	121,238	1986,954379	1951,299927	903,38
58	16,11	67,158	118,902	1915,645474	1880,955937	870,81
57	15,83	64,862	116,606	1846,2664	1812,525142	839,13
56	15,56	62,606	114,350	1778,783885	1745,97427	808,32
55	15,28	60,390	112,134	1713,164655	1681,270046	778,37
54	15,00	58,214	109,958	1649,375438	1618,379199	749,25
53	14,72	56,078	107,822	1587,38296	1557,268454	720,96
52	14,44	53,982	105,726	1527,153949	1497,90454	693,47
51	14,17	51,926	103,670	1468,655131	1440,254183	666,78
50	13,89	49,909	101,653	1411,853234	1384,28411	640,87
49	13,61	47,933	99,677	1356,714985	1329,961048	615,72



V, км/ч	V, м/с	R, Н	R+F, Н	Nт, Вт	Nтср, Вт	ΔW, Дж
48	13,33	45,997	97,741	1303,207111	1277,251725	591,32
47	13,06	44,100	95,844	1251,296339	1226,122867	567,65
46	12,78	42,243	93,987	1200,949395	1176,541202	544,70
45	12,50	40,427	92,171	1152,133008	1128,473456	522,44
44	12,22	38,650	90,394	1104,813903	1081,886356	500,87
43	11,94	36,913	88,657	1058,958809	1036,74663	479,98
42	11,67	35,216	86,960	1014,534451	993,0210047	459,73
41	11,39	33,559	85,303	971,5075581	950,676207	440,13
40	11,11	31,942	83,686	929,844856	909,678964	421,15
39	10,83	30,365	82,109	889,513072	869,9960027	402,78
38	10,56	28,828	80,572	850,4789334	831,5940502	385,00
37	10,28	27,330	79,074	812,709167	794,4398335	367,80
36	10,00	25,873	77,617	776,1705	758,5000797	351,16
35	9,72	24,456	76,200	740,8296594	723,7415158	335,07
34	9,44	23,078	74,822	706,6533722	690,1308688	319,51
33	9,17	21,741	73,485	673,6083655	657,6348659	304,46
32	8,89	20,443	72,187	641,6613663	626,2202339	289,92
31	8,61	19,185	70,929	610,7791016	595,8537001	275,86
30	8,33	17,967	69,711	580,9282986	566,5019914	262,27
29	8,06	16,790	68,534	552,0756843	538,1318349	249,14
28	7,78	15,652	67,396	524,1879856	510,7099576	236,44
27	7,50	14,554	66,298	497,2319297	484,2030866	224,17
26	7,22	13,496	65,240	471,1742436	458,5779489	212,30
25	6,94	12,477	64,221	445,9816543	433,8012716	200,83
24	6,67	11,499	63,243	421,6208889	409,8397817	189,74
23	6,39	10,561	62,305	398,0586744	386,6602062	179,01
22	6,11	9,662	61,406	375,2617379	364,2292722	168,62
21	5,83	8,804	60,548	353,1968064	342,5137067	158,57
20	5,56	7,986	59,730	331,830607	321,4802368	148,83
19	5,28	7,207	58,951	311,1298667	301,0955896	139,40
18	5,00	6,468	58,212	291,0613125	281,326492	130,24
17	4,72	5,770	57,514	271,5916715	262,1396712	121,36
16	4,44	5,111	56,855	252,6876708	243,5018541	112,73
15	4,17	4,492	56,236	234,3160373	225,3797678	104,34
14	3,89	3,913	55,657	216,4434982	207,7401393	96,18
13	3,61	3,374	55,118	199,0367804	190,5496958	88,22
12	3,33	2,875	54,619	182,0626111	173,7751642	80,45
11	3,06	2,416	54,160	165,4877172	157,3832716	72,86
10	2,78	1,996	53,740	149,2788259	141,340745	65,44
9	2,50	1,617	53,361	133,4026641	125,6143115	58,15
8	2,22	1,278	53,022	117,8259588	110,1706981	51,00
7	1,94	0,978	52,722	102,5154373	94,97663183	43,97
6	1,67	0,719	52,463	87,43782639	79,99883981	37,04
5	1,39	0,499	52,243	72,55985323	65,20404905	30,19
4	1,11	0,319	52,063	57,84824486	50,55898658	23,41
3	0,83	0,180	51,924	43,2697283	36,03037945	16,68
2	0,56	0,080	51,824	28,79103061	21,58495472	9,99
1	0,28	0,020	51,764	14,37887883	7,189439413	3,33
0	0,00	0,000	51,744	0	0	0,00

Таблица 2.11

Приращение энергии, затрачиваемой на преодоление сил аэродинамического сопротивления, сопротивления качению колес и встречного ветра при торможении юнибуса Ю-324П исполнений 01 и 04 для варианта 2 (встречный ветер 15 м/с)

V, км/ч	V, м/с	R, Н	R+F+F _{ветр} , Н	N _т , Вт	N _{тер} , Вт	ΔW, Дж
60	16,67	71,870	181,814	3030,226389	2985,507051	1382,18
59	16,39	69,494	179,438	2940,787713	2897,049927	1341,23
58	16,11	67,158	177,102	2853,312141	2810,53927	1301,18
57	15,83	64,862	174,806	2767,7664	2725,941809	1262,01
56	15,56	62,606	172,550	2684,117218	2643,22427	1223,71
55	15,28	60,390	170,334	2602,331322	2562,35338	1186,27
54	15,00	58,214	168,158	2522,375438	2483,295865	1149,67
53	14,72	56,078	166,022	2444,216293	2406,018454	1113,90
52	14,44	53,982	163,926	2367,820615	2330,487873	1078,93
51	14,17	51,926	161,870	2293,155131	2256,670849	1044,76
50	13,89	49,909	159,853	2220,186568	2184,53411	1011,36
49	13,61	47,933	157,877	2148,881652	2114,044382	978,72
48	13,33	45,997	155,941	2079,207111	2045,168392	946,84
47	13,06	44,100	154,044	2011,129672	1977,872867	915,68
46	12,78	42,243	152,187	1944,616062	1912,124535	885,24
45	12,50	40,427	150,371	1879,633008	1847,890122	855,50
44	12,22	38,650	148,594	1816,147237	1785,136356	826,45
43	11,94	36,913	146,857	1754,125475	1723,829963	798,07
42	11,67	35,216	145,160	1693,534451	1663,937671	770,34
41	11,39	33,559	143,503	1634,340891	1605,426207	743,25
40	11,11	31,942	141,886	1576,511523	1548,262297	716,79
39	10,83	30,365	140,309	1520,013072	1492,412669	690,93
38	10,56	28,828	138,772	1464,812267	1437,84405	665,67
37	10,28	27,330	137,274	1410,875834	1384,523167	640,98
36	10,00	25,873	135,817	1358,1705	1332,416746	616,86
35	9,72	24,456	134,400	1306,662993	1281,491516	593,28
34	9,44	23,078	133,022	1256,320039	1231,714202	570,24
33	9,17	21,741	131,685	1207,108365	1183,051533	547,71
32	8,89	20,443	130,387	1158,9947	1135,470234	525,68
31	8,61	19,185	129,129	1111,945768	1088,937033	504,14
30	8,33	17,967	127,911	1065,928299	1043,418658	483,06
29	8,06	16,790	126,734	1020,909018	998,8818349	462,45
28	7,78	15,652	125,596	976,8546523	955,293291	442,27
27	7,50	14,554	124,498	933,7319297	912,6197533	422,51
26	7,22	13,496	123,440	891,5075769	870,8279489	403,16
25	6,94	12,477	122,421	850,148321	829,8846049	384,21
24	6,67	11,499	121,443	809,6208889	789,7564483	365,63
23	6,39	10,561	120,505	769,8920077	750,4102062	347,41
22	6,11	9,662	119,606	730,9284046	711,8126055	329,54
21	5,83	8,804	118,748	692,6968064	673,9303734	312,00
20	5,56	7,986	117,930	655,1639403	636,7302368	294,78
19	5,28	7,207	117,151	618,2965333	600,1789229	277,86
18	5,00	6,468	116,412	582,0613125	564,2431587	261,22
17	4,72	5,770	115,714	546,4250049	528,8896712	244,86
16	4,44	5,111	115,055	511,3543374	494,0851874	228,74
15	4,17	4,492	114,436	476,8160373	459,7964344	212,87
14	3,89	3,913	113,857	442,7768315	425,9901393	197,22
13	3,61	3,374	113,318	409,2034471	392,6330291	181,77
12	3,33	2,875	112,819	376,0626111	359,6918308	166,52

V, км/ч	V, м/с	R, Н	R+F+F _{ветр} , Н	N _т , Вт	N _{тср} , Вт	ΔW, Дж
11	3,06	2,416	112,360	343,3210506	327,1332716	151,45
10	2,78	1,996	111,940	310,9454925	294,9240783	136,54
9	2,50	1,617	111,561	278,9026641	263,0309781	121,77
8	2,22	1,278	111,222	247,1592922	231,4206981	107,14
7	1,94	0,978	110,922	215,6821039	200,0599652	92,62
6	1,67	0,719	110,663	184,4378264	168,9155065	78,20
5	1,39	0,499	110,443	153,3931866	137,954049	63,87
4	1,11	0,319	110,263	122,5149115	107,1423199	49,60
3	0,83	0,180	110,124	91,7697283	76,44704612	35,39
2	0,56	0,080	110,024	61,12436394	45,83495472	21,22
1	0,28	0,020	109,964	30,54554549	15,27277275	7,07
0	0,00	0,000	109,944	0	0	0,00

Таблица 2.12

Приращение энергии, затрачиваемой на преодоление сил аэродинамического сопротивления и сопротивления качению колес при торможении юнибуса Ю-324П исполнений 02 и 03 для варианта 1 (безветрие)

V, км/ч	V, м/с	R, Н	R+F, Н	N _т , Вт	N _{тср} , Вт	ΔW, Дж
60	16,67	342,236	393,980	6566,335185	6418,913575	2971,72
59	16,39	330,923	382,667	6271,491965	6128,744413	2837,38
58	16,11	319,801	371,545	5985,99686	5847,844145	2707,34
57	15,83	308,868	360,612	5709,691429	5576,054329	2581,51
56	15,56	298,126	349,870	5442,417229	5313,216523	2459,82
55	15,28	287,573	339,317	5184,015817	5059,172283	2342,21
54	15,00	277,211	328,955	4934,32875	4813,763168	2228,59
53	14,72	267,039	318,783	4693,197586	4576,830734	2118,90
52	14,44	257,057	308,801	4460,463882	4348,216539	2013,06
51	14,17	247,266	299,010	4235,969196	4127,76214	1911,00
50	13,89	237,664	289,408	4019,555084	3915,309094	1812,64
49	13,61	228,252	279,996	3811,063105	3710,69896	1717,92
48	13,33	219,031	270,775	3610,334815	3513,773293	1626,75
47	13,06	210,000	261,744	3417,211772	3324,373653	1539,06
46	12,78	201,159	252,903	3231,535533	3142,341595	1454,79
45	12,50	192,508	244,252	3053,147656	2967,518677	1373,85
44	12,22	184,047	235,791	2881,889698	2799,746457	1296,18
43	11,94	175,776	227,520	2717,603217	2638,866493	1221,70
42	11,67	167,696	219,440	2560,129769	2484,72034	1150,33
41	11,39	159,805	211,549	2409,310912	2337,149557	1082,01
40	11,11	152,105	203,849	2264,988203	2195,995702	1016,66
39	10,83	144,595	196,339	2127,0032	2061,10033	954,21
38	10,56	137,275	189,019	1995,197461	1932,305001	894,59
37	10,28	130,145	181,889	1869,412541	1809,451271	837,71
36	10,00	123,205	174,949	1749,49	1692,380697	783,51
35	9,72	116,455	168,199	1635,271394	1580,934837	731,91
34	9,44	109,896	161,640	1526,59828	1474,955248	682,85
33	9,17	103,526	155,270	1423,312216	1374,283488	636,24
32	8,89	97,347	149,091	1325,25476	1278,761114	592,02
31	8,61	91,358	143,102	1232,267468	1188,229683	550,11
30	8,33	85,559	137,303	1144,191898	1102,530753	510,43
29	8,06	79,950	131,694	1060,869608	1021,505881	472,92
28	7,78	74,531	126,275	982,1421536	944,9966237	437,50



V, км/ч	V, м/с	R, Н	R+F, Н	Nт, Вт	Nтср, Вт	ΔW, Дж
27	7,50	69,303	121,047	907,8510938	872,8445395	404,09
26	7,22	64,264	116,008	837,8379853	804,8911854	372,63
25	6,94	59,416	111,160	771,9443855	740,9781187	343,05
24	6,67	54,758	106,502	710,0118519	680,9468968	315,25
23	6,39	50,290	102,034	651,8819417	624,639077	289,18
22	6,11	46,012	97,756	597,3962123	571,8962167	264,77
21	5,83	41,924	93,668	546,3962211	522,5598732	241,93
20	5,56	38,026	89,770	498,7235254	476,471604	220,59
19	5,28	34,319	86,063	454,2196826	433,4729663	200,68
18	5,00	30,801	82,545	412,72625	393,4055175	182,13
17	4,72	27,474	79,218	374,084785	356,110815	164,87
16	4,44	24,337	76,081	338,136845	321,4304161	148,81
15	4,17	21,390	73,134	304,7239873	289,2058782	133,89
14	3,89	18,633	70,377	273,6877692	259,2787587	120,04
13	3,61	16,066	67,810	244,8697482	231,4906148	107,17
12	3,33	13,689	65,433	218,1114815	205,683004	95,22
11	3,06	11,503	63,247	193,2545265	181,6974836	84,12
10	2,78	9,507	61,251	170,1404407	159,375611	73,79
9	2,50	7,700	59,444	148,6107813	138,5589434	64,15
8	2,22	6,084	57,828	128,5071056	119,0890384	55,13
7	1,94	4,658	56,402	109,6709712	100,8074532	46,67
6	1,67	3,422	55,166	91,94393519	83,55574513	38,68
5	1,39	2,377	54,121	75,16755508	67,17547164	31,10
4	1,11	1,521	53,265	59,1833882	51,50819005	23,85
3	0,83	0,856	52,600	43,8329919	36,39545771	16,85
2	0,56	0,380	52,124	28,95792353	21,67883198	10,04
1	0,28	0,095	51,839	14,39974044	7,19987022	3,33
0	0,00	0,000	51,744	0	0	0,00

Таблица 2.13

Приращение энергии, затрачиваемой на преодоление сил аэродинамического сопротивления, сопротивления качению колес и встречного ветра при торможении юнибуса Ю-324П исполнений 02 и 03 для варианта 2 (встречный ветер 15 м/с)

V, км/ч	V, м/с	R, Н	R+F, Н	Nт, Вт	Nтср, Вт	ΔW, Дж
60	16,67	342,236	670,980	11183,00185	10997,10802	5091,25
59	16,39	330,923	659,667	10811,21419	10629,99441	4921,29
58	16,11	319,801	648,545	10448,77464	10272,1497	4755,62
57	15,83	308,868	637,612	10095,52476	9923,41544	4594,17
56	15,56	298,126	626,870	9751,306118	9583,63319	4436,87
55	15,28	287,573	616,317	9415,960261	9252,644506	4283,63
54	15,00	277,211	605,955	9089,32875	8930,290946	4134,39
53	14,72	267,039	595,783	8771,253142	8616,414067	3989,08
52	14,44	257,057	585,801	8461,574993	8310,855428	3847,62
51	14,17	247,266	576,010	8160,135862	8013,456584	3709,93
50	13,89	237,664	566,408	7866,777306	7724,059094	3575,95
49	13,61	228,252	556,996	7581,340882	7442,504515	3445,60
48	13,33	219,031	547,775	7303,668148	7168,634404	3318,81
47	13,06	210,000	538,744	7033,600661	6902,290319	3195,50
46	12,78	201,159	529,903	6770,979978	6643,313817	3075,61
45	12,50	192,508	521,252	6515,647656	6391,546455	2959,05
44	12,22	184,047	512,791	6267,445254	6146,829791	2845,75



V, км/ч	V, м/с	R, Н	R+F, Н	Nт, Вт	Nтср, Вт	ΔW, Дж
43	11,94	175,776	504,520	6026,214328	5909,005381	2735,65
42	11,67	167,696	496,440	5791,796435	5677,914784	2628,66
41	11,39	159,805	488,549	5564,033134	5453,399557	2524,72
40	11,11	152,105	480,849	5342,765981	5235,301257	2423,75
39	10,83	144,595	473,339	5127,836534	5023,461442	2325,68
38	10,56	137,275	466,019	4919,086349	4817,721668	2230,43
37	10,28	130,145	458,889	4716,356986	4617,923493	2137,93
36	10,00	123,205	451,949	4519,49	4423,908475	2048,11
35	9,72	116,455	445,199	4328,326949	4235,51817	1960,89
34	9,44	109,896	438,640	4142,709391	4052,594137	1876,20
33	9,17	103,526	432,270	3962,478883	3874,977933	1793,97
32	8,89	97,347	426,091	3787,476982	3702,511114	1714,13
31	8,61	91,358	420,102	3617,545246	3535,035239	1636,59
30	8,33	85,559	414,303	3452,525231	3372,391864	1561,29
29	8,06	79,950	408,694	3292,258496	3214,422547	1488,16
28	7,78	74,531	403,275	3136,586598	3060,968846	1417,12
27	7,50	69,303	398,047	2985,351094	2911,872317	1348,09
26	7,22	64,264	393,008	2838,393541	2766,974519	1281,01
25	6,94	59,416	388,160	2695,555497	2626,117008	1215,79
24	6,67	54,758	383,502	2556,678519	2489,141341	1152,38
23	6,39	50,290	379,034	2421,604164	2355,889077	1090,69
22	6,11	46,012	374,756	2290,17399	2226,201772	1030,65
21	5,83	41,924	370,668	2162,229554	2099,920984	972,19
20	5,56	38,026	366,770	2037,612414	1976,888271	915,23
19	5,28	34,319	363,063	1916,164127	1856,945189	859,70
18	5,00	30,801	359,545	1797,72625	1739,933295	805,52
17	4,72	27,474	356,218	1682,140341	1625,694148	752,64
16	4,44	24,337	353,081	1569,247956	1514,069305	700,96
15	4,17	21,390	350,134	1458,890654	1404,900323	650,42
14	3,89	18,633	347,377	1350,909991	1298,028759	600,94
13	3,61	16,066	344,810	1245,147526	1193,29617	552,45
12	3,33	13,689	342,433	1141,444815	1090,544115	504,88
11	3,06	11,503	340,247	1039,643415	989,6141503	458,15
10	2,78	9,507	338,251	939,5848851	890,3478332	412,20
9	2,50	7,700	336,444	841,1107813	792,5867212	366,94
8	2,22	6,084	334,828	744,0626612	696,1723717	322,30
7	1,94	4,658	333,402	648,2820823	600,9463421	278,22
6	1,67	3,422	332,166	553,6106019	506,7501896	234,61
5	1,39	2,377	331,121	459,8897773	413,4254716	191,40
4	1,11	1,521	330,265	366,961166	320,8137456	148,52
3	0,83	0,856	329,600	274,6663252	228,7565688	105,91
2	0,56	0,380	329,124	182,8468124	137,0954986	63,47
1	0,28	0,095	328,839	91,34418489	45,67209244	21,14
0	0,00	0,000	328,744	0	0	0,00

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

- 1) Ю-324П исполнений 01 и 04:

- вариант 1 (без встречного ветра): $W_{\text{п}} = 20298$ Дж;
- вариант 2 (встречный ветер 15 м/с): $W_{\text{п}} = 33770$ Дж.

2) Ю-324П исполнений 02 и 03:

- вариант 1 (без встречного ветра): $W_{\text{п}} = 51599,4$ Дж;
- вариант 2 (встречный ветер 15 м/с): $W_{\text{п}} = 115719,8$ Дж.

Энергия рекуперации на участке торможения определяется по формуле:

$$W_{\text{р}} = (W_{\text{к}} - W_{\text{п}}) \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3, \quad \text{Дж},$$

где:

$W_{\text{к}} = m \cdot V^2 / 2 = 2400 \cdot 16,667^2 / 2 = 333346$ Дж — кинетическая энергия юнибуса, движущегося со скоростью 60 км/ч.

Результаты расчета — см.:

- табл. 2.14 — для Ю-324П исполнений 01 и 04;
- табл. 2.15 — для Ю-324П исполнений 02 и 03.

2.12. Электроэнергия, затраченная на движение

Электроэнергия, затраченная на движение юнибуса на перегоне, определяется по формуле:

$$W_{\text{д}} = (W_1 + W_2) / \eta_2 \cdot \eta_3 - W_{\text{р}}, \quad \text{Дж}.$$

Результаты расчета — см.:

- табл. 2.14 — для Ю-324П исполнений 01 и 04;
- табл. 2.15 — для Ю-324П исполнений 02 и 03.

2.13. Электроэнергия, затраченная на кондиционирование воздуха в салоне

Электроэнергия, затраченная на кондиционирование воздуха в салоне юнибуса летом на перегоне, определяется по формуле:

$$W_{\text{ко}} = N_{\text{ко}} \cdot T / \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3, \quad \text{Дж}$$

Результаты расчета см.:

- табл. 2.14 для Ю-324П исполнений 01 и 04
- табл. 2.15 для Ю-324П исполнений 02 и 03.

2.14. Электроэнергия, затраченная на обогрев салона зимой

Электроэнергия, затраченная на обогрев салона юнибуса зимой на перегоне, определяется по формуле:

$$W_o = N_o \cdot T, \text{ Дж.}$$

Результаты расчета — см.:

- таблицу 2.14 — для Ю-324П исполнений 01 и 04;
- таблицу 2.15 — для Ю-324П исполнений 02 и 03.

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

Электроэнергия, затраченная на преодоление участка пути (1 км) юнибусом и на кондиционирование воздуха в салоне, определяется как сумма:

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

Результаты расчета — см.:

- табл. 2.14 — для Ю-324П исполнений 01 и 04;
- табл. 2.15 — для Ю-324П исполнений 02 и 03.

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

Электроэнергия, затраченная на преодоление участка пути (1 км) юнибусом и на обогрев салона зимой, определяется как сумма:

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

Результаты расчета — см.:

- табл. 2.14 — для Ю-324П исполнений 01 и 04;
- табл. 2.15 — для Ю-324П исполнений 02 и 03.

Таблица 2.14

Электроэнергия, затраченная юнибусом Ю-324П исполнений 01 и 04 на преодоление участка пути (1 км), 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)	254245 (0,0706)	252985,5 (0,0703)	326906 (0,0908)	495600 (0,1376)	579891,5 (0,1611)	748585,5 (0,208)
2 (встречный ветер)	243303 (0,0676)	317685,0 (0,0883)	327645 (0,091)	496720 (0,138)	645330 (0,1793)	814405 (0,2263)

Таблица 2.15

Электроэнергия, затраченная юнибусом Ю-324П исполнений 02 и 03 на преодоление участка пути (1 км), 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)	228778 (0,0636)	380130 (0,1056)	326906 (0,0908)	495600 (0,1376)	707036 (0,1964)	875730 (0,2432)
2 (встречный ветер)	176712 (0,0491)	778514 (0,216)	327645 (0,091)	496720 (0,138)	1106159 (0,307)	1275234 (0,354)

2.17. 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 Ю-324П на настоящее время является электрохимический конденсатор. В частности, можно использовать блок из шести электрохимических конденсаторов 30ЭК404 разработки компании ЭСМА (РФ).

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	1.000.000
Срок службы, лет	15, не менее
Стоимость, USD	4000

2.17.1. Суммарный запас электроэнергии на борту юнибуса

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

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

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 1000 м между смежными станциями всеми исполнениями Ю-324П, как в условиях безветрия, так и в условиях встречного ветра.

2.17.2. Время, необходимое для восполнения энергии блока конденсаторов

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

- $T_d = W_d / N_3 \cdot \eta_4$, с — минимальное время, необходимое для восполнения энергии блока конденсаторов на станции, для случая преодоления участка пути (1 км) 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 (1 км) 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 (1 км) 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 Ю-324П исполнений 01 и 04;
- табл. 2.17 — для Ю-324П исполнений 02 и 03.

Таблица 2.16

Минимальное время, необходимое для восполнения энергии блока конденсаторов на станции юнибусом Ю-324П исполнений 01 и 04

Вариант	$T_{\text{д}}, \text{с}$	$T_{\text{общ } 1}, \text{с}$	$T_{\text{общ } 2}, \text{с}$
1 (безветрие)	6,5	14,9	19,2
2	8,2	16,5	20,9

Таблица 2.17

Минимальное время необходимое для восполнения энергии блока конденсаторов на станции юнибусом Ю-324П исполнений 02 и 03

Вариант	$T_{\text{д}}, \text{с}$	$T_{\text{общ } 1}, \text{с}$	$T_{\text{общ } 2}, \text{с}$
1 (безветрие)	9,7	18,2	22,5
2	20,0	28,4	32,7

2.18. Выводы

2.18.1. Два электродвигателя типоразмера АИР112М2, с номинальной мощностью 7,5 кВт каждый, обеспечивают разгон полностью загруженных юнибусов Ю-324П всех исполнений до скорости 60 км/ч, как в условиях безветрия, так и при встречном ветре 54 км/ч, а также — преодоление ими крутизны продольного уклона пути до 8,8% при встречном ветре 54 км/ч.

2.18.2. Время и путь штатного разгона (ускорение $0,6 \text{ м/с}^2$) полностью загруженных юнибусов Ю-324П до скорости 60 км/ч, в условиях безветрия на горизонтальном участке пути, составит:

- для исполнений 01 и 04: 33,1 с и 307,8 м;
- для исполнений 02 и 03: 37,6 с и 373,8 м.

2.18.3. Общее время преодоления юнибусом Ю-324П расстояния протяженностью 1000 м между двумя смежными станциями, практически не зависит от скорости встречного ветра в диапазоне его скоростей 5—52 км/ч и не превысит:

- для исполнений 01 и 04: 88,7 сек. (средняя скорость на перегоне 40,6 км/ч);
- для исполнений 02 и 03: 91,2 сек. (средняя скорость на перегоне 39,5 км/ч).

2.18.4. Количество электроэнергии, затраченной юнибусом Ю-324П на преодоление расстояния протяженностью 1000 м между двумя смежными станциями, при выключенной системе кондиционирования и отопления в условиях безветрия, составит:

- для исполнений 01 и 04: 70,3 Вт·ч;
- для исполнений 02 и 03: 105,6 Вт·ч (на 50% больше, чем для исполнений 01 и 04).

2.18.5. Количество электроэнергии, затраченной юнибусом Ю-324П на преодоление расстояния протяженностью 1000 м между двумя смежными станциями, при выключенной системе кондиционирования и отопления в условиях встречного ветра 15 м/с, составит:

- для исполнений 01 и 04: 88,3 Вт·ч;
- для исполнений 02 и 03: 216,0 Вт·ч (на 145% больше, чем для исполнений 01 и 04).

2.18.6. Количество электроэнергии, затраченной юнибусом Ю-324П на преодоление расстояния протяженностью 1000 м между двумя смежными станциями, при включенной на полную мощность системе кондиционирования в условиях безветрия и температуре наружного воздуха $+40^\circ\text{C}$, составит:



- для исполнений 01 и 04: 161,1 Вт·ч;
- для исполнений 02 и 03: 196,4 Вт·ч (на 22% больше, чем для исполнений 01 и 04).

2.18.7. Количество электроэнергии, затраченной юнибусом Ю-324П на преодоление расстояния в 1000 м между двумя смежными станциями, при включенной на полную мощность системе отопления в условиях встречного ветра 15 м/с и температуре наружного воздуха минус 60°C, составит:

- для исполнений 01 и 04: 226,3 Вт·ч;
- для исполнений 02 и 03: 354,0 Вт·ч (на 56% больше, чем для исполнений 01 и 04).

2.18.8. Наибольшее количество электроэнергии (354,0 Вт·ч) потребуется юнибусу Ю-324П исполнений 02 и 03 (с низкими аэродинамическими показателями) при его движении в условиях встречного ветра и температуре наружного воздуха минус 60°C. При тарифе в перспективе 0,1 USD за 1 кВт·ч, стоимость затраченной электроэнергии на перегоне протяженностью 1 км составит 0,0354 USD/км, или в пересчете на одного пассажира — 0,00295 USD/пасс.-км (для 12-тиместного юнибуса).

2.18.9. Наименьшее количество электроэнергии (70,3 Вт·ч) потребуется юнибусу Ю-324П исполнений 01 и 04 при его движении в условиях безветрия и отключенной системе кондиционирования и отопления. Стоимость затраченной электроэнергии в данном случае (на перегоне протяженностью 1 км) составит около 0,00763 USD/км, или в пересчете на одного пассажира — 0,000636 USD/пасс.-км (для 12-тиместного юнибуса). В пересчете затраченной электроэнергии в дизельное топливо, 12-ти местный юнибус Ю-324П в городском цикле движения (остановки через каждые 1000 м) будет расходовать на 100 км пути всего 2,1 литра топлива, или, в пересчете на одного пассажира — 0,18 л / 100 пасс.-км. Таким образом, юнибус станет самым экономичным городским пассажирским колесным транспортным средством в мире.

2.18.10. Юнибусы Ю-324П вариантов исполнения 01 и 04, отличающиеся улучшенными аэродинамическими формами, снижают энергозатраты на движение юнибуса на 50% в сравнении с вариантами исполнений 02 и 03.

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

- для исполнений 01 и 04: 129%;
- для исполнений 02 и 03: 86%.

2.18.12. Электроэнергия, затраченная на обогрев салона при наружной температуре воздуха минус 60°С, составит от электроэнергии, затраченной на движение:

- для исполнений 01 и 04: 195%;
- для исполнений 02 и 03: 130%.

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

- для исполнений 01 и 04: 20,9 сек.;
- для исполнений 02 и 03: 32,7 сек.

Необходимо отметить, что расчеты выполнены для случая, когда смежные станции расположены на одном уровне (по горизонту). Время, необходимое для восполнения энергии блока конденсаторов на станции прибытия, которая, например, будет находиться на 20 м выше станции отправления, возрастет и составит уже:

- для исполнений 01 и 04: 32,9 сек.;
- для исполнений 02 и 03: 44,7 сек.

Однако, если только на данном перегоне допустить движение с выключенной системой кондиционирования (отопления), то время, необходимое для восполнения энергии блока конденсаторов на станции прибытия будет вполне приемлемым (особенно для исполнений 01 и 04, которые имеют более совершенные аэродинамические формы кузова) и составит:



- для исполнений 01 и 04: 20,2 сек.;
- для исполнений 02 и 03: 32,0 сек.

2.18.14. При расчете затрат на электропитание юнибуса, в случае использования электрохимических конденсаторов 30ЭК404, к стоимости затраченной юнибусом электроэнергии на перегоне необходимо добавлять приведенную к одному циклу (заряд—разряд) стоимость конденсаторов (0,024 USD). В этом случае наибольшие затраты также будут при движении Ю-324П исполнений 02 и 03 (низкие аэродинамические показатели) в условиях встречного ветра и температуре наружного воздуха минус 60 °С и составят на перегоне 0,0594 USD/км, а наименьшие — при движении Ю-324П исполнений 01 и 04 в условиях безветрия с отключенной системой кондиционирования — отопления — 0,0316 USD/км.

2.18.15. 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 дальнейшей эксплуатацией контактной сети. Кроме того, следует иметь в виду, что бортовые источники питания на настоящее время еще имеют довольно низкие удельные весогабаритные показатели. Так, например, суммарная масса блока 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 Ю-324П, уменьшится с 12 до 8, соответственно удельные затраты на перевозку одного пассажира возрастут и составят:

- наибольшие: для исполнений 02 и 03 (низкие аэродинамические показатели) в условиях встречного ветра и температуре наружного воздуха минус 60°С — 0,00743 USD/пасс.-км, что выше в 2,5 раза по сравнению с вариантом организации электропитания от контактной сети;
- наименьшие: для исполнений 01 и 04 в условиях безветрия, с отключенной системой кондиционирования — отопления, — 0,00395 USD/пасс.-км, что выше в 6 раз по сравнению с вариантом организации электропитания от контактной сети.



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

«12» августа 2007 г.

**3. Тепловой баланс
двухрельсового автомобиля (юнибуса)
модели Ю-324П исполнения 01
(324П-0000010-01PP)**

Содержание расчета теплового баланса

3.1. Введение	108
3.2. Цель расчета	108
3.3. Исходные данные	108
3.4. Условия и допущения расчета	111
3.4.1. Условия расчета	111
3.4.2. Допущения при расчете	113
3.5. Тепловой баланс салона юнибуса в зимний период года	113
3.5.1. Формула теплового баланса юнибуса в зимний период года	113
3.5.2. Расчет количества тепла, необходимого для прогрева зимой свежего воздуха, поступающего в салон	114
3.5.3. Расчет потерь тепла из салона в окружающую среду через поверхности стекол	115
3.5.4. Расчет потерь тепла из салона в окружающую среду через боковую стенку	116
3.5.5. Расчет потерь тепла из салона в окружающую среду через поверхность пола	117
3.5.6. Расчет потерь тепла из салона в окружающую среду через поверхность потолка	118
3.5.7. Расчет потерь тепла из салона через поверхность перегородки хвостового отсека	119
3.5.8. Расчет потерь тепла из салона через поверхность кожухов силовых отсеков	120
3.5.9. Расчет тепловыделения пассажиров	121
3.5.10. Результаты расчета теплового баланса салона юнибуса в зимний период	121
3.6. Тепловой баланс салона юнибуса в летний период года	122
3.6.1. Формула теплового баланса юнибуса в летний период	122

3.6.2. Расчет количества тепла, поступающего в салон со свежим воздухом	123
3.6.3. Расчет количества тепла, поступающего в салон из окружающей среды через поверхности стекол	124
3.6.4. Расчет количества тепла, поступающего из окружающей среды в салон через поверхность боковой стенки	124
3.6.5. Расчет количества тепла, поступающего из окружающей среды в салон через поверхность пола	124
3.6.6. Расчет количества тепла, поступающего из окружающей среды в салон через поверхность потолка	125
3.6.7. Расчет количества тепла, поступающего в салон через поверхность перегородки хвостового отсека	125
3.6.8. Расчет количества тепла, поступающего в салон через поверхность кожухов силовых отсеков	126
3.6.9. Расчет тепловыделения пассажиров	126
3.6.10. Расчет количества тепла солнечного излучения, поступающего в салон через прозрачные перекрытия	126
3.6.11. Результаты расчета теплового баланса салона юнибуса в летний период	127
3.7. Выводы	128
3.7.1. Выводы по тепловому балансу в зимний период эксплуатации	128
3.7.2. Выводы по тепловому балансу в летний период эксплуатации	128
3.7.3. Элементы конструкции юнибуса, наиболее влияющие на его тепловой баланс	128

3.1. Введение

Данный расчет производится для двухрельсового автомобиля (юнибуса) модели Ю-324П исполнения 01. Эксплуатация, хранение и транспортировка юнибуса предусматривается в макроклиматическом районе с холодным климатом (ХЛ1 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-324П исполнения 01 изображен на рис. 3.1.

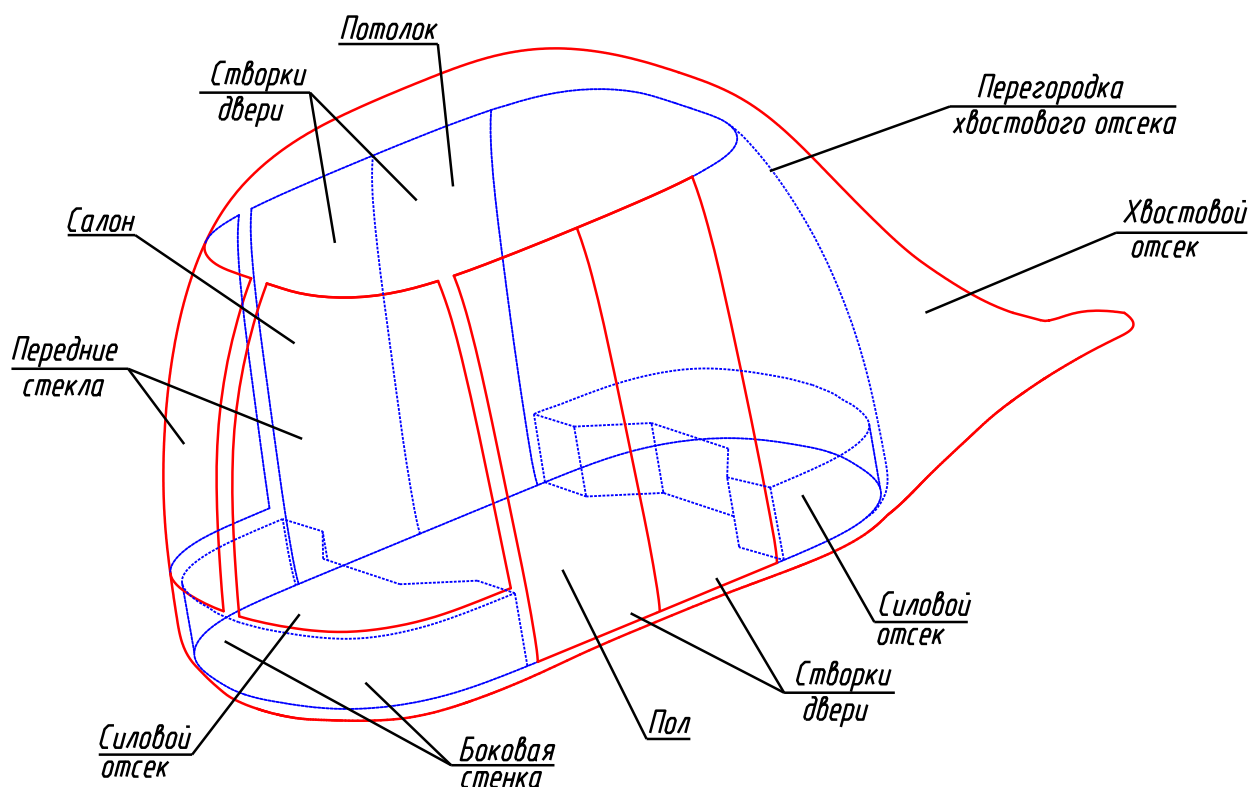


Рис. 3.1. Внешний вид юнибуса Ю-324П-01

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 рис. 3.2.

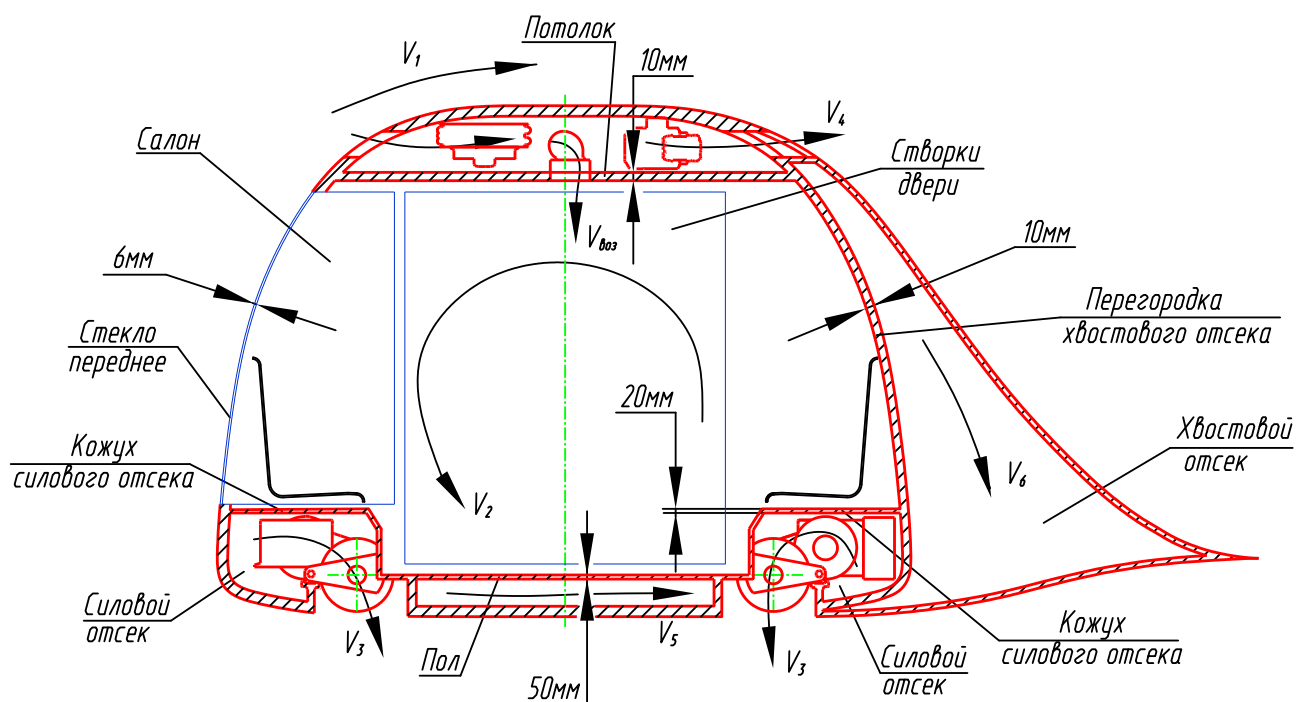


Рис. 3.2. Схема салона юнибуса Ю-324П-01

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	0,01	Рис. 3.2
Толщина теплоизолятора пола	м	0,05	Рис. 3.2
Толщина теплоизолятора кожуха силового отсека	м	0,02	Рис. 3.2
Коэффициент теплопроводности материала стекол	Вт/(м·°C)	0,21	
Коэффициент теплопроводности материала теплоизолятора потолка, пола, боковой стенки, перегородки хвостового отсека и кожухов силовых отсеков	Вт/(м·°C)	0,04	
Минимальная температура наружного воздуха в зимний период	°C	-60	
Максимальная температура наружного воздуха в летний период	°C	+40	
Температура воздуха в салоне в зимний период	°C	+5	
Температура воздуха в салоне в летний период	°C	+20	
Температура воздуха в отсеке под полом в зимний период	°C	-60	
Температура воздуха в отсеке под полом в летний период	°C	+40	
Температура воздуха в отсеке над потолком в зимний период	°C	-60	
Температура воздуха в отсеке над потолком в летний период	°C	+40	
Температура воздуха в хвостовом отсеке в зимний период	°C	-60	
Температура воздуха в хвостовом отсеке в летний период	°C	+40	
Температура воздуха в силовых отсеках в зимний период	°C	-30	
Температура воздуха в силовых отсеках в летний период	°C	+70	

Наименование параметра	Размерность	Величина параметра	Примечание
Количество свежего воздуха на одного пассажира: - в зимний период; - в летний период.	$\text{м}^3/\text{ч}$	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. 3.2
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 и 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 стенкой, между воздухом в отсеке под полом и наружной поверхностью пола, между воздухом в отсеке над потолком и наружной поверхностью потолка, 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 стенкой, пола, потолка, перегородки хвостового отсека и 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

Конструкции боковой стенки, пола, потолка, перегородки хвостового отсека и кожухов 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 стекол;

$Q_{бсз}$ — 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;

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

$Q_{пспз}$ — тепловыделение пассажиров.

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

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

где:

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

$$V_{\text{вз}} = V_{\text{п}} \cdot n,$$

$V_{\text{п}} = 10 \text{ м}^3/\text{ч}$ — количество свежего воздуха на одного пассажира в зимний период,

$n = 12$ — количество пассажиров.

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

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

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

Температура наружного воздуха $t_{\text{нз}} = -60^\circ\text{C}$.

Относительная влажность 30%.

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

$P_{\text{б}} = 745 \text{ мм. рт. ст.}$ — барометрическое давление;

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

$$P_{\text{пз}} = (P_{\text{б}} \cdot d_{\text{нз}}) / (622 + d_{\text{нз}}),$$

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

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

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

$$\Delta T_{\text{вз}} = t_{\text{сз}} - t_{\text{нз}}$$

Температура воздуха в салоне $t_{\text{сз}} = +5^\circ\text{C}$ и относительная влажность воздуха 40%.

$$\text{Отсюда, } \Delta T_{\text{вз}} = 5^\circ\text{C} - (-60^\circ\text{C}) = 65^\circ\text{C}.$$

C_{L3} — среднее теплосодержание воздуха, Вт · ч / (кг · °C);

$$C_{L3} = 0,22 \text{ Вт} \cdot \text{ч} / (\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}).$$

$$Q_{\text{вз}} = 120 \cdot 1,62 \cdot 0,22 \cdot 65 = 2787,5 \text{ Вт}.$$

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

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

где:

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

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

где:

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

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

$V_1 = 60$ км/ч — скорость наружного воздуха относительно наружной поверхности стекол.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\Delta T_{\text{вз}} = 5^\circ\text{С} - (-60^\circ\text{С}) = 65^\circ\text{С}.$$

$$Q_{\text{стз}} = 3,82 \cdot 8,93 \cdot 65 = \mathbf{2216,32 \text{ Вт}}.$$

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 · °С),

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

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.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\Delta T_{\text{вз}} = 5^\circ\text{С} - (-60^\circ\text{С}) = 65^\circ\text{С}.$$

$$Q_{\text{бсз}} = 2,07 \cdot 1,56 \cdot 65 = \mathbf{209,80 \text{ Вт}}.$$

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 · °С),

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

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.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\Delta T_{\text{вплз}} = 5^\circ\text{С} - (-60^\circ\text{С}) = 65^\circ\text{С}.$$

$$Q_{\text{плз}} = 0,63 \cdot 2,8 \cdot 65 = \mathbf{114,49 \text{ Вт}}.$$

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 · °С),

$$K_{\text{ПТ}} = 1 \cdot (1 / \alpha_{\text{НПТ}} + \delta_{\text{ПТ}} / \lambda_{\text{ПТ}} + 1 / \alpha_{\text{ВПТ}}),$$

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.

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

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

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

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

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

$\lambda_{\text{ПТ}} = 0,04$ Вт/(м · °С) — коэффициент теплопроводности материала потолка.

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

$S_{\text{ПТ}} = 6,9$ м² — площадь поверхности потолка;

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

$$\Delta T_{\text{ВПТЗ}} = 5^\circ\text{С} - (-60^\circ\text{С}) = 65^\circ\text{С}.$$

$$Q_{\text{ПТЗ}} = 1,87 \cdot 6,9 \cdot 65 = \mathbf{838,72 \text{ Вт}}.$$

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.

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

$V_6 = 10$ км/ч — скорость воздуха в хвостовом отсеке относительно внутренней поверхности перегородки хвостового отсека.

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

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

$V_2 = 3,5$ км/ч — скорость воздуха в салоне относительно наружной поверхности перегородки силового отсека.

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

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

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

$$K_{\text{пх}} = 1 / (1 / 5,95 + 0,01 / 0,04 + 1 / 7,16) = 1,79 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°С)}.$$

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

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

$$\Delta T_{\text{впхз}} = 5^\circ\text{С} - (-60^\circ\text{С}) = 65^\circ\text{С}.$$

$$Q_{\text{пхз}} = 1,79 \cdot 6,43 \cdot 65 = 749,26 \text{ Вт}.$$

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

$$Q_{\text{КСЗ}} = K_{\text{КСХ}} \cdot S_{\text{КСХ}} \cdot \Delta T_{\text{ВКСЗ}},$$

где:

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

$$K_{\text{КСХ}} = 1 \cdot (1 / \alpha_{\text{НКС}} + \delta_{\text{КС}} / \lambda_{\text{КС}} + 1 / \alpha_{\text{ВКС}}),$$

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.

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

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

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

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

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

$\lambda_{\text{КС}} = 0,04$ Вт/(м · °С) — коэффициент теплопроводности материала кожуха.

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

$S_{\text{КСХ}} = 4,4$ м² — площадь поверхности перегородки силового отсека;

$\Delta T_{\text{ВКСЗ}}$ — разность между температурой воздуха в салоне и температурой воздуха в силовых отсеках, °С.

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

$$Q_{\text{КСЗ}} = 1,24 \cdot 4,4 \cdot 35 = \mathbf{278,59 \text{ Вт}}.$$

3.5.9. Расчет тепловыделения пассажиров

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

$$Q_{пз} = Q_{яз} + Q_{скрз},$$

где:

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

$Q_{скрз}$ — 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

$Q_{я}$, Вт	165	155	145	135	125	115	105	100	90	85	75	70	60	45	30
$Q_{скр}$, Вт	20	20	20	20	20	20	20	25	25	35	40	50	60	70	80
$t_{в}$, °C	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32

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

Для двенадцати пассажиров $Q_{пзпз} = 12 \cdot 180 = \mathbf{2160}$ Вт.

3.5.10. Результаты расчета теплового баланса салона юнибуса в зимний период

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

$$\Sigma Q_3 = -2287,5 - 2216,3 - 209,8 - 114,5 - 838,7 - 749,3 - 278,6 + 2160 = -5034,7 \text{ Вт}$$

Результаты расчета представлены в табл. 3.3.



Таблица 3.3

Тепловой баланс юнибуса Ю-324П 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	
$Q_{вз}$		$Q_{стз}$		$Q_{бсз}$		$Q_{плз}$		$Q_{птз}$		$Q_{пхз}$		$Q_{кзз}$		$Q_{пснз}$	ΣQ_3	
Вт	%	Вт	%	Вт	%	Вт	%	Вт	%	Вт	%	Вт	%	Вт	Вт	%
-2787,5	38,7	-2216,3	30,8	-209,8	2,9	-114,5	1,6	-838,7	11,7	-749,3	10,4	-278,6	3,9	2160	-5034,7	100

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:

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

где:

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

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

$Q_{бсл}$ — количество тепла, поступающего из окружающей среды в салон через поверхность боковой стенки;

$Q_{плл}$ — количество тепла, поступающего из окружающей среды в салон через поверхность пола;

$Q_{птл}$ — количество тепла, поступающего из окружающей среды в салон через поверхность потолка;

$Q_{пхл}$ — количество тепла, поступающего из окружающей среды в салон через поверхность перегородки хвостового отсека;

$Q_{ксл}$ — количество тепла, поступающего из окружающей среды в салон через поверхности кожухов силовых отсеков;

$Q_{пслл}$ — тепловыделение пассажиров;

$Q_{изл}$ — количество тепла солнечного излучения, поступающего в салон через стекла.

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

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

где:

$V_{\text{вл}}$ — объем свежего воздуха, поступающего в салон, м³/ч,

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

$V_{\text{п}} = 20$ м³/ч — количество свежего воздуха на одного пассажира в летний период,

n — количество пассажиров.

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

$\rho_{\text{л}}$ — плотность подаваемого воздуха, кг/м³;

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

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

Относительная влажность 80%.

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

$P_{\text{б}} = 745$ мм. рт. ст. — барометрическое давление;

$P_{\text{пл}}$ — парциальное давление водяных паров в воздухе.

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

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

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

$$\Delta T_{\text{вл}} = t_{\text{нл}} - t_{\text{сл}},$$

Температура воздуха в салоне $t_{\text{вл}} = +20^{\circ}\text{C}$ и относительная влажность воздуха 33%.

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

$C_{\text{Лл}}$ — среднее теплосодержание воздуха, Вт · ч/(кг · °C);

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

$$Q_{\text{вл}} = 240 \cdot 1,1 \cdot 0,34 \cdot 20 = 1793,39 \text{ Вт}.$$

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

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

где:

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

$$S_{\text{ст}} = 8,93 \text{ м}^2;$$

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

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

$$Q_{\text{стл}} = 3,82 \cdot 8,93 \cdot 20 = \mathbf{681,94 \text{ Вт}}.$$

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

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

где:

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

$$S_{\text{бс}} = 1,56 \text{ м}^2;$$

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

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

$$Q_{\text{бсл}} = 2,07 \cdot 1,56 \cdot 20 = \mathbf{64,55 \text{ Вт}}.$$

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

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

где:

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

$$S_{пл} = 2,8 \text{ м}^2;$$

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

$$\Delta T_{вплл} = 40 - 20 = 20^\circ\text{С}.$$

$$Q_{плл} = 0,63 \cdot 2,8 \cdot 20 = \mathbf{35,23 \text{ Вт}}.$$

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

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

где:

$$K_{пт} = 1,87 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С});$$

$$S_{пт} = 6,9 \text{ м}^2;$$

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

$$\Delta T_{вптл} = 40 - 20 = 20^\circ\text{С}.$$

$$Q_{птл} = 1,87 \cdot 6,9 \cdot 20 = \mathbf{258,07 \text{ Вт}}.$$

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

$$Q_{пхл} = K_{пх} \cdot S_{пх} \cdot \Delta T_{впхл},$$

где:

$$K_{пх} = 1,79 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С});$$

$$S_{пх} = 6,43 \text{ м}^2;$$

$\Delta T_{впхл}$ — разность между температурой воздуха в хвостовом отсеке и температурой воздуха в салоне, °С.

$$\Delta T_{впхл} = 40 - 20 = 20^\circ\text{С}.$$

$$Q_{пхл} = 1,79 \cdot 6,43 \cdot 20 = \mathbf{230,54 \text{ Вт}}.$$

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

$$Q_{\text{ксл}} = K_{\text{ксл}} \cdot S_{\text{ксл}} \cdot \Delta T_{\text{вксл}},$$

где:

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

$$S_{\text{ксл}} = 4,4 \text{ м}^2;$$

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

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

$$Q_{\text{ксл}} = 1,24 \cdot 4,4 \cdot 50 = \mathbf{272,34 \text{ Вт}}.$$

3.6.9. Расчет тепловыделения пассажиров

$$Q_{\text{пспл}} = Q_{\text{ял}} + Q_{\text{скрл}},$$

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 $t_{\text{вл}}^{\circ} = 20\text{°C}$ для одного человека: $Q_{\text{ч}} = 90 + 25 = 115 \text{ Вт}$.

Для двенадцати пассажиров $Q_{\text{пспл}} = 12 \cdot 115 = \mathbf{1380 \text{ Вт}}$.

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:

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

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

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

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

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

a — корректировочный коэффициент для затемненного стекла.

Принимаем $a = 0,5$;

b — коэффициент пропускания для различных конструкции стекол.

Принимаем $b = 1$.

$$Q_{изл} = ((4,0 \cdot 361,5 \cdot 0,5 + (8,93 - 4,0) \cdot 158,2)) \cdot 1 = \mathbf{1502,93 \text{ Вт}}.$$

3.6.11. Результаты расчета теплового баланса салона юнибуса в летний период

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

$$\Sigma Q_{л} = 1793,4 + 681,9 + 64,6 + 35,2 + 258,1 + 23,5 + 272,3 + 1380 + 1502,9 = \mathbf{6219 \text{ Вт}}.$$

Результаты расчета представлены в табл. 3.4.

Таблица 3.4

Тепловой баланс юнибуса Ю-324П 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		Тепловыделение пассажиров		Количество тепла солнечного излучения, поступающего в салон через поверхности из стекла		Тепловой баланс салона в летний период	
$Q_{вл}$		$Q_{стл}$		$Q_{бсл}$		$Q_{плл}$		$Q_{птл}$		$Q_{пхл}$		$Q_{кл}$		$Q_{пспл}$		$Q_{изл}$		$\Sigma Q_{л}$	
Вт	%	Вт	%	Вт	%	Вт	%	Вт	%	Вт	%	Вт	%	Вт	%	Вт	%	Вт	%
1793,4	28,8	681,9	11	64,6	1,0	35,2	0,6	258,1	4,2	230,5	3,7	272,3	4,4	1380	22,2	1502,9	24,2	6219	100

3.7. Выводы

3.7.1. Выводы по тепловому балансу в зимний период эксплуатации

Для поддержания в салоне юнибуса в зимний период комфортной температуры воздуха $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (пассажиры будут находиться в салоне в теплой зимней одежде), при температуре наружного воздуха $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ и подаче в салон $120\text{ м}^3/\text{ч}$ свежего воздуха для 12-ти пассажиров, необходимо на обогрев расходовать $5,0\text{ кВт}$ 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 температуры воздуха $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$, при температуре наружного воздуха $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$ и подаче в салон $240\text{ м}^3/\text{ч}$ свежего воздуха для 12-ти пассажиров, необходимо удалять из салона избыточное тепло мощностью $6,2\text{ кВт}$ (см. табл. 3.4).

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

3.7.3.1. 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 $2787,5\text{ Вт}$ тепловой мощности, что составляет $38,7\%$ от всех затрат тепла на поддержание комфортных условий в салоне юнибуса;
- для компенсации потерь тепла через поверхности стекол салона юнибуса, необходимо затратить $2216,3\text{ Вт}$ тепловой мощности, что составляет $30,8\%$ от всех затрат тепла на поддержание комфортных условий в салоне юнибуса.

3.7.3.2. 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 2184,8 Вт тепловой мощности (количество тепла, поступающего теплопередачей, — 681,9 Вт, и количество тепла, поступающего с солнечным излучением, — 1502,9 Вт), что составляет 35,1% от всех затрат на поддержание комфортных условий в салоне юнибуса;
- для удаления тепла, поступающего со свежим воздухом в салон юнибуса, необходимо затратить 1793,4 Вт, что составляет 28,8%, от всех затрат 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

«12» августа 2007 г.

**4. Расчет на статическую и динамическую устойчивость
двухрельсового автомобиля (юнибуса) модели Ю-324П
(324П-0000010-02PP)**

Содержание расчета на устойчивость

4.1. Введение	132
4.2. Исходные данные и условия	132
4.3. Определение координат приведенного центра масс юнибуса с пассажирами	133
4.4. Определение угла крена и изменившихся приведенных координат центра масс юнибуса	134
4.5. Оценка устойчивости юнибуса в зависимости от силы бокового ветра и асимметричной нагрузки от массы пассажиров	137
4.6. Оценка устойчивости юнибуса при прохождении им криволинейного участка минимального радиуса с эксплуатационной скоростью 60 км/ч.....	138
4.7. Определение предельно допустимой скорости прохождения юнибусом криволинейного участка пути на станции минимальным радиусом 10 метров	140
4.8. Выводы	142

4.1. Введение

В данном расчете производится оценка поперечной устойчивости городского двухрельсового автомобиля (юнибуса) модели Ю-324П колесей 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 при его нахождении в средней части рельсо-струнного пролета путевой структуры длиной 30 м, при воздействии на него силы ветра и ассиметричной нагрузки от массы пассажиров;
- устойчивость юнибуса на криволинейном участке пути, при воздействии на него центробежной силы и ассиметричной нагрузки от массы пассажиров.

4.2. Исходные данные и условия

Масса юнибуса Ю-324П 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, ρ , 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_n , Н/мм	1200
Вертикальная жесткость одного рельса-струны, c_c , Н/мм	240

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

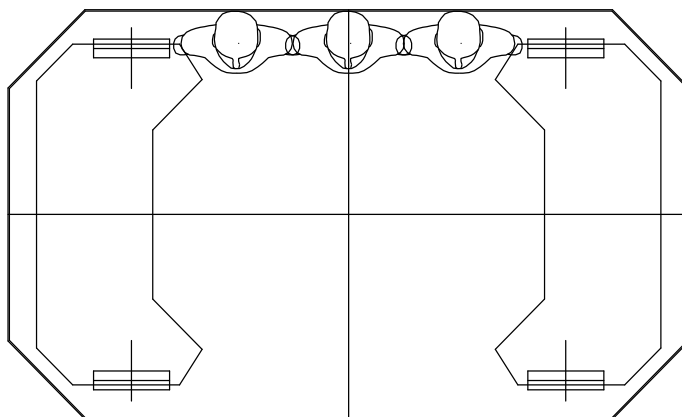


Рис. 4.1. Вариант 1 размещения

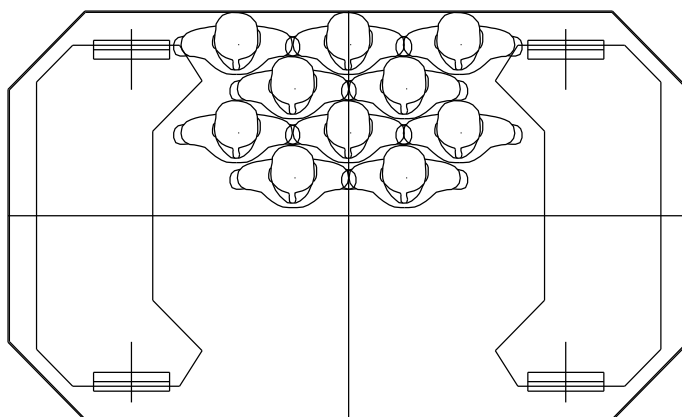


Рис. 4.2. Вариант 2 размещения пассажиров

4.3. Определение координат приведенного центра масс юнибуса с пассажирами

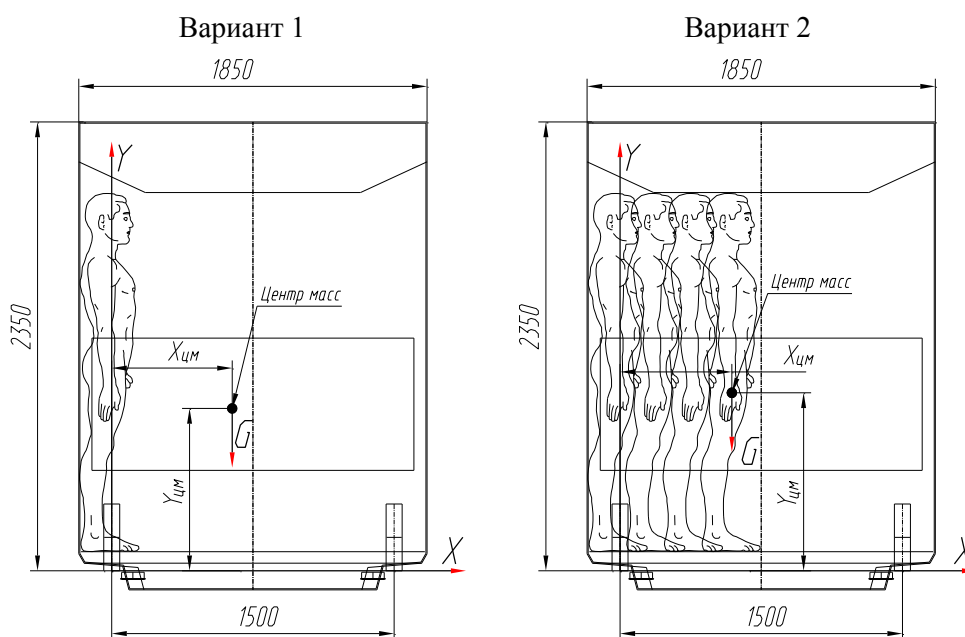


Рис. 4.3. Варианты размещения пассажиров

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 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, действующего на юнибус, определяется по формуле:

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

где:

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

Результаты — см. табл. 4.3.

4.4.2. Определение реакций опор

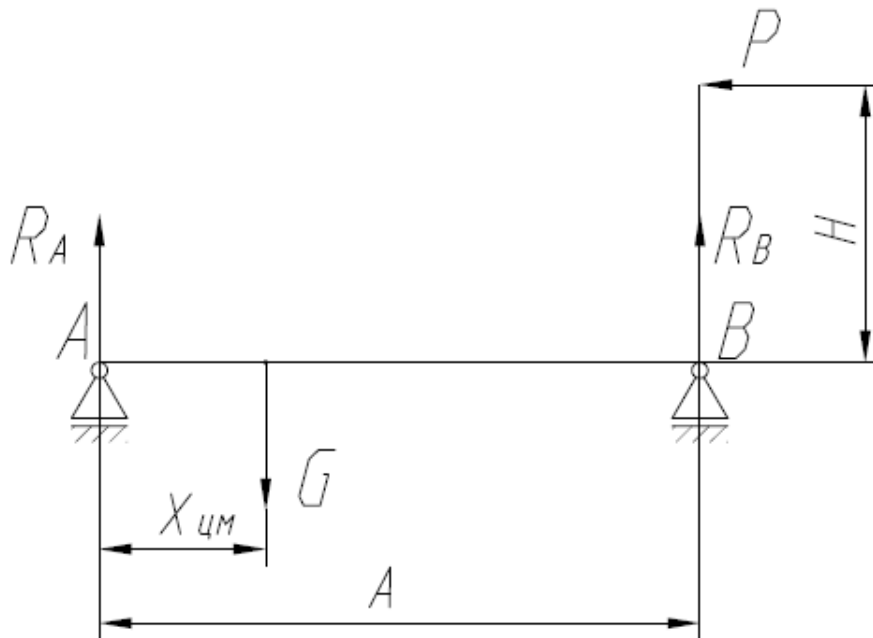


Рис. 4.4. Реакции опор (колес юнибуса)

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

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

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

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

где:

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

P — сила бокового ветра, Н.

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:

$$L_{\Pi} = R / c_{\Pi}, \quad L_C = R / c_c,$$

где:

R — реакция опор, H .

Результаты — см. табл. 4.3.

4.4.4. Угол крена юнибуса

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 (программа AutoCAD).

Результаты — см. табл. 4.3.

Таблица 4.3

Координаты центра масс юнибуса

Варианты		1				2			
Категория ураганов		Без ветра	1	2	3	Без ветра	1	2	3
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

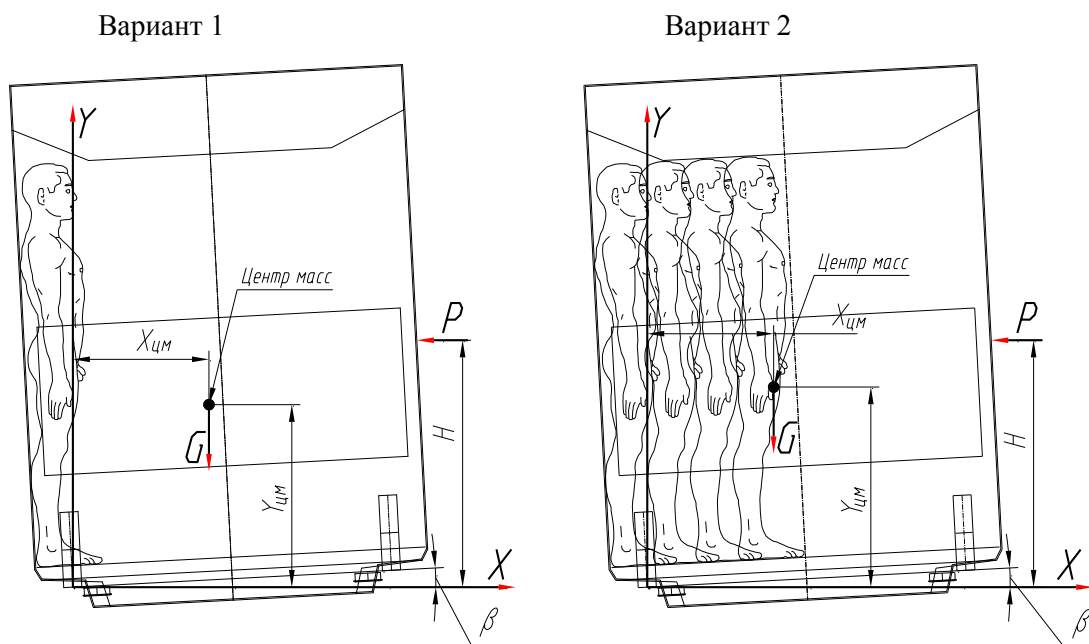


Рис. 4.5. Варианты размещения пассажиров

Юнибус будет устойчив на рельсо-струнной путевой структуре «второго уровня» при соблюдении следующего условия:

$$G \cdot X_{ЦМ} > P \cdot H$$

Результаты — см. табл. 4.4.

Таблица 4.4

Оценка боковой устойчивости юнибуса от силы бокового ветра
и вариантов размещения пассажиров в салоне

Варианты	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

4.6.1. Деформация упругих элементов подвески

Деформация упругих элементов подвески определяется из выражения:

$$L_{П} = R / c_{п},$$

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:

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

Результаты — см. табл. 4.5.

4.6.3. Координаты центра масс

Координаты центра масс определяются геометрическим способом (программа AutoCAD).

Результаты — см. табл. 4.5.

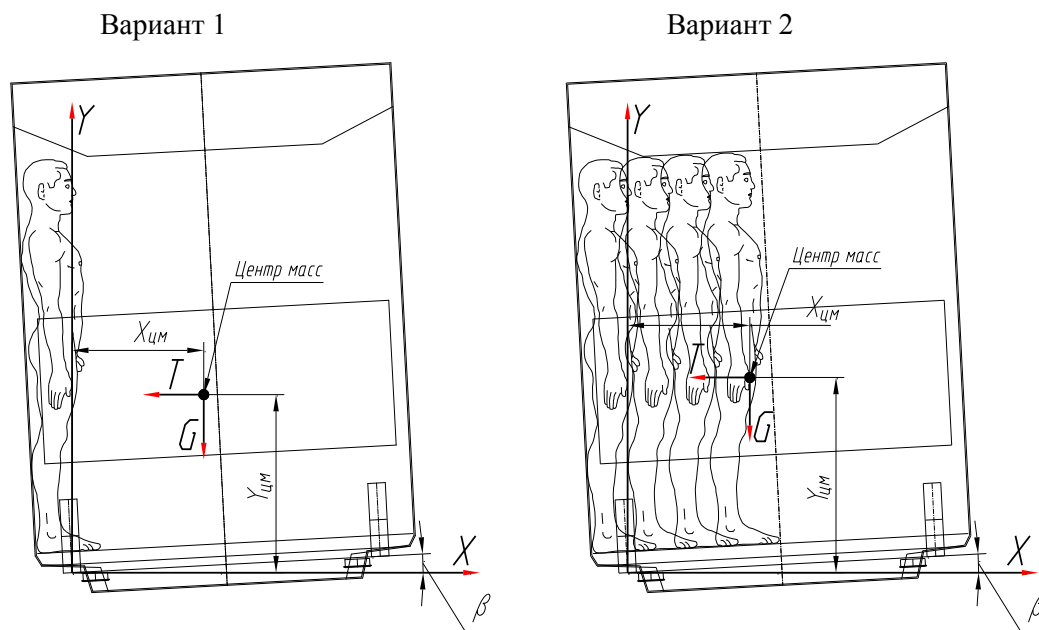


Рис. 4.6. Варианты размещения пассажиров

Таблица 4.5

Координаты центра масс юнибуса

Варианты		1	2
Реакции опор, Н	R_A	9776,5	13614
	R_B	7275,5	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 устойчивости юнибуса на криволинейном участке

Юнибус будет устойчив на криволинейном участке 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,

где:

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

Результаты — см. табл. 4.6.

Таблица 4.6

Оценка устойчивости юнибуса на криволинейном участке

Вариант размещения пассажиров	1		2	
	Радиус поворота, м	40	37	45
Центробежная сила, Н	13068	12088	15218	14203
$T \cdot Y_{\text{ЦМ}}$, Нм	11121	10287	13927	13260
$G \cdot X_{\text{ЦМ}}$, Нм	10896		13332	
Оценка	неустойчив	устойчив	неустойчив	устойчив

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 равновесия (см. рис. 4.7).

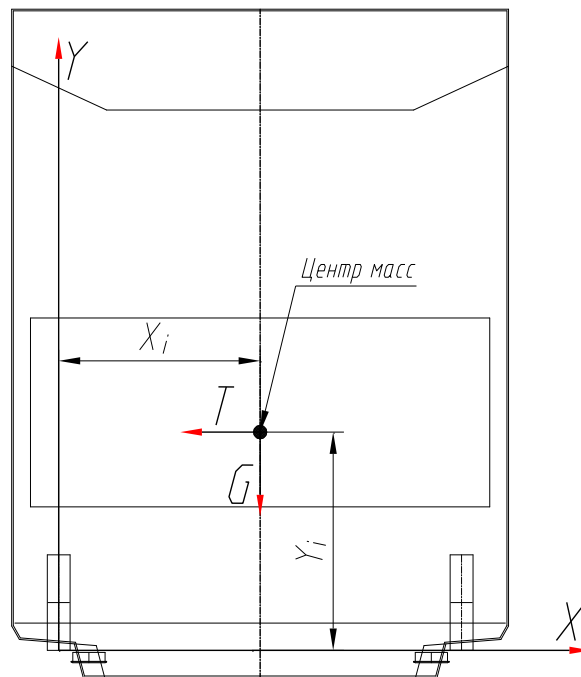


Рис. 4.7. Схема действия сил на юнибус, движущийся по горизонтальной кривой на станции

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

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

Откуда,

$$T = G \cdot x_i / y_i, \quad H \text{ — центробежная сила инерции,}$$

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:

$$V = (T \cdot r / m)^{1/2}, \quad \text{м/с,}$$

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	V, км/ч
1500	14700	13781	9,6	34,6
2400	23520	22050	9,6	34,6

4.8. Выводы

4.8.1. Юнибус Ю-324П в состоянии полностью сохранить боковую 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-324П при прохождении криволинейных участков пути на эксплуатационной скорости 60 км/ч будет иметь боковую устойчивость на минимальном радиусе:

- по варианту 1 — 37 метров;
- по варианту 2 — 42 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 300 км/ч и более.