



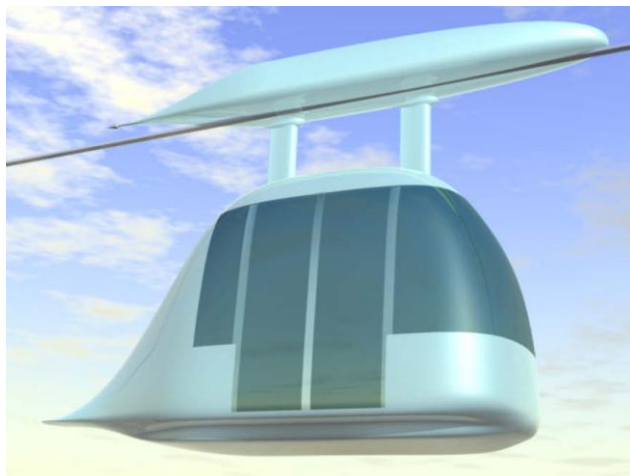
115487, Москва, ул. Нагатинская, 18/29
тел./факс: (495) 680-52-53, (499) 616-15-48
e-mail: info@unitsky.ru
http: //www.unitsky.ru
skype: Anatoly Unitsky

Выбор типа однорельсового подвешного автомобиля (моно-юнибуса) (по 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 1.3.1.9. Выбор типа однорельсового подвешного автомобиля (моно-юнибуса) (по 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

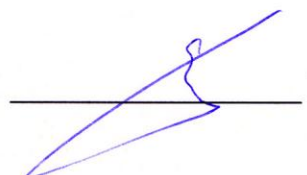
Главный инженер ООО «СТЮ»


А.В. Пархоменко

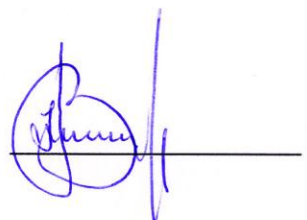
Начальник конструкторского бюро
«Юнибус» ООО «СТЮ»


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 однорельсового подвешного автомобиля (моно-юнибуса) (по расчетной скорости движения и вместимости) и подготовке технического предложения по нему применительно к природно-климатическим условиям г. Ханты-Мансийска (372П-0000010ПЗ)	6
2. Тягово-динамический расчет однорельсового подвешного автомобиля (моно-юнибуса) модели Ю-372П (372П-0000010РР)	68
3. Тепловой баланс однорельсового подвешного автомобиля (моно-юнибуса) модели Ю-372П (372П-0000010-01РР)	95
4. Расчет углов отклонения кабины однорельсового подвешного автомобиля (моно-юнибуса) модели Ю-372П от вертикали (372П-0000010-02РР)	120

Резюме

Однорельсовый подвесной автомобиль (моно-юнибус) модели Ю-372П предназначен для высотного городского однорельсового двухпутного струнного транспорта Юницкого (моноСТЮ) в г. Ханты-Мансийске — центре управления экономикой обширной территории Ханты-Мансийского автономного округа—Югры с огромным природно-ресурсным потенциалом.

Разработаны два высокоаэродинамичных варианта моно-юнибуса, пассажирская кабина которого по своим обводам, габаритам, дизайну и эргономике унифицирована с кабинами среднего двухрельсового юнибуса Ю-324 колеей 1,5 м. Это снизит стоимость производства подвижного состава и ускорит организацию его выпуска в будущем для трассы моноСТЮ в г. Ханты-Мансийске.

Вместимость моно-юнибуса — 12 пассажиров (из них 6 для сидения), масса (с пассажирами) — 2,4 тонны, эксплуатационная скорость — 63 км/ч, средняя скорость — 42 км/ч. Конструктивно он состоит из двух частей: четырехколесного шасси, поставленного сверху на монорельс-струну, и кабину, подвешенную снизу на двух силовых штангах.

Моно-юнибус предназначен для эксплуатации на электрифицированных высотных линиях моноСТЮ, размещенных на опорах высотой 30—50 м и более, с шагом 500—1500 м. Благодаря провису рельса-струны (15,2 м на расчетном пролете длиной 700 м) на первом участке пути модуль разгоняется гравитацией до скорости 62 км/ч, а затем, на подъеме, опять же гравитацией тормозится до нулевой скорости при въезде на следующую станцию. Для компенсации аэродинамических потерь и затрат энергии на преодоление сопротивления качению колес, к приводу моно-юнибуса необходимо подводить, в среднем на пролете, 0,9 кВт мощности при безветрии и 1,6 кВт — при встречном ветре 54 км/ч. Для обеспечения аварийных режимов работы (например, из-за выхода из строя большей части двигателей), модуль имеет четыре электродвигателя мощностью по 5,5 кВт каждый — по двигателю на опорное колесо. Избыточная мощность привода позволяет, при необходимости, получать моно-юнибусу более высокие скорости движения — до 95 км/ч даже на одном исправном двигателе, не «зависнув» при этом на пролете, а преодолев его по инерции и в любом случае — добравшись до следующей станции.

Выполнены тягово-динамические расчеты моно-юнибуса и его тепловой баланс: определена мощность отопителя в зимний период года при температуре наружного воздуха -60°C — 5,1 кВт, а также мощность кондиционера в летний период при температуре $+40^{\circ}\text{C}$ — 6,2 кВт. Определены максимальные углы отклонения кабины из-за ассиметричного размещения пассажиров в салоне и штормового бокового ветра: в моно-юнибусе Ю-372П исполнения 01 этот угол составит $3,5^{\circ}$ (или 1:16), поэтому такой модуль может эксплуатироваться на высотной городской трассе моноСТЮ и при ураганном ветре.

В моно-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 спуска на землю, а также — автоматическая и ручная системы пожаротушения.

Благодаря своим конструктивным особенностям, не имеющим аналогов в мире, моноСТЮ имеет беспрецедентно высокую эффективность. Например, в городской трассе, с остановками каждые 700 м, моно-юнибус будет потреблять всего 2,4 кВт·ч электроэнергии на 100 км пути, или, в переводе на дизельное топливо, — 0,72 л/100 км (в переводе на одного пассажира — 0,06 л/100 пасс·км).

Парк городских моно-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 моно-юнибусов способен перевезти по 15-тикилометровой городской трассе моноСТЮ до 90 миллионов пассажиров в год. При этом на одну поездку пассажира (в среднем на расстояние 3 км) будет расходоваться всего 6,2 Вт·ч электроэнергии стоимостью 0,00062 USD (или 1,6 копейки). 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 моноСТЮ будет невысокой, в пределах 1 руб./пасс. Поэтому высотные городские трассы моноСТЮ и моно-юнибусы будут высокорентабельными (рентабельность более 200—300%) и быстро окупятся, даже при невысоких пассажиропотоках, характерных для небольших городов, 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 однорельсового подвесного автомобиля
(моно-юнибуса) (по расчетной скорости движения и
вместимости) и подготовке технического предложения
по нему применительно к природно-климатическим
условиям г. Ханты-Мансийска
(372П-0000010ПЗ)

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 моно-юнибуса (по расчетной скорости движения и вместимости)	10
1.2. Технические характеристики моно-юнибуса модели Ю-372П	13
1.3. Технические решения, используемые при разработке моно-юнибуса модели Ю-372П	23
1.3.1. Компоновка	23
1.3.2. Шасси	25
1.3.2.1. Корпус шасси	26
1.3.2.2. Силовая установка	27
1.3.2.3. Силовая передача	27
1.3.2.4. Ходовая система	28
1.3.2.5. Направляющее и противосходное устройство	30
1.3.2.6. Тормозная система	30
1.3.2.7. Устройство сцепное автоматическое	32
1.3.2.8. Штанги	32
1.3.3. Кабина	33
1.3.3.1. Корпус и внешние формы кабины	34
1.3.3.2. Система отопления кабины	36
1.3.3.3. Система вентиляции и кондиционирования кабины	37
1.3.3.4. Пассажирская дверь с механизмом открывания	37
1.3.3.5. Пассажирские сидения	39
1.3.3.6. Система пожаротушения	39
1.3.3.7. Информационное табло	40

1.3.4. Электрооборудование	41
1.3.5. Автоматизированная система управления движением	48
1.3.6. Система эвакуации пассажиров	53
1.4. Краткие сведения о высотной городской пассажирской двухпутной трассе автоматизированного моноСТЮ в г. Ханты-Мансийске	54
1.4.1. Рельсо-струнная путевая структура	54
1.4.2. Рельс-струна	55
1.4.3. Здания-станции	55
1.4.4. Пассажирские станции и сервисное депо	56
1.4.5. Организация движения моно-юнибусов модели Ю-372П	59
1.4.6. Потребительские характеристики городских моно-юнибусов	60
1.4.6.1. Комфортность	60
1.4.6.2. Безопасность	61
1.4.6.3. Экологичность	62
1.4.6.4. Доступность	62
1.4.6.5. Другие экономические и неэкономические факторы	63
1.5. Техничко-экономические показатели моно-юнибуса модели Ю-372П	64
1.6. Организация разработки и производства моно-юнибуса модели Ю-372П.....	66
1.6.1. Сроки разработки	66
1.6.2. Головной разработчик и соисполнители разработки	67
1.6.3. Количество изготавливаемых опытных образцов, место проведения испытаний	67
1.6.4. Изготовитель опытного образца	67

1.1. Введение

1.1.1. Основание для разработки

Основанием для разработки однорельсового подвесного автомобиля (моно-юнибуса) модели Ю-372П применительно к природно-климатическим условиям г. Ханты-Мансийска является государственный контракт № 12у от 07 августа 2007 г. на разработку технико-экономического обоснования строительства высотной городской пассажирской двухпутной струнной транспортной системы в г. Ханты-Мансийске.

1.1.2. Наименование Заказчика

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

1.1.3. Назначение, область применения и цель разработки

Однорельсовый подвесной автомобиль (далее моно-юнибус) модели Ю-372П предназначен для высотного городского однорельсового двухпутного струнного транспорта Юницкого (моноСТЮ) в городе Ханты-Мансийске — центре управления экономикой обширной территории Ханты-Мансийского автономного округа—Югры с огромным природно-ресурсным потенциалом (см. рис. 1.1).



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

Целью разработки опытного образца моно-юнибуса модели Ю-372П является проверка конструкторских и технологических решений, а также уточнение отдельных характеристик для их использования при разработке конструкций подвижного состава двухпутного монорельсового СТЮ (моноСТЮ) в городе Ханты-Мансийске.

Моно-юнибус модели Ю-372П разрабатывается впервые, заменяемое изделие отсутствует.

1.1.4. Обоснование выбора типа моно-юнибуса (по расчетной скорости движения и вместимости)

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

Таблица 1.1

Типы однорельсовых СТЮ (моноСТЮ)

Типы однорельсового СТЮ	Полезная нагрузка, кг
Сверхлегкий	до 200
Легкий	до 500
Средний	до 1000
Тяжелый	до 2000
Сверхтяжелый	до 5000

В качестве транспортных средств общего пользования в г. Ханты-Мансийске задействованы в настоящее время автобусы городского типа, курсирующие на 17-ти маршрутах города и пригорода, как основной вид общественного транспорта. По статистике 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 60 км/ч. Такая большая разница в скоростях вызвана во многом: дорожными условиями, наличием светофоров и пересечений в одном уровне с другими видами транспорта и пешеходными переходами. Так, например, на маршруте № 6 (см. рис. 1.2) города Ханты-Мансийска имеются 23 светофора, 8 пешеходных переходов и два участка ограничения скорости движения до 30 км/ч, а на маршруте № 11 — 26 светофоров, 3 пешеходных перехода и три участка ограничения скорости движения до 30 км/ч.

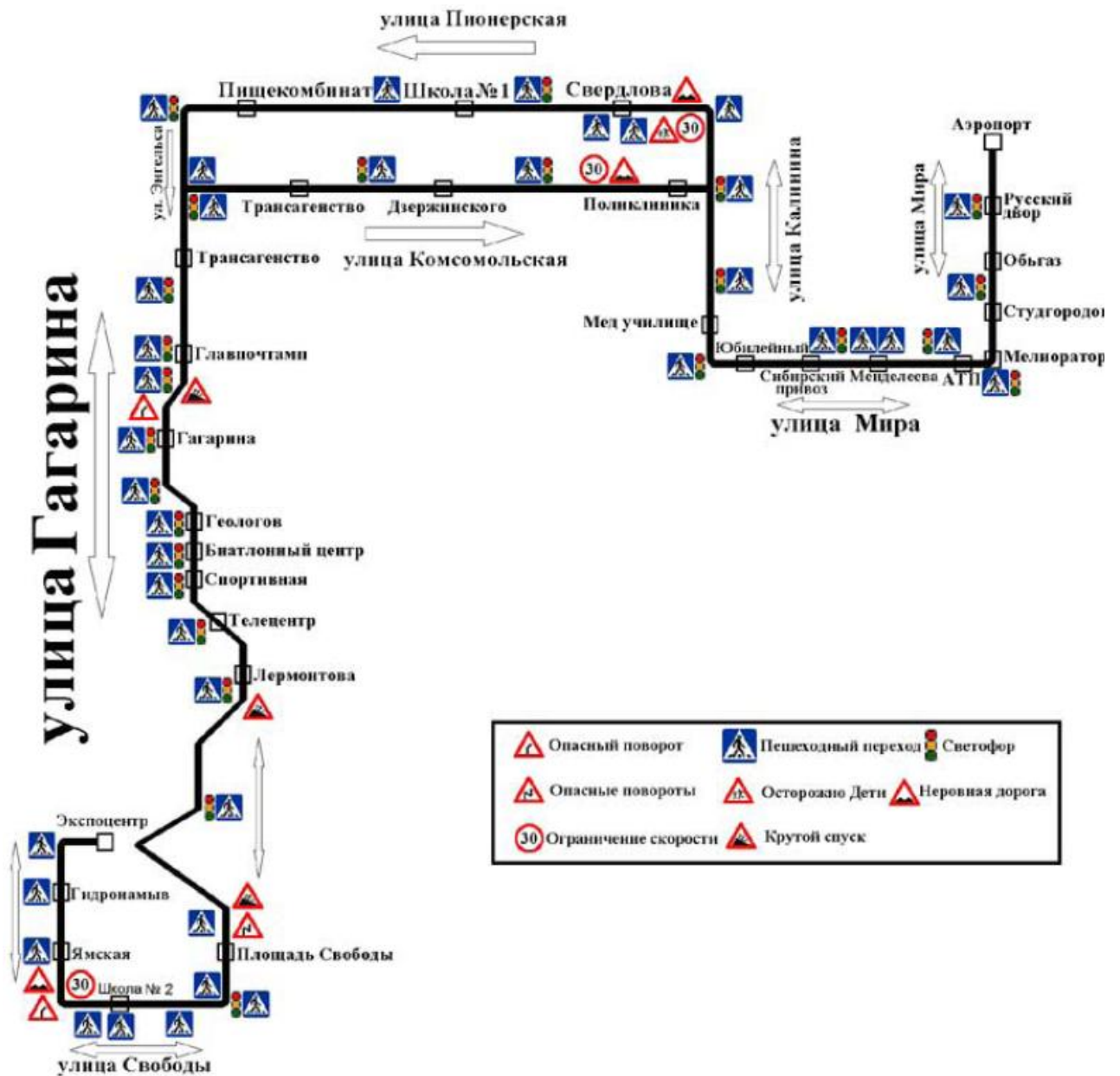


Рис. 1.2. Автобусный маршрут № 6 «Аэропорт — Экспоцентр» города Ханты-Мансийска

Движение моно-юнибусов по рельсо-струнной путевой структуре моноСТЮ практически не будет зависеть от вышеприведенных факторов, благодаря чему средняя скорость их движения может быть в несколько раз выше, чем 15—20 км/ч. Так, согласно результатам тягово-динамического расчета моно-юнибуса модели Ю-372П применительно к природно-климатическим условиям г. Ханты-Мансийска (см. далее документ 372П-0000010PP, п. 2), наиболее оптимальной (по энергозатратам на движение) эксплуатационной скоростью движения моно-юнибуса при средней длине

пролета 700 м, что примерно соответствует расстоянию между автобусными остановками в городах РФ, является скоростью 63 км/ч. При этом средняя скорость на маршруте составит 42 км/ч, что в 2,1—2,8 раза превышает аналогичный показатель городских автобусов. Таким образом, благодаря высокой средней скорости движения моно-юнибусов высотного городского моноСТЮ, достаточно будет иметь их пассажироместимость в пределах 12—13 человек, чтобы заменить большой городской автобус с пассажироместимостью 100 человек. При оговоренной стандартом для среднего типа 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, моно-юнибус с пассажироместимостью 12—13 человек соответствует среднему типу однорельсового СТЮ (см. табл. 1.1), в частности, моно-юнибусу модели Ю-372П, который раскрывается настоящим техническим предложением. Суммарная стоимость трех—четырех моно-юнибусов модели Ю-372П при серийном производстве, в частности исполнения 02, будет практически эквивалентна стоимости одного современного низкопольного городского автобуса, оснащенного импортными силовыми агрегатами и системами. Например, стоимость городского автобуса МАЗ-203 комплектации: дизельный двигатель Mercedes-Benz OM906LA, автоматическая коробка передач ZF 6P3 502C, пневмоподвеска с электронным управлением, кондиционер и др., приближается к 200 тыс. USD. Это означает, что затраты, связанные с приобретением подвижного состава для городского двухпутного моноСТЮ практически будут соответствовать уровню затрат обновления парка Ханты-Мансийского автотранспортного предприятия. Отдельно нужно отметить, что моно-юнибус Ю-372П, предлагаемый Заказчику как основа подвижного состава моноСТЮ в городе Ханты-Мансийске, кроме перевозки 12 пассажиров, выполнит также требования по перевозке детских и инвалидных колясок, что не всегда предлагается предприятиями-изготовителями автобусов. Кроме того, по трассе моноСТЮ можно будет осуществлять грузовые перевозки (грузоподъемность моно-юнибуса Ю-372П — до 1,5 т, т.к. при грузовых перевозках допустим перегруз на 50%).

1.2. Технические характеристики моно-юнибуса модели Ю-372П

В целях предоставления Заказчику возможности выбора наиболее приемлемой конструкции по технико-экономическим показателям и предпочтениям его взглядов на дизайн подвижного состава высотного городского моноСТЮ в городе Ханты-Мансийске, моно-юнибус модели Ю-372П представлен в двух вариантах исполнения:

- **Исполнение 01** — кабина моно-юнибуса (каплеобразная с приплюснутой кормовой частью) обладает высокой аэродинамичностью внешних форм (коэффициент лобового аэродинамического сопротивления $C_w = 0,11$), что обеспечивает минимальное потребление электроэнергии в эксплуатации; площадь его продольного (бокового) сечения на 33% меньше аналогичной площади исполнения 02, что снижает боковые ветровые нагрузки; конструктивно и технологически он сложнее исполнения 02 (внешний вид — см. рис. 1.3; габаритный чертеж — см. рис. 1.5; чертеж общего вида — см. рис. 1.6).
- **Исполнение 02** — кабина моно-юнибуса (каплеобразная в горизонтальной плоскости) также высокоаэродинамична, что практически обеспечит потребление электроэнергии на уровне исполнения 01, однако он имеет большую, чем исполнение 01, площадь продольного (бокового) сечения; он менее сложен в изготовлении (внешний вид — см. рис. 1.4; габаритный чертеж — см. рис. 1.7; чертеж общего вида — см. рис. 1.8).

Кабина среднего моно-юнибуса Ю-372П исполнения 01 и 02 по своим высокоаэродинамичным обводам, дизайну, размерам и эргономике унифицирована с кабиной среднего двухрельсового юнибуса Ю-324 колесей 1500 мм и исполнений, соответственно, 01 и 04. Это снизит стоимость производства подвижного состава и ускорит организацию его выпуска в будущем для трассы моноСТЮ в г. Ханты-Мансийске.

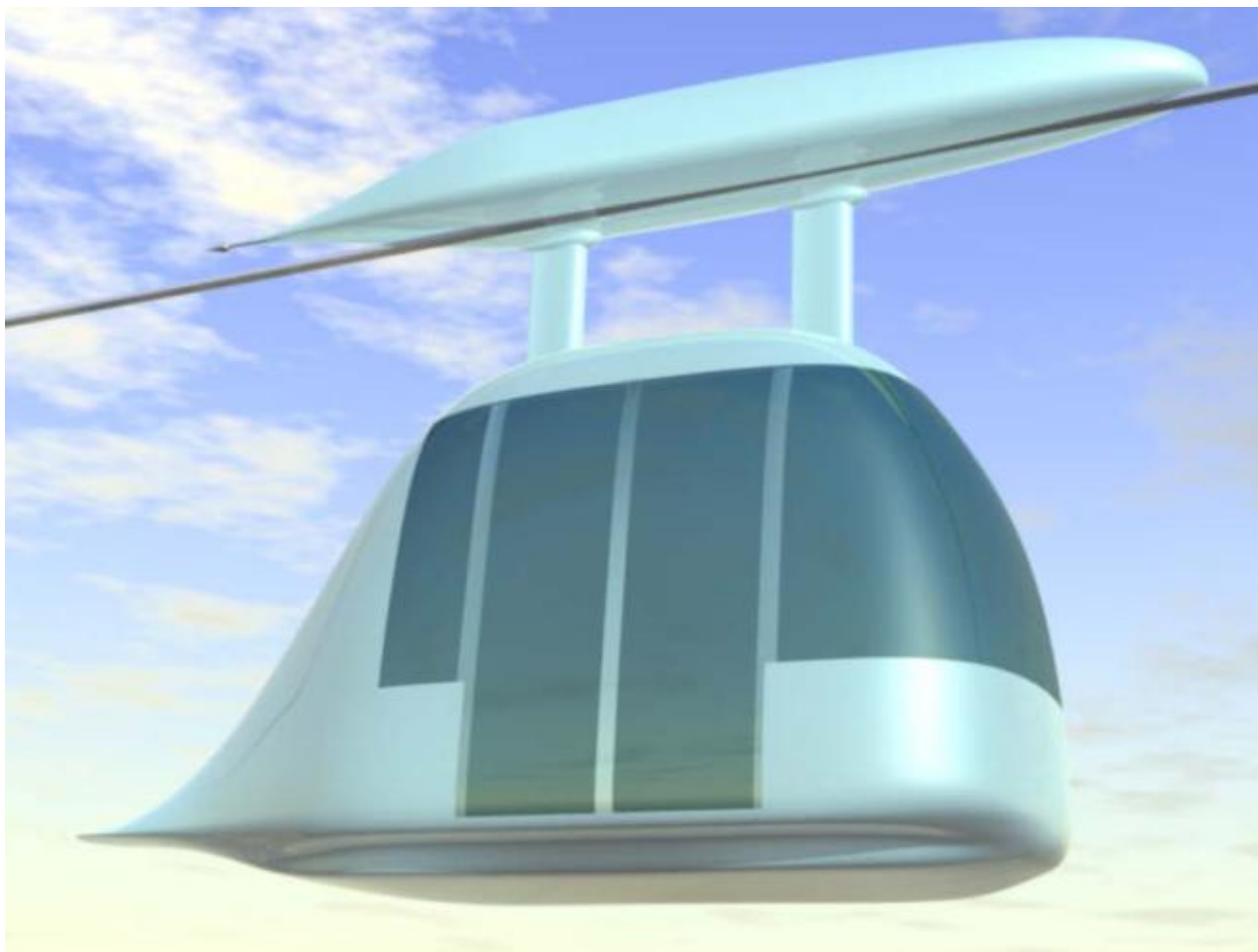


Рис. 1.3. Внешний вид моно-юнибуса модели Ю-372П исполнения 01 (вид сбоку и сзади)

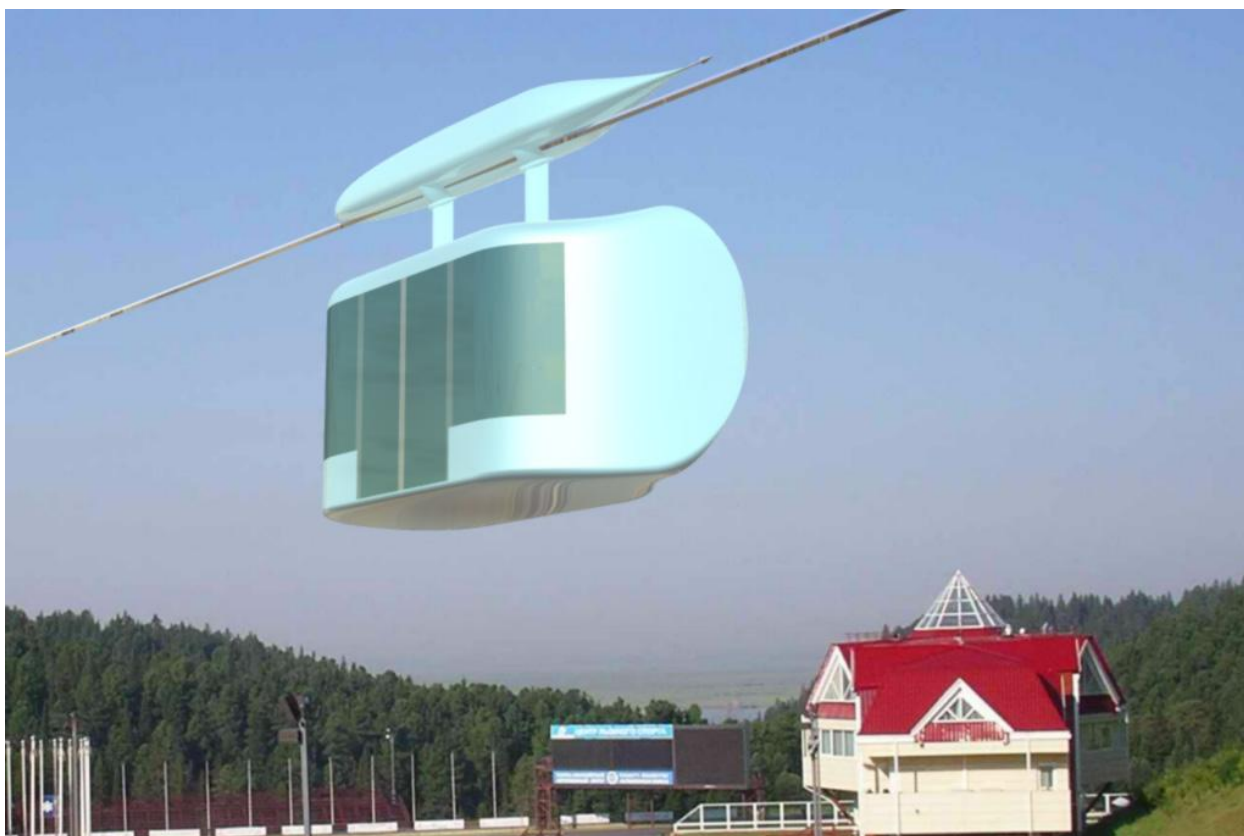
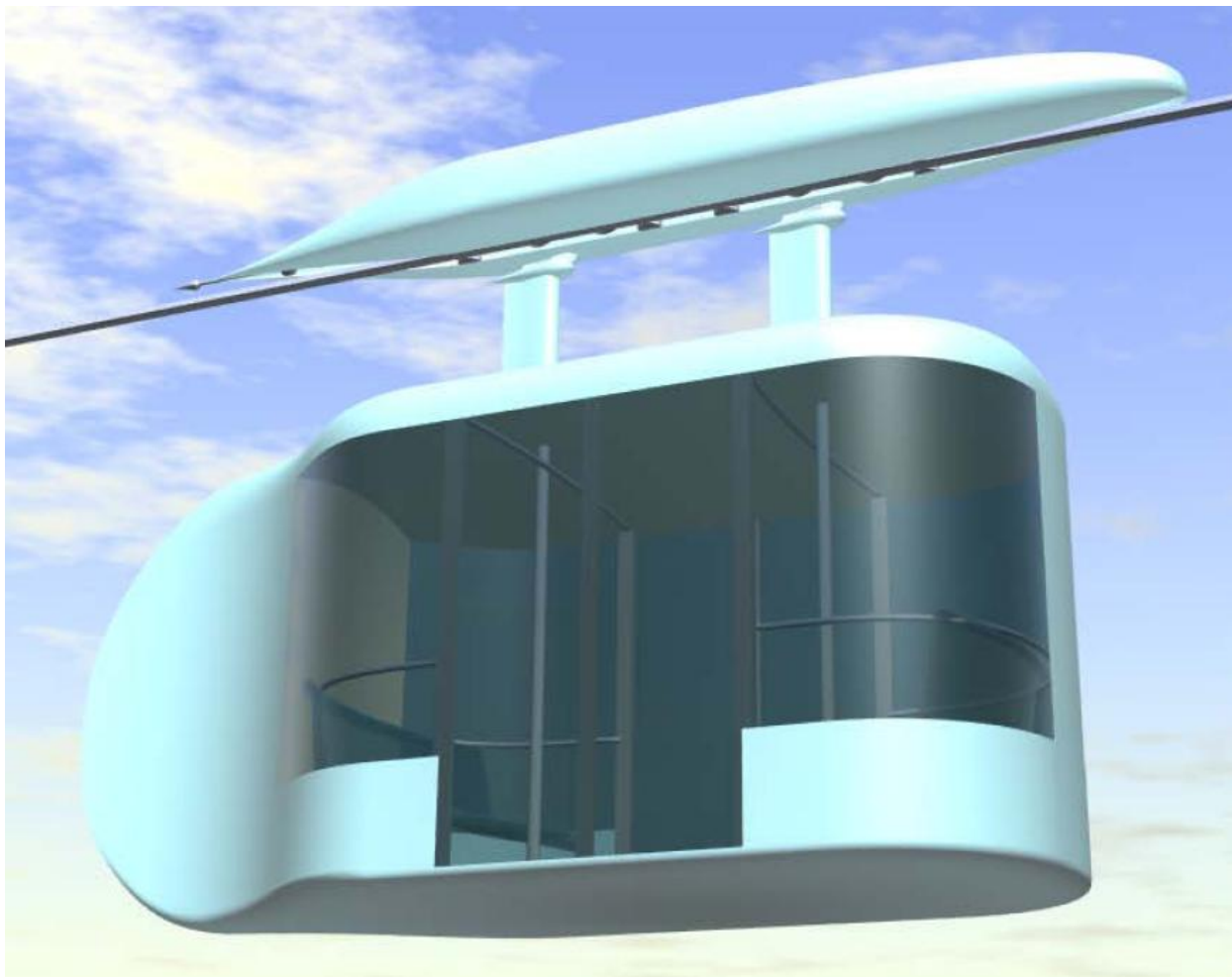


Рис. 1.4. Внешний вид моно-юнибуса модели Ю-372П исполнения 02 (вид сбоку и сзади)

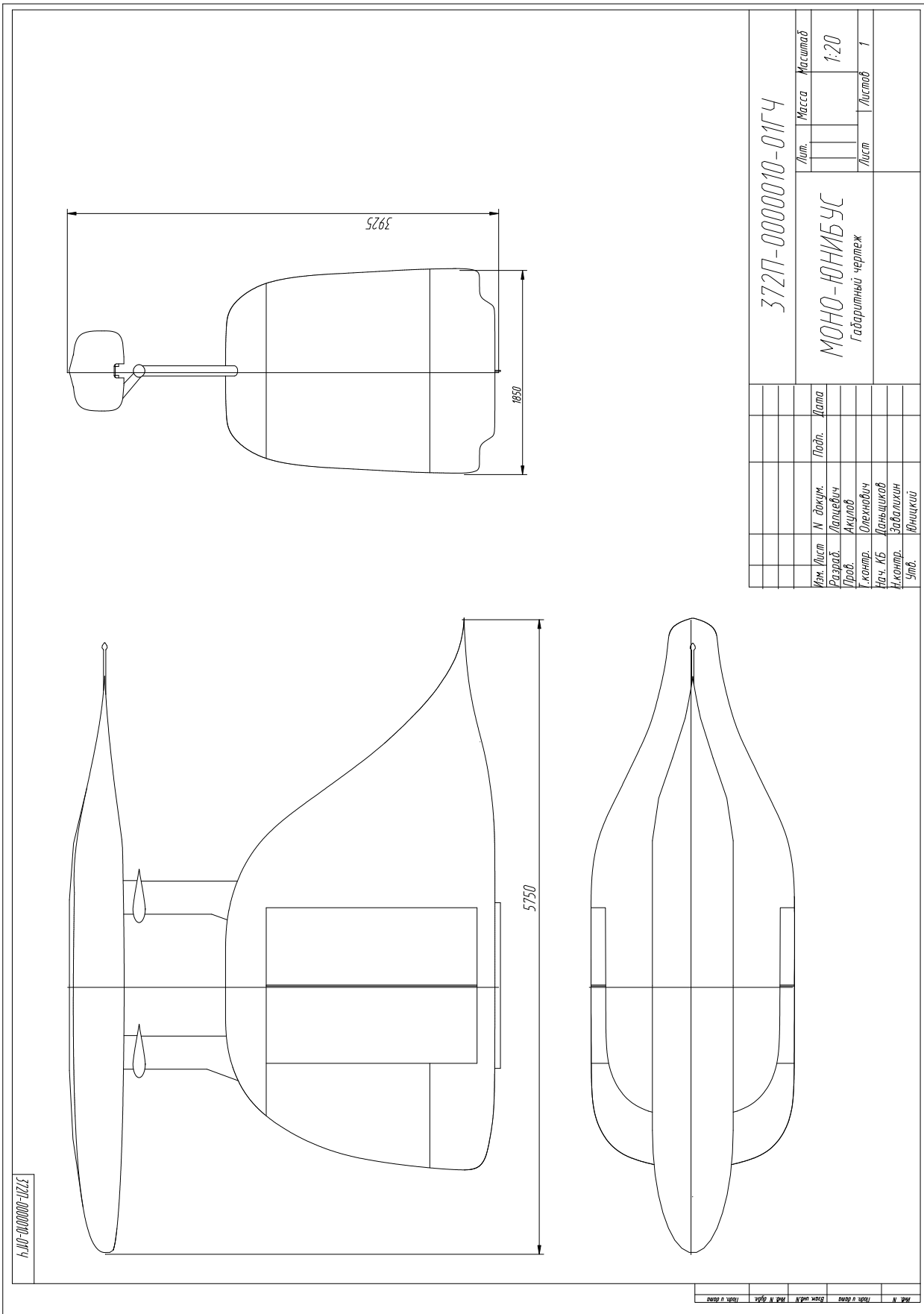


Рис. 1.5. Габаритный чертеж городского пассажирского моно-юнибуса модели Ю-372П исполнения 01

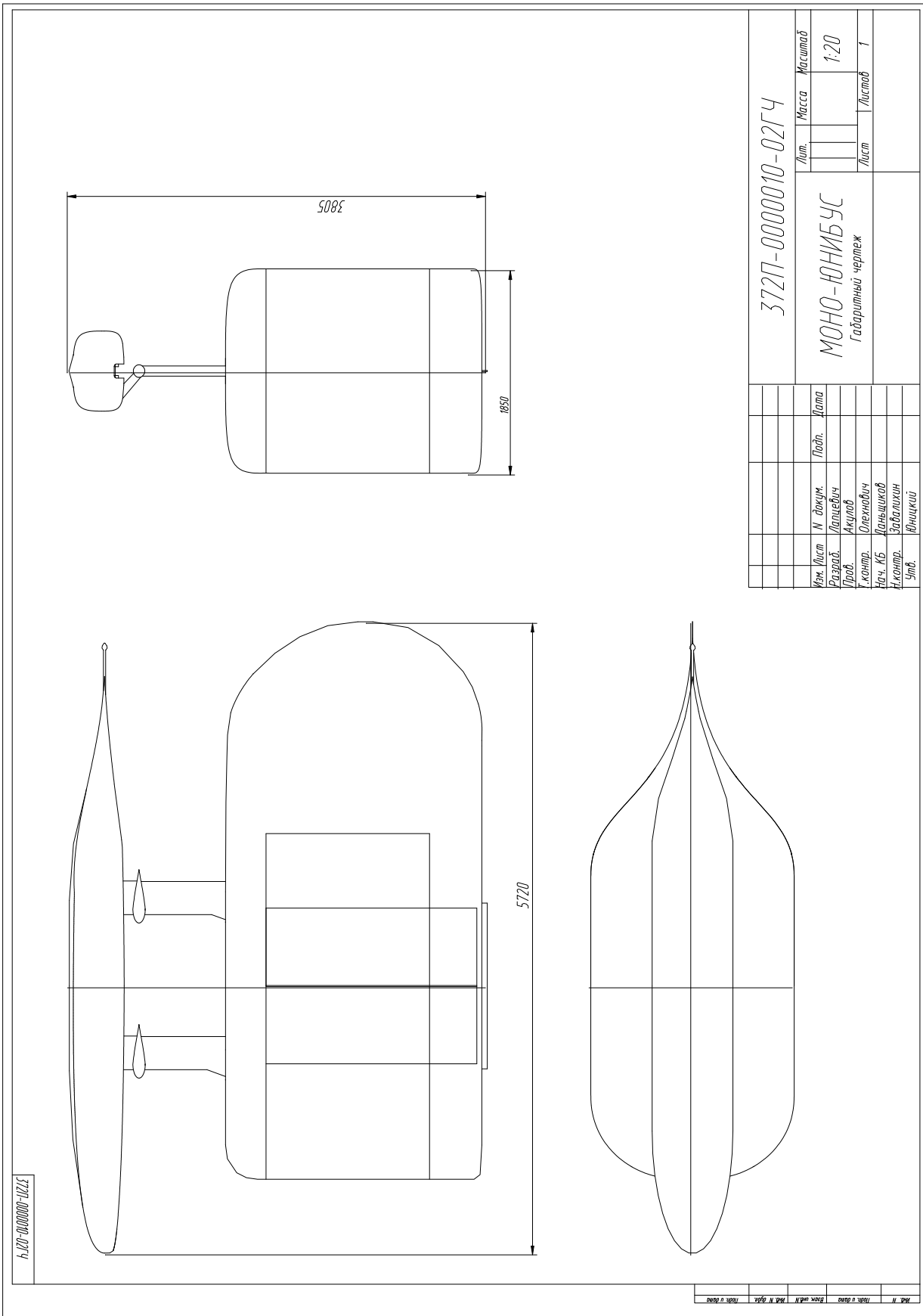


Рис. 1.7. Габаритный чертеж городского пассажирского юнибуса модели Ю-372П исполнения 02

Шасси для обоих исполнений моно-юнибуса модели Ю-372П унифицировано.

Моно-юнибус модели Ю-372П обоих исполнений предназначен для эксплуатации на электрифицированной рельсо-струнной транспортной линии в автоматическом режиме. Техническим предложением проанализирован также вариант электропитания моно-юнибуса модели Ю-372П от бортового источника электроэнергии, подзарядку (или замену) которого необходимо производить на станциях (см. п. 2.13 тягово-динамического расчета 372П-0000010РР, п. 2).

В обоих вариантах исполнения моно-юнибуса модели Ю-372П использованы единые технические решения по конструкции и размещению агрегатов и систем.

Технические характеристики вариантов исполнений моно-юнибуса модели Ю-372П приведены в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Технические характеристики вариантов исполнений моно-юнибуса модели Ю-372П

№	Параметр	Исполнения Ю-372П	
		01	02
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 продольных пар колес, кг:		
	- передняя	1200	
	- задняя	1200	
5	Габаритные размеры, мм:		
	- длина	5750	5720
	- ширина	1850	
	- высота	3925	3805
6	Точность позиционирования юнибуса на станции, мм	±30	
7	Максимальная эксплуатационная скорость на пролете длиной 700 м, км/ч	63	
8	Конструкционная скорость, км /ч, не менее	100	
9	Максимальное служебное ускорение при разгоне и торможении, м/с ²	1,0	



№	Параметр	Исполнения Ю-372П	
		01	02
10	Длина тормозного пути при экстренном торможении (начальная скорость 60 км / ч), м, не более	70	
11	Скорость изменения ускорения при трогании и остановке, м/с ³	0,5	
12	Потребление электроэнергии при выключенной системе кондиционирования-отопления (для пролетов по 700 м):		
	- кВт·ч/100 км	2,4	
	- литров топлива (в пересчете электроэнергии в дизельное топливо):		
л/100 км	0,72		
л/100 пасс.-км	0,06		
13	Потребление электроэнергии при включенной на полную производительность системы кондиционирования (для пролетов по 700 м), кВт·ч/100 км	11,3	
14	Потребление электроэнергии при включенной на полную производительность системы отопления (для пролетов по 700 м), кВт·ч/100 км	16,2	
15	Количество дверей	2	
16	Колесная формула	4×4	
17	Характеристики агрегатов и систем		
17.1	Корпус	Сварной каркас из высокопрочного алюминиевого сплава, облицованный пластиком. Остекление — зеркальный поликарбонат.	
17.2	Оборудование салона	Служебная дверь, запасная дверь, сидения, поручни. Освещение салона. Обогрев и кондиционирование воздуха в салоне. Огнетушитель. Выключатель экстренного торможения. Связь с ЦДС. Аптечка. Информационное табло.	



№	Параметр	Исполнения Ю-372П	
		01	02
17.3	Силовая установка: - количество электродвигателей - тип - модель - максимальная мощность одного двигателя, кВт - масса одного двигателя, кг - система управления	4 асинхронный AIP100L2 5,5 29,3 электронная	
17.4	Ходовая система:	балансирная, четырехколесная (две продольные колесные пары)	
17.5	Направляющее противосходное устройство	боковые противосходные ролики, контактирующие с боковыми дорожками качения головки рельса-струны	
17.6	Тормозная система остановочная	электродинамическая	
17.7	Тормозная система стояночная, аварийная	пассивная, электромеханическая	
17.8	Система управления движением	автоматизированная	
17.9	Электрооборудование	АКБ, 24В, двухпроводное; внешняя сеть 600 В постоянного тока	
17.10	Силовой электропривод	трехфазные асинхронные электродвигатели, тяговые преобразователи	
17.11	Система отопления	отопитель электрический	
17.12	Система вентиляции	кондиционер	
17.13	Система пожаротушения отсеков электрооборудования	автоматическая, генераторы огнетушащего аэрозоля	
17.14	Устройство сцепное	автоматическое, с фрикционным энергогасителем удара	
17.15	Система эвакуации пассажиров	буксировка моно-юнибуса на станцию; переход пассажиров в специальный эвакуационный модуль; спуск пассажиров на землю с помощью тросовых эвакуаторов; специальные мероприятия с использованием вертолета	

1.3. Технические решения, используемые при разработке моно-юнибуса модели Ю-372П

1.3.1. Компоновка

Моно-юнибус модели Ю-372П для городского моноСТЮ в г. Ханты-Мансийске конструктивно состоит из двух частей:

- шасси (верхняя часть);
- кабина (нижняя часть).

Кабина шарнирно подвешена к шасси на двух силовых штангах.

Компоновка моно-юнибуса модели Ю-372П исполнения 01 в трехмерном изображении (без элементов оболочки) показана на рис. 1.9 и 1.10.

На раме шасси шарнирно закреплены два тягово-опорных блока, токосъемное устройство. В носовой и кормовой частях шасси закреплены узлы сцепного устройства.

Пассажи́рская кабина конструктивно разделена на четыре отсека:

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

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.

Отсеки электрооборудования расположены под пассажирскими сидениями и закрыты кожухами. В переднем отсеке размещены комплектующие блоки тягового электрооборудования, блоки информационной системы, блоки системы пожаротушения и первый отопитель салона. В кормовом отсеке размещены комплектующие блоки тягового электрооборудования, центральный процессор, панель защиты и коммутации, блоки системы пожаротушения и второй отопитель салона.



Рис. 1.9. Компоновка моно-юнибуса модели Ю-372П исполнения 01 (вид на носовую часть)

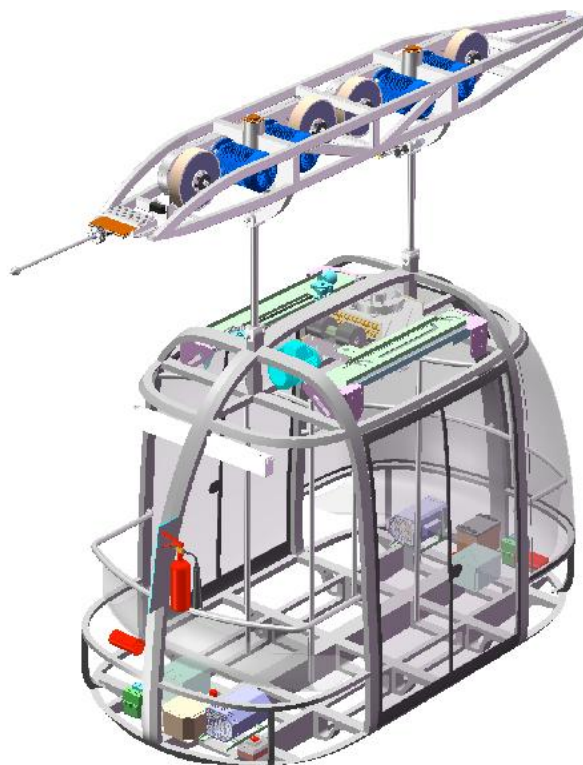


Рис. 1.10. Компоновка моно-юнибуса модели Ю-372П исполнения 01 (вид на кормовую часть)

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

1.3.2. Шасси

Шасси моно-юнибуса модели Ю-372П выполнено в виде единого для обоих исполнений тягового блока, который полностью унифицирован и содержит:

- корпус шасси;
- силовую установку;
- силовую передачу;
- ходовую систему;
- направляющее и противосходное устройство;
- тормозную систему;
- устройство сцепное автоматическое;
- штанги.

Внешний вид шасси представлен на рис. 1.11. Компоновка шасси моно-юнибуса показана в трехмерном изображении на рис. 1.12 и рис. 1.13.

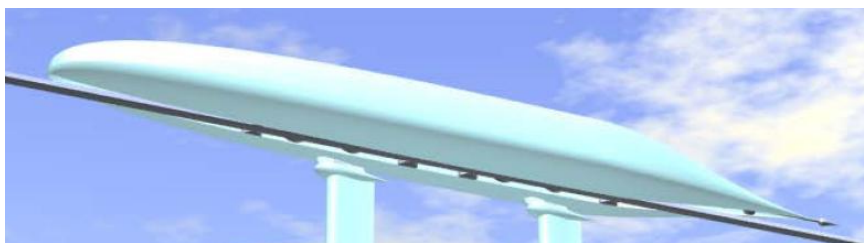


Рис. 1.11. Внешний вид шасси моно-юнибуса модели Ю-372П



Рис. 1.12. Шасси моно-юнибуса модели Ю-372П (вид на носовую часть)



Рис. 1. 13. Шасси моно-юнибуса модели Ю-372П (вид на кормовую часть)

1.3.2.1. Корпус шасси

Корпус шасси моно-юнибуса модели Ю-372П каркасный, несущий, металлический, с наружной облицовкой.

Корпус шасси состоит из сварного каркаса и наружной высокоаэродинамичной облицовки.

Сварной каркас (рис. 1.14) состоит из боковых стенок, соединенных поперечными балками и двух силовых элементов для крепления подвесных штанг.

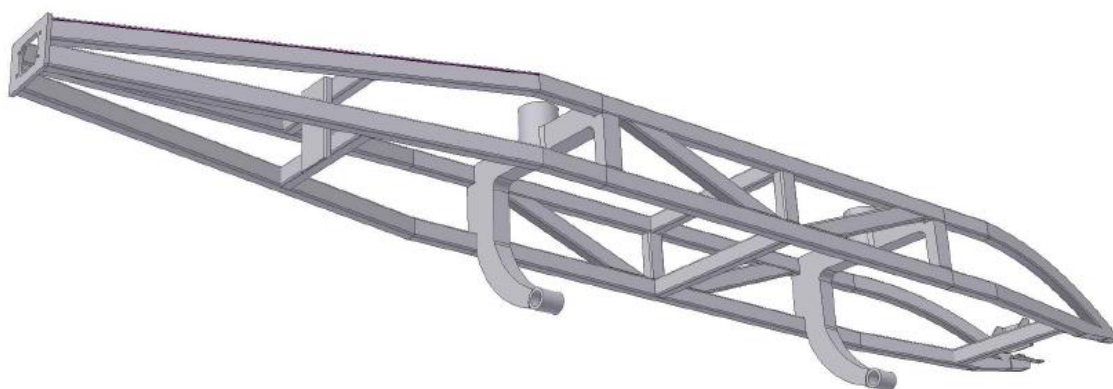


Рис. 1.14. Каркас сварной шасси моно-юнибуса модели Ю-372П

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

самолетостроении.

В передней части каркаса шасси предусмотрены места закрепления отбойников, которые воспрепятствуют попаданию под колеса посторонних предметов высотой более 5 мм, случайным образом попавших на головку рельса-струны.

Аэродинамичная наружная поверхность корпуса облицована непрозрачным высокопрочным поликарбонатом.

1.3.2.2. Силовая установка

В качестве силовой установки на моно-юнибусе модели Ю-372П используются четыре асинхронных трехфазных электродвигателя АИР100L2 мощностью 5,5 кВт каждый (см. рис. 1.15) — по одному двигателю на колесо. Основным показателем надежности силовых установок — средним ресурсом до капитального ремонта — у асинхронных трехфазных электродвигателей достигается 30000 часов, что обеспечит примерно 20-тилетний ресурс работы привода моно-юнибуса на трассе моноСТЮ в г. Ханты-Мансийске.



Рис. 1.15. Тяговый электрический асинхронный двигатель мощностью 5,5 кВт для моно-юнибуса модели Ю-372П

1.3.2.3. Силовая передача

Все четыре колеса моно-юнибуса модели Ю-372П являются тяговыми. Моно-юнибус снабжен двумя автономными электроприводами (по одному на пару колес), по два электродвигателя в одном приводе. Мощность тяговых электродвигателей к колесам передается при помощи силовой передачи (кинематическую схему — см.

рис. 1.16). Конструктивно силовая передача объединена с ходовой системой в единый узел — двухколесный тягово-опорный блок, шарнирно установленный на раме шасси (см. рис. 1.17).

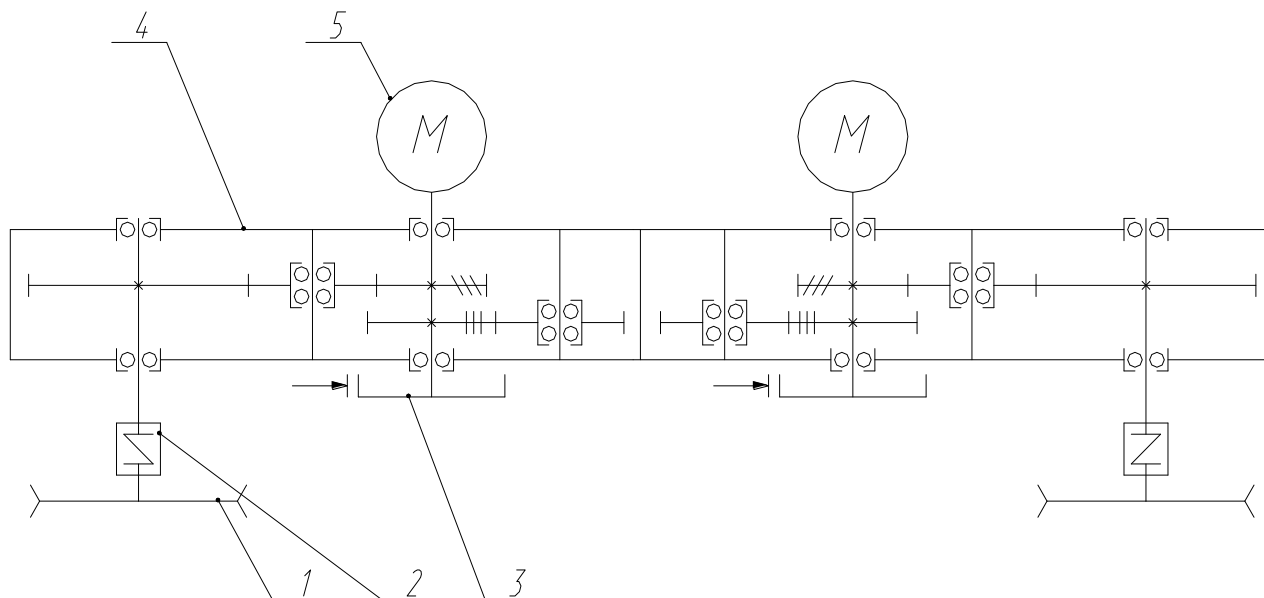


Рис. 1.16. Кинематическая схема силовой передачи автономного электропривода моно-юнибуса модели Ю-372П: 1 — тяговое колесо; 2 — упругая муфта; 3 — тормоз стояночной (запасной) системы торможения; 4 — редуктор; 5 — тяговый электродвигатель

1.3.2.4. Ходовая система

Ходовая система моно-юнибуса модели Ю-372П — четырехколесная, состоящая из двух пар колес.

Каждая пара колес установлена на балансирной тележке, обеспечивающей качение в продольной плоскости, для обеспечения непрерывного контакта колес с рельсом-струной на вертикальных вогнутых (на пролете) и выпуклых (при въезде на станцию) кривых. Роль балансирной тележки выполняет редуктор силовой передачи.

Балансирная тележка установлена на раме шасси с возможностью поворота в горизонтальной плоскости для обеспечения прохождения моно-юнибусом поворотов с минимальным радиусом 15 м (например, на станциях). Для предотвращения передачи высокочастотных колебаний на раму шасси моно-юнибуса каждое колесо имеет амортизирующую прослойку, установленную между ободом и ступицей колеса. Кроме того, подвижность всех шарнирных соединений в ходовой системе

обеспечена посредством применения упругих шумо- и вибропоглощающих элементов.

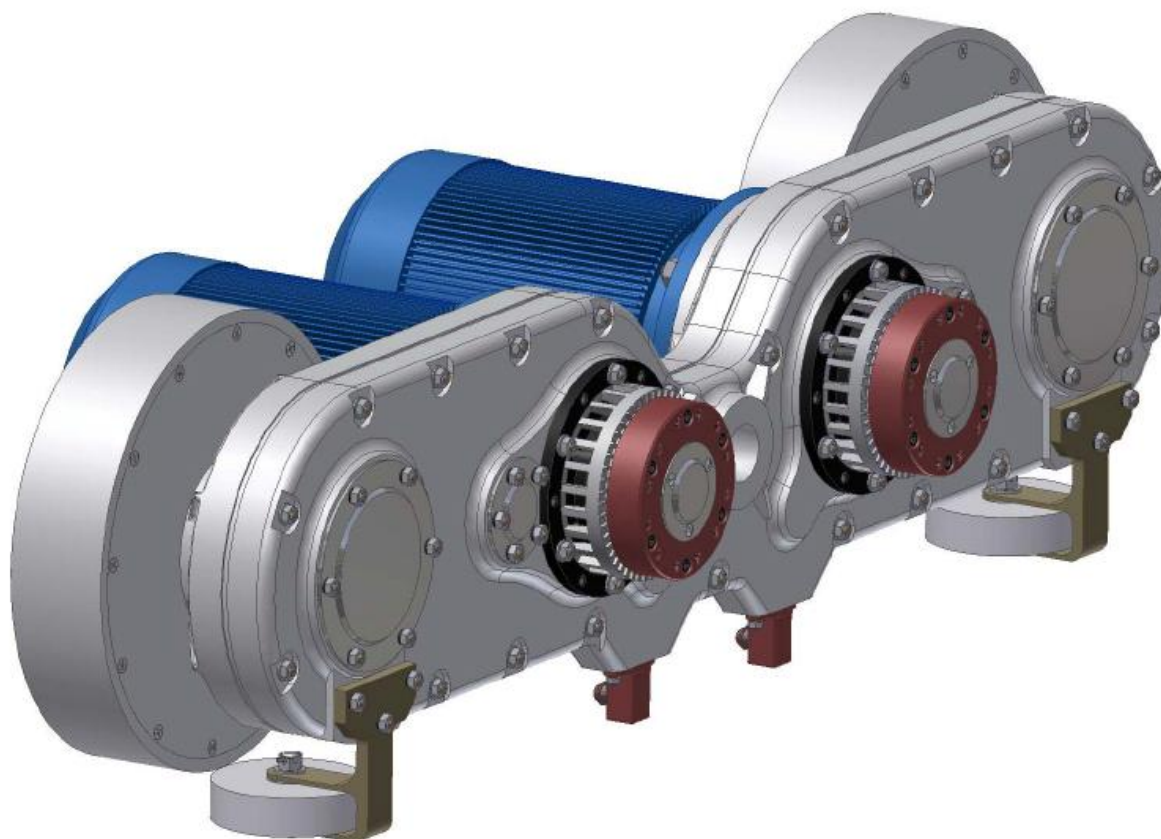


Рис. 1.17. Тягово-опорный блок продольной колесной пары моно-юнибуса модели Ю-372П

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

Линейный контакт обода с головкой рельса и замена в направляющем противосходном устройстве традиционных на железной дороге реборд на боковые упорные ролики позволили снизить коэффициент сопротивления качения (f) до величины 0,0022, т.е. почти на один порядок по сравнению с коэффициентом сопротивления качения пневматических шин колес автомобиля по асфальтобетону (при невысоких скоростях движения $f_{\text{пш}} = 0,013$).

В табл. 1.3 приведен анализ влияния коэффициента сопротивления качения колес на технико-экономические показатели моно-юнибуса модели Ю-372П в условиях безветрия и выключенной системы кондиционирования—отопления.

Таблица 1.3

Анализ влияния коэффициента сопротивления качения колес (f) на показатель среднего энергопотребления моно-юнибуса модели Ю-372П

Показатель	$f = 0,0022$ (стальное колесо)	$f_{\text{min}} = 0,013$ (пневмошина)	Ухудшение показателя, %
Среднее потребление электроэнергии (на пролетах по 700 м), кВт·ч/100 км,	2,4	8,7	260

Применение стальных опорных колес с цилиндрическим опиранием и боковых упорных цилиндрических роликов, в сравнении с пневматическими колесами, даст экономию электроэнергии за срок службы юнибуса (20 лет) при 19-тичасовой эксплуатации в сутки примерно 349000 кВт·ч (на один моно-юнибус), что эквивалентно 34900 USD (при тарифе 0,1 USD за 1 кВт·ч). При наличии парка моно-юнибусов на городской пассажирской двухпутной трассе моноСТЮ в г. Ханты-Мансийске, например, в количестве 50 шт., аналогичная экономия электроэнергии составит 17,45 млн. кВт·ч стоимостью около 1,7 млн. USD.

1.3.2.5. Направляющее и противосходное устройство

Функцию направляющего и противосходного устройства моно-юнибуса модели Ю-372П выполняют 8 боковых роликов (по 2 ролика на каждое опорное колесо, т.е. по одному ролику с каждой стороны рельса-струны), контактирующих с боковыми дорожками качения головки рельса-струны (см. рис. 1.18). Ролики обхватывают, с небольшим прижимом, обеспечивающим их вращение, рельс-струну с обеих сторон и жестко закреплены на балансирных тележках.

1.3.2.6. Тормозная система

Моно-юнибус модели Ю-372П оборудован двумя независимыми системами торможения: электродинамической и механической. Первая является служебной и обеспечивает: торможение юнибуса с заданным замедлением $0,6 \text{ м/с}^2$, ограничение продольных толчков величиной $0,5 \text{ м/с}^3$ и позиционирование юнибуса напротив дверей станции с заданной точностью ($\pm 30 \text{ мм}$). При этом тяговые электродвигатели при торможении работают в генераторном режиме и возвращают энергию в

электросеть. Механические тормоза функционируют, как тормоза стояночной и запасной тормозных систем, а также используются для экстренного торможения совместно с электродинамической системой. Тормоза закреплены на корпусе силовой передачи соосно с тяговыми электродвигателями (см. рис. 1.19) и конструктивно выполнены дисковыми с электромагнитным отключением.

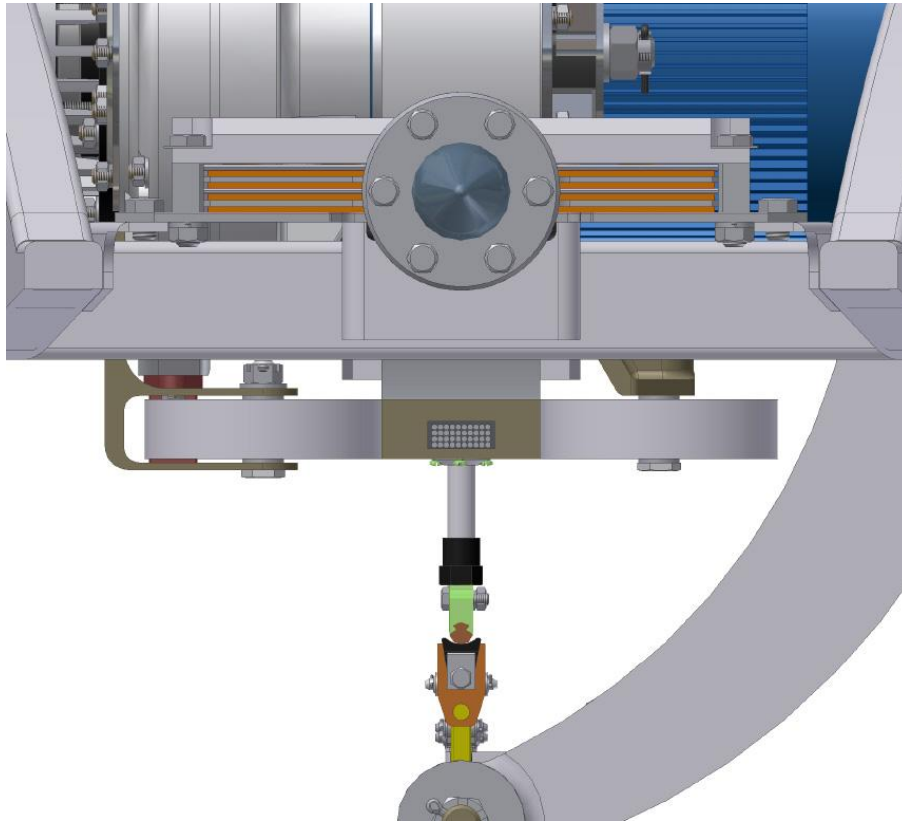


Рис. 1.18. Схема направляющего и противосходного устройства моно-юнибуса модели Ю-372П (под рельсом-струной показана подвесная электрическая контактная сеть)

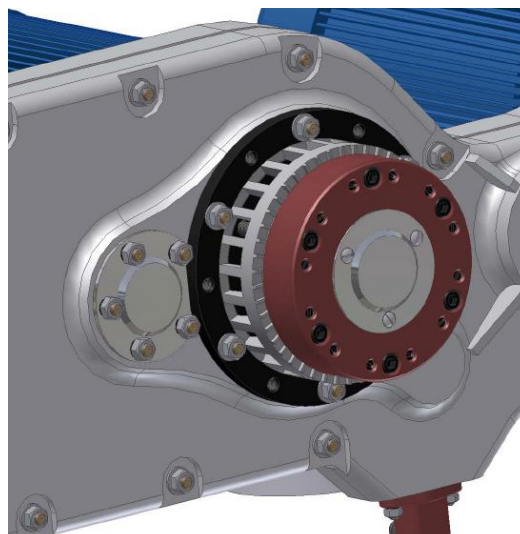


Рис. 1.19. Механический тормоз моно-юнибуса модели Ю-372П

1.3.2.7. Устройство сцепное автоматическое

Для обеспечения возможности буксировки с любого места трассы моно-юнибусы модели Ю-372П оснащаются автоматическими сцепными устройствами (см. рис. 1.20). Сцепные устройства при сцепке двух моно-юнибусов срабатывают автоматически без участия человека. В случае аварийной сцепки стыковочный узел способен погасить удар при относительной скорости сцепляемых моно-юнибусов 3—4 км/ч (при ускорениях в пассажирском салоне не выше $3,5 \text{ м/с}^2$). При этом стыковочный узел не повреждается. Для приведения его в исходное состояние предусмотрен возвратный механизм.



Рис. 1.20. Сцепное устройство

1.3.2.8. Штанги

Штанги (см. рис. 1.21) — силовые элементы, соединяющие шасси и кабину модели моно-юнибуса Ю-372П.

Штанга состоит из кованой тяги с проушинами, верхнего и нижнего резинометаллических шарниров. Материал тяги — высокопрочный алюминиевый сплав.

В целях повышения аэродинамических качеств моно-юнибуса штанги оснащаются обтекателями, выполненными из непрозрачного высокопрочного поликарбоната.

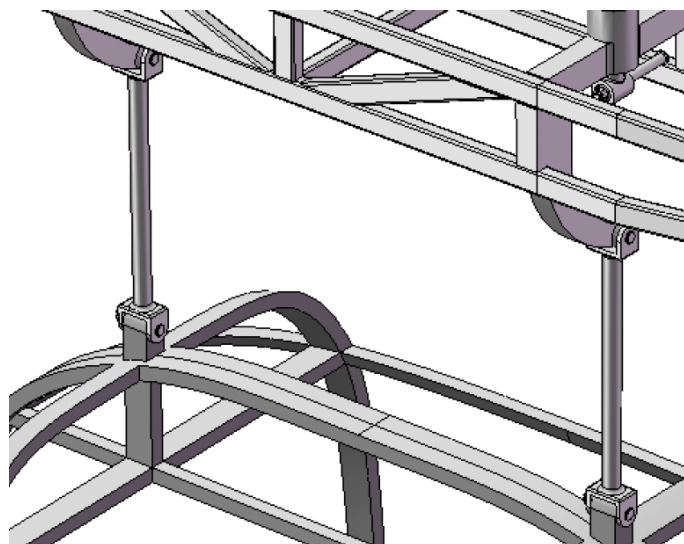


Рис. 1.21. Штанги, соединяющие шасси и кабину моно-юнибуса модели 372П

1.3.3. Кабина

Кабина моно-юнибуса предназначена для перевозки пассажиров. А при необходимости — грузов весом до 1,5 т, размещаемых либо в кабине (для этого из нее убираются пассажирские сиденья), либо — на внешней подвеске.

Кабина моно-юнибуса состоит из корпуса и оборудования, расположенного в кабине.

Компоновка пассажирской кабины моно-юнибуса модели Ю-372П исполнения 01 показана в трехмерном изображении на рис. 1.22 и рис. 1.23.



Рис. 1.22. Кабина моно-юнибуса модели Ю-372П исполнения 01 (вид на носовую часть)



Рис. 1.23. Кабина моно-юнибуса модели Ю-372П исполнения 01 (вид на кормовую часть)

1.3.3.1. Корпус и внешние формы кабины

Корпус кабины моно-юнибуса модели Ю-372П (рис. 1.24) каркасный, несущий, металлический, с термошумоизоляцией, двухдверный, с окнами и с наружной и внутренней облицовкой.

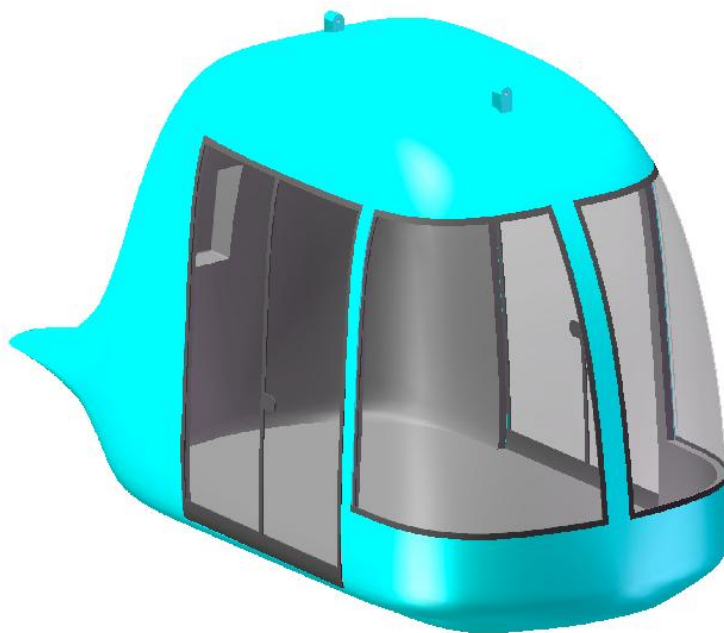


Рис. 1.24. Корпус кабины юнибуса модели Ю-372П исполнения 01

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

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



Рис. 1.25. Каркас сварной кабины моно-юнибуса модели Ю-372П исполнения 01

Нижняя рама состоит из продольных и поперечных балок, окантовки, днища и хвостового кронштейна. В продольной центральной балке снизу предусмотрены места закрепления специальной направляющей, фиксирующей кабину на станции от раскачивания при посадке—высадке пассажиров.

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

Все детали каркаса изготовлены из высокопрочных алюминиевых сплавов.

Остекление юнибуса состоит из передних и боковых окон и прозрачных дверей. В качестве материала окон применен затемненный зеркальный высокопрочный поликарбонат.

Наружная непрозрачная поверхность корпуса облицована непрозрачным высокопрочным поликарбонатом. Внутренняя поверхность салона облицована декоративным негорючим пластиком.

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

Важнейшей отличительной особенностью моно-юнибусов обоих исполнений является их высокая аэродинамичность внешних форм. Построение таких внешних форм моно-юнибуса модели Ю-372П осуществлено с учетом результатов многократных продувок моделей масштаба 1:5 в ЦНИИ им. А.Н. Крылова (г. Санкт-Петербург, РФ), что позволило добиться получения коэффициента аэродинамического сопротивления (C_w), равного примерно 0,11. Для сравнения, величина коэффициента аэродинамического сопротивления низкопольного современного городского автобуса составляет примерно $C_w = 0,65$. Если бы аэродинамические формы моно-юнибуса Ю-372П были на уровне форм указанного автобуса, то его электропотребление на движение из-за ухудшения аэродинамических качеств возросло бы более чем в четыре раза.

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

1.3.3.2. Система отопления кабины

Элементы системы отопления расположены в отсеках электрооборудования.

На моно-юнибусе модели Ю-372П установлены два электрических отопителя (см. рис. 1.26).

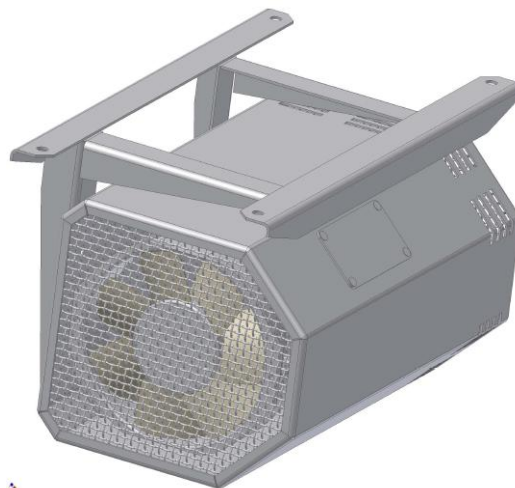


Рис. 1.26. Электрический отопитель

Отопители работают в режиме рециркуляции.

Максимальная теплопроизводительность отопителей 5 кВт.

1.3.3.3. Система вентиляции и кондиционирования кабины

Кондиционер расположен в отсеке над потолком салона моно-юнибуса. Он состоит из компрессорного, конденсаторного и испарительного агрегатов (см. рис. 1.27). 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/ч, из расчета подачи в салон на одного пассажира 20 м³/ч свежего наружного воздуха.

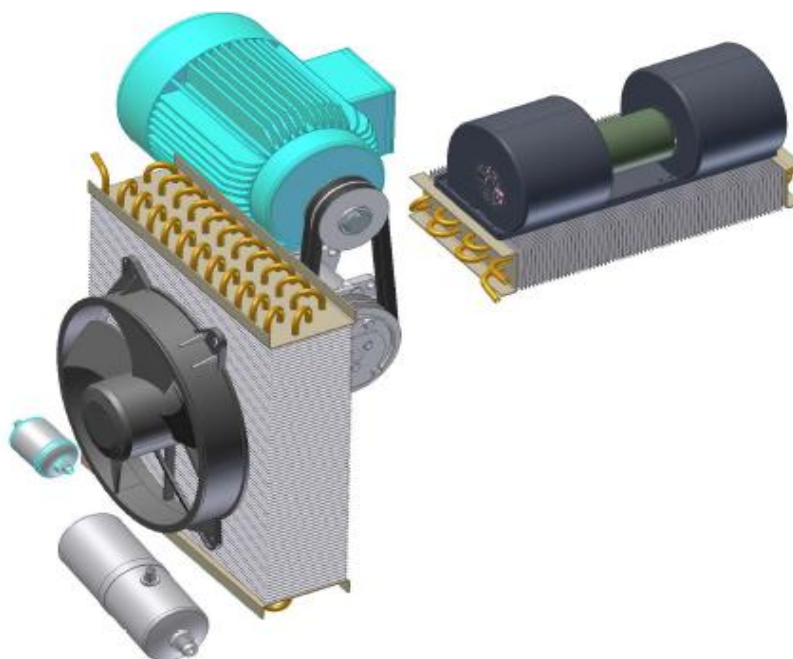


Рис. 1.27. Комплект системы кондиционирования и вентиляции моно-юнибуса модели Ю-372П

1.3.3.4. Пассажирская дверь с механизмом открывания

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

Двери двухстворчатые поворотно-раздвижные.

Служебная дверь (см. рис. 1.28) расположена с левой стороны моно-юнибуса.

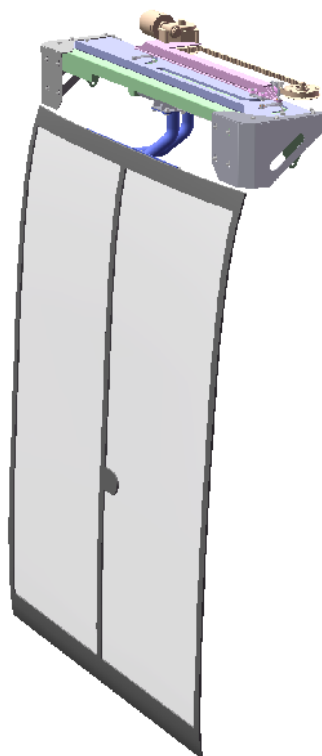


Рис. 1.28. Служебная дверь с механизмом открывания

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 — тонированный зеркальный 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 на станции 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 электропривода механизма открывания.

1.3.3.5. Пассажи́рские сидения

В салоне моно-юнибусов установлены два ряда сидений, по три места в каждом ряду. Один ряд сидений расположен в передней части салона над кожухом переднего отсека электрооборудования, другой — в задней части салона над кожухом кормового отсека электрооборудования.

Сиденья (см. рис. 1.29) изготовлены из прозрачного высокопрочного поликарбоната.

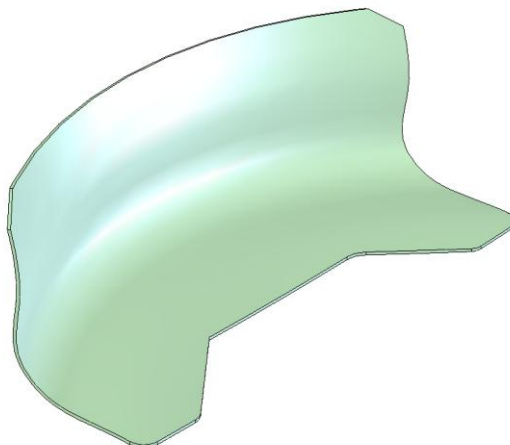


Рис. 1.29. Пассажи́рские сидения

1.3.3.6. Система пожаротушения

Автоматическая система пожаротушения расположена в отсеках электрооборудования.

Система состоит из датчиков температуры и генераторов огнетушащего аэрозоля МАГ (см. рис. 1.30). Для пожарного оповещения каждый моно-юнибус снабжен центральным пожарным извещателем, который отправляет соответствующие обстановке сообщения через каналы связи на стационарную систему пожарного извещателя ЦДС.



Рис. 1.30. 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. 1.31).



Рис. 1.31. Углекислотный огнетушитель ОУ-2

1.3.3.7. Информационное табло

Информационное табло расположено в салоне над задними сиденьями.

Табло предназначено для информирования пассажиров о текущей или о следующей остановке. В промежутках между остановками на табло отражается текущее время или рекламная информация (рис. 1.32).



Рис. 1.32. Информационное табло

1.3.4. Электрооборудование

В качестве силового привода моно-юнибуса модели Ю-372П используется электропривод. Питание его осуществляется от контактной сети постоянного тока напряжением 600 В.

Силовой электропривод состоит из:

- четырех тяговых асинхронных электродвигателей (см. рис. 1.15);
- двух тяговых преобразователей;
- двух блоков управления;
- двух статических преобразователей для питания цепей управления и вспомогательного оборудования;
- центрального процессора;
- токосъемного устройства.

Управление тяговыми двигателями осуществляют тяговые преобразователи, которые преобразуют 600 В постоянного тока в переменный ток заданной частоты. Тяговый преобразователь использует режим векторного регулирования, который предусматривает организацию управления по переменным состояниям:

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

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

Тяговые электронные преобразователи частоты реализованы на современной элементной базе силовой электроники — технологии IGBT (биполярный транзистор с изолированным затвором). Применение 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 вращающего момента) двигателя, электронный преобразователь также выполняет функции защиты двигателя от токов короткого замыкания, перегрузки, пропадания фазы. Обеспечивается также электронное бесконтактное переключение направления движения моно-юнибуса. В блоке управления реализован расчет температуры тягового двигателя, что позволяет реализовать дополнительную защиту от перегрева тягового двигателя. 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 моно-юнибуса. При этом также всегда остается «резервный запас» для обеспечения режима торможения, который никогда не блокируется (в целях безопасности).

Электронный преобразователь частоты имеет собственную независимую систему диагностики. Данная система диагностики позволяет в ручном или автоматическом режиме контролировать практически все переменные параметры 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 информации, 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 моно-юнибуса на перегоне и, соответственно, — сможет принимать решения по дальнейшим действиям.

Система управления приводом моно-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 энергопотребителями самого моно-юнибуса (освещение, отопление, вентиляция и др.) и другими моно-юнибусами, осуществляющими движение на данном участке, что значительно повышает КПД транспортной системы в целом.

Режим управляемого останова моно-юнибуса модели Ю-372П позволяет производить его плавное замедление и позиционирование в заданной точке с погрешностью не более ± 30 мм.

На рис. 1.33 изображена функциональная схема системы управления приводом моно-юнибуса модели Ю-372П.

Статические преобразователи предназначены для питания цепей управления силовых преобразователей вспомогательных электрических цепей модели моно-юнибуса Ю-372П 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.

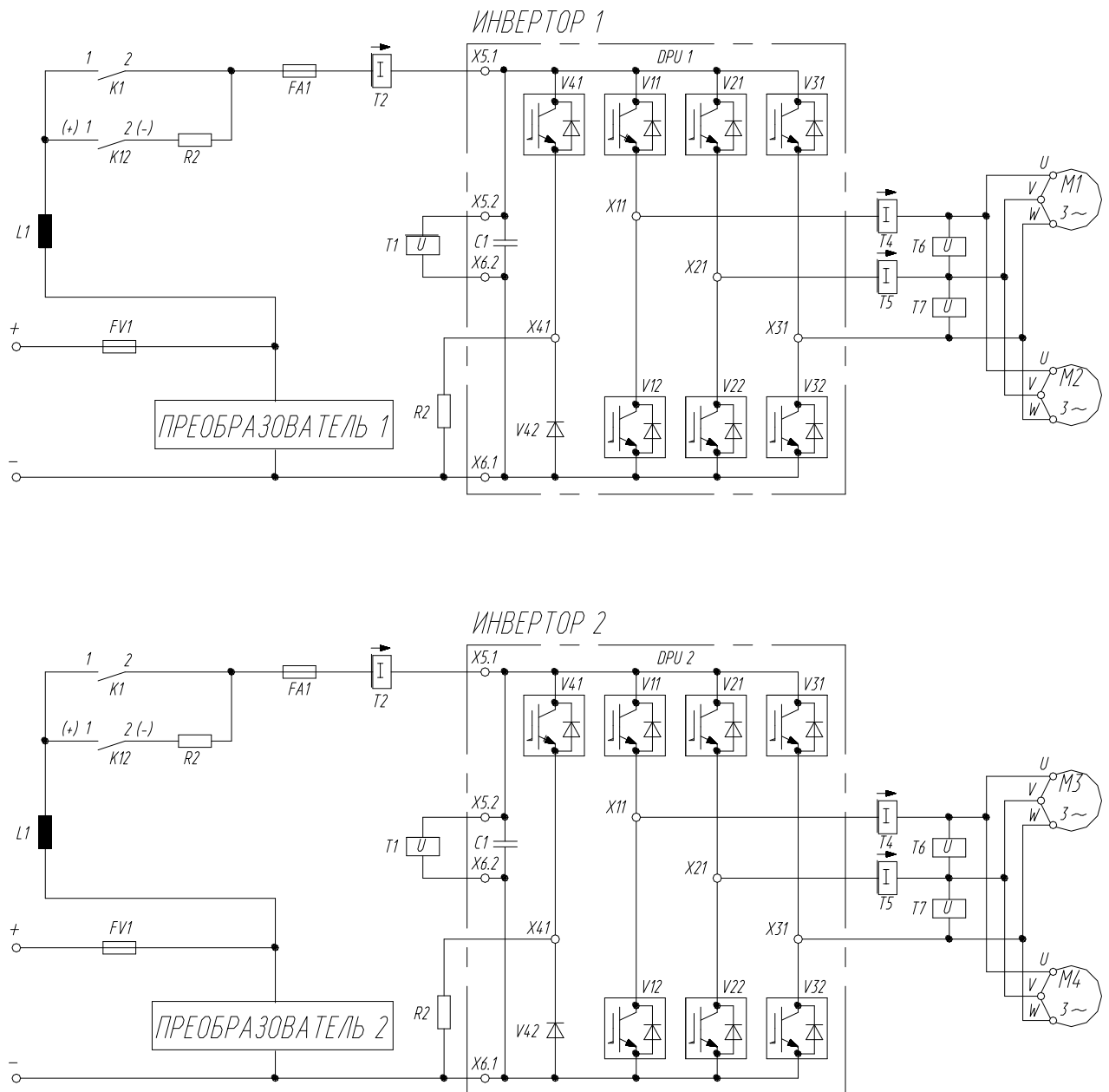


Рис. 1.33. Функциональная схема системы управления приводом моно-юнибуса модели Ю-372П

Токосъемное устройство (см. рис. 34) осуществляет подключение моно-юнибуса к подвесной контактной цепи, размещенной на расстоянии 150 мм от рельса-струны (по центру рельса под ним). Контактный провод +600 В через изоляторы крепится непосредственно к рельсу-струне. Контакт с проводом осуществляется при помощи токосъемного устройства, при этом токоведущая шина (-600 В), которой является корпус рельса-струны, глухо заземлена. Электрический монтаж моно-юнибуса выполнен по двухпроводной схеме. Использование в качестве заземленной токоведущей шины (-600 В) корпуса рельса-струны повышает безопасность моно-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 возникновение статического и емкостного электрического потенциала на металлических деталях моно-юнибуса.

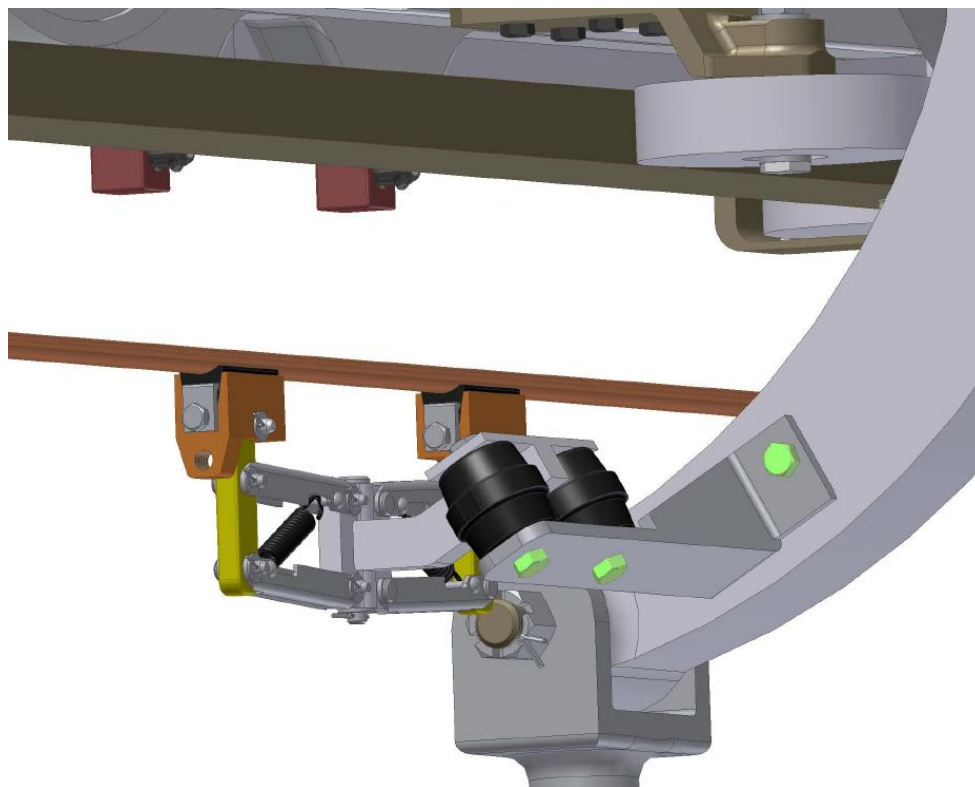


Рис. 1.34. Токосъемное устройство моно-юнибуса модели Ю-372П

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

Система бортового электрооборудования реализована с использованием современных сетевых решений информационных технологий. Все оборудование моно-юнибуса охвачено CAN-сетью и управляется по шине. В моно-юнибусе установлено порядка 15 однотипных CAN-узлов (см. рис. 1.35), выполняющих задачи по функционально-территориальному признаку. Схемотехнически CAN-узел представляет собой компьютерное устройство, запрограммированное на выполнение определенных функций. Узлы являются универсальными и разделены на три подтипа, отличающиеся количеством и типом (аналоговые или цифровые) входов—выходов.

Соответственно, каждый вход обрабатывает какой-либо сигнал с датчика или командного устройства, а выход — управляет соответствующим исполнительным устройством. Каждый CAN-узел, несмотря на идентичную схему, имеет свою индивидуальную программу работы, специализированную для конкретного применения.

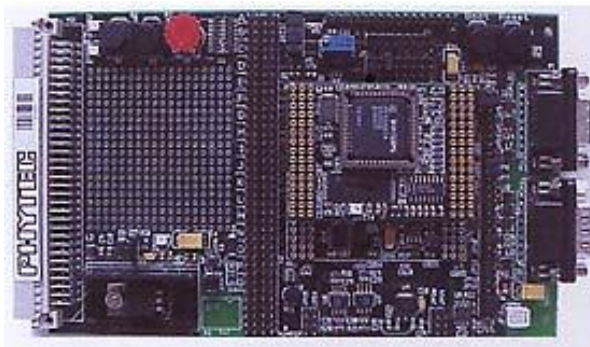


Рис. 1.35. CAN-узел

Каждый CAN-узел контролирует и управляет группой устройств, с которыми он рядом 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 моно-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 моно-юнибуса, а также возможность реализации многократного дублирования устройств, обеспечивающих параметры безопасности. При этом разные узлы моно-юнибуса работают параллельно по своим программам и одновременно дублируют друг друга. При любом сбое или отказе в работе автоматически включается параллельное дублирование. В этом случае происходит автоматическое исправление ошибки. При этом в большинстве случаев для пользователя практически ничего не заметно, так как исправление сбоя происходит за время, менее 0,1 сек. В случае невозможности автоматического устранения ошибки происходит автоматический выбор наиболее безопасного режима с последующим отключением оборудования, в основном по прибытии моно-юнибуса на станцию.

Диагностике подвергаются абсолютно все узлы и агрегаты моно-юнибуса, в том числе и механические, на которые установлены 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 моно-юнибуса 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 моно-юнибуса, накапливаются в бортовой памяти. Они будут автоматически переданы обслуживающему персоналу при заезде моно-юнибуса на диагностику или ремонт. При этом обслуживающий персонал будет знать не только конкретную неисправность конкретного узла, но и условия наступления этой ошибки, состояние других переменных в момент аварии и т.д.

На каждом моно-юнибусе установлен модуль GPS/GPRS/GSM, который включен в бортовую систему управления и предназначен для определения координат моно-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 в 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 моно-юнибуса модели Ю-372П из эксплуатации, но и даже в процессе движения моно-юнибуса по перегону.

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

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

К дополнительному электрооборудованию моно-юнибуса модели Ю-372П 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 в моно-юнибусе предусмотрена система отключения высокого напряжения при открывании защитных кожухов электрооборудования. Все оборудование моно-юнибуса имеет гальваническую связь с токопроводящим корпусом модуля.

В целях снижения уровня радиопомех моно-юнибус модели Ю-372П 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 моно-юнибуса изображена на рис. 1.36.

1.3.5. Автоматизированная система управления движением

В основу автоматизированной системы управления движением пассажирских моно-юнибусов модели Ю-372П на городской трассе моноСТЮ 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, поддерживает протоколы взаимодействия со средствами сотовой и транкинговой связи.



Автоматизированная система управления движением обеспечивает:

- автоматическое определение местоположения моно-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 моно-юнибусе, в том числе координаты его местоположения, курса и скорости движения;
- оперативную коррекцию маршрутов и графиков движения моно-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 моно-юнибуса 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 моно-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 моно-юнибусы.

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

Основные технические данные АСУ-Т

№	Наименование параметра	Величина параметра
1	Количество обслуживаемых моно-юнибусов	до 1000
2	Количество диспетчеров в центральной диспетчерской станции	до 8
3	Точность определения местоположения моно-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 -40 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 ТС 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 КЗ-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 моно-юнибуса модели Ю-372П. 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	10—15
2	Периодичность определения, с	1—600 (задается)
3	Скорость передачи данных, бит/с	1200/2400/4800
4	Помехоустойчивое кодирование	каскадный код
5	Обеспечиваемое быстродействие АСУ, ТС/с	12
6	Объем флэш-памяти, Кбайт	64
7	Напряжение питания, В	24
8	Потребляемая мощность, Вт	не более 3
9	Габаритные размеры, мм: - длина - ширина - высота	168 131 45
10	Вес, кг	0,6
11	Время готовности, мин	не более 2

Следуя по контролируемому диспетчером участку, моно-юнибус модели Ю-372П автоматически передает на пульт диспетчера полную информацию о работоспособности всех систем. Каждая связь продублирована, что позволит АСУ осуществлять бесперебойную работу.



В состав АСУ моноСТЮ входит телевизионный комплекс визуального наблюдения за текущей ситуацией. Управление комплексом визуального наблюдения расположено на ЦДС.

Для повышения безопасности движения моно-юнибус модели Ю-372П дополнительно снабжен системой определения расстояния до впереди идущего моно-юнибуса, которая автоматически снижает скорость его движения, вплоть до полной остановки, при определении критического расстояния между ними.

1.3.6. Система эвакуации пассажиров

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

- 1) если отказавший моно-юнибус не может продолжать движение самостоятельно, то по тому же пути подгоняется другой моно-юнибус, который берет аварийный моно-юнибус на буксир и доставляет до ближайшей станции, где пассажиры выходят;
- 2) если моно-юнибус неисправен и не может продолжать движение с пассажирами на борту, по тому же пути подгоняется специальный модуль-эвакуатор, оборудование которого обеспечивает переход пассажиров на его борт и буксировку отказавшего моно-юнибуса;
- 3) если транспортная система «второго уровня» полностью неработоспособна (например, при отключении электричества на длительный период), или существует какая-либо угроза здоровью и безопасности пассажиров, то на этот исключительный случай предусмотрены специальные эвакуационные мероприятия с использованием вертолета, а также — специальные тросовые эвакуаторы альпинистского типа, которыми снабжен каждый юнибус, обеспечивающий поочередный спуск пассажиров на землю с высоты до 200 м.

1.4. Краткие сведения о высотной городской пассажирской двухпутной трассе автоматизированного моноСТЮ в г. Ханты-Мансийске

В данном разделе приводится краткое описание путевой структуры высотного пассажирского двухпутного автоматизированного моноСТЮ для г. Ханты-Мансийска, который представляет собой натянутые между опорами (зданиями-станциями) с усилием до 100 тонн на высоте 30—50 метров и более два монорельса-струны — по одному на каждый путь. На каждом из них подвешены моно-юнибусы модели Ю-372П вместительностью 12 пассажиров. Длина пролетов может варьироваться от 100 м до 1500 м и более, а оптимальная их длина находится в диапазоне 500—1000 м.

1.4.1. Рельсо-струнная путевая структура

Путевая структура моноСТЮ состоит из рельсов-струн, анкерных устройств и системы консольной подвески рельса-струны (стрелочных переводов) для изменения направления движения моно-юнибуса на каждой станции. Все элементы путевой структуры являются уникальными, поэтому при проектировании их будут применяться десятки патентованных технологий и «ноу-хау» ООО «Струнный транспорт Юницкого».

Рельс-струна размещена между зданиями-станциями с тем большим провисом, чем большим будет пролет. Например, при движении груженого моно-юнибуса модели Ю-372П по пролету длиной 700 м, максимальный провис, в зависимости от усилия натяжения струны, составит 10—16 м (в центре пролета, с учетом веса моно-юнибуса).

Провис путевой структуры моноСТЮ на каждом пролете позволяет на первой половине пути, до середины пролета, использовать гравитацию для разгона подвижного состава, а на второй половине — для его торможения. Благодаря этому моноСТЮ имеет в городском цикле движения (в среднем остановки через каждые 0,7 км) беспрецедентно низкий расход электрической энергии при обеспечении относительно высоких средних скоростей движения, недостижимых в традиционном городском общественном транспорте.

1.4.2. Рельс-струна

Рельс-струна состоит из отдельных предварительно натянутых высокопрочных стальных проволок диаметром 3 мм, размещенных параллельно друг другу вдоль рельса (прочность на разрыв проволоки ЖБК ТС71915393-053-2006 3,0, выпускаемой Волгоградским заводом ОАО «Северсталь-Метиз», составляет 22000 кгс/см²; пробная партия этой проволоки изготовлена в 2006 г. по заказу ООО «СТЮ»).

Проволоки в струне омоноличены полимерным связующим на основе эпоксидной смолы, что повышает ее долговечность и коррозионную устойчивость, а в случае обрыва отдельных проволок, например, из-за дефектов изготовления, позволит им сократиться по длине без существенного нарушения напряженно-деформированного состояния остальных напряженных элементов рельса.

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

Максимальная длина пролета данного типа моноСТЮ (средний моноСТЮ) составляет 2000 м, что позволяет, без дополнительных капитальных затрат, преодолевать такие преграды, как существующие в г. Ханты-Мансийске транспортные магистрали и их развязки, лесные массивы, районы малоэтажной застройки, реку Иртыш и др.

Для обеспечения плавного, бесшумного и безударного качения колес моно-юнибусов относительные неровности рельсо-струнного пути не должны быть более 1/1000, что легко реализуется в моноСТЮ и соответствует сегодняшним требованиям, предъявляемым к мостам, путепроводам и эстакадам на высокоскоростных железных дорогах.

1.4.3. Здания-станции

Самой ответственной частью высотного здания-станции моноСТЮ является его несущая конструкция, которая, кроме обычных нагрузок высотных зданий, несет и дополнительные горизонтальные нагрузки от натянутых рельсов-струн путевой структуры транспортной системы «второго уровня», размещенной на высоте 30 метров и более. ООО «Струнный транспорт Юницкого» обладает патентованными

технологиями по строительству высотных зданий (например, евразийский патент № 004188), применение которых позволит легко воспринять дополнительные нагрузки. Причем за счет комплексного применения новых технологий (один из вариантов высотного здания-станции показан на рис. 1.37) происходит удешевление стоимости возведения всего здания, что компенсирует стоимость дополнительных конструктивов, вводимых для восприятия специфических нагрузок от путевой структуры моноСТЮ. Горизонтальная нагрузка, приходящаяся на несущий каркас высотного здания-станции среднего моноСТЮ, составит для однопутной (однорельсовой) системы до 100 тс, для двухпутной — до 200 тс. При высоте размещения станции «второго уровня», равной, например, 60 м, дополнительный опрокидывающий момент, действующий на высотное здание, будет для двухпутной трассы иметь значение до 12000 т×м. Необходимо отметить, что этот опрокидывающий момент действует только на крайние здания такого линейного города. Промежуточные здания-станции не испытывают этих усилий, т.к. усилия с одной стороны станции уравниваются усилиями, действующими с другой стороны, причем эти нагрузки будут передаваться с одного пролета моноСТЮ на другой пролет не через каркас здания, а через анкерный конструктив станции. Эти нагрузки, таким образом, будут не штатными, а технологическими (во время строительства), либо аварийными (в случае полного разрушения высотной струнной путевой структуры).

При проектировании несущей конструкции здания-станции предусматривается возможность создания этажей с размещением гостиничных, торговых, офисных и жилых площадей. Таким образом, происходит максимальное использование отводимых земельных участков и создаваемых несущих конструкций.

1.4.4. Пассажи́рские станции и сервисное депо

Пассажи́рские станции будут располагаться, в основном, на верхнем этаже высотного здания-станции за исключением тех случаев, когда по градостроительным требованиям будет принято решение повысить этажность здания-станции для создания дополнительных площадей, например, для размещения элитных «пентхаусов» (см. рис. 1.38).

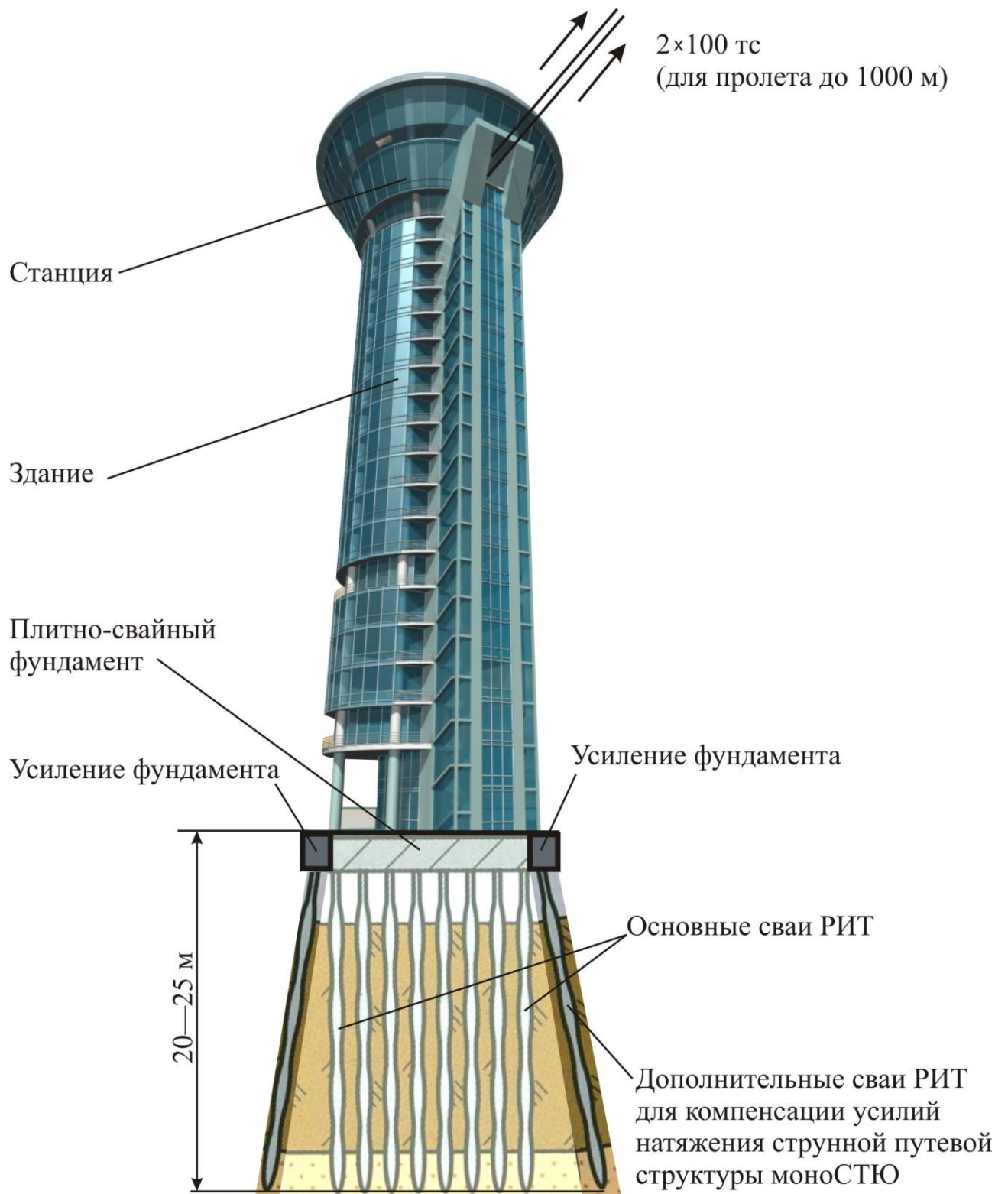


Рис. 1.37. Один из вариантов устройства здания-станции высотной пассажирской двухпутной автоматизированной трассы моноСТЮ для г. Ханты-Мансийска



Рис. 1.38. Общий вид одного из возможных вариантов здания, совмещенного со станцией моноСТЮ, на пересечении трех двухпутных трасс моноСТЮ

Сама пассажирская станция будет оборудована стрелочными переводами, устройствами фиксации моно-юнибусов в ходе пассажирообмена, контрольно-пропускными терминалами, посадочными шлюзами, сервисными боксами с подъемниками для обслуживания и резервирования моно-юнибусов. Подъем на станцию будет осуществляться скоростными лифтами из нижнего вестибюля, расположенного на первом этаже.

Сервисное депо будет расположено на техническом этаже под станцией одного или двух высотных зданий. Там будет размещено все оборудование для сервисного обслуживания подвижного состава и путевой структуры. Так же там будет расположен ЦДС управления всей транспортной системой.

1.4.5. Организация движения моно-юнибусов модели Ю-372П

Целесообразнее всего организовывать движение моно-юнибусов модели Ю-372П будущей городской пассажирской двухпутной автоматизированной трассы моноСТЮ в г. Ханты-Мансийске в двух режимах:

- движение циклическое по расписанию с регулируемым автоматически (или при помощи дежурного ЦДС), в зависимости от пассажиропотока, интервалом движения (минимальный интервал можно довести до 30 с);
- режим такси (по вызову в позднее время суток, например, после 23 час.).

Двенадцатиместные моно-юнибусы модели Ю-372П, совершающие движение в составе городского двухпутного моноСТЮ с интервалом 30 с, за один час способны перевезти 2880 пассажиров, а за год (при 17-тичасовой эксплуатации) — 17,8 млн. пассажиров (для сравнения: в 2006 г. всеми видами городского общественного транспорта г. Ханты-Мансийска было перевезено около 10 млн. пассажиров). Это примерно тот же объем перевозок, который могут обеспечить, например, сочлененные трамвайные вагоны K4001 известной компании Bombardier стоимостью около 2 млн. USD, при нормальном наполнении вмещающие 180 пассажиров, осуществляющие движение с интервалом 4 мин. При этом весь парк моно-юнибусов, в количестве 30—40 шт. будет стоить примерно столько же, что и один сочлененный трамвай K4001 (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 в небольшом и компактном городе не превысит 3 км, то, например, 15-тикилометровая сеть высотных трасс среднего моноСТЮ («воздушное метро», которое будет стоить примерно в 50 раз дешевле традиционного подземного метро) перевезет в год около 90 млн. пассажиров, что обеспечит перспективный объем пассажирских перевозок в интенсивно развивающемся г. Ханты-Мансийске.

1.4.6. Потребительские характеристики городских моно-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.

1.4.6.1. Комфортность

МоноСТЮ даст человеку возможность, наряду с комфортным решением основной функциональной задачи — быстрой и безопасной доставкой пассажира, — решить эстетические функции. Большая площадь остекления моно-юнибуса, комфортные сидения, мягкий бархатный путь превратят обычную дорогу в наслаждение окружающим городским или природным пейзажем с высоты птичьего полета. Каждый моно-юнибус будет снабжен системой кондиционирования, причем исходный воздух будет чист, т.к. будет забираться на высоте 25 м и более (а не у поверхности асфальта, как на существующем автомобильном транспорте). Движение моно-юнибусов по рельсо-струнной путевой структуре мало зависит от большинства погодных и дорожных условий (ветер до 9 баллов по шкале Бофорта, дождь, снег, туман, гололед и др.), на трассе нет светофоров, пересечений в одном уровне с другими видами транспорта и пешеходными переходами, поэтому средняя скорость движения моно-юнибусов модели Ю-372П будет в более чем 2 раза выше, чем в существующем наземном транспорте г. Ханты-Мансийска. Это повысит комфортность для пассажиров: они быстрее и в более безопасных и комфортных

условиях воспользуются транспортной услугой моноСТЮ.

Высокая возможная частота следования моно-юнибусов модели Ю-372П (в часы пик с интервалом движения до 30 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.

1.4.6.2. Безопасность

Безопасность моноСТЮ характеризуется, прежде всего, десятикратным запасом прочности (по величине подвижной нагрузки) для основного несущего элемента однорельсового моноСТЮ — высокопрочных стальных проволок.

Эвакуация пассажиров из моно-юнибуса на трассе предусмотрена, но лишь в чрезвычайных ситуациях, когда дальнейшее их нахождение в нем представляет опасность для здоровья и жизни людей (см. п. 1.3.6).

Рама шасси и каркас кабины, кроме штанг, связаны дополнительно страховочными стальными канатами.

Для пожарного оповещения каждый моно-юнибус снабжен центральным пожарным извещателем, который постоянно запрашивает пожарные сигнализаторы, размещенные в отсеках электрооборудования 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 моно-юнибус автоматически остановится на ближайшей по ходу движения станции (время движения моно-юнибуса от станции до станции — около 80 с при длине пролета 700 м). Для связи пассажиров с дежурным ЦДС в салоне имеется 2-х стороннее переговорное устройство. Связь осуществляется через радио- и видеоканалы.

В случае отказа АСУ движением, в ЦДС предусмотрено ручное управление всей системой, а также ручное управление каждым моно-юнибусом.

1.4.6.3. 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, токосяем с громоздким, тяжелым и шумным пантографным токоприемником. У троллейбуса — мощный двигатель, протектор шин. У моноСТЮ указанные источники шумов отсутствуют.

Из-за большой массы подвижного состава существующего городского транспорта, приходящейся на одного пассажира, высокого сопротивления его движению (аэродинамическое сопротивление, сопротивление качению колес), мощность, необходимая для его движения, весьма большая. Так, например, для автобусов (основного вида общественного городского транспорта в городе Ханты-Мансийске) удельная мощность, вырабатываемая их силовой установкой, при движении даже на небольших уклонах, может достигать 1,8 кВт/пассажир, против средней на пролете (длиной 700 м) мощности 0,075 кВт/пассажир, развиваемой моно-юнибусом модели Ю-372П.

Электрификация городского, пассажирского, двухпутного моноСТЮ в г. Ханты-Мансийске обеспечит полное исключение загрязнений городской воздушной среды вредными веществами продуктов горения силовых установок на базе двигателей внутреннего сгорания, используемых в автобусах города. Автобусы ежедневно выполняют около 300 рейсов и, при средней мощности силовой установки 180 кВт, в сумме ежечасно вырабатывают (по действующим в РФ нормам токсичности отработавших газов Евро 2) 250 м³ оксида углерода (угарного газа), 300 м³ оксидов азота и 10 кг сажи (такого количества сажи, например, достаточно, чтобы загрязнять каждый день дополнительно около 100 тыс. м² поверхности).

1.4.6.4. Доступность

Трассы моноСТЮ могут быть проложены по застроенной территории, над скверами, парками и другими городскими территориями, где не могут быть проложены трамвайные и троллейбусные линии. Таким образом, с точки зрения

доступности, моноСТЮ будет предпочтительнее наземных видов городского транспорта.

По цене билета будущий высотный пассажирский двухпутный автоматизированный моноСТЮ в г. Ханты-Мансийске будет на уровне городского тарифа за проезд в общественном транспорте, благодаря чему он будет доступен всем слоям населения, в том числе малообеспеченным. Моно-юнибус модели Ю-372П отвечает требованиям по перевозке детских и инвалидных колясок, а также может использоваться для грузовых перевозок (до 1500 кг грузов в одном моно-юнибусе).

1.4.6.5. Другие экономические и неэкономические факторы

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

При создании транспортной системы моноСТЮ земля практически не выводится из хозяйственного оборота. Земельные участки площадью от 500 до 1500 м² требуются только для размещения высотных зданий-станций.

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 проблемы «Дороги», если использовать традиционные 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 моноСТЮ 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 может достигать 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 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.

В рельсе-струне моноСТЮ могут быть размещены линии связи (проводные и опτικο-волоконные).

При необходимости высотный пассажирский двухпутный автоматизированный СТЮ в г. Ханты-Мансийске может обеспечивать доставку грузов, в частности, моно-юнибусы модели Ю-372П без всякого переоборудования могут взять на борт и перевезти европалет с грузом. Грузовые перевозки могут выполняться в период, когда интенсивность пассажирских перевозок снижена, или они полностью отсутствуют, например, в ночной период времени.

1.5. Техничко-экономические показатели моно-юнибуса модели Ю-372П

Основные технико-экономические показатели исполнений моно-юнибуса модели Ю-372П будущей высотной, пассажирской, двухпутной, автоматизированной трассы моноСТЮ в г. Ханты-Мансийске приведены в табл. 1.6.

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

Основные технико-экономические показатели моно-юнибуса модели Ю-372П
(для городской трассы моноСТЮ с пролетами по 700 м)

№	Показатель	Значение показателя
1	Максимальная эксплуатационная скорость, км/ч	63
2	Средняя эксплуатационная скорость, км/ч	42
3	Пассажировместимость	12
4	Потребление электроэнергии моно-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	2,4 0,72 0,06
5	Потребление электроэнергии моно-юнибусом при максимальной производительности системы кондиционирования, кВт·ч/100 км	11,3
6	Потребление электроэнергии моно-юнибусом при максимальной производительности системы отопления, кВт·ч/100 км	16,2
7	Стоимость электроэнергии, затраченной на перевозку 10 пассажиров на расстояние 10 километров, при выключенной системе кондиционирования и отопления, USD	0,02
8	Стоимость электроэнергии, затраченной на перевозку 10 пассажиров на расстояние 10 километров, при максимальной производительности системы кондиционирования, USD	0,095
9	Стоимость электроэнергии, затраченной на перевозку 10 пассажиров на расстояние 10 километров, при максимальной производительности системы отопления, USD	0,135

Таблица 1.7

Основные показатели ценообразующих комплектов моно-юнибуса модели Ю-372П
при мелкосерийном производстве

№	Комплект оборудования	Производитель комплекта оборудования	Ориентировочная стоимость комплекта оборудования Ю-372П по исполнениям,* USD	
			01	02
1	Силовая передача	ООО «ЭТОН», Белоруссия	3500	
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 кабины	ООО «ЭТОН», Белоруссия	9000	14000
7	Рама шасси	ООО «ЭТОН», Белоруссия	3000	
8	Облицовка	Venture, США	9000	11000
9	Двери с механизмом открывания	Hubner, Германия	12000	
10	Система кондиционирования	Webasto, Германия	4000	
	Всего:		66500	73500

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

1.6. Организация разработки и производства моно-юнибуса модели Ю-372П

1.6.1. Сроки разработки

Сроки разработки определяются отдельным договором и для любого исполнения моно-юнибуса модели Ю-372П 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 моноСТЮ в г. Ханты-Мансийске

1.6.4. Изготовитель опытного образца

Изготовитель опытного образца — ООО «Этон», г. Смолевичи, 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
однорельсового подвешного автомобиля
(моно-юнибуса) модели Ю-372П
(372П-0000010PP)**

Содержание тягово-динамического расчета

2.1. Введение	70
2.2. Исходные данные	71
2.3. Условия и допущения	72
2.4. Определение параметров пролета (дуги)	73
2.5. Выбор тягового электродвигателя	73
2.6. Расчет динамических показателей движения моно-юнибуса модели Ю-372П	77
2.7. Электроэнергия, затраченная на движение	87
2.8. Электроэнергия, затраченная на кондиционирование воздуха в салоне	87
2.9. Электроэнергия, затраченная на обогрев салона	87
2.10. Электроэнергия, затраченная на преодоление пролета моно-юнибусом и на кондиционирование воздуха в салоне	87
2.11. Электроэнергия, затраченная на преодоление пролета моно-юнибусом и на обогрев салона	88
2.12. Анализ возможности увеличения средней скорости движения	88
2.13. Анализ возможности использования бортового источника электроэнергии	90
2.14. Выводы	92

2.1. Введение

Данный расчет производится для моно-юнибуса модели Ю-372П исполнений 01 и 02 применительно к природно-климатическим условиям г. Ханты-Мансийска (см. рис. 2.1 и 2.2).

Все четыре колеса моно-юнибусов модели Ю-372П являются тяговыми. Моно-юнибус модели Ю-372П снабжен двумя автономными электроприводами (по одному на пару колес). Каждый автономный электропривод содержит два трехфазных асинхронных электродвигателя, подключенных к частотному преобразователю, который обеспечивает плавное регулирование частоты вращения валов электродвигателей. Передача к колесам и увеличение крутящего момента электродвигателей производится при помощи зубчатого редуктора.

Целью настоящего расчета являются:

- определение установочной мощности тягового электродвигателя и его выбор;
- определение динамических показателей;
- определение энергетических параметров;
- анализ возможности использования бортового источника электроэнергии.

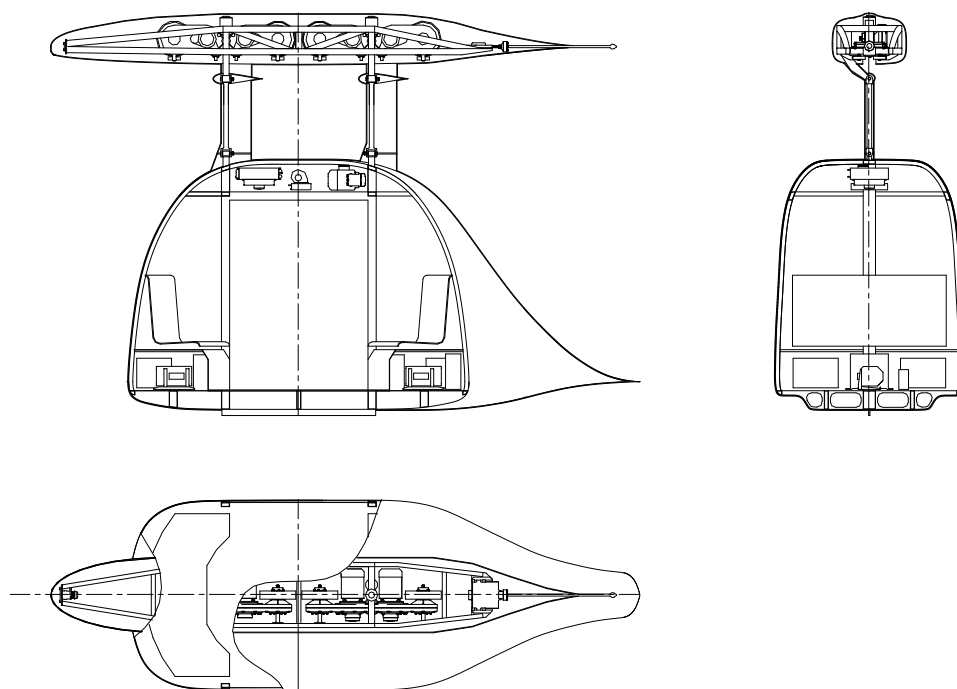


Рис. 2.1. Моно-юнибус модели Ю-372П исполнения 01

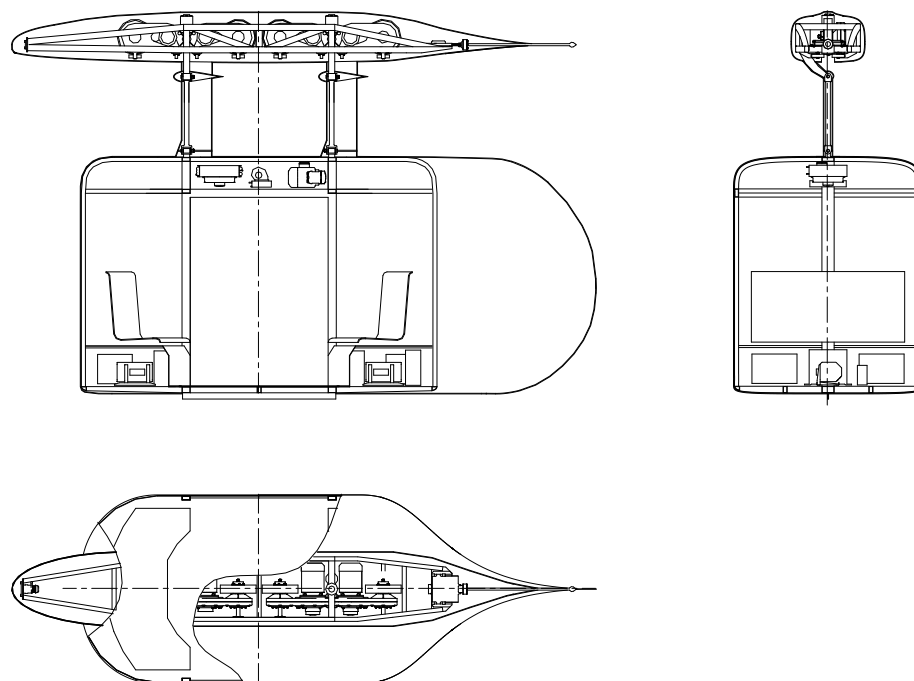


Рис. 2.2. Моно-юнибус модели Ю-372П исполнения 02

2.2. Исходные данные

Максимальная масса юнибуса, кг	$m = 2400$
Максимальная скорость (на пролете 700 м), км/ч	$V = 63$
Коэффициент сопротивления качению колес моно-юнибуса модели Ю-372П	$f = 0,0022$
Коэффициент лобового аэродинамического сопротивления	$C_w = 0,11$
Размер лобовой площади (мидель), m^2	$A = 4,4$
Радиус качения тягового колеса, м	$r = 0,175$
Распределение максимальной массы по колесам, %	25
Мощность компрессора кондиционера, Вт	$N_{ko} = 3000$
Мощность воздушного отопителя, Вт	$N_o = 5770$
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, c^{-1}	$\omega = 314$



Колесная формула	4×4
Коэффициент сцепления колеса с рельсом (наименьший)	$\varphi = 0,1$
Длина одного пролета трассы, м	$S = 700$
Провис рельса-струны на пролете (суммарный: строительный провис и прогиб рельса-струны на пролете под воздействием силы тяжести моно-юнибуса модели Ю-372П весом 2,4 тс), м	$h = 15,28$
Ускорение свободного падения, м/с ²	$g = 9,8$
Плотность воздуха, кг/м ³	$\rho = 1,202$

2.3. Условия и допущения

2.3.1. Траекторией движения моно-юнибуса модели Ю-372П на пролете является дуга окружности, которая определяется хордой в 700 м (соответствует длине пролета $S = 700$ м) и стрелкой хорды в 15,28 м (соответствует провису струны $h = 15,28$ м);

2.3.2. По условиям воздействия внешних факторов рассматриваются два варианта:

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

2.3.3. Разгон моно-юнибуса модели Ю-372П происходит за счет силы тяги тяговых электродвигателей и силы тяжести. Горизонтальное ускорение при разгоне в начале пути движения на пролете ограничивается величиной 1 м/с².

2.3.4. Цикл движения принят следующий:

- движение по станции отправления с начальной скоростью около 5 км/ч;
- разгон до максимальной скорости в середине пролета (при минимизированной величине подводимой мощности, величина которой остается постоянной на пролете);
- торможение за счет естественных сил сопротивления (составляющей тяжести моно-юнибуса модели Ю-372П, аэродинамического сопротивления,



сопротивления качению колес) до безопасной скорости движения на конечной станции (около 5 км/ч).

2.3.5. Момент инерции вращающихся масс и потери в электроцепях не учитываются.

2.3.6. Путь и время передвижения в пределах станций не учитываются.

2.3.7. КПД электронных преобразователей, приводного электродвигателя и привода кондиционера приняты такими же, как для тягового привода.

2.4. Определение параметров пролета (дуги)

2.4.1. Радиус дуги (см. рис. 2.3) определяется по формуле:

$$r = (S^2 + 4 \cdot h^2) / (8 \cdot h) = (700^2 + 4 \cdot 15,281^2) / (8 \cdot 15,281) = 4015,8 \text{ м}$$

2.4.2. Синус половины центрального угла определяется по формуле:

$$\sin \alpha / 2 = S / (2 \cdot r) = 700 / (2 \cdot 4015,8) = 0,08715,$$

тогда $\alpha / 2 = 5^\circ$

2.5. Выбор тягового электродвигателя

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

2.5.1. Наибольший потребный крутящий момент M_1 на одном тяговом колесе определяется из условия преодоления наибольшей крутизны продольного уклона ($\alpha / 2 = 5^\circ$) при встречном ветре 15 м/с (54 км/ч) в аварийном режиме, т.е. когда работоспособен только один из автономных электроприводов (тяга передается при помощи передней или задней пары колес).

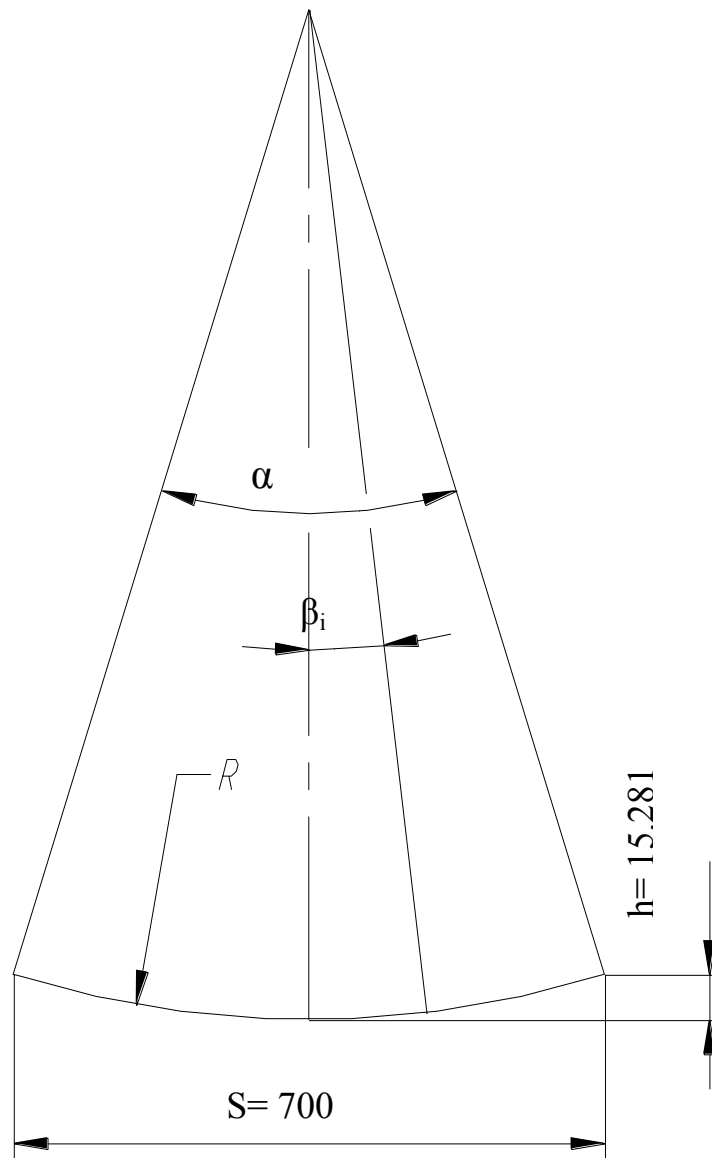


Рис. 2.3. Принятая траектория движения моно-юнибуса модели Ю-372П на пролете

$$M_1 = r (m \cdot g \cdot \sin(\alpha / 2) + F_{\text{вет}} + F) / 2 =$$

$$= 0,175 (2400 \cdot 9,8 \cdot 0,0871 + 51,5 + 65,4) / 2 = 189,5 \text{ Нм}$$

где:

$$F = m \cdot g \cdot (\cos \alpha / 2) \cdot f = 2400 \cdot 9,8 \cdot 0,996 \cdot 0,0022 = 51,5 \text{ Н} \text{ — сила}$$

сопротивления качению 4-х колес юнибуса;

$$F_{\text{вет}} = 0,5 \cdot \rho \cdot C_w \cdot A \cdot V_{\text{вет}}^2 = 0,5 \cdot 1,202 \cdot 0,11 \cdot 4,4 \cdot 15^2 = 65,4 \text{ Н} \text{ — сила}$$

сопротивления встречного ветра.

2.5.2. Определение потребного наибольшего крутящего момента на валу тягового электродвигателя.

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

$$M_2 = M_1 / i \cdot \eta_1 = 189,5 / 3,77 \cdot 0,96 = 52,3 \text{ Н м},$$

где:

$i = n_2 / n_1 = 3600 / 955 = 3,77$ — передаточное число редуктора;

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

$n_1 = V / 0,377 \cdot r = 63 / 0,377 \cdot 0,175 = 955$ об./мин. — частота вращения тяговых колес при максимальной кинематической скорости 63 км/ч.

2.5.3. Определение установочной мощности N тягового электродвигателя и его выбор.

$$N = M_2 \cdot \omega / k = 52,36 \cdot 314 / 2,2 = 7473 \text{ Вт},$$

где:

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

Наиболее близкий типоразмер электродвигателя — АИР112М2 с номинальной мощностью 7,5 кВт. Однако, учитывая аварийный и кратковременный режим функционирования электродвигателей (преодоление пути протяженностью не более 400 м до ближайшей станции с последующим прекращением эксплуатации модуля) в данном случае представляется возможным допустить установку электродвигателей типоразмера АИР100L2 с номинальной мощностью 5,5 кВт. При этом коэффициент перегрузки двигателей составит примерно $k = 3,0$.

2.5.4. Проверка возможности движения юнибуса по условиям сцепления

Для движения моно-юнибуса модели Ю-372П без скольжения колес необходимо соблюдение условия:

$$P_{\text{сц}} \geq P_1,$$

где:

$P_{\text{сц}}$ — сила сцепления колеса с рельсом в аварийном режиме (работоспособен только один из автономных электроприводов, т.е. тяга передается только при помощи передней или задней пары колес);

P_1 — наибольшая сила тяги на колесе моно-юнибуса.

$$P_{\text{сц}} = \varphi \cdot (m/4) \cdot g \cdot \cos(\alpha / 2) = 0,1 \cdot (2400/4) \cdot 9,8 \cdot \cos 5^\circ = 585,7 \text{ Н.}$$

$$P_1 = M_1 / r = 189,5 / 0,175 = 1082,8 \text{ Н}$$

$585,7 < 1082,8$ — условие трогания юнибуса с места, без проскальзывания ведущих колес, при наклоне пути 5° , не соблюдается.

Поэтому аварийный режим движения моно-юнибуса, с остановкой на подъеме, в моноСТЮ неприемлем. Необходимо использовать динамические режимы движения (как в авиации), а не статические, как это практикуется в автомобильном транспорте.

Рассмотрим крайний случай, когда сразу же после выезда со станции «второго уровня» у моно-юнибуса выходят из строя три двигателя из четырех. Такой модуль начнет разгоняться за счет уклона пути (он будет двигаться «с горки»), при этом такому разгону будет способствовать также, сразу же включенный на полную мощность, один исправный электродвигатель привода, с ограничением подводимой мощности, чтобы суммарное ускорение разгона модуля не превышало комфортное для пассажиров ускорение — 1 м/с^2 . К середине пролета такой моно-юнибус разовьет скорость $70\text{—}75 \text{ км/ч}$. Этой скорости будет достаточно для преодоления дальнейшего подъема по инерции с въездом в станцию на скорости $1\text{—}3 \text{ км/ч}$, даже если в середине пути выйдет из строя и последний, четвертый двигатель. Последний этап подъема моно-юнибуса по пролету и въезд на станцию будет регулироваться тормозами и работой исправного двигателя в генераторном режиме (режим рекуперации).

Таким образом, описанный «аварийный» режим работы моно-юнибуса будет одним из штатных режимов, но только с другой программой управления работой двигателей, при этом пассажиры ничего особенного не почувствуют (для них это будет обычный режим движения по пролету). Моно-юнибус же с неисправными

двигателями будет на станции выведен с линии и направлен в ремонт, а пассажиры переседут в исправные модули и последуют дальше.

Для того, чтобы в описанном варианте работы моно-юнибуса он не «завис» на пролете в случае обесточивания транспортной системы «второго уровня», моно-юнибус имеет аккумулятор, энергии которого будет достаточно для запитки в течение 20—30 сек. хотя бы одного электродвигателя.

2.6. Расчет динамических показателей движения моно-юнибуса модели Ю-372П

Для определения динамических показателей движения моно-юнибуса модели Ю-372П весь участок пути на пролете длиной 700 м разбивается на 200 участков ($i = 200$). Каждый участок соответствует углу $0,05^\circ$.

2.6.1. Для каждого i -го участка определяются:

1) сила тяги на колесах из выражения:

$$F_{Ti} = N \cdot \eta_1 / V_i, \text{ Н}$$

где:

N — подводимая к колесам суммарная мощность, величина которой постоянна при движении и оптимизируется таким образом, чтобы в конце пролета скорость движения моно-юнибуса модели Ю-372П была около 5 км/ч (безопасная скорость движения в пределах станции), Вт;

V_i — скорость в конце i -го участка, м/с;

2) сила аэродинамического сопротивления по формуле:

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

3) сила сопротивления качению колес определяется из выражения:

$$F_i = m \cdot g \cdot \cos \beta_i \cdot f, \text{ Н};$$

4) ускорение движения определяется по формуле:

$$a = (F_{gi} + F_{\tau i} - R_i - F_i) / m, \quad \text{м/с}^2,$$

где:

$F_{gi} = m \cdot g \cdot \sin \beta_i$ — составляющая силы тяжести, касательная траектории движения моно-юнибуса модели Ю-372П, Н;

5) время прохождения определяется по формуле:

$$t_i = \Delta S / V_{cp}, \quad \text{с},$$

где:

$\Delta S = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot (0,05^\circ/360^\circ) = 2 \cdot 3,14 \cdot 4015,8 \cdot (0,05^\circ/360^\circ) = 3,504 \text{ м}$ — протяженность каждого i -го участка;

$V_{cp} = (V_i + V_{i-1})/2$ — средняя скорость движения, м/с.

Результаты расчета см.:

- табл. 2.1 для варианта 1 (безветрие);
- табл. 2.2 для варианта 2.

Таблица 2.1

Динамические показатели движения для варианта 1 (безветрие)

$\beta_i, ^\circ$	$F_{gi}, \text{Н}$	$F_{\tau i}, \text{Н}$	$R_i, \text{Н}$	$F_i, \text{Н}$	$a, \text{м/с}^2$	$t, \text{с}$	$V_i, \text{м/с}$
5	2049,903	608,646	0,560	51,547	1,000	0,0000	1,388
4,95	2029,455	608,646	4,910	51,551	1,000	2,5248174	4,108
4,9	2009,006	205,624	8,033	51,555	0,8992	1,2751604	5,255
4,85	1988,555	160,757	10,149	51,559	0,8707	0,7485232	5,907
4,8	1968,103	143,019	12,076	51,563	0,8539	0,6279217	6,443
4,75	1947,649	131,117	13,928	51,566	0,8396	0,5675219	6,920
4,7	1927,194	122,088	15,728	51,570	0,8266	0,5245116	7,353
4,65	1906,737	114,889	17,485	51,574	0,8143	0,4910677	7,753
4,6	1886,279	108,964	19,205	51,577	0,8026	0,4639749	8,125
4,55	1865,819	103,970	20,891	51,581	0,7913	0,4414094	8,475
4,5	1845,358	99,685	22,547	51,584	0,7802	0,4222204	8,804
4,45	1824,895	95,955	24,174	51,588	0,7695	0,4056359	9,116
4,4	1804,432	92,670	25,774	51,591	0,7589	0,391114	9,413
4,35	1783,966	89,748	27,348	51,595	0,7485	0,3782606	9,696
4,3	1763,500	87,127	28,896	51,598	0,7382	0,3667811	9,967
4,25	1743,032	84,760	30,421	51,602	0,7280	0,3564494	10,226
4,2	1722,562	82,609	31,921	51,605	0,7180	0,3470892	10,476



$\beta_i, ^\circ$	F_{gi}, H	F_{ri}, H	R_i, H	F_i, H	$a, \text{m/c}^2$	t, c	$V_i, \text{m/c}$
4,15	1702,092	80,644	33,399	51,608	0,7080	0,3385602	10,715
4,1	1681,620	78,840	34,854	51,612	0,6981	0,3307492	10,946
4,05	1661,147	77,177	36,286	51,615	0,6883	0,3235636	11,169
4	1640,672	75,638	37,697	51,618	0,6785	0,3169271	11,384
3,95	1620,197	74,210	39,086	51,621	0,6688	0,3107758	11,592
3,9	1599,720	72,879	40,454	51,624	0,6591	0,3050558	11,793
3,85	1579,241	71,636	41,800	51,627	0,6495	0,2997215	11,988
3,8	1558,762	70,473	43,126	51,630	0,6399	0,2947338	12,176
3,75	1538,282	69,382	44,431	51,633	0,6304	0,2900588	12,359
3,7	1517,800	68,355	45,715	51,636	0,6209	0,2856675	12,536
3,65	1497,317	67,388	46,979	51,639	0,6114	0,2815342	12,708
3,6	1476,833	66,475	48,223	51,642	0,6020	0,2776366	12,876
3,55	1456,348	65,612	49,447	51,645	0,5925	0,273955	13,038
3,5	1435,862	64,796	50,650	51,647	0,5832	0,2704721	13,196
3,45	1415,374	64,021	51,834	51,650	0,5738	0,2671723	13,349
3,4	1394,886	63,286	52,998	51,653	0,5645	0,2640418	13,498
3,35	1374,396	62,587	54,142	51,656	0,5551	0,2610683	13,643
3,3	1353,906	61,922	55,267	51,658	0,5458	0,2582406	13,784
3,25	1333,414	61,289	56,372	51,661	0,5366	0,2555488	13,921
3,2	1312,922	60,685	57,457	51,663	0,5273	0,2529838	14,054
3,15	1292,428	60,109	58,524	51,666	0,5181	0,2505374	14,184
3,1	1271,934	59,559	59,570	51,668	0,5089	0,2482022	14,311
3,05	1251,438	59,033	60,598	51,671	0,4997	0,2459714	14,433
3	1230,942	58,531	61,607	51,673	0,4905	0,2438389	14,553
2,95	1210,444	58,050	62,596	51,675	0,4813	0,2417988	14,669
2,9	1189,946	57,589	63,566	51,678	0,4722	0,2398461	14,783
2,85	1169,447	57,148	64,517	51,680	0,4631	0,237976	14,893
2,8	1148,947	56,725	65,450	51,682	0,4539	0,2361841	15,000
2,75	1128,446	56,320	66,363	51,684	0,4448	0,2344664	15,104
2,7	1107,944	55,931	67,258	51,687	0,4358	0,232819	15,206
2,65	1087,441	55,558	68,133	51,689	0,4267	0,2312385	15,305
2,6	1066,937	55,199	68,990	51,691	0,4176	0,2297218	15,400
2,55	1046,433	54,856	69,828	51,693	0,4086	0,2282659	15,494
2,5	1025,928	54,525	70,648	51,695	0,3996	0,2268679	15,584
2,45	1005,422	54,208	71,448	51,697	0,3905	0,2255253	15,672
2,4	984,915	53,904	72,231	51,699	0,3815	0,2242358	15,758
2,35	964,408	53,611	72,994	51,700	0,3725	0,2229971	15,841
2,3	943,900	53,330	73,739	51,702	0,3636	0,2218071	15,922
2,25	923,391	53,060	74,466	51,704	0,3546	0,2206638	16,000
2,2	902,881	52,800	75,174	51,706	0,3456	0,2195655	16,076
2,15	882,371	52,551	75,863	51,708	0,3367	0,2185104	16,149
2,1	861,860	52,312	76,535	51,709	0,3277	0,217497	16,221
2,05	841,348	52,082	77,188	51,711	0,3188	0,2165237	16,290
2	820,836	51,861	77,822	51,712	0,3099	0,2155892	16,357
1,95	800,323	51,649	78,438	51,714	0,3010	0,2146921	16,421
1,9	779,810	51,446	79,036	51,716	0,2921	0,2138312	16,484
1,85	759,296	51,251	79,616	51,717	0,2832	0,2130053	16,544
1,8	738,781	51,064	80,177	51,718	0,2744	0,2122133	16,602
1,75	718,266	50,885	80,720	51,720	0,2655	0,2114542	16,658
1,7	697,750	50,713	81,245	51,721	0,2567	0,2107271	16,712
1,65	677,234	50,549	81,752	51,723	0,2478	0,210031	16,764
1,6	656,717	50,392	82,241	51,724	0,2390	0,2093651	16,815
1,55	636,200	50,242	82,712	51,725	0,2302	0,2087285	16,863



$\beta_i, ^\circ$	F_{gi}, H	F_{ri}, H	R_i, H	F_i, H	$a, \text{m/c}^2$	t, c	$V_i, \text{m/c}$
1,5	615,682	50,099	83,164	51,726	0,2214	0,2081206	16,909
1,45	595,164	49,963	83,599	51,727	0,2126	0,2075405	16,953
1,4	574,645	49,833	84,016	51,729	0,2038	0,2069877	16,995
1,35	554,126	49,709	84,414	51,730	0,1950	0,2064614	17,035
1,3	533,606	49,591	84,795	51,731	0,1863	0,2059612	17,074
1,25	513,086	49,480	85,158	51,732	0,1775	0,2054863	17,110
1,2	492,566	49,374	85,502	51,733	0,1688	0,2050365	17,145
1,15	472,045	49,275	85,829	51,734	0,1600	0,204611	17,177
1,1	451,524	49,181	86,138	51,734	0,1513	0,2042095	17,208
1,05	431,002	49,093	86,430	51,735	0,1426	0,2038315	17,237
1	410,481	49,010	86,703	51,736	0,1339	0,2034767	17,265
0,95	389,958	48,932	86,959	51,737	0,1252	0,2031446	17,290
0,9	369,436	48,860	87,196	51,738	0,1165	0,2028349	17,314
0,85	348,913	48,794	87,417	51,738	0,1078	0,2025474	17,336
0,8	328,390	48,732	87,619	51,739	0,0992	0,2022816	17,356
0,75	307,867	48,676	87,804	51,740	0,0905	0,2020373	17,374
0,7	287,344	48,625	87,971	51,740	0,0818	0,2018142	17,390
0,65	266,820	48,579	88,120	51,741	0,0732	0,2016122	17,405
0,6	246,296	48,537	88,252	51,741	0,0646	0,201431	17,418
0,55	225,772	48,501	88,366	51,742	0,0560	0,2012704	17,429
0,5	205,248	48,470	88,462	51,742	0,0473	0,2011302	17,439
0,45	184,724	48,443	88,541	51,742	0,0387	0,2010103	17,447
0,4	164,199	48,422	88,603	51,743	0,0301	0,2009106	17,453
0,35	143,675	48,405	88,647	51,743	0,0216	0,2008309	17,457
0,3	123,150	48,393	88,673	51,743	0,0130	0,2007712	17,460
0,25	102,625	48,386	88,682	51,744	0,0044	0,2007313	17,461
0,2	82,100	48,383	88,674	51,744	-0,0041	0,2007112	17,460
0,15	61,575	48,386	88,648	51,744	-0,0127	0,2007109	17,457
0,1	41,050	48,393	88,605	51,744	-0,0212	0,2007304	17,453
0,05	20,525	48,404	88,544	51,744	-0,0298	0,2007695	17,447
0	0,000	48,421	88,466	51,744	-0,038	0,201	17,4393
-0,05	-20,525	48,442	88,371	51,744	-0,0468	0,200907	17,430
-0,1	-41,050	48,468	88,258	51,744	-0,0553	0,2010055	17,419
-0,15	-61,575	48,499	88,128	51,744	-0,0638	0,2011238	17,406
-0,2	-82,100	48,535	87,981	51,744	-0,0723	0,2012621	17,391
-0,25	-102,625	48,576	87,817	51,744	-0,0807	0,2014204	17,375
-0,3	-123,150	48,621	87,635	51,743	-0,0892	0,2015989	17,357
-0,35	-143,675	48,672	87,436	51,743	-0,0977	0,2017976	17,337
-0,4	-164,199	48,727	87,220	51,743	-0,1061	0,2020169	17,316
-0,45	-184,724	48,787	86,987	51,742	-0,1145	0,2022567	17,293
-0,5	-205,248	48,853	86,736	51,742	-0,1230	0,2025174	17,268
-0,55	-225,772	48,923	86,469	51,742	-0,1314	0,202799	17,241
-0,6	-246,296	48,999	86,184	51,741	-0,1398	0,203102	17,213
-0,65	-266,820	49,079	85,883	51,741	-0,1482	0,2034264	17,183
-0,7	-287,344	49,166	85,564	51,740	-0,1566	0,2037726	17,151
-0,75	-307,867	49,257	85,228	51,740	-0,1650	0,2041409	17,117
-0,8	-328,390	49,354	84,876	51,739	-0,1733	0,2045316	17,082
-0,85	-348,913	49,456	84,506	51,738	-0,1817	0,2049451	17,044
-0,9	-369,436	49,564	84,119	51,738	-0,1900	0,2053816	17,005
-0,95	-389,958	49,678	83,716	51,737	-0,1984	0,2058416	16,965
-1	-410,481	49,798	83,295	51,736	-0,2067	0,2063256	16,922
-1,05	-431,002	49,923	82,858	51,735	-0,2150	0,206834	16,877
-1,1	-451,524	50,055	82,404	51,734	-0,2234	0,2073671	16,831



$\beta_i, ^\circ$	F_{gi}, H	F_{ri}, H	R_i, H	F_i, H	$a, m/c^2$	t, c	$V_i, m/c$
-1,15	-472,045	50,193	81,933	51,734	-0,2317	0,2079257	16,783
-1,2	-492,566	50,337	81,445	51,733	-0,2400	0,2085102	16,733
-1,25	-513,086	50,487	80,941	51,732	-0,2482	0,2091211	16,681
-1,3	-533,606	50,644	80,419	51,731	-0,2565	0,2097591	16,627
-1,35	-554,126	50,808	79,881	51,730	-0,2648	0,2104249	16,572
-1,4	-574,645	50,979	79,327	51,729	-0,2730	0,2111191	16,514
-1,45	-595,164	51,157	78,755	51,727	-0,2813	0,2118424	16,454
-1,5	-615,682	51,342	78,167	51,726	-0,2895	0,2125957	16,393
-1,55	-636,200	51,535	77,562	51,725	-0,2977	0,2133797	16,329
-1,6	-656,717	51,735	76,941	51,724	-0,3059	0,2141953	16,264
-1,65	-677,234	51,944	76,303	51,723	-0,3141	0,2150435	16,196
-1,7	-697,750	52,161	75,649	51,721	-0,3223	0,2159252	16,127
-1,75	-718,266	52,386	74,978	51,720	-0,3305	0,2168414	16,055
-1,8	-738,781	52,620	74,290	51,718	-0,3387	0,2177933	15,981
-1,85	-759,296	52,862	73,587	51,717	-0,3469	0,2187821	15,905
-1,9	-779,810	53,115	72,866	51,716	-0,3550	0,2198089	15,827
-1,95	-800,323	53,377	72,130	51,714	-0,3631	0,220875	15,747
-2	-820,836	53,648	71,377	51,712	-0,3713	0,221982	15,665
-2,05	-841,348	53,931	70,607	51,711	-0,3794	0,2231312	15,580
-2,1	-861,860	54,224	69,822	51,709	-0,3875	0,2243243	15,493
-2,15	-882,371	54,528	69,020	51,708	-0,3956	0,2255629	15,404
-2,2	-902,881	54,844	68,202	51,706	-0,4037	0,2268489	15,312
-2,25	-923,391	55,172	67,367	51,704	-0,4117	0,2281841	15,218
-2,3	-943,900	55,512	66,517	51,702	-0,4198	0,2295707	15,122
-2,35	-964,408	55,866	65,650	51,700	-0,4278	0,2310107	15,023
-2,4	-984,915	56,234	64,767	51,699	-0,4358	0,2325066	14,922
-2,45	-1005,422	56,615	63,869	51,697	-0,4439	0,2340608	14,818
-2,5	-1025,928	57,012	62,954	51,695	-0,4519	0,235676	14,711
-2,55	-1046,433	57,425	62,023	51,693	-0,4599	0,2373551	14,602
-2,6	-1066,937	57,854	61,077	51,691	-0,4678	0,2391012	14,490
-2,65	-1087,441	58,301	60,114	51,689	-0,4758	0,2409176	14,376
-2,7	-1107,944	58,766	59,136	51,687	-0,4837	0,2428079	14,258
-2,75	-1128,446	59,250	58,142	51,684	-0,4917	0,2447759	14,138
-2,8	-1148,947	59,754	57,132	51,682	-0,4996	0,2468258	14,015
-2,85	-1169,447	60,280	56,107	51,680	-0,5075	0,2489621	13,888
-2,9	-1189,946	60,829	55,065	51,678	-0,5154	0,2511896	13,759
-2,95	-1210,444	61,401	54,009	51,675	-0,5232	0,2535137	13,626
-3	-1230,942	61,999	52,937	51,673	-0,5311	0,2559402	13,490
-3,05	-1251,438	62,623	51,849	51,671	-0,5389	0,2584752	13,351
-3,1	-1271,934	63,277	50,746	51,668	-0,5467	0,2611256	13,208
-3,15	-1292,428	63,961	49,628	51,666	-0,5545	0,2638988	13,062
-3,2	-1312,922	64,677	48,494	51,663	-0,5623	0,2668031	12,912
-3,25	-1333,414	65,429	47,346	51,661	-0,5701	0,2698474	12,758
-3,3	-1353,906	66,218	46,182	51,658	-0,5778	0,2730416	12,600
-3,35	-1374,396	67,047	45,003	51,656	-0,5855	0,2763966	12,438
-3,4	-1394,886	67,919	43,810	51,653	-0,5932	0,2799245	12,272
-3,45	-1415,374	68,838	42,602	51,650	-0,6008	0,2836387	12,102
-3,5	-1435,862	69,807	41,379	51,647	-0,6085	0,2875541	11,927
-3,55	-1456,348	70,831	40,141	51,645	-0,6161	0,2916873	11,747
-3,6	-1476,833	71,915	38,889	51,642	-0,6236	0,2960571	11,563
-3,65	-1497,317	73,063	37,623	51,639	-0,6312	0,3006844	11,373
-3,7	-1517,800	74,282	36,343	51,636	-0,6387	0,3055929	11,178
-3,75	-1538,282	75,579	35,049	51,633	-0,6461	0,3108095	10,977

$\beta_i, ^\circ$	F_{gi}, H	F_{ri}, H	R_i, H	F_i, H	$a, \text{m/c}^2$	t, c	$V_i, \text{m/c}$
-3,8	-1558,762	76,962	33,741	51,630	-0,6535	0,3163649	10,770
-3,85	-1579,241	78,440	32,419	51,627	-0,6609	0,3222941	10,557
-3,9	-1599,720	80,022	31,085	51,624	-0,6682	0,3286375	10,337
-3,95	-1620,197	81,722	29,737	51,621	-0,6755	0,3354418	10,111
-4	-1640,672	83,554	28,376	51,618	-0,6827	0,3427613	9,877
-4,05	-1661,147	85,533	27,004	51,615	-0,6898	0,3506598	9,635
-4,1	-1681,620	87,681	25,619	51,612	-0,6969	0,3592125	9,385
-4,15	-1702,092	90,020	24,222	51,608	-0,7039	0,368509	9,125
-4,2	-1722,562	92,578	22,814	51,605	-0,7108	0,3786568	8,856
-4,25	-1743,032	95,392	21,396	51,602	-0,7175	0,3897865	8,576
-4,3	-1763,500	98,502	19,968	51,598	-0,7242	0,4020578	8,285
-4,35	-1783,966	101,964	18,531	51,595	-0,7307	0,415669	7,982
-4,4	-1804,432	105,844	17,086	51,591	-0,7370	0,4308697	7,664
-4,45	-1824,895	110,229	15,634	51,588	-0,7431	0,4479784	7,331
-4,5	-1845,358	115,234	14,177	51,584	-0,7489	0,4674092	6,981
-4,55	-1865,819	121,012	12,716	51,581	-0,7544	0,4897117	6,612
-4,6	-1886,279	127,774	11,254	51,577	-0,7595	0,5156326	6,220
-4,65	-1906,737	135,819	9,795	51,574	-0,7641	0,5462152	5,803
-4,7	-1927,194	145,587	8,342	51,570	-0,7679	0,5829678	5,355
-4,75	-1947,649	157,757	6,901	51,566	-0,7707	0,6281623	4,871
-4,8	-1968,103	173,438	5,483	51,563	-0,7721	0,6854024	4,342
-4,85	-1988,555	194,579	4,101	51,559	-0,7713	0,7607964	3,755
-4,9	-2009,006	224,986	2,780	51,555	-0,7665	0,865661	3,091
-4,95	-2029,455	273,279	1,564	51,551	-0,7544	1,0237561	2,319
-5	-2049,903	364,287	0,554	51,547	-0,7245	1,295449	1,381

Таблица 2.2

Динамические показатели движения для варианта 2 (встречный ветер 15 м/с)

$\beta_i, ^\circ$	F_{gi}, H	F_{ri}, H	R_i, H	F_i, H	$a, \text{m/c}^2$	t, c	$V_i, \text{m/c}$
5	2049,903	1127,378	0,560	51,547	1,0000	0	1,388
4,95	2029,455	1127,378	6,116	51,551	1,0000	2,5248174	4,585
4,9	2009,006	341,262	9,365	51,555	0,9280	1,1733631	5,674
4,85	1988,555	275,775	11,482	51,559	0,8908	0,6831593	6,283
4,8	1968,103	249,062	13,422	51,563	0,8703	0,5861772	6,793
4,75	1947,649	230,358	15,290	51,566	0,8532	0,5360259	7,250
4,7	1927,194	215,828	17,105	51,570	0,8378	0,4990983	7,668
4,65	1906,737	204,059	18,875	51,574	0,8236	0,4698101	8,055
4,6	1886,279	194,257	20,605	51,577	0,8103	0,4457548	8,416
4,55	1865,819	185,921	22,301	51,581	0,7975	0,4255094	8,756
4,5	1845,358	178,715	23,963	51,584	0,7853	0,4081508	9,076
4,45	1824,895	172,404	25,595	51,588	0,7735	0,393047	9,380
4,4	1804,432	166,816	27,199	51,591	0,7619	0,3797473	9,670
4,35	1783,966	161,825	28,774	51,595	0,7506	0,3679195	9,946
4,3	1763,500	157,331	30,324	51,598	0,7396	0,3573124	10,210
4,25	1743,032	153,259	31,848	51,602	0,7287	0,3477319	10,464
4,2	1722,562	149,548	33,347	51,605	0,7180	0,3390248	10,707
4,15	1702,092	146,148	34,822	51,608	0,7074	0,3310687	10,941
4,1	1681,620	143,019	36,273	51,612	0,6970	0,3237643	11,167
4,05	1661,147	140,129	37,701	51,615	0,6866	0,3170297	11,385
4	1640,672	137,450	39,106	51,618	0,6764	0,3107971	11,595
3,95	1620,197	134,958	40,489	51,621	0,6662	0,3050096	11,798
3,9	1599,720	132,633	41,849	51,624	0,6562	0,299619	11,995

$\beta_i, ^\circ$	F_{gi}, H	F_{Ti}, H	R_i, H	F_i, H	$a, \text{m/c}^2$	t, c	$V_i, \text{m/c}$
3,85	1579,241	130,459	43,188	51,627	0,6462	0,2945842	12,185
3,8	1558,762	128,421	44,505	51,630	0,6362	0,2898699	12,369
3,75	1538,282	126,507	45,801	51,633	0,6263	0,2854457	12,548
3,7	1517,800	124,704	47,076	51,636	0,6165	0,2812849	12,722
3,65	1497,317	123,004	48,329	51,639	0,6067	0,2773645	12,890
3,6	1476,833	121,398	49,562	51,642	0,5970	0,273664	13,053
3,55	1456,348	119,879	50,775	51,645	0,5873	0,2701653	13,212
3,5	1435,862	118,439	51,966	51,647	0,5777	0,2668527	13,366
3,45	1415,374	117,073	53,138	51,650	0,5681	0,2637117	13,516
3,4	1394,886	115,775	54,289	51,653	0,5585	0,2607298	13,661
3,35	1374,396	114,541	55,420	51,656	0,5490	0,2578956	13,803
3,3	1353,906	113,367	56,531	51,658	0,5395	0,2551988	13,941
3,25	1333,414	112,247	57,622	51,661	0,5300	0,2526301	14,075
3,2	1312,922	111,179	58,694	51,663	0,5206	0,2501812	14,205
3,15	1292,428	110,160	59,745	51,666	0,5112	0,2478444	14,332
3,1	1271,934	109,186	60,777	51,668	0,5018	0,245613	14,455
3,05	1251,438	108,255	61,790	51,671	0,4924	0,2434805	14,575
3	1230,942	107,365	62,783	51,673	0,4831	0,2414412	14,691
2,95	1210,444	106,512	63,756	51,675	0,4738	0,2394899	14,805
2,9	1189,946	105,696	64,710	51,678	0,4645	0,2376216	14,915
2,85	1169,447	104,914	65,645	51,680	0,4552	0,235832	15,022
2,8	1148,947	104,164	66,561	51,682	0,4460	0,2341169	15,127
2,75	1128,446	103,445	67,457	51,684	0,4367	0,2324725	15,228
2,7	1107,944	102,755	68,335	51,687	0,4275	0,2308953	15,327
2,65	1087,441	102,093	69,193	51,689	0,4184	0,2293821	15,423
2,6	1066,937	101,458	70,032	51,691	0,4092	0,2279298	15,516
2,55	1046,433	100,848	70,853	51,693	0,4000	0,2265358	15,607
2,5	1025,928	100,263	71,654	51,695	0,3909	0,2251973	15,695
2,45	1005,422	99,700	72,437	51,697	0,3818	0,223912	15,781
2,4	984,915	99,160	73,201	51,699	0,3727	0,2226776	15,864
2,35	964,408	98,642	73,946	51,700	0,3636	0,221492	15,944
2,3	943,900	98,143	74,673	51,702	0,3546	0,2203532	16,022
2,25	923,391	97,665	75,381	51,704	0,3455	0,2192594	16,098
2,2	902,881	97,205	76,070	51,706	0,3365	0,218209	16,171
2,15	882,371	96,764	76,740	51,708	0,3275	0,2172002	16,242
2,1	861,860	96,340	77,392	51,709	0,3185	0,2162316	16,311
2,05	841,348	95,933	78,026	51,711	0,3095	0,2153018	16,378
2	820,836	95,543	78,641	51,712	0,3005	0,2144094	16,442
1,95	800,323	95,169	79,238	51,714	0,2915	0,2135532	16,505
1,9	779,810	94,810	79,816	51,716	0,2826	0,2127321	16,565
1,85	759,296	94,466	80,376	51,717	0,2737	0,2119449	16,623
1,8	738,781	94,136	80,918	51,718	0,2647	0,2111905	16,679
1,75	718,266	93,820	81,441	51,720	0,2558	0,2104681	16,733
1,7	697,750	93,518	81,946	51,721	0,2469	0,2097767	16,784
1,65	677,234	93,230	82,433	51,723	0,2381	0,2091155	16,834
1,6	656,717	92,954	82,901	51,724	0,2292	0,2084836	16,882
1,55	636,200	92,691	83,352	51,725	0,2203	0,2078803	16,928
1,5	615,682	92,440	83,784	51,726	0,2115	0,2073049	16,972
1,45	595,164	92,201	84,198	51,727	0,2027	0,2067567	17,013
1,4	574,645	91,974	84,595	51,729	0,1939	0,206235	17,053
1,35	554,126	91,759	84,973	51,730	0,1850	0,2057393	17,091
1,3	533,606	91,554	85,333	51,731	0,1763	0,205269	17,128
1,25	513,086	91,361	85,675	51,732	0,1675	0,2048236	17,162

$\beta_i, ^\circ$	F_{gi}, H	F_{ti}, H	R_i, H	F_i, H	$a, \text{m/c}^2$	t, c	$V_i, \text{m/c}$
1,2	492,566	91,178	85,999	51,733	0,1587	0,2044026	17,194
1,15	472,045	91,006	86,306	51,734	0,1499	0,2040055	17,225
1,1	451,524	90,845	86,594	51,734	0,1412	0,203632	17,254
1,05	431,002	90,693	86,864	51,735	0,1325	0,2032815	17,281
1	410,481	90,552	87,117	51,736	0,1237	0,2029537	17,306
0,95	389,958	90,421	87,352	51,737	0,1150	0,2026483	17,329
0,9	369,436	90,299	87,569	51,738	0,1063	0,202365	17,351
0,85	348,913	90,187	87,768	51,738	0,0976	0,2021034	17,370
0,8	328,390	90,084	87,950	51,739	0,0890	0,2018633	17,388
0,75	307,867	89,991	88,114	51,740	0,0803	0,2016444	17,405
0,7	287,344	89,908	88,260	51,740	0,0716	0,2014465	17,419
0,65	266,820	89,833	88,388	51,741	0,0630	0,2012693	17,432
0,6	246,296	89,768	88,499	51,741	0,0544	0,2011127	17,443
0,55	225,772	89,712	88,593	51,742	0,0457	0,2009765	17,452
0,5	205,248	89,664	88,668	51,742	0,0371	0,2008606	17,459
0,45	184,724	89,626	88,727	51,742	0,0285	0,2007648	17,465
0,4	164,199	89,597	88,767	51,743	0,0199	0,200689	17,469
0,35	143,675	89,576	88,791	51,743	0,0114	0,2006331	17,471
0,3	123,150	89,564	88,796	51,743	0,0028	0,200597	17,472
0,25	102,625	89,562	88,785	51,744	-0,0058	0,2005806	17,471
0,2	82,100	89,567	88,755	51,744	-0,0143	0,200584	17,468
0,15	61,575	89,582	88,709	51,744	-0,0228	0,2006071	17,463
0,1	41,050	89,606	88,645	51,744	-0,0314	0,2006499	17,457
0,05	20,525	89,638	88,564	51,744	-0,0399	0,2007124	17,449
0	0,000	89,679	88,465	51,744	-0,048	0,201	17,4392
-0,05	-20,525	89,729	88,349	51,744	-0,0569	0,2008965	17,428
-0,1	-41,050	89,788	88,216	51,744	-0,0653	0,2010183	17,415
-0,15	-61,575	89,855	88,066	51,744	-0,0738	0,2011599	17,400
-0,2	-82,100	89,932	87,898	51,744	-0,0823	0,2013216	17,383
-0,25	-102,625	90,018	87,714	51,744	-0,0907	0,2015034	17,365
-0,3	-123,150	90,113	87,512	51,743	-0,0991	0,2017054	17,345
-0,35	-143,675	90,216	87,293	51,743	-0,1076	0,2019278	17,323
-0,4	-164,199	90,330	87,056	51,743	-0,1160	0,2021708	17,300
-0,45	-184,724	90,452	86,803	51,742	-0,1244	0,2024346	17,275
-0,5	-205,248	90,584	86,533	51,742	-0,1328	0,2027193	17,248
-0,55	-225,772	90,725	86,246	51,742	-0,1412	0,2030252	17,219
-0,6	-246,296	90,876	85,941	51,741	-0,1495	0,2033526	17,189
-0,65	-266,820	91,037	85,620	51,741	-0,1579	0,2037016	17,156
-0,7	-287,344	91,208	85,282	51,740	-0,1662	0,2040727	17,123
-0,75	-307,867	91,388	84,927	51,740	-0,1746	0,2044661	17,087
-0,8	-328,390	91,579	84,554	51,739	-0,1829	0,2048822	17,049
-0,85	-348,913	91,780	84,166	51,738	-0,1912	0,2053213	17,010
-0,9	-369,436	91,992	83,760	51,738	-0,1995	0,2057838	16,969
-0,95	-389,958	92,215	83,337	51,737	-0,2078	0,2062702	16,926
-1	-410,481	92,448	82,898	51,736	-0,2161	0,2067809	16,882
-1,05	-431,002	92,693	82,442	51,735	-0,2243	0,2073163	16,835
-1,1	-451,524	92,949	81,969	51,734	-0,2326	0,207877	16,787
-1,15	-472,045	93,217	81,479	51,734	-0,2408	0,2084635	16,736
-1,2	-492,566	93,496	80,973	51,733	-0,2491	0,2090763	16,684
-1,25	-513,086	93,788	80,450	51,732	-0,2573	0,2097161	16,630
-1,3	-533,606	94,093	79,911	51,731	-0,2655	0,2103835	16,575
-1,35	-554,126	94,410	79,355	51,730	-0,2737	0,2110793	16,517
-1,4	-574,645	94,740	78,782	51,729	-0,2818	0,211804	16,457

$\beta_i, ^\circ$	F_{gi}, H	F_{ti}, H	R_i, H	F_i, H	$a, \text{m/c}^2$	t, c	$V_i, \text{m/c}$
-1,45	-595,164	95,083	78,193	51,727	-0,2900	0,2125585	16,395
-1,5	-615,682	95,441	77,587	51,726	-0,2982	0,2133436	16,332
-1,55	-636,200	95,813	76,965	51,725	-0,3063	0,2141601	16,266
-1,6	-656,717	96,199	76,327	51,724	-0,3144	0,215009	16,199
-1,65	-677,234	96,601	75,672	51,723	-0,3226	0,2158912	16,129
-1,7	-697,750	97,018	75,001	51,721	-0,3307	0,2168078	16,057
-1,75	-718,266	97,451	74,313	51,720	-0,3387	0,2177597	15,984
-1,8	-738,781	97,901	73,610	51,718	-0,3468	0,2187483	15,908
-1,85	-759,296	98,367	72,890	51,717	-0,3549	0,2197746	15,830
-1,9	-779,810	98,852	72,153	51,716	-0,3629	0,2208401	15,750
-1,95	-800,323	99,355	71,401	51,714	-0,3710	0,221946	15,667
-2	-820,836	99,877	70,633	51,712	-0,3790	0,2230938	15,583
-2,05	-841,348	100,419	69,848	51,711	-0,3870	0,2242851	15,496
-2,1	-861,860	100,982	69,047	51,709	-0,3950	0,2255216	15,407
-2,15	-882,371	101,565	68,231	51,708	-0,4029	0,226805	15,315
-2,2	-902,881	102,171	67,398	51,706	-0,4109	0,2281372	15,222
-2,25	-923,391	102,801	66,549	51,704	-0,4188	0,2295202	15,126
-2,3	-943,900	103,454	65,685	51,702	-0,4267	0,2309562	15,027
-2,35	-964,408	104,132	64,805	51,700	-0,4346	0,2324473	14,926
-2,4	-984,915	104,837	63,909	51,699	-0,4425	0,2339962	14,822
-2,45	-1005,422	105,570	62,997	51,697	-0,4504	0,2356053	14,716
-2,5	-1025,928	106,331	62,070	51,695	-0,4582	0,2372776	14,608
-2,55	-1046,433	107,122	61,126	51,693	-0,4661	0,239016	14,496
-2,6	-1066,937	107,945	60,168	51,691	-0,4739	0,2408237	14,382
-2,65	-1087,441	108,802	59,194	51,689	-0,4816	0,2427043	14,265
-2,7	-1107,944	109,693	58,204	51,687	-0,4894	0,2446615	14,145
-2,75	-1128,446	110,622	57,199	51,684	-0,4972	0,2466993	14,023
-2,8	-1148,947	111,590	56,179	51,682	-0,5049	0,2488221	13,897
-2,85	-1169,447	112,598	55,144	51,680	-0,5126	0,2510347	13,769
-2,9	-1189,946	113,650	54,093	51,678	-0,5202	0,2533421	13,637
-2,95	-1210,444	114,749	53,027	51,675	-0,5279	0,25575	13,502
-3	-1230,942	115,896	51,946	51,673	-0,5355	0,2582643	13,363
-3,05	-1251,438	117,096	50,851	51,671	-0,5431	0,2608917	13,222
-3,1	-1271,934	118,351	49,740	51,668	-0,5506	0,2636393	13,077
-3,15	-1292,428	119,664	48,615	51,666	-0,5582	0,266515	12,928
-3,2	-1312,922	121,041	47,475	51,663	-0,5657	0,2695275	12,775
-3,25	-1333,414	122,486	46,321	51,661	-0,5731	0,2726862	12,619
-3,3	-1353,906	124,003	45,152	51,658	-0,5806	0,2760016	12,459
-3,35	-1374,396	125,598	43,969	51,656	-0,5879	0,2794851	12,295
-3,4	-1394,886	127,276	42,771	51,653	-0,5953	0,2831496	12,126
-3,45	-1415,374	129,046	41,560	51,650	-0,6026	0,2870092	11,953
-3,5	-1435,862	130,913	40,335	51,647	-0,6098	0,2910797	11,775
-3,55	-1456,348	132,886	39,096	51,645	-0,6170	0,2953788	11,593
-3,6	-1476,833	134,975	37,843	51,642	-0,6242	0,2999263	11,406
-3,65	-1497,317	137,191	36,577	51,639	-0,6313	0,3047444	11,214
-3,7	-1517,800	139,544	35,299	51,636	-0,6383	0,3098584	11,016
-3,75	-1538,282	142,050	34,007	51,633	-0,6453	0,3152969	10,812
-3,8	-1558,762	144,723	32,702	51,630	-0,6521	0,3210924	10,603
-3,85	-1579,241	147,581	31,386	51,627	-0,6589	0,3272824	10,387
-3,9	-1599,720	150,645	30,057	51,624	-0,6656	0,3339098	10,165
-3,95	-1620,197	153,939	28,716	51,621	-0,6722	0,3410246	9,936
-4	-1640,672	157,490	27,365	51,618	-0,6787	0,3486848	9,699
-4,05	-1661,147	161,333	26,002	51,615	-0,6851	0,3569587	9,455

$\beta_i, ^\circ$	$F_{gi}, \text{ Н}$	$F_{ti}, \text{ Н}$	$R_i, \text{ Н}$	$F_i, \text{ Н}$	$a, \text{ м/с}^2$	$t, \text{ с}$	$V_i, \text{ м/с}$
-4,1	-1681,620	165,506	24,629	51,612	-0,6913	0,3659269	9,202
-4,15	-1702,092	170,056	23,247	51,608	-0,6974	0,3756854	8,940
-4,2	-1722,562	175,040	21,855	51,605	-0,7033	0,3863499	8,668
-4,25	-1743,032	180,527	20,455	51,602	-0,7089	0,3980604	8,386
-4,3	-1763,500	186,602	19,048	51,598	-0,7143	0,4109893	8,092
-4,35	-1783,966	193,372	17,635	51,595	-0,7195	0,4253502	7,786
-4,4	-1804,432	200,972	16,216	51,591	-0,7242	0,4414124	7,466
-4,45	-1824,895	209,577	14,795	51,588	-0,7286	0,4595202	7,132
-4,5	-1845,358	219,415	13,372	51,584	-0,7324	0,4801217	6,780
-4,55	-1865,819	230,795	11,950	51,581	-0,7356	0,503812	6,409
-4,6	-1886,279	244,140	10,532	51,577	-0,7380	0,5314004	6,017
-4,65	-1906,737	260,051	9,123	51,574	-0,7393	0,5640179	5,600
-4,7	-1927,194	279,412	7,728	51,570	-0,7391	0,6032992	5,154
-4,75	-1947,649	303,585	6,355	51,566	-0,7370	0,6517034	4,674
-4,8	-1968,103	334,781	5,015	51,563	-0,7320	0,7131192	4,152
-4,85	-1988,555	376,867	3,725	51,559	-0,7224	0,7940987	3,578
-4,9	-2009,006	437,280	2,513	51,555	-0,7052	0,9066412	2,939
-4,95	-2029,455	532,402	1,427	51,551	-0,6736	1,0753763	2,215
-5	-2049,903	706,522	0,560	51,547	-0,6091	1,3599137	1,386

2.6.2. Время преодоления пролета длиной 700 м моно-юнибусом модели Ю-372П

Время преодоления пролета определяются как сумма:

$$T = t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_{200}, \text{ с.}$$

Величины времени преодоления пролета для обоих вариантов примерно одинаковые и составляют:

- для варианта 1 (безветрие): 60,17 с;
- для варианта 2: 60,15 с.

2.6.3. Средняя скорость преодоления пролета длиной 700 м

Средняя скорость определяется по формуле:

$$V = L / T,$$

где:

$$L = (\alpha / 360^\circ) \cdot 2 \cdot \pi \cdot r = (10 / 360) \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 4015,8 = 700,88 \text{ м} \text{ — длина пути.}$$

Величины средней скорости преодоления пролета для обоих вариантов эксплуатации моно-юнибуса примерно равны и составляют:

- для варианта 1 (безветрие): 11,648 м/с (или 41,93 км/ч);
- для варианта 2: 11,652 м/с (или 41,94 км/ч).

2.7. Электроэнергия, затраченная на движение

Электроэнергия, затраченная на движение моно-юнибуса по пролету, определяется по формуле:

$$W_d = N \cdot T / \eta_2 \cdot \eta_3, \text{ Дж.}$$

Результаты расчета — см. табл. 2.3.

2.8. Электроэнергия, затраченная на кондиционирование воздуха в салоне

Электроэнергия, затраченная на кондиционирование воздуха в салоне (за время преодоления одного пролета), определяется по формуле:

$$W_{ko} = N_{ko} \cdot T / \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 = 3000 \cdot 60,17 / 0,96 \cdot 0,9 \cdot 0,94 = 222259 \text{ Дж.}$$

2.9. Электроэнергия, затраченная на обогрев салона

Электроэнергия, затраченная на обогрев салона (за время преодоления одного пролета), определяется по формуле:

$$W_o = N_o \cdot T = 5770 \cdot 60,17 = 347180 \text{ Дж.}$$

2.10. Электроэнергия, затраченная на преодоление пролета моно-юнибусом и на кондиционирование воздуха в салоне

Электроэнергия, затраченная на преодоление пролета моно-юнибусом модели Ю-372П и на кондиционирование воздуха в салоне, определяется как сумма:

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

Результаты расчета — см. табл. 2.3.

2.11. Электроэнергия, затраченная на преодоление пролета моно-юнибусом и на обогрев салона

Электроэнергия, затраченная на преодоление пролета моно-юнибусом модели Ю-372П и на обогрев салона, определяется как сумма:

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

Результаты расчета — см. табл. 2.3.

Таблица 2.3

Электроэнергия, затраченная на преодоление пролета длиной 700 м моно-юнибусом модели Ю-372П, на кондиционирование и обогрев воздуха в салоне

Варианты	N, Вт	W _д , Дж (кВт·ч)	W _{ко} , Дж (кВт·ч)	W _о , Дж (кВт·ч)	W _{общ 1} , Дж (кВт·ч)	W _{общ 2} , Дж (кВт·ч)
1 (безветрие)	880	62588 (0,0174)	222259 (0,06174)	347180 (0,09644)	284847 (0,0791)	409768 (0,1138)
2 (встречный ветер 15 м/с)	1630	115930 (0,0322)	222259 (0,06174)	347180 (0,09644)	338189 (0,094)	463110 (0,1286)

2.12. Анализ возможности увеличения средней скорости движения

В силу достаточно высокой суммарной установочной мощности электродвигателей (22 кВт) и возможностей их работы с перегрузкой короткий период времени (20—30 сек.), представляется возможным значительное увеличение

средней скорости движения моно-юнибуса модели Ю-372П путем разгона юнибуса с ускорением 1 м/с^2 на первой половине пути и торможения с ускорением 1 м/с^2 на второй половине пути.

При уклоне пути в начале пролета, равном $0,0875$ (или $\text{tg } 5^\circ$), ускорение движения моно-юнибуса под действием силы тяжести составит:

$$a_{\text{ст}} = 0,0875 \text{ g} = 0,86 \text{ м/с}^2.$$

Недостающее до 1 м/с^2 ускорение, равное $1 - 0,86 = 0,14 \text{ м/с}^2$, в начале пути будут задавать двигатели моно-юнибуса. По мере движения модуля уклон пути будет уменьшаться, а сопротивление движению (аэродинамическое и сопротивление качению колес) — увеличиваться, поэтому подводимая электрическая мощность к приводу также должна увеличиваться. При достижении середины пролета режим работы моно-юнибуса плавно переключается на торможение с комфортным ускорением 1 м/с^2 . Торможение будут осуществлять: силы аэродинамического сопротивления, сопротивление качению колес, обратный уклон (модуль будет двигаться «в горку») и двигатели моно-юнибуса, переведенные в генераторный режим, а также, при необходимости, — тормоза. При этом система управления движением модуля будет так регулировать мощность торможения посредством привода, чтобы суммарное ускорение торможения все время составляло бы величину 1 м/с^2 .

Тогда максимальная скорость моно-юнибуса в центре пролета длиной $S = 700 \text{ м}$ будет равна:

$$V_{\text{max}} = (2a_{\text{max}} \cdot \frac{1}{2} S)^{\frac{1}{2}} = (2 \cdot 1 \cdot \frac{1}{2} \cdot 700)^{\frac{1}{2}} = 26,5 \text{ м/с} = 95,2 \text{ км/ч},$$

а время в пути на перегоне составит:

$$t_{\text{min}} = 2 (2 \cdot \frac{1}{2} S / a)^{\frac{1}{2}} = 2(2 \cdot \frac{1}{2} \cdot 700 / 1)^{\frac{1}{2}} = 52,9 \text{ сек.}$$

Таким образом, максимальная скорость прохождения моно-юнибусом перегона, если в этом возникнет необходимость, может быть увеличена примерно в

1,5 раза (с 62,8 км/ч до 95,2 км/ч), а время в пути на перегоне — снижено на 12% (с 60,2 с до 52,9 с). При этом средняя скорость преодоления перегона составит 47,6 км/ч, что, например, превышает среднюю скорость движения поездов на самом скоростном виде городского общественного транспорта в настоящее время — в подземном метро.

Экономичность такого режима движения моно-юнибуса будет достаточно высокой, т.к. бóльшая часть энергии, затраченной на его разгон на первой половине пути, будет возвращена в электрическую сеть при его торможении на второй части пути.

2.13. Анализ возможности использования бортового источника электроэнергии

В силу относительно низких затрат электроэнергии на движение (0,0174 кВт·ч при безветрии и 0,0322 кВт·ч при встречном ветре) в отдельных случаях может быть более целесообразным организовать электропитание моно-юнибуса модели Ю-372П не от контактной сети, а от бортового источника электроэнергии, подзарядка (или замена) которого будет производиться на станциях.

С точки зрения длительности заряда и циклового ресурса наиболее подходящим вариантом бортового источника электроэнергии для моно-юнибуса в 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	24—48
Запасаемая энергия в окне рабочих напряжений, Дж	$W_k = 458000$
Масса, кг	40
Габаритные размеры, мм	546x210x260
Интервал рабочих температур, °С	-50...+70
Ресурс, циклы	1000000
Срок службы, лет	15 не менее
Стоимость, USD	4000

2.13.1. Суммарный запас электроэнергии на борту моно-юнибуса модели Ю-372П

Суммарный запас электроэнергии на борту моно-юнибуса модели Ю-372П в окне рабочих напряжений 144—288 В определяется как произведение:

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

2.13.2. Время, необходимое для восполнения энергии блока конденсаторов

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

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

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

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

где:

$N_3 = 60000 \text{ Вт}$ — мощность зарядного устройства на станции;

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

Результаты — см. табл. 2.5.

Таблица 2.5

Минимальное время, необходимое для восполнения энергии блока конденсаторов на станции

Вариант	$T_{\text{д}}, \text{с}$	$T_{\text{общ 1}}, \text{с}$	$T_{\text{общ 2}}, \text{с}$
1	1,47	7,3	10,5
2	2,97	8,67	11,8

2.14. Выводы

2.14.1. Время преодоления моно-юнибусом модели Ю-372П пролета длиной 700 м составит для обоих вариантов эксплуатации моно-юнибуса (безветрие и встречный ветер) около 60 сек.

2.14.2. Максимальная скорость движения моно-юнибуса модели Ю-372П на пролете, при минимизированном расходе электроэнергии на движение, составит для обоих вариантов примерно 63 км/ч (в центре пролета).

2.14.3. Средняя скорость преодоления пролета длиной 700 м составит для обоих вариантов эксплуатации (безветрие и встречный ветер 54 км/ч) примерно 42 км/ч.

2.14.4. При принятом оптимальном цикле движения моно-юнибуса модели Ю-372П (см. п. 2.3.4) на пролете длиной 700 м, для обеспечения примерно одинаковой средней скорости 42 км/ч и, соответственно, времени преодоления пролета за 60 сек., потребуется подведение к электродвигателям моно-юнибуса средней суммарной мощности:

- для варианта 1 (безветрие): 880 Вт;
- для варианта 2 (встречный ветер 54 км/ч): 1630 Вт.

2.14.5. В силу избыточной суммарной установочной мощности четырех электродвигателей, возможно увеличение максимальной скорости движения моно-юнибуса до 95 км/ч, путем подвода дополнительной мощности к тяговым колесам.

2.14.6. Количество электроэнергии, затраченной моно-юнибусом на преодоление пролета длиной 700 м в условиях безветрия, будет равно 17,4 Вт·ч. В условиях встречного ветра 15 м/с (54 км/ч) количество электроэнергии составит 32,2 Вт·ч, т.е. возрастет примерно в 1,85 раза.

2.14.7. Количество электроэнергии, затраченной моно-юнибусом на преодоление пролета длиной 700 м при включенной системе кондиционирования и

температуре наружного воздуха +40 °С составит:

- в условиях безветрия: 79,1 Вт·ч;
- в условиях встречного ветра (15 м/с): 94,0 Вт·ч.

2.14.8. Количество электроэнергии, затраченной моно-юнибусом на преодоление пролета длиной 700 м при включенной системе отопления и температуре наружного воздуха –60 °С составит:

- в условиях безветрия: 113,8 Вт·ч;
- в условиях встречного ветра (15 м/с): 128,6 Вт·ч.

2.14.9. Наибольшее количество электроэнергии (128,6 Вт·ч) потребуется при преодолении моно-юнибусом одного пролета длиной 700 м (одной остановки на городской трассе) моно-юнибусом модели Ю-372П в условиях встречного ветра и при температуре наружного воздуха минус 60 °С. При тарифе, в перспективе, 0,1 USD за 1 кВт·ч, стоимость затраченной при этом электроэнергии составит 0,01286 USD, или в пересчете на одного пассажира — 0,00107 USD/пасс. (для 12-тиместного моно-юнибуса).

2.14.10. Наименьшее количество электроэнергии на пролете (17,4 Вт·ч) потребуется при движении моно-юнибуса модели Ю-372П в условиях безветрия и отключенной системе кондиционирования и отопления. Стоимость электроэнергии в данном случае составит около 0,00174 USD, или в пересчете на одного пассажира — 0,000145 USD/пасс. за проезд одной городской остановки (для 12-тиместного юнибуса).

2.14.11. При электропитании моно-юнибуса модели Ю-372П не от контактной сети, а от шести электрохимических конденсаторов 30ЭК404, наибольшее время, необходимое для восполнения энергии блока конденсаторов на станции, не превысит 12 сек. При непрерывной эксплуатации моно-юнибуса модели Ю-372П 19 часов в сутки срок службы электрохимических конденсаторов 30ЭК404 составит примерно 34 месяца.

2.14.12. При расчете затрат на электропитание моно-юнибуса модели Ю-372П в случае использования электрохимических конденсаторов 30ЭК404 к стоимости электроэнергии, затраченной моно-юнибусом модели Ю-372П, на пролете, необходимо добавлять приведенную к одному циклу заряд—разряд стоимость конденсаторов (0,024 USD). В этом случае наибольшие затраты энергии также будут при движении моно-юнибуса модели Ю-372П в условиях встречного ветра и температуре наружного воздуха минус 60 °С и составят 0,0369 USD, а наименьшие, соответственно, — при движении моно-юнибуса в условиях безветрия с отключенной системой кондиционирования и отопления и составят 0,02574 USD.

2.14.13. При выборе варианта электропитания юнибуса от контактной сети, или от электрохимических конденсаторов 30ЭК404, или иных бортовых источников электроэнергии, необходимо учесть, кроме вышеуказанных затрат, также затраты, связанные с монтажом на путевую структуру и эксплуатацией впоследствии контактной сети. Одновременно, следует иметь в виду, что бортовые источники питания в 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, модели Ю-372П, уменьшится с 12 до 8, соответственно, удельные затраты на перевозку одного пассажира возрастут и составят:

- в условиях встречного ветра и температуре наружного воздуха минус 60 °С — 0,00461 USD/пасс., что более чем в четыре раза выше по сравнению с вариантом организации электропитания от контактной сети;
- в условиях безветрия с отключенной системой кондиционирования — отопления — 0,00321 USD/пасс., что более чем в двадцать раз выше 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
однорельсового подвешного автомобиля
(моно-юнибуса) модели Ю-372П
(372П-0000010-01PP)**

Содержание расчета теплового баланса

3.1. Введение	98
3.2. Цель расчета	98
3.3. Исходные данные	98
3.4. Условия и допущения расчета	101
3.4.1. Условия расчета	101
3.4.2. Допущения при расчете	103
3.5. Тепловой баланс салона моно-юнибуса модели Ю-372П в зимний период года (при температуре наружного воздуха -60°C)	103
3.5.1. Формула теплового баланса моно-юнибуса модели Ю-372П в зимний период времени	103
3.5.2. Расчет количества тепла, необходимого для прогрева свежего воздуха, поступающего в салон	104
3.5.3. Расчет потерь тепла из салона в окружающую среду через поверхности стекол	105
3.5.4. Расчет потерь тепла из салона в окружающую среду через боковую стенку	106
3.5.5. Расчет потерь тепла из салона в окружающую среду через поверхность пола	107
3.5.6. Расчет потерь тепла из салона в окружающую среду через поверхность потолка	108
3.5.7. Расчет потерь тепла из салона через поверхность перегородки хвостового отсека	109
3.5.8. Расчет потерь тепла из салона через поверхность кожухов отсека электрооборудования	110
3.5.9. Расчет тепловыделения пассажиров	111
3.5.10. Результаты расчета теплового баланса салона моно-юнибуса модели Ю-372П в зимний период	111

3.6. Тепловой баланс салона моно-юнибуса в летний период года (при температуре наружного воздуха +40 °С)	112
3.6.1. Формула теплового баланса моно-юнибуса в летний период	112
3.6.2. Расчет количества тепла, поступающего в салон со свежим воздухом	112
3.6.3. Расчет количества тепла, поступающего в салон из окружающей среды через поверхности стекол	113
3.6.4. Расчет количества тепла, поступающего из окружающей среды в салон через поверхность боковой стенки	114
3.6.5. Расчет количества тепла, поступающего из окружающей среды в салон через поверхность пола	114
3.6.6. Расчет количества тепла, поступающего из окружающей среды в салон через поверхность потолка	115
3.6.7. Расчет количества тепла, поступающего в салон через поверхность перегородки хвостового отсека	115
3.6.8. Расчет количества тепла, поступающего в салон через поверхность кожухов отсеков электрооборудования	115
3.6.9. Расчет тепловыделения пассажиров	116
3.6.10. Расчет количества тепла солнечного излучения, поступающего в салон через прозрачные перекрытия	116
3.6.11. Результаты расчета теплового баланса салона моно-юнибуса модели Ю-372 в летний период	117
3.7. Выводы	118
3.7.1. Выводы по тепловому балансу в зимний период эксплуатации	118
3.7.2. Выводы по тепловому балансу в летний период эксплуатации	118
3.7.3. Элементы конструкции моно-юнибуса модели Ю-372П, наиболее влияющие на тепловой баланс	118

3.1. Введение

Данный расчет производится для однорельсового подвешного автомобиля (моно-юнибуса) модели Ю-372П. Эксплуатация, хранение и транспортировка моно-юнибуса модели Ю-372П 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 моно-юнибуса модели Ю-372П;
- определение элементов конструкции, наиболее влияющих на тепловой баланс моно-юнибуса модели Ю-372П.

3.3. Исходные данные

Внешний вид кабины моно-юнибуса модели Ю-372П исполнения 01 изображен на рис. 3.1.

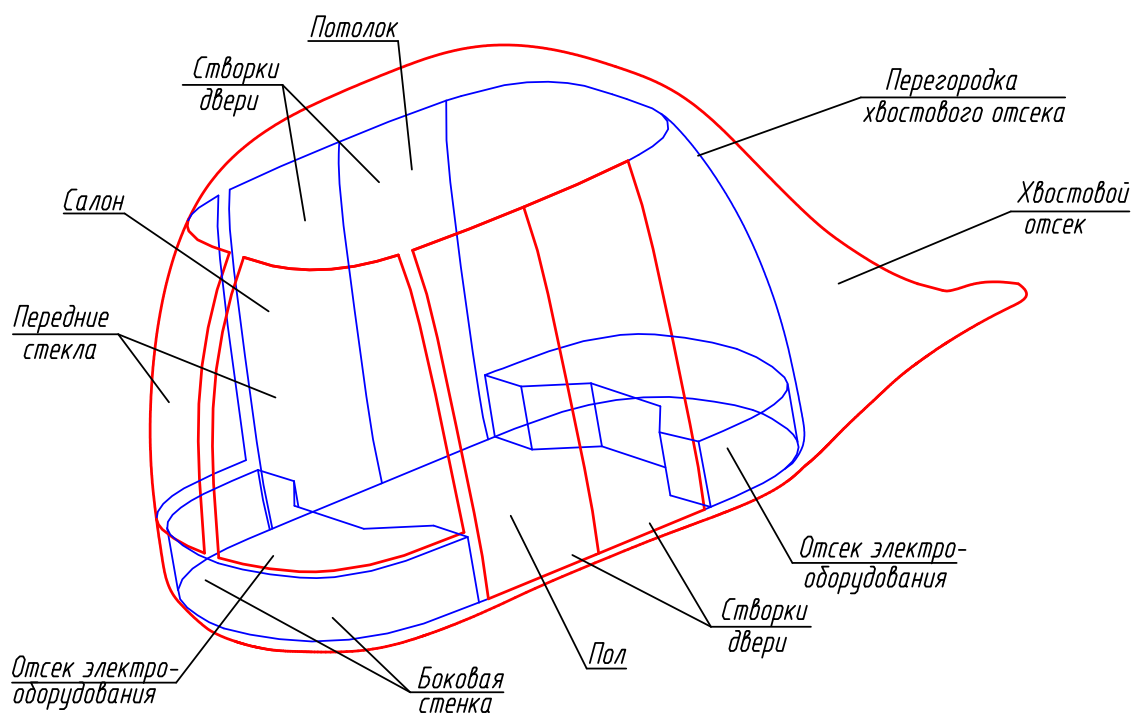


Рис. 3.1. Внешний вид моно-юнибуса модели Ю-372П исполнения 01

Салон моно-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 отсеков электрооборудования.

Схема салона моно-юнибуса изображена на рис. 3.2.

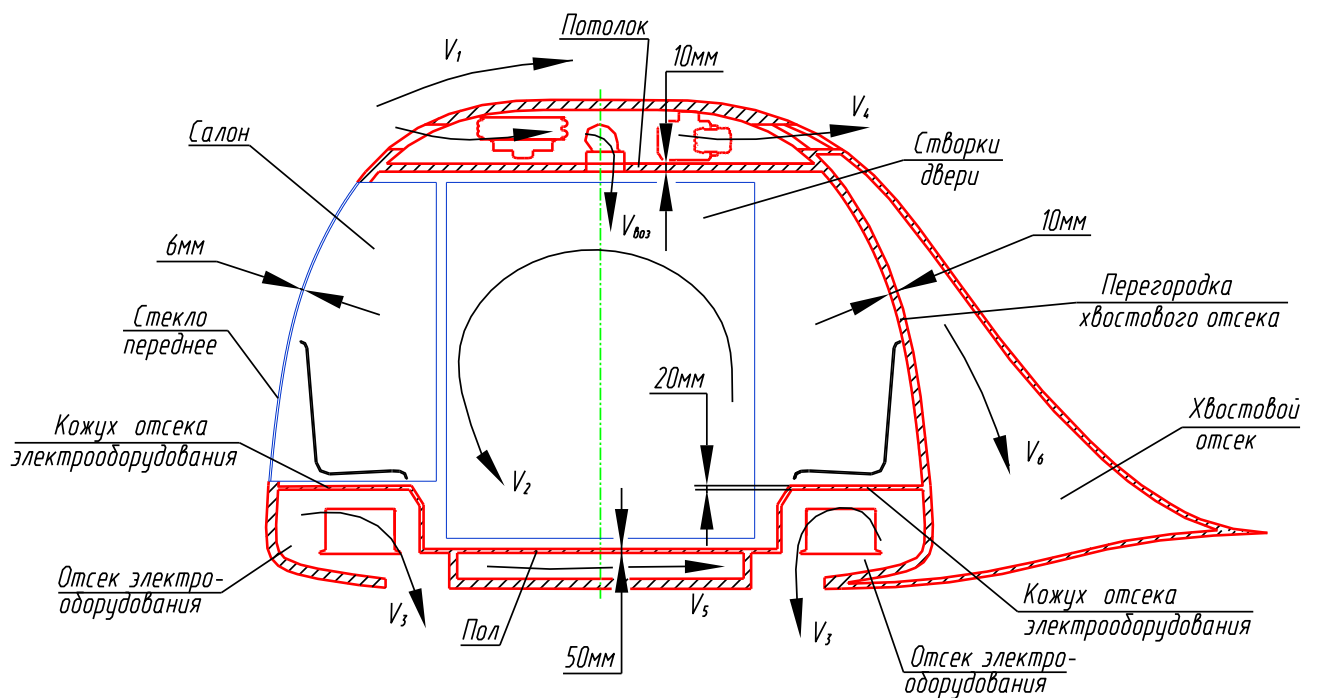


Рис. 3.2. Схема салона моно-юнибуса модели Ю-372П исполнения 01

- V_1 — скорость наружного воздуха относительно наружных поверхностей стекол и боковой стенки,
- V_2 — скорость воздуха в салоне относительно внутренней поверхности салона,
- V_3 — скорость воздуха в отсеке электрооборудования относительно кожуха отсека электрооборудования,
- 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 отсеков электрооборудования	м ²	4,40	Рис. 3.1
Толщина материала стекол	м	0,006	Рис. 3.2
Толщина теплоизолятора потолка, боковой стенки и перегородки хвостового отсека	м	0,010	Рис. 3.2
Толщина теплоизолятора пола	м	0,050	Рис. 3.2
Толщина теплоизолятора кожуха отсека электрооборудования	м	0,020	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 отсеков электрооборудования	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 отсеках электрооборудования в зимний период	°C	-50	
Температура воздуха в отсеках электрооборудования в летний период	°C	+50	

Количество свежего воздуха на одного пассажира: - в зимний период; - в летний период.	м ³ /ч	10 20	
Количество пассажиров	чел	12	
Скорость наружного воздуха относительно наружной поверхности моно-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 отсеках электрооборудования относительно поверхности кожухов отсеков электрооборудования	км/ч	10	Рис. 3.2

В качестве материала стекол выбран высокопрочный зеркальный поликарбонат.

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

3.4. Условия и допущения расчета

3.4.1. Условия расчета

1) Тепловой баланс салона моно-юнибуса модели Ю-372П в зимний период состоит из:

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

Теплопотери в салоне вызваны теплообменом салона моно-юнибуса с внешней средой. Теплообмен салона моно-юнибуса модели Ю-372П 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 отсеков электрооборудования (см. рис. 3.1). При расчете теплотеря учитывались

следующие виды переноса тепла через поверхности, ограничивающие салон моно-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 отсеках электрооборудования и внутренней поверхностью кожухов отсеков электрооборудования;
- конвекция между внутренними поверхностями стекол, боковой стенки, пола, потолка, перегородки хвостового отсека, кожухов отсеков электрооборудования и воздухом салона;
- теплопроводность через стекла, боковую стенку, пол, потолок, перегородку хвостового отсека и кожухи отсеков электрооборудования.

2) Тепловой баланс салона моно-юнибуса модели Ю-372П в летний период состоит из:

- мощности, необходимой для охлаждения свежего воздуха, поступающего в салон;
- теплопритоков через поверхности, ограничивающие салон моно-юнибуса модели Ю-372П;
- тепловыделений пассажиров;
- тепла солнечного излучения, поступающего в салон через стекла.

Теплопритоки в салоне связаны с теплообменом внешней среды с салоном моно-юнибуса. При расчете теплопритоков учитывались следующие виды переноса тепла через поверхности, ограничивающие салон моно-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; между воздухом в хвостовом отсеке и внутренней поверхностью перегородки хвостового отсека; между воздухом в отсеках электрооборудования и внутренней поверхностью кожухов отсеков

электрооборудования;

- конвекция между внутренними поверхностями стекол, боковой стенки, пола, потолка, перегородки хвостового отсека, кожухов отсеков электрооборудования и воздухом салона;
- теплопроводность через стекла, боковую стенку, пол, потолок, перегородку хвостового отсека и кожухи отсеков электрооборудования.

3.4.2. Допущения при расчете

Конструкции боковой стенки, пола, потолка, перегородки хвостового отсека и кожухов отсеков электрооборудования 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 моно-юнибуса модели Ю-372П в зимний период года (при температуре наружного воздуха –60 °С)

3.5.1. Формула теплового баланса моно-юнибуса модели Ю-372П в зимний период года

Тепловой баланс моно-юнибуса в зимний период состоит из:

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

где:

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

$Q_{стз}$ — потери тепла из салон в окружающую среду через поверхности из 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;
 $Q_{каз}$ — потери тепла из салона через поверхности кожухов отсеков электрооборудования;
 $Q_{ппз}$ — тепловыделение пассажиров.

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

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

где:

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

$$V_{вз} = V_{п} \cdot n,$$

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

$n = 12$ — количество пассажиров.

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

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

$$\rho_{вз} = 1,293 \cdot 273 / t_{нз} \cdot (P_6 / 760 - 0,378 \cdot P_{пз} / 760), \text{ кг/м}^3,$$

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

Относительная влажность 30%.

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

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

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

$$P_{пз} = (P_6 \cdot d_{нз}) / (622 + d_{нз}),$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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),

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

$\alpha_{\text{нст}}$ 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/час — скорость наружного воздуха относительно наружной поверхности стекол.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\Delta T_{вз} = 5\text{°C} - (-60\text{°C}) = 65\text{°C}.$$

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

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

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

где:

$K_{бс}$ — коэффициент теплопередачи боковой стенки, Вт / ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}$),

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

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

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

$V_1 = 60 \text{ км}/\text{час}$ — скорость наружного воздуха относительно наружной поверхности боковой стенки.

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

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

$V_2 = 3,5 \text{ км}/\text{час}$ — скорость воздуха в салоне относительно внутренней поверхности боковой стенки.

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

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

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

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

$S_{бс} = 1,56 \text{ м}^2$ — площадь боковых поверхностей;

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

температурой воздуха, °С.

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

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

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

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

где:

$K_{пл}$ — коэффициент теплопередачи пола, Вт / (м² · °С),

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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),

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

$\alpha_{\text{нпт}}$ 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/ч — скорость воздуха в салоне относительно внутренней поверхности потолка.

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

$\delta_{\text{пт}} = 0,01$ 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),

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

$\alpha_{\text{нпх}}$ 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 отсеков электрооборудования

$$Q_{\text{каз}} = K_{\text{ках}} \cdot S_{\text{ках}} \cdot \Delta T_{\text{вказ}},$$

где:

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

$$K_{\text{ках}} = 1 \cdot (1 / \alpha_{\text{нка}} + \delta_{\text{ка}} / \lambda_{\text{ка}} + 1 / \alpha_{\text{вка}}),$$

$\alpha_{\text{нка}}$ и $\alpha_{\text{вка}}$ — коэффициенты теплоотдачи от воздуха в отсеке электрооборудования к внутренней поверхности кожуха отсека и от наружной поверхности кожуха отсека электрооборудования к воздуху салона соответственно.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\Delta T_{\text{вказ}} = 5\text{°С} - (-50\text{°С}) = 55\text{°С}.$$

$$Q_{\text{каз}} = 1,24 \cdot 4,4 \cdot 55 = 299,6 \text{ Вт}.$$

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, содержащаяся 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

$Q_{яз}$, Вт	165	155	145	135	125	115	105	100	90	85	75	70	60	45	30
$Q_{скрз}$, 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 $Q_{пасспз} = 12 \cdot 180 = \mathbf{2160}$ Вт.

3.5.10. Результаты расчета теплового баланса салона моно-юнибуса модели Ю-372П в зимний период

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

$$\Sigma Q_3 = -2787,5 - 2216,3 - 209,8 - 114,5 - 838,7 - 749,3 - 299,6 + 2160 = \mathbf{-5055,7 \text{ Вт}}$$

Результаты расчета представлены в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Тепловой баланс моно-юнибуса модели Ю-372П в зимний период															
Количество тепла, необходимого для прогрева свежего воздуха, поступающего в салон		Потери тепла в окружающую среду через поверхность 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 отсеков электрооборудования		Тепловыделение пассажиров	Тепловой баланс салона в зимний период
$Q_{вз}$		$Q_{стз}$		$Q_{бсз}$		$Q_{плз}$		$Q_{птз}$		$Q_{пхз}$		$Q_{кзз}$		$Q_{пспз}$	ΣQ_3
Вт	%	Вт	%	Вт	%	Вт	%	Вт	%	Вт	%	Вт	%	Вт	Вт
-2787,5	38,6	-2216,3	30,7	-209,8	2,9	-114,5	1,6	-838,7	11,6	-749,3	10,4	-299,6	4,2	2160	-5055,7

3.6. Тепловой баланс салона моно-юнибуса в летний период года (при температуре наружного воздуха +40°C)

3.6.1. Формула теплового баланса моно-юнибуса в летний период

Тепловой баланс моно-юнибуса в летний период состоит из:

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

где:

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

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

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

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

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

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

$Q_{\text{кал}}$ — количество тепла, поступающего из окружающей среды в салон через поверхности кожухов отсеков электрооборудования;

$Q_{\text{пспл}}$ — тепловыделение пассажиров;

$Q_{\text{изл}}$ — 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;

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

$V_{\text{п}} = 20 \text{ м}^3/\text{ч}$ — 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, $\text{кг}/\text{м}^3$;

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

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

Относительная влажность 80%.

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

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

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

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

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

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

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

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, $\text{Вт} \cdot \text{ч}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$;

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

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

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:

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

$$S_{ст} = 8,93 \text{ м}^2;$$

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

$$\Delta T_{вл} = 20 \text{ °C}.$$

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

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

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

где:

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

$$S_{бс} = 1,56 \text{ м}^2;$$

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

$$\Delta T_{вл} = 20 \text{ °C}.$$

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

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

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

где:

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

$$S_{пл} = 2,8 \text{ м}^2;$$

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

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

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

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:

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

$$S_{пт} = 6,9 \text{ м}^2;$$

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

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

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

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:

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

$$S_{пх} = 6,43 \text{ м}^2;$$

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

$$\Delta T_{впхл} = 50 - 20 = 30\text{°C}.$$

$$Q_{пхл} = 1,79 \cdot 6,43 \cdot 30 = \mathbf{345,8 \text{ Вт.}}$$

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

$$Q_{кал} = K_{ка} \cdot S_{ка} \cdot \Delta T_{вкал},$$

где:

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

$$S_{ка} = 4,4 \text{ м}^2;$$

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

$$\Delta T_{в\text{кал}} = 50\text{°С} - 20\text{°С} = 30\text{°С}.$$

$$Q_{кал} = 1,24 \cdot 4,4 \cdot 30 = \mathbf{163,4 \text{ Вт}}.$$

3.6.9. Расчет тепловыделения пассажиров

$$Q_{л} = Q_{ял} + Q_{скрл},$$

где:

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

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

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

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

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

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

где:

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

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

I — интенсивность прямой и рассеянной солнечной радиации.

$$I = I_{пр} + I_{рас},$$

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 конструкций стекол.

Принимаем b = 1;

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

3.6.11. Результаты расчета теплового баланса салона моно-юнибуса модели Ю-372 в летний период

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

$$\Sigma Q_{л} = 1793,4 + 681,9 + 64,6 + 35,2 + 258,1 + 345,8 + 163,4 + 1380 + 1502,9 = 6225,3 \text{ Вт}.$$

Результаты расчета представлены в табл. 3.4.

Таблица 3.4

Тепловой баланс моно-юнибуса модели Ю-372П 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 отсеков электрооборудования		Тепловыделение пассажиров		Количество тепла солнечного излучения, поступающего в салон через поверхности стекол		Тепловой баланс салона в летний период
Q _{вл}		Q _{стл}		Q _{бсл}		Q _{плл}		Q _{птл}		Q _{пхл}		Q _{кл}		Q _{пспл}		Q _{изл}		ΣQ _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	345,8	5,6	163,4	2,6	1380	22,2	1502,9	24,2	6225,3

3.7. Выводы

3.7.1. Выводы по тепловому балансу в зимний период эксплуатации

Для поддержания в салоне моно-юнибуса модели Ю-372П в зимний период комфортной температуры воздуха $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (в салоне моно-юнибуса пассажиры находятся в теплой верхней одежде), при температуре наружного воздуха $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$, для двенадцати пассажиров и подаче в салон $120\text{ м}^3/\text{ч}$ свежего наружного воздуха, необходимо затратить $5,0\text{ кВт}$ тепловой мощности (см. табл. 3.3).

3.7.2. Выводы по тепловому балансу в летний период эксплуатации

Для поддержания в салоне моно-юнибуса модели Ю-372П в летний период комфортной температуры воздуха $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$, при температуре наружного воздуха $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$, для двенадцати пассажиров и подаче в салон $240\text{ м}^3/\text{ч}$ свежего наружного воздуха, необходимо удалить из салона $6,2\text{ кВт}$ тепловой мощности (см. табл. 3.4).

3.7.3. Элементы конструкции моно-юнибуса модели Ю-372П, наиболее влияющие на тепловой баланс

3.7.3.1. Зимний период

Наибольшие энергозатраты для поддержания комфортных условий в моно-юнибусе модели Ю-372П связаны с необходимостью прогрева свежего наружного воздуха, поступающего в салон, и с компенсацией теплопотерь через поверхности стекол (см. табл. 3.3).

- для прогрева свежего воздуха, поступающего в салон, необходимо затратить $2787,5\text{ Вт}$, что составляет $38,6\%$ от всех затрат тепла на поддержание комфортных условий в салоне моно-юнибуса;
- для компенсации потерь тепла через поверхности стекол салона моно-юнибуса, необходимо затратить $2216,3\text{ Вт}$, что составляет $30,7\%$ от всех затрат тепла на поддержание комфортных условий в салоне моно-юнибуса.

3.7.3.2. Летний период

Наибольшие энергозатраты для поддержания комфортных условий в моно-юнибусе связаны с удалением 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 (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 моно-юнибуса модели Ю-372П;
- для удаления тепла, поступающего со свежим воздухом в салон моно-юнибуса, необходимо затратить 1793,4 Вт, что составляет 28,8%, от всех затрат на поддержание комфортных условий в салоне моно-юнибуса модели Ю-372П.



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 углов отклонения кабины
однорельсового подвешного автомобиля (моно-юнибуса)
модели Ю-372П от вертикали
(372П-0000010-02PP)**

Содержание расчета

4.1. Введение	122
4.2. Исходные данные и условия	122
4.3. Определение угла отклонения кабины от вертикали под воздействием асимметричной нагрузки от массы пассажиров	123
4.4. Определение максимального угла отклонения кабины моно-юнибуса модели Ю-372П от вертикали под совместным воздействием максимально асимметричного размещения пассажиров и силы бокового ветра	125
4.5. Выводы	126

4.1. Введение

В данном расчете производится определение углов отклонения от вертикали кабины моно-юнибуса модели Ю-372П исполнения 02, который имеет наибольшую площадь продольного (бокового) сечения и, соответственно, наименее устойчив к воздействию бокового ветра:

- под воздействием ассиметричной нагрузки от массы пассажиров: максимально возможное количество пассажиров (10 человек) размещено на одной половине кабины моно-юнибуса модели Ю-372П в положении стоя (см. рис. 4.1);
- под воздействием силы бокового ветра.

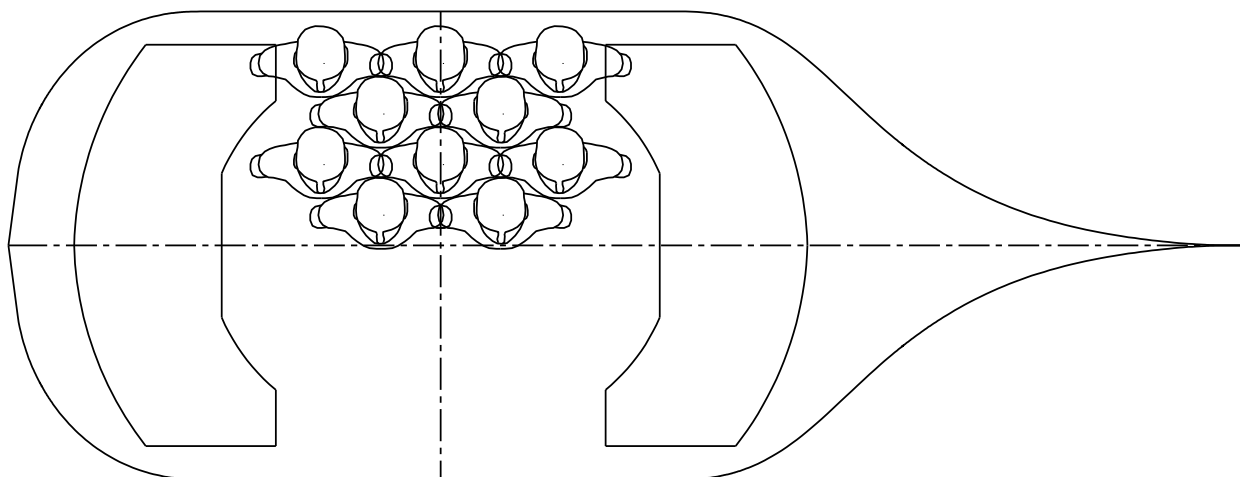


Рис. 4.1. Схема возможного ассиметричного размещения пассажиров в салоне моно-юнибуса модели Ю-372П исполнения 02

4.2. Исходные данные и условия

Масса кабины моно-юнибуса модели Ю-372П , кг	$m = 1000$
Коэффициент бокового аэродинамического сопротивления	$C_y = 0,8$
Площадь продольного (бокового) сечения кабины , м ²	$S_{бок} = 11,2$
Плотность воздуха, кг/м ³	$\rho = 1,202$
Расстояние от центра парусности боковой поверхности кабины моно-юнибуса модели Ю-372П до шарнира, м	$H = 1,95$

Центр осей координат совпадает с осью шарнира.

4.3. Определение угла отклонения кабины от вертикали под воздействием ассиметричной нагрузки от массы пассажиров

4.3.1. Определение координат приведенного центра масс моно-юнибуса модели Ю-372П с пассажирами (см. рис. 4.2)

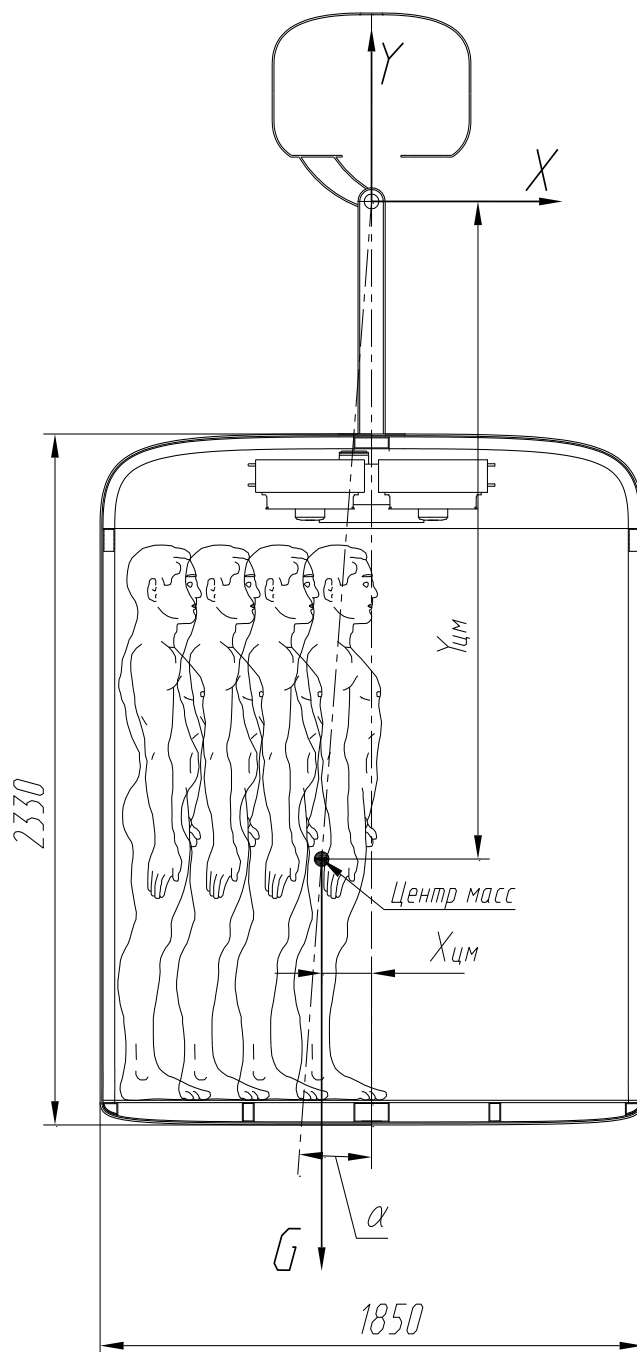


Рис. 4.2. Схема максимально ассиметричного размещения пассажиров в салоне моно-юнибуса модели Ю-372П исполнения 02 для определения координат приведенного центра масс

4.3.2. Определение координат приведенного центра масс по оси X:

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

где:

m_i — масса i -ой составляющей моно-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.

4.3.3. Определение координат приведенного центра масс по оси Y:

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

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

Наименование	m_i , кг	x_i , м	y_i , м
Кабина юнибуса, кг	1000	0	-2,43
Десять пассажиров, кг	800	-0,38	-1,95

Таблица 4.2

Координаты приведенного центра масс

Масса, т, кг		1800
Координаты центра масс, м	$X_{\text{цм}}$	-0,17
	$Y_{\text{цм}}$	-2,22

4.3.4. Определение угла отклонения от вертикали кабины моно-юнибуса модели Ю-372П от асимметричного размещения пассажиров (см. рис. 4.2).

Смещенный центр масс кабины моно-юнибуса модели Ю-372П при равновесном состоянии находится на вертикальной линии, проведенной через ось качания. Исходя из этого:

$$\alpha = \arctan (X_{\text{цм}} / Y_{\text{цм}}) = \arctan (-0,17 / (-2,22)) = 4,38^\circ.$$

4.4. Определение максимального угла отклонения кабины моно-юнибуса модели Ю-372П от вертикали под совместным воздействием максимально ассиметричного размещения пассажиров и силы бокового ветра

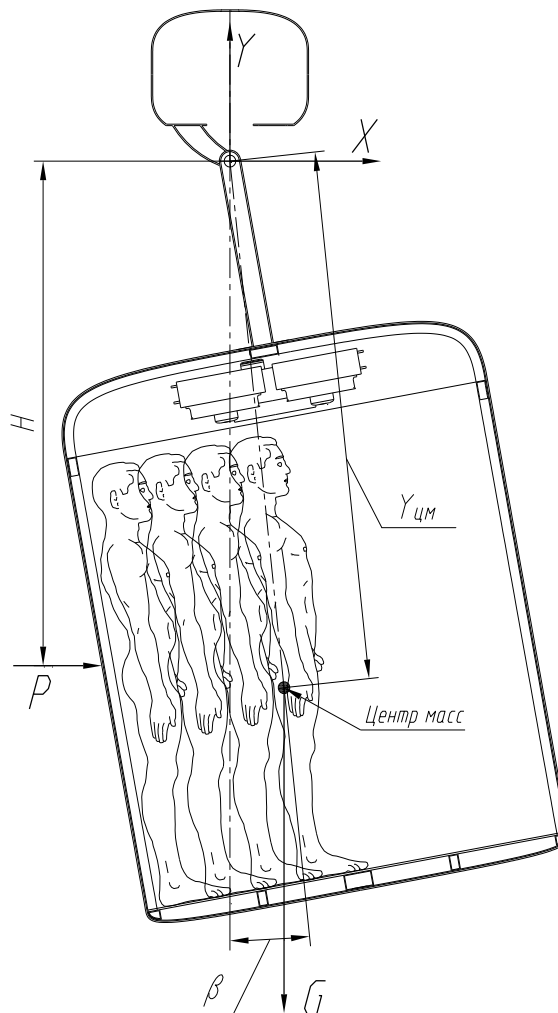


Рис. 4.3. Схема для определения угла отклонения кабины моно-юнибуса модели Ю-372П исполнения 02 от вертикали под совместным воздействием силы бокового ветра и максимально ассиметричного размещения пассажиров

4.4.1. Сила расчетного бокового ветра определяется по формуле:

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

где:

V — скорость ветра на высоте более 10 м над землей (см. табл. 4.3), м/с;

k — поправочный коэффициент в зависимости от высоты над уровнем земли по ГОСТ 1451—77 (в расчете применяется $k = 1,55$, что соответствует высоте над поверхностью земли 40 м).

Результаты — см. табл. 4.3.

4.4.2. Угол отклонения (см. рис. 4.3) от вертикали кабины моно-юнибуса модели Ю-372П исполнения 02 под воздействием силы бокового ветра определяется из уравнения:

$$P \cdot H - G \cdot Y_{\text{ЦМ}} \cdot \sin \beta = 0.$$

Откуда,

$$\beta = \arcsin (P \cdot H / G \cdot Y_{\text{ЦМ}}),$$

где:

$G = m \cdot g$, H — сила тяжести моно-юнибуса модели Ю-372П исполнения 02 с пассажирами.

Результаты — см. табл. 4.3.

Таблица 4.3

Углы отклонения от вертикали моно-юнибуса Ю-372П исполнения 02

Характеристика ветра	сильный	крепкий	шторм
Балл по шкале Бофорта	6	7	9
Скорость бокового ветра, м/с	13,8	17,1	24,4
Сила бокового ветра, Н	1590	2442	4971
Угол отклонения, β°	4,54	7	14,33

4.5. Выводы

4.5.1. Максимальный угол отклонения кабины моно-юнибуса модели Ю-372П исполнения 02 от вертикали, под воздействием максимально возможной асимметричной нагрузки от массы пассажиров, составляет $4,38^\circ$.

4.5.2. Максимальные углы отклонения кабины моно-юнибуса Ю-372П исполнения 02 от вертикали, под воздействием силы бокового ветра, составляют:

- при сильном ветре (скорость 13,8 м/с) — $4,54^\circ$;

- при крепком ветре (скорость 17,1 м/с) — 7°;
- при штормовом ветре (скорость 24,4 м/с) — 14,33°.

4.5.3. По воздействию боковой ветровой нагрузки наиболее предпочтителен вариант моно-юнибуса модели Ю-372П исполнения 01, площадь продольного (бокового) сечения кабины которого меньше на 35% площади продольного (бокового) сечения кабины моно-юнибуса модели Ю-372П исполнения 02, а $C_y = 0,3$ (коэффициент бокового аэродинамического сопротивления) — меньше в $0,8/0,3 = 2,67$ раза. Благодаря этому кабина данного варианта будет отклоняться от вертикали, в частности, при 7-мибальном ветре по шкале Бофорта на угол всего 1,7° (против 7,0° у варианта исполнения 02, т.е. в 4,1 раза меньше). При 9-тибальном ветре (шторм) угол бокового наклона моно-юнибуса Ю-372П исполнения 01 будет также небольшим: 3,5°, или 0,061, или 1:16, поэтому такой моно-юнибус может эксплуатироваться на городской трассе «второго уровня» и при ураганном ветре.