



115487, Москва, ул. Нагатинская, 18/29
тел./факс: (495) 680-52-53, 116-15-48
e-mail: info@unitsky.ru
http: //www.unitsky.ru

Муниципальный заказчик:
Заместитель главы администрации
города Ставрополя
(директор комитета градостроительства)

« _____ » _____ г.
В.А. Еличев



Заказчик:
Директор МУП города Ставрополя
«Стройинвест»

« _____ » _____ г.
С.А. Горло



АВАНПРОЕКТ на городской пассажирский рельсовый автомобиль (моно-юнибус) для условий города Ставрополя

Муниципальный контракт № СТЮ-02/06 от 04.03.2006 г.
I этап: Разработка Аванпроекта на городской пассажирский рельсовый
автомобиль (моно-юнибус) для условий города Ставрополя



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

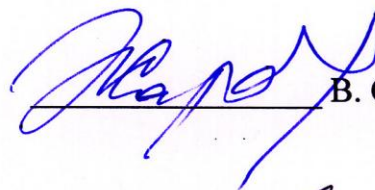
« 19 » апре _____ г.
А.Э. Юницкий

Москва 2006



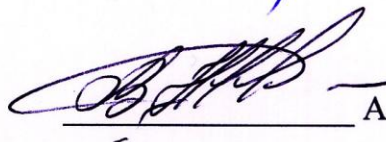
Список основных исполнителей

Ответственный исполнитель,
заместитель генерального
конструктора по подвижному составу,
главный дизайнер ООО «СТЮ»



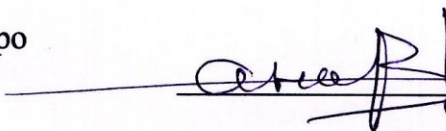
В. С. Жаркевич

Главный инженер ООО «СТЮ»



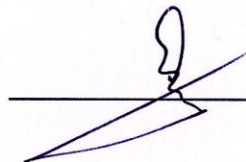
А. В. Пархоменко

Начальник конструкторского бюро
«Юнибус» ООО «СТЮ»



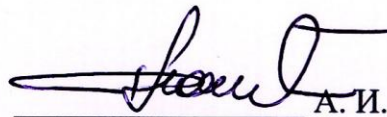
В. В. Даньшиков

Ведущий конструктор ООО «СТЮ»



В. Ю. Акулов

Ведущий конструктор ООО «СТЮ»



А. И. Лапцевич

Ведущий конструктор ООО «СТЮ»



Г. А. Васильев

Ведущий конструктор ООО «СТЮ»



В. В. Добровольский

Содержание аванпроекта

1. Пояснительная записка к аванпроекту на городской пассажирский рельсовый автомобиль (моно-юнибус) для условий города Ставрополя (422П-0000010ПЗ)	4
2. Техническое задание на городской пассажирский рельсовый автомобиль (моно-юнибус) для условий города Ставрополя (422П-0000010ТЗ)	42
3. Тягово-динамичный расчет пассажирского рельсового автомобиля (моно-юнибуса) для условий города Ставрополя (для трассы моноСТЮ с пролетами 2000 м) (422П-0000010РР)	62
4. Тягово-динамичный расчет пассажирского рельсового автомобиля (моно-юнибуса) для условий города Ставрополя (для трассы моноСТЮ протяженностью 2000 м с двумя пролетами по 1000 м) (422П-0000010-01РР)	86
5. Тепловой баланс городского пассажирского рельсового автомобиля (моно-юнибуса) для условий города Ставрополя (для пролета трассы моноСТЮ 2000 м) (422П-0000010-02РР)	107



115487, Москва, ул. Нагатинская, 18/29
тел./факс: (495) 680-52-53, 116-15-48
e-mail: info@unitsky.ru
http: //www.unitsky.ru

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный конструктор
ООО «Струнный транспорт Юницкого»

_____ А.Э. Юницкий

« ____ » _____ 2006 г.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
к аванпроекту на городской пассажирский
рельсовый автомобиль (моно-юнибус)
для условий города Ставрополя

(422П-0000010ПЗ)

Содержание пояснительной записки

1. Введение	6
2. Назначение, область применения и цель разработки	19
3. Техническая характеристика моно-юнибуса	19
4. Технические решения, используемые при разработке моно-юнибуса	21
5. Технико-экономическое обоснование разработки, стоимостные показатели основных ценообразующих комплектующих систем прототипа моно-юнибуса	39
6. Организация разработки и производства моно-юнибуса	40

1. Введение

1.1. Основание для разработки

Основанием для разработки аванпроекта на городской пассажирский рельсовый автомобиль (моно-юнибус) является инициатива вице-мэра города Ставрополя Уткина Андрея Валентиновича, необходимость решения острой транспортной проблемы в городе по перевозке пассажиров, а также возможность обеспечения всепогодной и круглогодичной доступности микрорайонов города.

Разработка аванпроекта на городской пассажирский рельсовый автомобиль подвешенного типа для участка струнного транспорта Юницкого (см. рис. 1—3) в г. Ставрополе является результатом заключения муниципального контракта № СТЮ-02/06 от 04.03.2006 г. между ООО «Струнный транспорт Юницкого» и Администрацией города Ставрополя (этап II контракта: «Разработка аванпроекта на городской пассажирский рельсовый автомобиль (моно-юнибус) для условий г. Ставрополя»).

1.2. Общие положения

При разработке трассы моноСТЮ и городских пассажирских подвесных моно-юнибусов для условий города Ставрополя использованы последние достижения в области программного и аппаратного обеспечения для компьютерного дизайна и проектирования: Alias, Catia, Unigraphics, Isem Surf, & SDRC и др. Объемное (3D) проектирование позволяет сократить сроки ввода нового объекта от идеи до построенного прототипа. Сквозные технологии позволяют производить в программах, помимо концептуальных проработок и компоновочных сборок, изготовление чертежей объекта, прочностные расчеты и дальнейшую передачу информации на станки с ЧПУ для быстрого изготовления деталей прототипа. Ведущие специалисты компании ООО «СТЮ» с помощью программных технологий производят структурный, кинематический, динамический и прочностной анализы (в программах NASTRAN, ANSYS и др.), что сокращает сроки получения данных со стендовых и эксплуатационных испытаний.

Проработаны концептуальные и компоновочные решения по основным направлениям, перечисленным ниже.



Рис. 1. Общий вид трассы моноСТЮ в г. Ставрополе

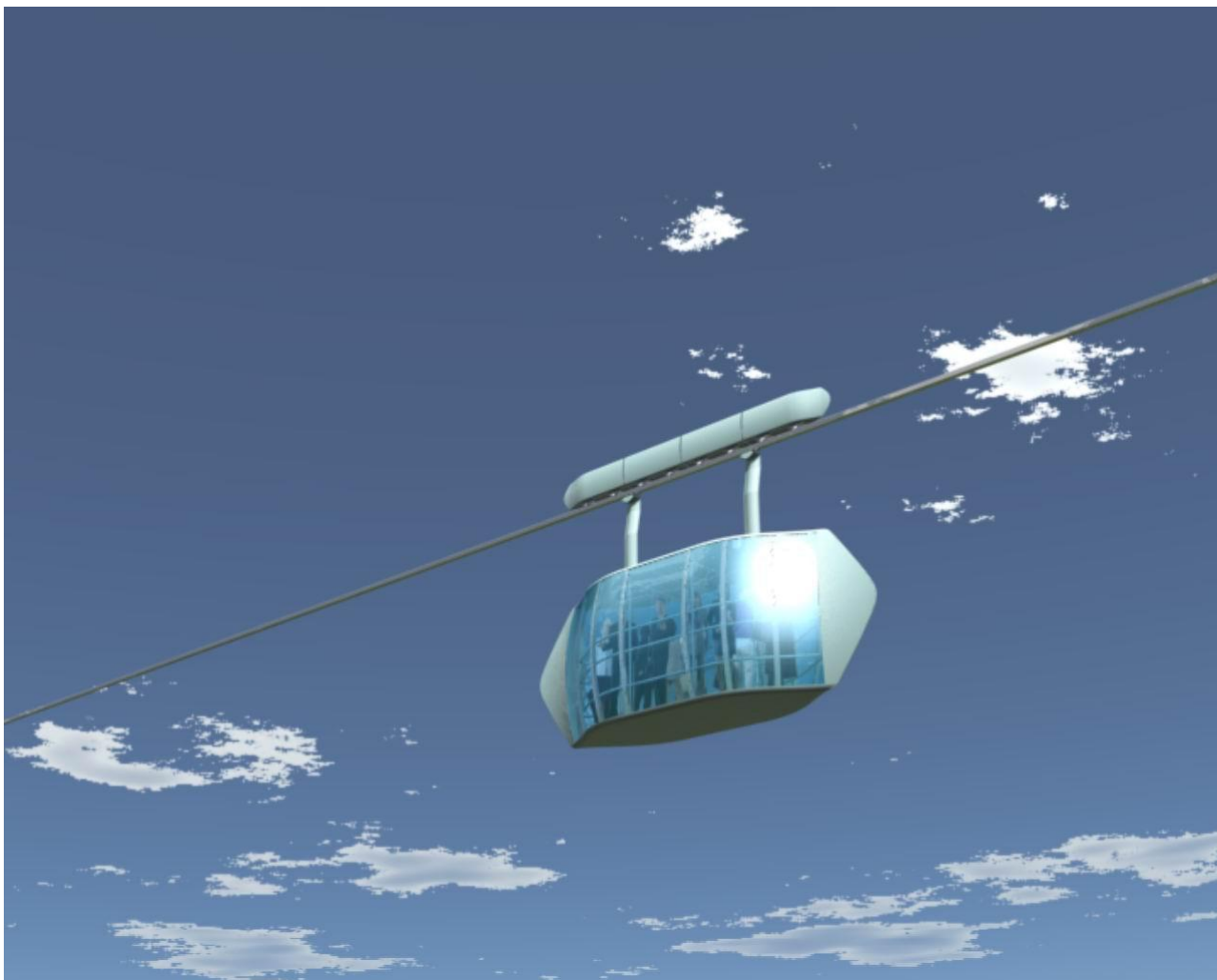


Рис. 2. Общий вид скоростного (до 135 км/час) моно-юнибуса на трассе моноСТЮ



Рис. 3. Вестибюль верхней станции моноСТЮ в зоне посадки-высадки пассажиров

1.2.1. Дизайн-проработка интерьера моно-юнибуса

Проработана концепция интерьера моно-юнибуса. Он условно разделен на 4 функциональные зоны:

1. Зона входа-выхода. Городской пассажирский транспорт, организуя пассажиропотоки, предполагает частые остановки, относительно невысокие средние скорости перемещения и частые перемещения пассажиров внутри салона. Время в пути на первом участке трассы моноСТЮ (2—5 км) составит 2—5 мин., поэтому в салоне моно-юнибуса отсутствуют сидячие места. Просторные двери (шириной 1,2 м) и пол, совпадающий с уровнем пола станции, обеспечивают комфортную посадку-высадку всех категорий пассажиров: взрослых, детей, стариков, инвалидов, матерей с маленькими детьми в колясках и т.д. Свободное пространство в районе дверей, удобные накопительные площадки, позволяющие размещение до шести инвалидных кресел, свободный проход к противоположной двери, удобное расположение поручней создают пассажиру комфорт. Въезд и выезд моно-юнибуса со станции осуществляется по специальным направляющим, которые обеспечивают стабильное положение подвесного транспортного средства относительно посадочной платформы и исключают его колебания относительно подвески.

2. Зона кратковременного размещения пассажиров. Пассажиры располагаются у стеклянных бортов юнибуса. Для удобства расположения пассажиров предусмотрены поручни в нескольких уровнях для разных категорий пассажиров. Возможность перемещения вдоль окна, образуемого прозрачными боковыми стенками юнибуса, и круговой обзор позволяют пассажирам наслаждаться видами городских окрестностей с высоты птичьего полета.

3. Зона длительного размещения пассажиров. Для стариков, детей и т.д. в центре салона в перспективе (при удлинении линий моноСТЮ и увеличении дальности поездки) предусматриваются удобные места для сидения, позволяющие наблюдать через панорамные окна за изменяющимся ландшафтом и городской застройкой.

4. Зона поездок на дальние расстояния (в перспективе) — наиболее комфортная. Спереди будет размещено два пассажирских кресла и еще два — в хвостовой части моно-юнибуса.

Данная функциональная компоновка интерьера обеспечивает максимальную комфортность пассажирам. Обеспечивается круговая обзорность местности всеми категориями пассажиров. Функционально-конструктивные узлы юнибуса размещены в незаметных для пассажиров зонах.

Минимализм и незаметность композиционных решений делают моно-юнибус визуально легким и прозрачным, при этом обеспечивается максимальный комфорт для пассажиров.

1.2.2. Дизайн-проработка экстерьера моно-юнибуса

Чистота внешнего вида моно-юнибуса подчинена его функциональному назначению — городское транспортное средство второго уровня (горизонтальный стеклянный лифт). Доминирующим элементом композиции экстерьера моно-юнибуса является максимальное остекление. Это делает его при внешнем восприятии как снизу, так и сбоку, прозрачным, сливающимся с наружным пространством. Направленность движения вперед-назад подчеркивают носовой и хвостовой непрозрачные обтекатели, выполненные идентичными, клиновидными и с острыми кромками. Поскольку для аэродинамики определяющим является хвостовой обтекатель (а не носовой), где возможны срывы воздушных потоков и возникновение турбулентности, то оба обтекателя выполнены как хвостовые. Аналогично выполнены обтекатели силового привода и штанги. Завершающим элементом композиции является цветовая гамма, состоящая из зеленовато-голубого цвета непрозрачных поверхностей, золотисто-прозрачного тонирования стекла и блестящих золотом металлических поверхностей. Сочетание цветовых решений и ночной подсветки делают юнибус праздничным и парадным, что очень важно для города, где много солнечных дней в году.

1.2.3. Поисковое моделирование

Осуществлено поисковое моделирование интерьера моно-юнибуса в масштабе 1:1.

1.2.4. Моделирование прототипа

Исполнитель по собственной инициативе с использованием средств из дополнительных источников провел ряд дополнительных работ, необходимых для визуализации своих проработанных решений, определения возможностей выполнения последующих этапов работ по настоящему договору и для последующей работы с субподрядчиками.

Изготовлена действующая модель моно-юнибуса масштаба 1:20.

1.2.5. Визуализация

Осуществлена компьютерная визуализация и мультипликация (в программах Alias, Isem Surf, 3D MAX) трассы моноСТЮ с привязкой ее к реальной местности города Ставрополя, которая дает представление о реальном объекте (приложение — диск DVD-AVI).

1.2.6. Инжиниринг

Проработана концепция конструкторских решений всего объекта в целом. Наиболее подробно проработаны ответственные узлы юнибуса (привод, подвеска, конструкция колеса, силовой каркас и др.). Выполнены тягово-динамические расчеты трех вариантов юнибуса, проведена проверка теплового баланса юнибуса, определены массовые характеристики трех вариантов юнибуса и др.

1.3. Транспорт — составная часть транспортной услуги

Транспорт, как таковой, мало интересует потребителя, который, оплачивая проезд, приобретает транспортную услугу, и, таким образом, опосредованно оплачивает транспорт, строительство и эксплуатацию всей транспортной системы. Качество этой услуги и интересует, в первую очередь, потребителя: комфортность, безопасность, всепогодность, экологичность, доступность. Рассмотрим качество услуги, которая достигается в моноСТЮ и которая может рассматриваться только в транспортной системе в целом, а не исходя только из характеристик транспортного средства, как это принято сейчас, например, в существующем городском общественном транспорте.

1.3.1. Комфортность

СТЮ даст человеку возможность наряду с комфортным решением основной функциональной задачи — быстрой и безопасной доставкой пассажира — решать эстетические функции. Большая площадь остекления, комфортные сидения (в перспективе), мягкий бархатный путь превратят обычную дорогу в наслаждение окружающим городским пейзажем с высоты птичьего полета. Каждый транспортный модуль может быть снабжен системой климат-контроля, причем исходный воздух будет чист, т.к. будет забираться на высоте 30—50 м (а не у поверхности асфальта, как на существующем городском транспорте), в нем будут отсутствовать, в отличие от автомобильных дорог, запах горюче-смазочных материалов и нагретого на солнце асфальта, выхлоп продуктов горения потока автомобилей и т.п.

Движение рельсовых автомобилей по струнной путевой структуре не зависит от погодных и дорожных условий (ветер, дождь, снег, туман, гололед и др.), на трассе нет светофоров, пересечений в одном уровне с другими видами транспорта и пешеходами, поэтому средняя скорость движения на СТЮ будет значительно выше (в 2—3 раза и более), чем в существующем наземном городском общественном транспорте. Это повысит

комфортность для пассажиров, т.к. они быстрее и в более безопасных и комфортных условиях воспользуются транспортной услугой.

Высокая частота следования транспортных модулей (каждые 2—3 минуты, а в часы пик — 1 мин. и менее) и относительно небольшая их вместимость позволят избежать скопления пассажиров на остановках (станциях), ускорят посадку-высадку пассажиров и, в конечном итоге, повысят комфортность транспортной услуги.

Благодаря малым размерам подвижного состава и пониженной его вместимости (в сравнении с автобусом, троллейбусом и трамваем), рельсовые автомобили СТЮ будут следовать с высокой частотой (каждые 2—3 минуты, а в часы пик — 1 мин. и менее). Поэтому пассажиры не будут долго стоять на остановке в ожидании транспорта, что особенно важно в экстремальных погодных условиях (сильный мороз, ветер, проливной дождь, жара и т.д.), а также для стариков, детей, людей с ослабленным здоровьем. При этом пассажир будет ожидать транспорт находясь в комфортных условиях — в современной и уютной станции, отапливаемой зимой и кондиционируемой летом.

Автобусы, троллейбусы и трамваи, из-за своих больших габаритов, в значительной степени способствуют образованию «пробок» на городских улицах, создавая дискомфорт не только для своих пассажиров, но и для пользователей других видов городского общественного транспорта, а также личных автомобилей и такси.

Электрическая сеть существующего электрифицированного городского транспорта является его слабым местом, т.к. часто случается обесточивание линий, обрывы медного провода, разрушение электроизоляторов, короткие замыкания и т.п., что нарушает график движения городского транспорта и создает дискомфорт пассажирам.

1.3.2. Безопасность

Самым опасным для рельсового транспорта является разрушение путевой структуры. Рассмотрим вероятность этого в СТЮ. СНиП 2.05.03-84* «Мосты и трубы» допускает расчетные напряжения в высокопрочной проволоке пролетных строений мостов, равные, например, для проволоки диаметром 3 мм 12.050 кгс/см^2 , при этом предельные (разрушающие) напряжения для этой проволоки составляют 19.000 кгс/см^2 (проволока производства Волгоградского завода ООО «ВолгоМетиз»). За весь срок эксплуатации (100 лет) напряжения растяжения в струне путевой структуры моноСТЮ будут изменяться от 10.090 до 12.050 кгс/см^2 , при этом температура (от $+59 \text{ }^\circ\text{C}$ до $-27 \text{ }^\circ\text{C}$) даст диапазон изменения напряжений в струне примерно на 910 кгс/см^2 , максимальный ветер (скорость 250 км/час) — 300 кгс/см^2 , максимальное оледенение (10 кг льда на погонный метр рельса-струны) — 350 кгс/см^2 , подвижной состав — 750 кгс/см^2 . В этом случае запас прочности

струны по напряжениям от подвижного состава составит: $(19.000 \text{ кгс/см}^2 - 12.050 \text{ кгс/см}^2) / 750 \text{ кгс/см}^2 = 9$ раз. Нигде в строительных сооружениях, в том числе в висячих и вантовых мостах, сегодня нет таких девятикратных запасов прочности, а в СТЮ он создается благодаря особенной, присущей только струнной системе, кинематической схеме нагружения струны внешними нагрузками (практически поперечными по отношению к струне). Из приведенного примера следует, что обрыв струны произойдет только в том случае, если по СТЮ поедет вместо расчетного модуля весом 5,5 тонн транспортное средство, вес которого превышает 50 тонн (под этой нагрузкой рельс-струна не оборвется, а, растянувшись в упругой стадии, опустится до земли), либо если скорость ветра превысит 500 км/час, либо если ударит мороз ниже $-100 \text{ }^\circ\text{C}$, что нереально в условиях г. Ставрополя.

Рельсовый автомобиль СТЮ имеет высокую устойчивость движения по путевой структуре благодаря двухребордным колесам, независимой подвеске каждого колеса и высокой аэродинамичности корпуса. На действующих моделях масштаба 1:15, 1:10 и 1:5, а также на опытном участке СТЮ моделировались различные аварийные ситуации. Например, сильный боковой ветер и землетрясение силой 10 баллов по шкале Рихтера, действующие одновременно, не приводят к сходу рельсового автомобиля со струнной путевой структуры.

Подвижной состав СТЮ может эксплуатироваться при ураганном ветре. Например, чтобы сбросить рельсовый автомобиль с пути, сила давления бокового ветра должна превысить прочность на срез реборд всех стальных колес моно-юнибуса, для чего ветру необходимо иметь скорость более 500 км/час, что нереально в условиях г. Ставрополя.

Несущими элементами рельса-струны и путевой структуры в целом являются предварительно напряженные струны, в качестве которых целесообразнее всего использовать оцинкованную высокопрочную (арматурную) проволоку диаметром 3 мм. В рельсе-струне при усилии предварительного натяжения 205 тонн будет находиться 240 высокопрочных арматурных проволок, каждая из которых будет предварительно натянута до усилия в 800 кгс (разрывное усилие для проволоки — 1340 кгс). Поэтому, чтобы порвать рельс-струну, необходимо будет дополнительно приложить продольное (а не поперечное) усилие в 130 тонн (поперечные усилия, приложенные к рельсу-струне, незначительно изменяют напряжения в струне). Даже взрыв нескольких килограммов тротила непосредственно на рельсе не создаст такие продольные усилия в струне (а не в корпусе рельса). Струны в рельсе защищены от механического повреждения стальным бронированным корпусом и специальным высокопрочным композитом. Разрушить такую многослойную конструкцию, выполненную из высокопрочных материалов, значительно сложнее, чем моноконструкцию, каковой, например, является железнодорожный рельс. Поэтому струнная путевая структура будет более устойчивой к террористическим актам, чем

железнодорожный путь, в том числе трамвайный путь. Тем более, что железнодорожный путь лежит непосредственно на земле и легко доступен любому злоумышленнику (чтобы сошли вагоны с рельсов их не обязательно взрывать — достаточно положить на рельсы костыль, болт, лом или любой другой тяжелый предмет).

Струнный транспорт, являясь транспортной системой второго уровня, может показаться уязвимым к террористическим актам. Однако сравнение СТЮ с другими видами рельсового транспорта позволяет сделать выводы об обратном. Например, традиционный железнодорожный или трамвайный путь является не только сборным, но и разборным, а каждое колесо вагона имеет одну реборду, поэтому для схода колеса (или колесной пары) достаточно изменить колею на несколько сантиметров, например, сдвинув рельс в сторону. Очень часто это происходит из-за ослабления креплений рельсов, из-за бокового одностороннего давления гребня колеса на головку рельса, из-за температурного выброса рельсошпальной решетки в жаркую погоду, из-за деформаций щебеночной подушки или земляного полотна и т.п. В моноСТЮ рельс-струна выполнен неразрезным (он не имеет стыков в промежутке между анкерными опорами, т.к. головка и корпус рельса сварены в одну плеть) и предварительно напряжен (растянут), и не имеет колеи, поэтому любые перемещения рельса-струны по вертикали или по горизонтали (например, под действием ветра) не скажутся на движении моно-юнибуса и не приведут к аварийности. Даже поперечное перемещение рельса-струны на 10—20 м не представит никакой опасности, т.к. каждое колесо моно-юнибуса имеет две реборды (гребня), которые охватывают головку с двух сторон, а также застраховано от схода размещенным под рельсом-струной упорным роликом. Каждое колесо при этом имеет независимую (автомобильную, а не железнодорожную) подвеску и не связано с другими колесами (т.е. в юнибусе нет колесных пар), поэтому оно будет следовать, без схода, за всеми неровностями пути, как в горизонтальной, так и вертикальной плоскостях.

Юнибус имеет относительно небольшую вместимость (40 пассажиров), поэтому будет менее привлекательной целью для террористов, чем более многоместные автобусы, троллейбусы, трамваи, электрички, железнодорожные поезда, поезда метро или самолеты. Как менее привлекательны будут и станции СТЮ, небольшие по размеру, без концентрации пассажиров, в отличие от современных аэропортов, железнодорожных вокзалов или станций метро. При этом взрыв, если он будет произведен террористами в моно-юнибусе, не приведет к разрушению струнной путевой структуры, т.к. взрывную волну воспримет и погасит прочный многослойный потолок с металлическим каркасом, поэтому взрывная волна пойдет в направлении менее прочной конструкции — в стороны.

В случае выхода из строя одного из мотор-колес моно-юнибуса, он доедет до станции на остальных мотор-колесах. В случае выхода из строя всех мотор-колес, к неисправному модулю, спереди или сзади, подъедет специальный мини-тягач, до этого хранившийся на станции в специальном боксе, и отбуксирует его к ближайшей станции, для чего каждый юнибус имеет автоматическое сцепное устройство (стыковочный узел). В случае выхода из строя всей транспортной системы, пассажиры спустятся на землю по специальному тросовому эвакуатору альпинистского типа, которым снабжен каждый модуль. В случае невозможности спуска на поверхность земли, например, на водных участках трассы, пассажиры будут эвакуированы с помощью вертолета. Главное же отличие от терпящего бедствия самолета или вертолета — все пассажиры останутся живы.

В России на дорогах (автомобильных и железных) ежегодно гибнет 35—40 тыс. человек, причем этот показатель с годами ухудшается. В городах повышенную аварийность и гибель пассажиров и пешеходов на дорогах создают, в основном, автобусы, троллейбусы, трамваи, микроавтобусы. В среднем по стране за последующие 50—100 лет (срок службы СТЮ) на указанных дорогах общей протяженностью 800 тыс.км погибнет около 2—4 млн. человек и 20—40 млн. получают травмы, станут инвалидами и калеками, или на один километр протяженности дорог: 2—5 чел/км и 25—50 чел./км соответственно. Аварийность на поднятой над землей на второй уровень рельсовой системе моноСТЮ будет значительно ниже, чем у современных скоростных железных дорог, проложенных по поверхности земли (например, по огражденным и поднятым над землей высокоскоростным железным дорогам Японии за 40 лет перевезено порядка 10 млрд. пассажиров и ни один из них не погиб). Цена 2—5 человеческих жизней и 25—50 случаев инвалидности людей на 1 км существующих дорог превышают стоимость 1 км трасс моноСТЮ. Только одно это оправдывает строительство рельсовых дорог второго уровня на базе струнных технологий, как более безопасных и менее затратных, чем традиционные балочные конструкции пролетных строений.

На электрифицированном городском транспорте существует опасность поражения высоким электрическим напряжением обслуживающего персонала и пассажиров. На моноСТЮ путь неэлектрифицирован, а зарядка накопителей энергии, что необходимо для движения по трассе, осуществляется на станции невысоким напряжением (300 вольт) через неподвижный токосъем.

1.3.3. Всепогодность

СТЮ является всепогодным транспортом. Поэтому ни проливной дождь, ни ураганный ветер, ни снежные заносы на улицах не повлияют на график движения подвижного состава.

СТЮ сможет работать и при наводнениях, когда наземный городской транспорт будет парализован, а также при землетрясениях и других стихийных бедствиях. Не повлияет на работу СТЮ и обесточивание города (в результате стихийных бедствий или сбоя в работе электростанций или электрических сетей), т.к. каждая станция моноСТЮ будет иметь аварийный дизель-генератор (достаточно иметь аварийную мощность в 20 кВт).

Путевая структура СТЮ зимой не требует очистки от снега и льда (они раздавливаются стальным колесом и сбрасываются им с рельса-струны), в то время как содержание проезжей части городских дорог в надлежащем состоянии в условиях продолжительной зимы с обильными снегопадами требует затрат в 10—20 тыс. USD в год на один километр протяженности улиц (сюда входит не только зарплата занятых на уборке снега людей, но и стоимость снегоуборочных машин и самосвалов для вывоза снега, расход горюче-смазочных материалов, ухудшение дорожно-транспортных условий на период уборки снега и увеличение дорожно-транспортных происшествий с повреждением транспортных средств, травматизмом и гибелью людей, простой общественного городского транспорта и личного транспорта, опоздания на работу из-за образования «пробок», расход антиобледенительных реагентов и др.). За срок службы СТЮ (50—100 лет) экономия на этом составит в городском бюджете около 2 млн.USD/км, что превышает стоимость строительства 1 км трассы СТЮ.

1.3.4. 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, токосяем. У троллейбуса — мощный двигатель с редуктором, протектор шин, токосяем. У моноСТЮ указанные источники шумов отсутствуют.

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

Контактная сеть троллейбуса и трамвая часто искрит и создает радиопомехи и электромагнитное загрязнение городской окружающей среды.

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

Из-за большой массы подвижного состава существующего городского транспорта, приходящейся на одного пассажира, высокого сопротивления его движению (аэродинамическое сопротивление, сопротивление качению колеса, сопротивление, создаваемое в токосъеме), подвижной состав имеет избыточную мощность привода: 3—4 кВт и более на одного пассажира для автобуса, троллейбуса, трамвая (а при малой загрузке, что, в основном, и имеет место — 10—15 кВт/пасс.), 5—6 кВт/пасс. и более для микроавтобуса, 20—50 кВт/пасс. и более для такси и личных автомобилей. У модулей моноСТЮ (сухой вес около 2,5 тонн при вместимости 40 пасс.) мощность двигателя составит 0,3—0,7 кВт/пасс. (в зависимости от расчетной скорости движения; большее значение относится к скорости 130 км/час), поэтому при одинаковой транспортной работе по расходу энергии СТЮ будет экономичнее и, соответственно, экологичнее существующего городского общественного транспорта в 6—8 раз, легковых автомобилей — в 40—50 раз и более.

СТЮ является самым экологически чистым транспортом среди известных (в том числе в сравнении с троллейбусом и трамваем) благодаря стальному колесу и стальному рельсу (сопротивление качению колеса модуля ниже чем у резинового колеса троллейбуса в 10—25 раз), высокой аэродинамичности корпуса (в 5—6 раз лучше, чем у троллейбуса и трамвая) и меньшей материалоемкости подвижного состава, на разгон и торможение которого, в основном, и затрачивается энергия (60—80 кг сухого веса на пассажира, против 150—300 кг/пасс. у трамвая и троллейбуса). Соответственно, при одинаковой транспортной работе СТЮ меньше всего загрязнит городской воздух продуктами горения топлива (при использовании двигателя внутреннего сгорания) или меньше всего потребит электрической энергии (для электрифицированного варианта).

В качестве топлива для дизеля транспортного модуля моноСТЮ (в неэлектрифицированных вариантах исполнения, которые также возможны) может быть использован синтетический бензин — диметиловый эфир, синтез которого из метана может быть организован в любом городе (например, он производится в г. Москве на простейшей установке). Продукты горения такого топлива (вода и углекислый газ) аналогичны продуктам сгорания метана и природного газа и являются экологически чистыми. Такое топливо в 1,5—2 раза дешевле традиционного дизельного топлива и является идеальным, т.к.

двигатель заводится на любом морозе, его ресурс увеличивается в 1,5—2 раза, а в продуктах горения отсутствует сажа и вредные вещества (свинец, сера и др.).

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

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

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

Легче будет бороться с «зайцами» (безбилетниками), т.к. оплачивать можно не проезд, а вход на поднятую над землей станцию (как и в метро, где оплачивается вход на станцию).

2. Назначение, область применения и цель разработки

2.1. Городской пассажирский моно-юнибус является частью системы городского пассажирского транспорта второго уровня, обеспечивающего пассажирские перевозки.

2.2. Целью разработки товарного образца моно-юнибуса является проверка конструкторских и технологических решений и уточнение отдельных характеристик для использования их при разработке конструкций подвесного подвижного состава для пассажирских трасс моноСТЮ в г. Ставрополе.

2.3. Моно-юнибус разрабатывается впервые, заменяемое изделие отсутствует.

3. Техническая характеристика моно-юнибуса

Габаритные размеры, мм:

– длина с буксировочными устройствами	7000
– ширина	2310
– высота габаритная	4230
– ширина на уровне пола – габаритная	2040

– высота от верхней точки рельса-струны до нижней точки пассажирской кабины	3655
Масса снаряженная, кг	2500
Масса полная, кг	5500
Пассажировместимость, чел.	40
Максимальная скорость движения, км/час:	
– для пролета моноСТЮ 2000 м	133
– для пролета моноСТЮ 1000 м	88
Средняя скорость движения, км/час:	
– для пролета моноСТЮ 2000 м	85
– для пролета моноСТЮ 1000 м	68
Время преодоления юнибусом расстояния в 2 км (при полной массе юнибуса и встречном ветре 15 м/с), мин:	
– для пролета моноСТЮ 2000 м	1,5
– для двух пролетов моноСТЮ по 1000 м каждый	2,2
Потребляемая электроэнергия на плече 2 км (при полной массе юнибуса и встречном ветре 15 м/с), кВт·ч:	
– для моноСТЮ с пролетом 2000 м	0,39
– для моноСТЮ с пролетами по 1000 м	0,29
Число полных проходов расстояния в 2 км без подзарядки накопителей (при полной массе юнибуса и встречном ветре 15 м/с):	
– для моноСТЮ с пролетом 2000 м	1
– для моноСТЮ с пролетами по 1000 м	2
Колесная формула	4 × 4
Тип кузова	несущий
Число дверей, шт.	2

Тормозная система	электрогидравлическая
	двухконтурная
Тормоза	дисковые
Максимальная мощность одного тягового электродвигателя, кВт	10
Количество тяговых электродвигателей	4
Бортовой источник электроэнергии:	
– конденсаторы типа	ЭК303
– общее количество, шт.	180
– производитель	«ЭСМА», РФ
– обогрев, вентиляция, кондиционирование воздуха	на станции моноСТЮ
– экологичность	токсичные выбросы полностью отсутствуют

4. Технические решения, используемые при разработке моно-юнибуса

4.1. Внешний вид

Конструктивная схема городского пассажирского моно-юнибуса показана на рис. 4, а габаритный чертеж и чертеж общего вида — на рис. 5 и 6.

Конструктивно моно-юнибус состоит из двух частей: подвесного кузова пассажирского салона и находящегося на рельсе-струне отсека силового привода, которые жестко соединены между собой при помощи двух штанг.

Кузов пассажирского салона состоит из каркаса, пола, потолка, боковых панелей, дверей и обтекателей.

Каркас представляет собой сварную конструкцию из труб прямоугольного сечения с приварными элементами для крепления штанг, установки оборудования, крепления панелей и дверей.

Пол и потолок выполнены в виде сэндвич-панелей. Панели выполнены в виде травмобезопасных стеклопакетов, используемых в автомобилестроении. Панели тонированы и имеют светоотражающий слой для улучшения теплового баланса в салоне. Двери двустворчатые, выполнены из стеклопакетов, аналогичных стеклопакетам боковых панелей.

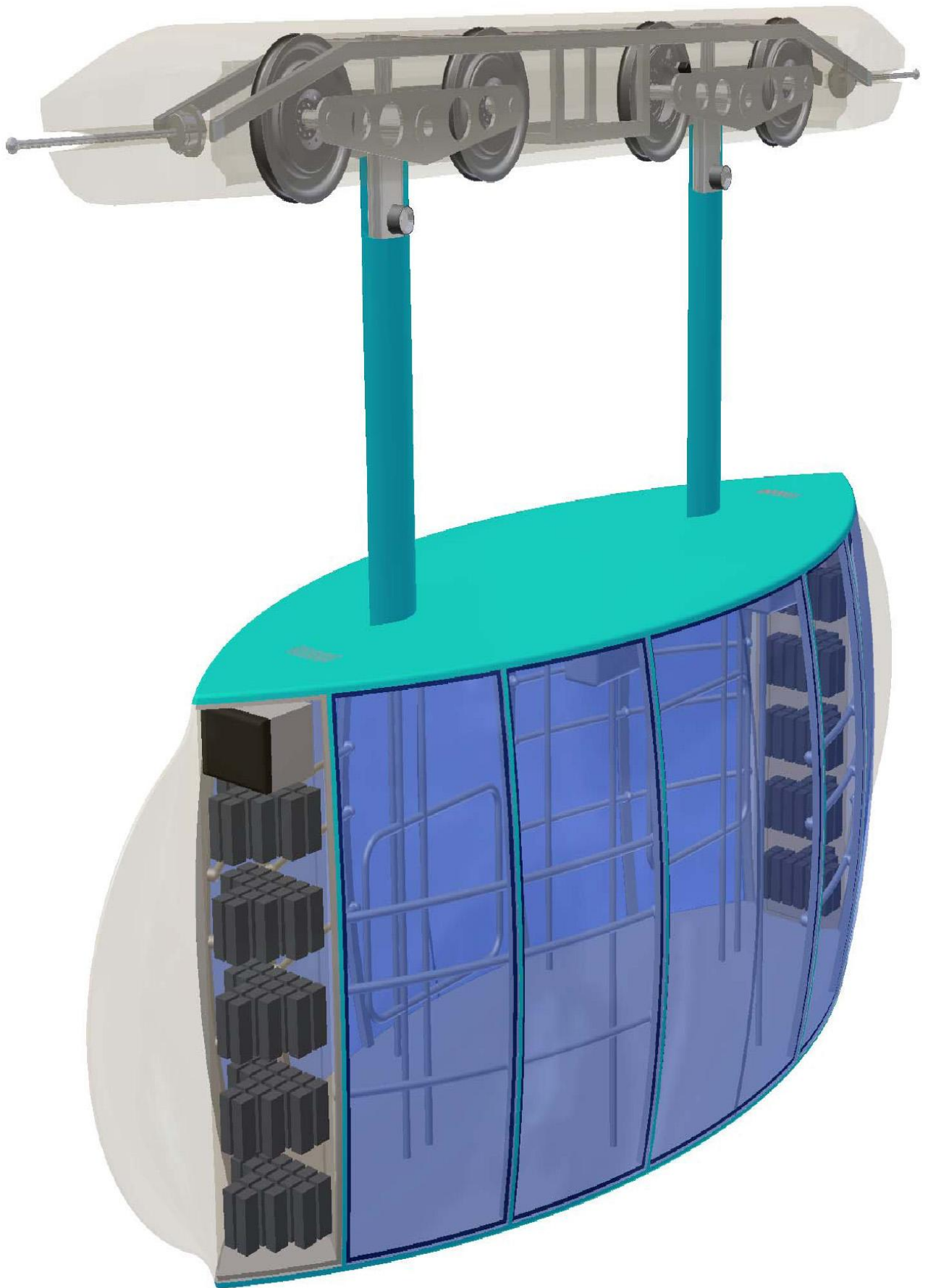


Рис. 4. Конструктивная схема городского пассажирского моно-юнибуса

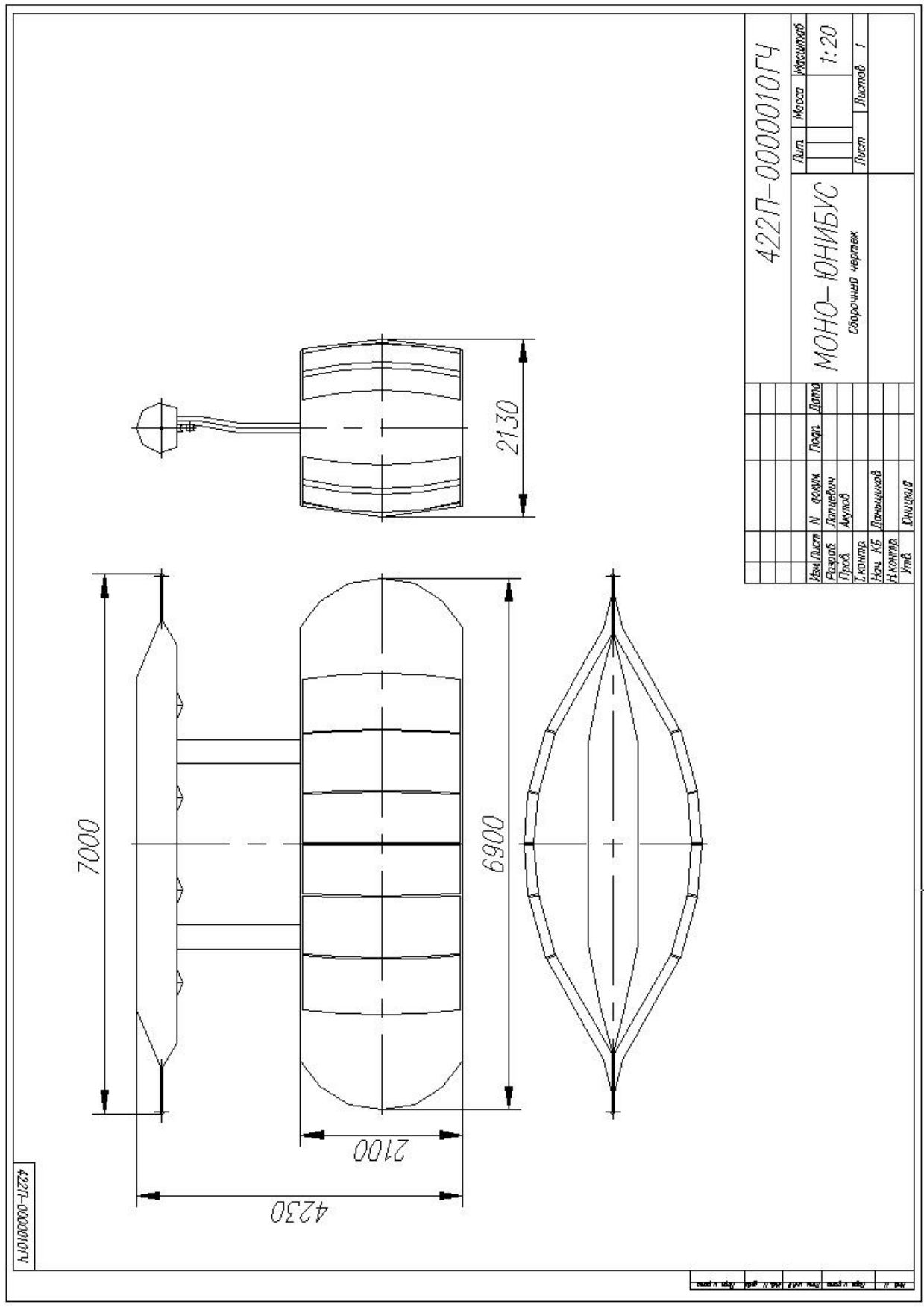


Рис. 5. Габаритный чертёж моно-юнибуса

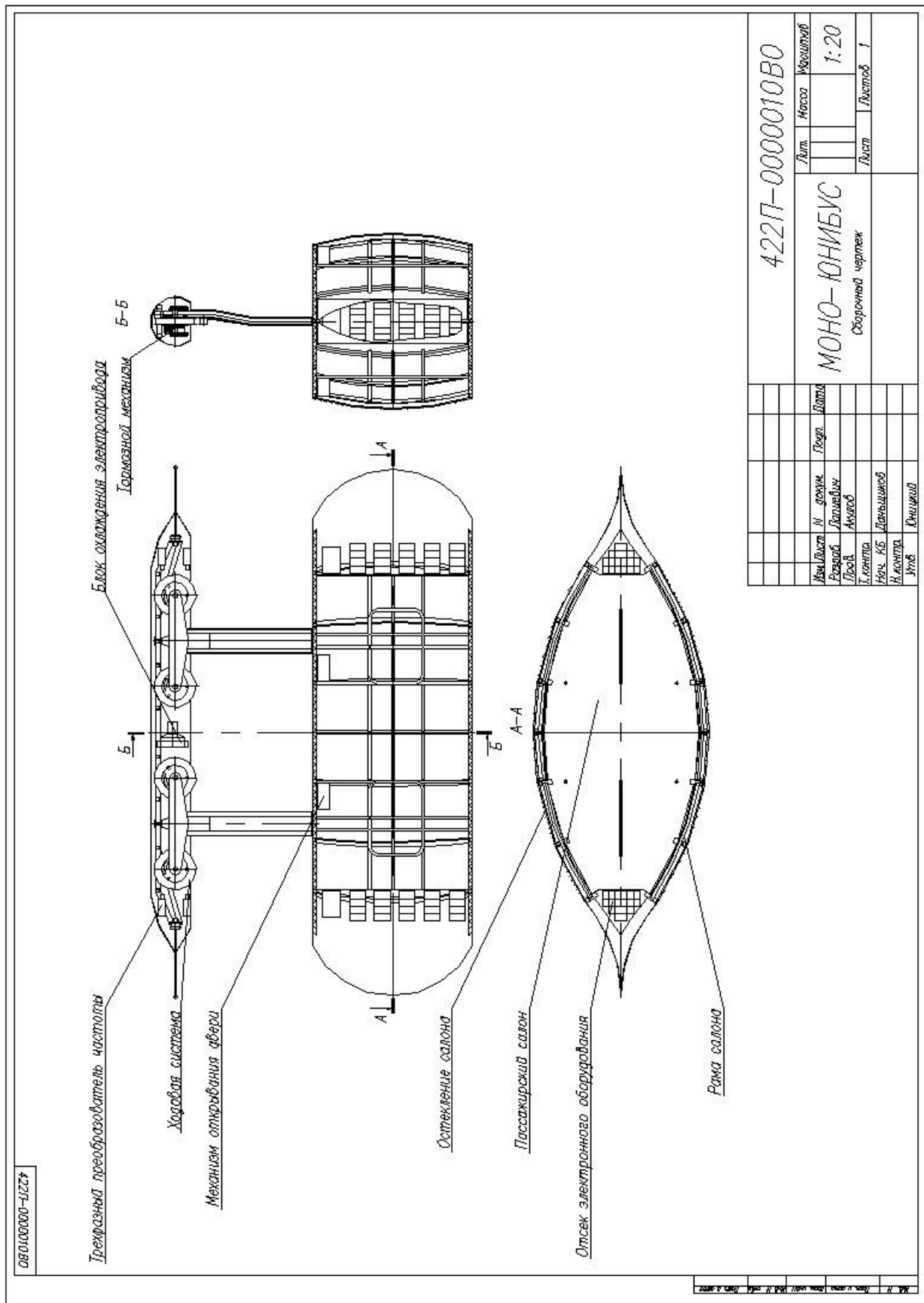


Рис. 6. Чертеж общего вида моно-юнибуса

Обтекатели выполнены из ударопрочной пластмассы.

Отсек силового привода состоит из рамы с двумя шарнирно закрепленными двухколесными тележками ходовой системы, комплектуемым электрооборудованием и обтекателя.

Чистота внешнего вида моно-юнибуса подчинена его функциональному назначению — городское транспортное средство второго уровня (горизонтальный стеклянный лифт). Доминирующим элементом композиции юнибуса является максимальное остекление. Это делает его при внешнем восприятии как снизу, так и сбоку, прозрачным, сливающимся с наружным пространством. Важнейшим элементом композиции является цветовая гамма, состоящая из зеленовато-голубого цвета непрозрачных поверхностей, золотисто-прозрачного тонирования стекла и блестящих металлических поверхностей. Сочетание цветовых решений и ночной подсветки делают юнибус праздничным и парадным.

Построение внешних форм моно-юнибуса осуществлено с учетом результатов продувки моделей масштаба 1:5 в ЦНИИ им. А.Н. Крылова (г. Санкт-Петербург) и с использованием программ ALIAS и ICEM SURF. Это позволило выполнить внешние обводы моно-юнибуса с самыми высокоаэродинамическими характеристиками среди всех известных транспортных средств (автомобиль, самолет, вертолет, ракета, подводная лодка, торпеда и др.).

Например, коэффициент аэродинамического сопротивления C_x моно-юнибуса по сравнению с лучшими зарубежными спортивными автомобилями снижен в 3—4 раза: с 0,3—0,4 до 0,075—0,095. Соответственно во столько же раз снижена мощность аэродинамического сопротивления при скоростном движении.

Это делает моно-юнибус, наряду с низким сопротивлением качения стальных колес по стальной головке рельса-струны моноСТЮ, самым экономичным транспортным средством в мире. Описанный ниже вариант моно-юнибуса вместимостью 40 пассажиров, развивающий на двухкилометровом перегоне скорость 133 км/час, будет в среднем потреблять мощность в 16 кВт — самый маломощный и более тихоходный легковой автомобиль вместимостью всего 4 пассажира имеет в несколько раз более мощный двигатель. При этом эксплуатационная скорость (скорость доставки пассажиров с учетом потерь времени на остановках) составит 60 км/час, поэтому моноСТЮ будет в 2,5 раза более скоростной системой, чем московское метро (24 км/час) и в 4 раза — по сравнению с автобусными, трамвайными и троллейбусными маршрутами (15—16 км/час).

При 20-ти часовом рабочем дне один моно-юнибус способен максимально перевезти на плече 2 км (в обоих направлениях): за один час — 1200 пасс., за сутки — 24.000 пасс., за год — 8,8 млн. пасс., за срок службы (20 лет) — 175 млн. пасс., за нормативный срок службы

моноСТЮ (100 лет) — 876 млн. пасс. При этом, если перевести электроэнергию в топливо (1 кВт×час = 0,25 литра топлива), экономия топлива одним моно-юнибусом (расход энергии 0,17 л/100 пасс.×км) за 100 лет при перевозке 876 млн. пасс. на плече 2 км составит: по сравнению с городским автобусом (в среднем расход топлива 2,2 л/100 пасс.×км) — 35 млн. литров (стоимость этого топлива сегодня составляет 17,5 млн. USD), троллейбусом (2,1 л/100 пасс.×км) — 34 млн. литров (17 млн. USD), легковым автомобилем (4,5 л/100 пасс.×км) — 76 млн. литров (38 млн. USD), трамваем (2 л/100 пасс.×км) — 32 млн. литров (16 млн. USD), метрополитеном (1,5 л/100 пасс.×км) — 23 млн. литров (12 млн. USD).

4.2. Оборудование и отделка пассажирского салона

Салон разделен на следующие конструктивно-функциональные зоны:

- зона входа-выхода: вход-выход пассажиров обеспечивается через две двери, расположенные слева и справа в средней части моно-юнибуса;
- зона размещения пассажиров. Для удобства расположения пассажиров предусмотрены поручни в нескольких уровнях для разных категорий пассажиров (взрослых и детей). Поручни в средней части салона обеспечивают равномерное заполнение салона пассажирами. Возможность перемещения вдоль окна, образуемого прозрачными боковыми стенками моно-юнибуса, и круговой обзор позволяют пассажирам наслаждаться видами городских окрестностей с высоты;
- зона работы оператора (вариант исполнения для испытаний прототипа и на этапе пуско-наладочных работ) — располагается в передней (или кормовой) части салона и включает в себя: сидение, пульт управления со средствами отображения информации и органами управления;
- отсеки установки электронного оборудования и накопителей электроэнергии — размещены в носовой и кормовой части кузова и отделены от салона перегородками.

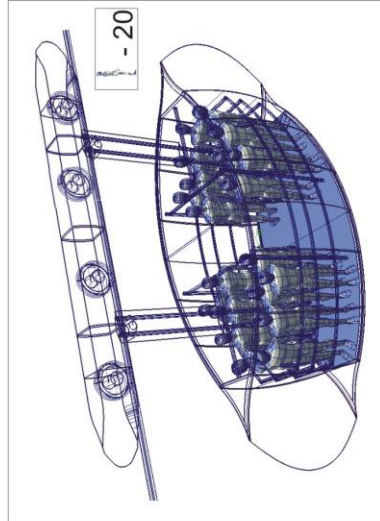
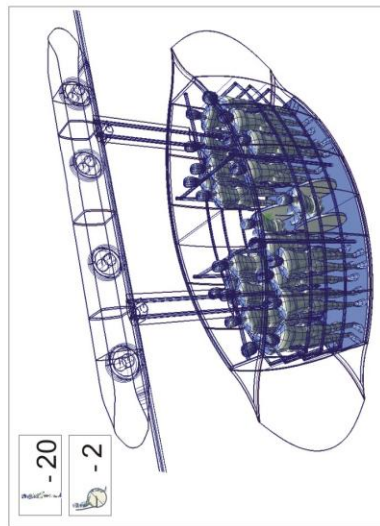
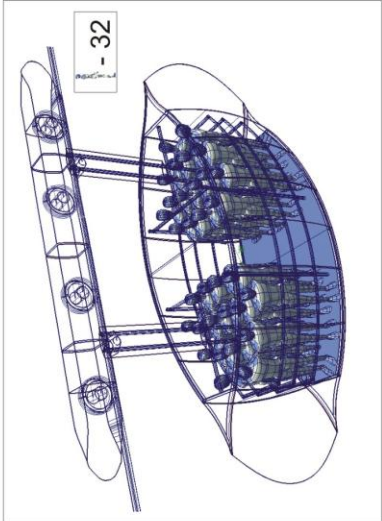
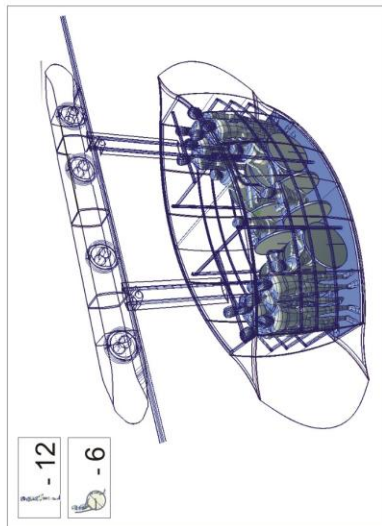
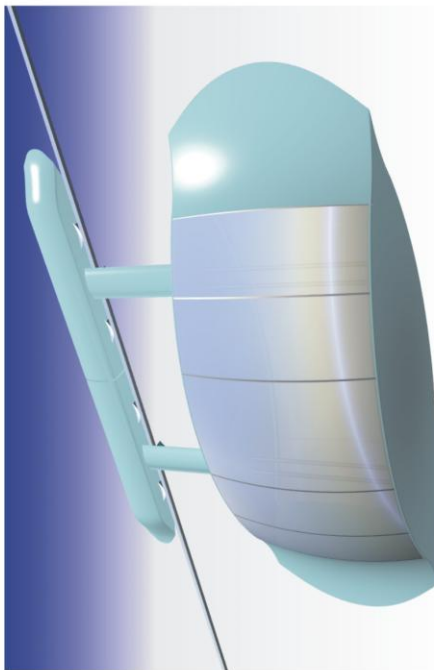
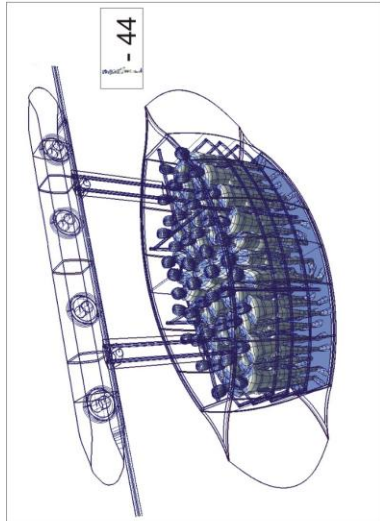
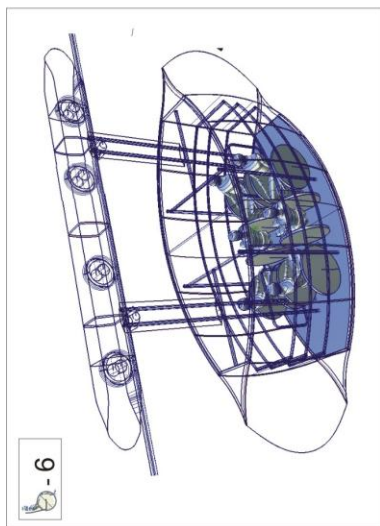
Данная функциональная компоновка интерьера обеспечивает максимальную комфортность пассажирам. Обеспечивается круговая обзорность местности всеми категориями пассажиров. Функционально-конструктивные узлы моно-юнибуса размещены в незаметных для пассажиров зонах.

Варианты заполнения салона юнибуса пассажирами представлены на рис. 7.

МОНО-ЮНИБУС Ю-422 П

Варианты заполнения пассажирами

Городской вариант



-  – КОЛИЧЕСТВО СТОЯЧИХ МЕСТ
-  – КОЛИЧЕСТВО МЕСТ ДЛЯ ИНВАЛИДОВ

Рис. 7. Варианты заполнения салона моно-юнибуса пассажирами

Минимализм и незаметность композиционных решений делают моно-юнибус визуально легким и прозрачным, при этом обеспечивается максимальный комфорт для пассажиров.

4.3. Силовой привод

В качестве силового привода на моно-юнибусе используется электропривод (четыре мотор-колеса). Функциональная схема силового привода представлена на рис. 8.

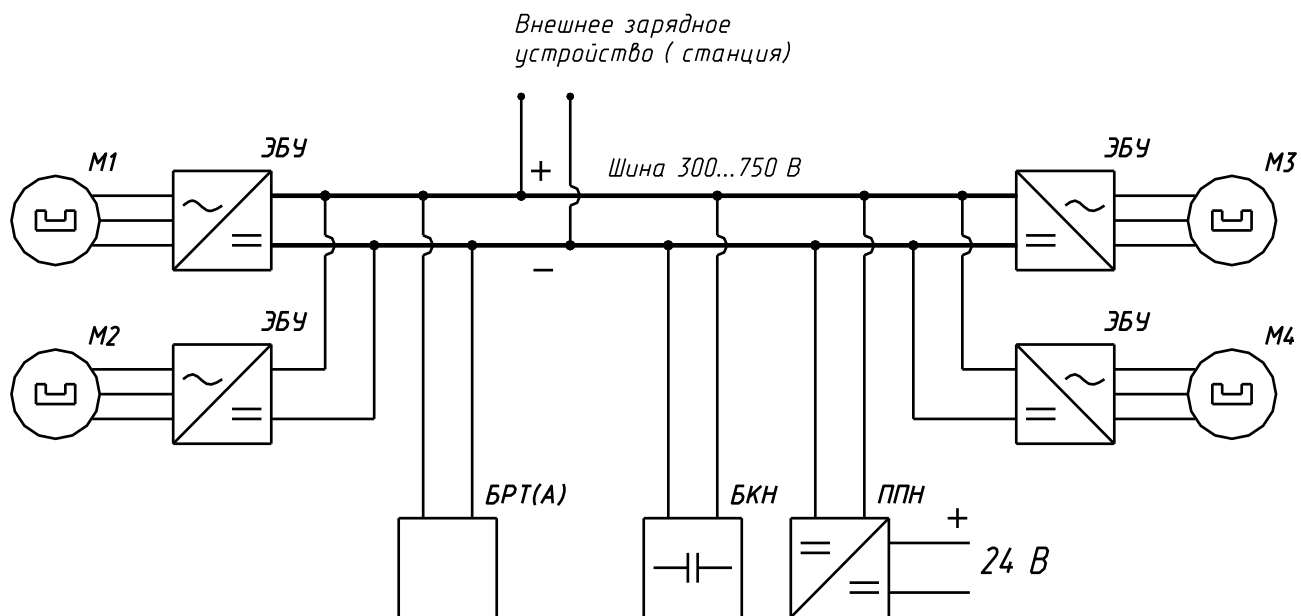
Состав электропривода:

- конденсаторы типа ЭК303 (см. рис. 9) в количестве 180 шт., размещенные в специальных отсеках в передней и кормовой частях пассажирского салона;
- мотор-колеса ММ-61 (см. рис. 11) в количестве 4 шт.;
- электронные блоки управления мотор-колесами S30 (см. рис. 10) в количестве 4 шт.;
- система охлаждения электромашин и силовых блоков;
- система автоматического управления движением (в варианте прототипа, для испытаний, предусматривается управление оператором, находящимся на борту моно-юнибуса).

Следуя по контролируемому диспетчером участку, моно-юнибус будет автоматически передавать на пульт диспетчера полную информацию о работоспособности всех, в том числе и дублирующих, систем. Каждая связь управления продублирована и дает возможность диспетчеру переключить «неисправную функцию» на исправный контур управления со своего пульта управления на вверенном ему участке.

4.3.1. Технические характеристики конденсатора ЭК303

Запас электроэнергии, Дж	58000
Число рабочих циклов	1000000
Напряжение, В	1,6
Размеры, мм	98,5×82,5×207
Рабочий диапазон температур, С°	от –50 до + 50
Масса, кг	2,5



БРТ(А)- блок резисторного торможения;
БКН- блок конденсаторных накопителей;
ППН- преобразователь постоянного напряжения;
ЭБУ- электронный блок управления
М1...М4- мотор- колеса

Рис. 8. Функциональная схема высоковольтного оборудования силового привода



Рис. 9. Конденсатор типа ЭК 303



Рис. 10. Электронный блок управления мотор-колесами S30



Рис. 11. Мотор-колесо ММ-61

4.3.2. Технические характеристики мотор-колеса ММ-61

Номинальная мощность, кВт	10
Пусковая мощность, кВт	30
Максимальный крутящий момент, Нм	500
Максимальная частота вращения, мин ⁻¹	1300
Номинальное напряжение, В	300
КПД	0,93
Диаметр, мм	350
Длина, мм	110
Масса, кг	19

4.3.3. Технические характеристики электронного блока управления S30

Максимальное напряжение, В	750
Максимальный ток, А	270
Номинальная частота, кГц	16
Напряжение питания, В	9—18/18—36
Потребляемая мощность, Вт	15
Размеры, мм	85×210×240
Масса, кг	4
Управление	ШИМ (или 2-х позиционный контроллер)

4.4. Ходовая система

Ходовая система моно-юнибуса (см. рис. 12) — четырехколесная (возможны варианты с увеличенным количеством колес — до 8 шт.). Каждая пара колес установлена на балансирной тележке, обеспечивающей качание в продольной плоскости, для обеспечения непрерывного контакта колес с рельсом-струной, и поворот в горизонтальной плоскости, для обеспечения прохождения поворота с минимальным радиусом 9 м.

Для исключения схода моно-юнибуса со струнной трассы в ходовой системе предусмотрены два страховочных ролика, размещенные снизу рельса-струны, которые могут быть использованы в качестве поджимных для увеличения тягового усилия, создаваемого мотор-колесами.

Для предотвращения передачи высокочастотных колебаний на корпус моно-юнибуса каждое колесо имеет амортизирующую прослойку. Кроме того, подвижность всех шарнирных соединений в ходовой системе обеспечена посредством применения упругих шумо- и вибропоглощающих элементов.

4.5. Тормозная система

Тормозная система моно-юнибуса — электрогидравлическая двухконтурная. Функциональная схема изображена на рис. 13.

Тормозная система включает:

- электронасос (140—160 Bar);
- гидроаккумулятор;
- главный тормозной цилиндр (в варианте прототипа, для испытаний, предусмотрен педальный узел);
- электронный блок;
- колесные модуляторы давления;
- аварийные клапаны;
- тормозные механизмы дискового типа.

Конструкция тормозного механизма обеспечивает функционирование тормозов в качестве остановочных и стояночных (см. рис. 14). В нужный момент (штатного или аварийного режима функционирования) автоматика или диспетчер или оператор (при испытаниях прототипа) активизирует тормозную систему, которая автоматически повышает давление в рабочих тормозных цилиндрах, прижимая тормозные колодки к дискам. После чего срабатывает электромеханический стопор и «запирает» тормоза.

4.6. Электрооборудование

Электрооборудование состоит из систем: электропитания, внутреннего освещения и сигнализации.

Система электропитания моно-юнибуса обеспечивает электропитание всех штатных систем, электропитание аварийных систем, подзарядку накопителей (конденсаторов) на станции во время высадки-посадки пассажиров.

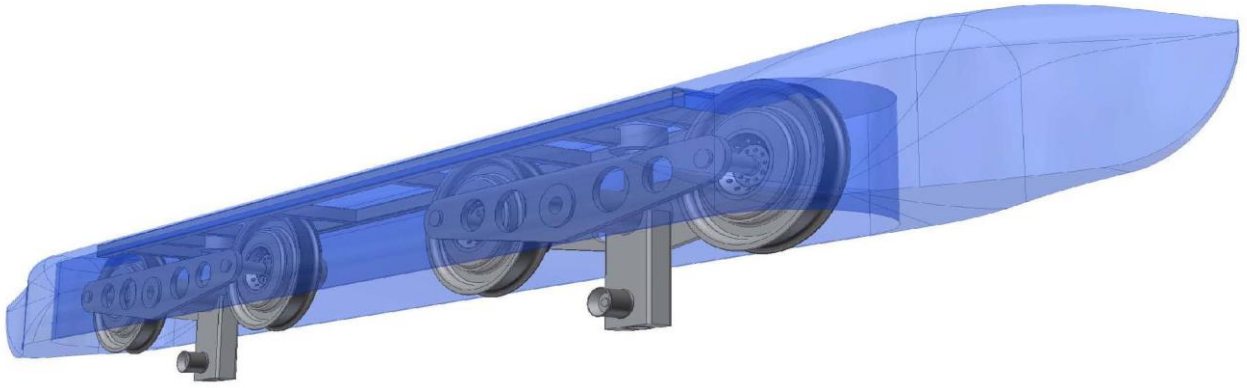


Рис. 12. Ходовая система транспортного модуля.

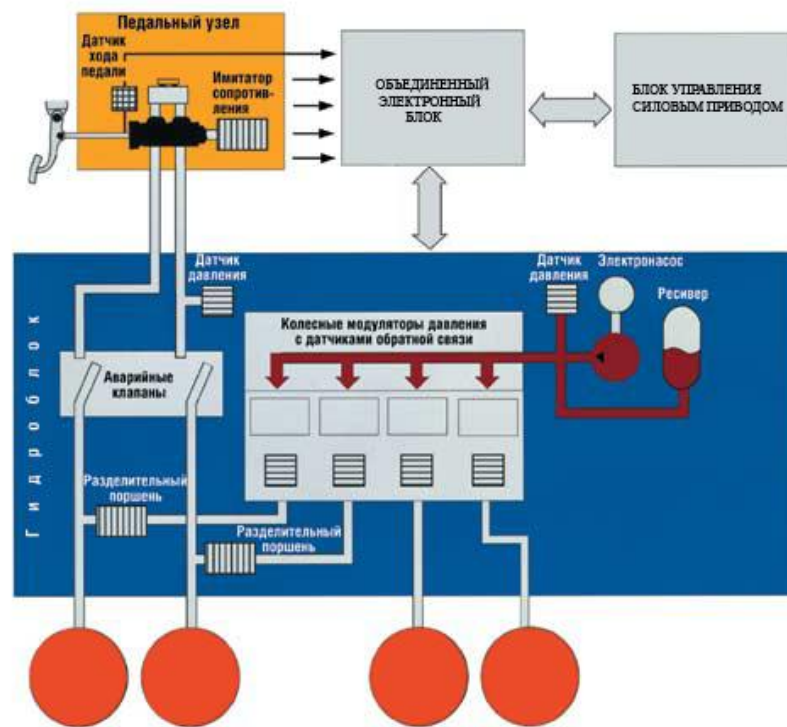


Рис. 13. Функциональная схема электрогидравлических тормозов



Рис. 14. Тормозной механизм

Система электропитания моно-юнибуса включает конденсаторы, блок трансформаторов, токосъемные штанги для подзарядки конденсаторов от стационарной сети на пассажирских станциях, автоматов защиты сети и коммутирующей аппаратуры.

Номинальное напряжение питания низковольтных цепей постоянного тока 24 В. Низковольтная система питания включает в себя основную и аварийную системы. При включении аварийной цепи питания обеспечивается возможность включения:

- аварийной сигнализации;
- аварийного освещения пассажирского салона и входных дверей;
- радиосвязи и радиомаяка;
- аварийной вентиляции;
- аварийного торможения;

Система внешнего и внутреннего освещения моно-юнибуса обеспечивает: освещение внутри пассажирского салона, работу сигнализации аварийного состояния систем моно-юнибуса, аварийное освещение салона.

Предусмотрено два режима освещения:

- основной (освещенность салона не менее 100 лк на уровне 0,86 м от уровня пола);
- аварийный (освещенность салона не менее 20 лк на уровне 0,86 м от уровня пола).

Система сигнализации обеспечивает подачу звуковых сигналов.

Система звуковой сигнализации состоит из звукового излучателя и электронного блока.

Система звуковой сигнализации обеспечивает: подачу звуковых сигналов при открывании и закрывании дверей, при въезде на станцию и движении по перрону, подачу предупредительных звуковых сигналов при поломке или аварийной остановке моно-юнибуса.

Тембр, тональность и мелодичность звука информационные, оригинальные (не повторяют звуки существующих транспортных средств).

4.7. Система вентиляции

Система вентиляции салона принудительная с помощью вентиляторов. Два вентилятора (см. рис. 15) установлены на крыше моно-юнибуса. На входе в вентиляторы установлены жалюзи с приводом. Во время движения моно-юнибуса жалюзи частично закрыты, а вентиляторы работают не на полную мощность. Во время остановки на станции открываются двери салона и жалюзи вентиляторов, включаются вентиляторы на полную мощность. За время нахождения моно-юнибуса на станции происходит замена воздуха салона воздухом станции. Воздух, находившийся в салоне, выбрасывается через крышу наружу. После

закрытия дверей уменьшается мощность вентиляторов и частично закрываются жалюзи, чтобы улучшить аэродинамические характеристики моно-юнибуса при последующем скоростном движении.

4.8. Система радиосвязи и аудиоинформации

Состав системы связи: микрофон, приемопередатчик, антенна, антенно-фидерное устройство, речевой информатор.

В радиостанции используется частотная модуляция, диапазон звуковых частот информационного сигнала 300—3400 Гц. Минимальный разнос соседних каналов 25 кГц, число рабочих каналов до 80.

Мощность передатчика не менее 15 Вт.

Микрофон и речевой информатор размещены в пассажирском салоне.

Антенна и антенно-фидерное устройство размещены в крыше моно-юнибуса.

4.9. Оборудование специальное

4.9.1. Система пожаротушения

Состоит из: датчиков температуры, генераторов огнетушащего аэрозоля МАГ (внешний вид и устройство см. рис. 16, 17), расположенных в отсеках силового привода и электронного оборудования.

Технические характеристики генератора огнетушащего аэрозоля МАГ

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



Рис. 15. Электровентилятор системы вентиляции



Рис. 16. Внешний вид генераторов огнетушащего аэрозоля МАГ



Рис. 17. Устройство генератора огнетушащего аэрозоля МАГ

При возникновении пожара на пульте диспетчера загорается табло и звучит прерывистый звуковой сигнал с частотой 1,5—2,5 Гц.

В пассажирском салоне установлены углекислотные огнетушители.

4.9.2. Система эвакуации

В исключительных случаях (при необходимости) может производиться эвакуация моно-юнибуса с перегона. Для обеспечения эвакуации моно-юнибус снабжен шаровым стыковочным узлом, расположенным спереди и сзади отсека силового привода.

Эвакуация должна осуществляться следующим способом:

Неисправный моно-юнибус находится на перегоне. Ситуация возможна в исключительных случаях:

- отключились все контуры привода тяговых электродвигателей. (Возможная причина: разрядились все накопители одновременно, прервалось питание всех контуров привода тяговых двигателей (повреждение электропроводки во всех контурах одновременно. Следствие: моно-юнибус не доехал до станции вследствие нехватки мощности привода);
- заклинило одно или несколько колес. (Возможная причина: механическая поломка. Следствие: моно-юнибус не доехал до станции в результате появления дополнительного сопротивления качению, нехватки компенсационной мощности привода);
- произвольно включился привод рабочих тормозов одного или двух контуров. (Возможная причина: неисправность в электронном блоке управления, ошибка диспетчера, механическая поломка. Следствие: моно-юнибус не доехал до станции в результате появления дополнительного сопротивления качению, нехватки компенсационной мощности привода);
- пожар в силовом отсеке. (Возможная причина: не сработала система автоматического тушения пожара и не выдержала специальная защитная изоляция). Следствие: моно-юнибус не доехал до станции в результате короткого замыкания привода тяговых двигателей, нехватки компенсационной мощности привода).

С ближайшей к моно-юнибусу станции по рельсу-струне направляется специальный малогабаритный буксирный тягач, до этого хранящийся в боксе на верхней станции моноСТЮ, управляемый оператором. В качестве источника электроэнергии буксирный тягач может быть оборудован дизель-генератором. Для обеспечения необходимого сцепления колес с рельсом тягач снабжается специальным поджимным устройством, которое обеспечит требуемую тягу, необходимую для вытягивания аварийного моно-юнибуса наверх.

После стыковки тягач буксирует неисправный моно-юнибус на станцию.

При невозможности эвакуации моно-юнибуса при помощи буксирного тягача, предусматривается эвакуация людей с моно-юнибуса при помощи вертолета. Для этого предусмотрена возможность разблокировки дверей снаружи. Кроме этого, моно-юнибус снабжен тросовым эвакуатором альпинистского типа, с помощью которого пассажиры поочередно смогут спуститься на землю.

4.10. Механизм открывания дверей

Вход и выход пассажиров осуществляется через две двери, расположенные в средней части моно-юнибуса с левой и правой сторон.

Состав механизма открывания дверей: электродвигатель, редуктор, пульт управления, электронный блок управления, дежурное освещение, механический замок. Внешний вид механизма открывания показан на рис. 18.

Механизм открывания дверей 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 двери. Закрытая дверь фиксируется механическим замком. Во время движения моно-юнибуса механический замок двери блокируется от открывания. При попытке несанкционированного открывания двери во время движения для достижения эффекта предупреждения включается звуковая сигнализация у диспетчера, а на панели диспетчера загорается табло красного цвета.

Ширина проема двери — 1200 мм. Открывание двери сопровождается звуковым сигналом и световой сигнализацией. В аварийной ситуации при невозможности открывания двери в автоматическом режиме, предусмотрена возможность разблокировки и открывания двери вручную из пассажирского салона на станции и только в исключительных случаях снаружи на перегоне.



Рис. 18. Внешний вид механизма открывания двери

5. Технико-экономическое обоснование разработки, стоимостные показатели основных ценообразующих комплектующих систем прототипа моно-юнибуса

5.1. Технико-экономическое обоснование затрат энергии на работу моно-юнибуса

Суточное потребление электроэнергии моно-юнибусом составит (при эксплуатации юнибуса 20 часов в сутки и использовании в качестве накопителей электроэнергии конденсаторов типа ЭК303 компании «ЭСМА») около 100 кВт×ч, т.к. средняя мощность, развиваемая моно-юнибусом, с учетом остановок на станциях, составляет около 5 кВт.

Срок службы накопителей электроэнергии (при использовании в качестве накопителей электроэнергии конденсаторов типа ЭК303 компании «ЭСМА») при соблюдении правил эксплуатации может достигать 20 лет.

5.2. Стоимостные показатели основных ценообразующих комплектующих систем прототипа моно-юнибуса

№	Система	Производитель	Ориентировочная стоимость комплекта, USD	Примечание
1.	Силовой привод (четыре мотор-колеса с системой управления каждым мотор-колесом)	Magnet-Motor, Германия	310.000	Стоимость приведена с инженерными услугами компании Magnet-Motor.
2.	Ходовая часть (колеса с подвеской)	Bonatrans a.S. Bohumin, Чехия	10.000	Стоимость приведена с инженерными услугами компании Bohumin
3.	Двери с механизмами их открывания	HUBNER, Германия	24.000	Стоимость приведена с инженерными услугами компании HUBNER
4.	Тормозная система	ATE, Германия	15.000	Стоимость приведена с инженерными услугами компании ATE

№	Система	Производитель	Ориентировочная стоимость комплекта, USD	Примечание
5.	Система автоматического управления движением	ГНПО «Агат», Белоруссия	120.000	Стоимость приведена с инженерными услугами ГНПО «Агат»
6.	Накопители электроэнергии	Конденсаторы ЭК303 «ЭСМА», РФ	44.500	
7.	Кузов и силовой отсек	ООО «Этон», Белоруссия	76.500	
	Всего:		600.000	

В дальнейшем, по мере увеличения объема выпуска, стоимость комплектующих будет снижаться в разы, а в отдельных случаях и на порядок (стоимость поставок согласована с фирмами-производителями).

6. Организация разработки и производства моно-юнибуса

6.1. Сроки разработки

Сроки разработки определяются отдельным договором.

6.2. Головной разработчик и соисполнители разработки

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

Соисполнители разработки:

- Magnet-Motor, Германия;
- Vonatrans a.S. Bohumin, Чехия;
- АТЕ, Германия;
- HUBNER, Германия;
- ГНПО «Агат», Белоруссия.

6.3. Количество изготавливаемых опытных образцов, место проведения испытаний

Изготавливаемая партия — 2 образца.

Место проведения испытаний:

- стационарные испытания — на производственных площадях изготовителя.
- ходовые испытания — в составе монострунной транспортной системы в г. Ставрополе.

6.4. Изготовитель опытного образца

Изготовитель опытного образца — ООО «Этон», Белоруссия



115487, Москва, ул. Нагатинская, 18/29
тел./факс: (495) 680-52-53, 116-15-48
e-mail: info@unitsky.ru
http: //www.unitsky.ru

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный конструктор
ООО «Струнный транспорт Юницкого»

_____ А.Э. Юницкий

« ____ » _____ 2006 г.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ
на городской пассажирский
рельсовый автомобиль (моно-юнибус)
для условий города Ставрополя

(422П-0000010ТЗ)

Содержание технического задания

1. Наименование, шифр и область применения	44
2. Основание для разработки.....	44
3. Разработчик.....	44
4. Изготовитель	44
5. Цель и назначение разработки	44
6. Источники финансирования.....	44
7. Технические требования.....	45
7.1. Требования назначения.....	45
7.2. Состав образца.....	45
7.3. Конструктивные требования	46
7.4. Требования экономного использования сырья, материалов, топлива и энергии.....	47
7.5. Требования к стойкости к внешним воздействиям.....	48
7.6. Требования надежности.....	49
7.7. Требования технологичности.....	49
7.8. Требования безопасности и охрана окружающей среды.....	50
7.9. Требования к взаимозаменяемости и унификации	50
7.10. Требования эргономики.....	51
7.11. Требования к патентной чистоте	51
7.12. Требования к составным частям образца, исходным эксплуатационным материалам	52
7.13. Условия эксплуатации, требования к техническому обслуживанию и ремонту.....	58
7.14. Требования к транспортированию и хранению.....	59
7.15. Требование к метрологическому обеспечению.....	59
7.16. Дополнительные требования.....	59
8. Экономические показатели	60
9. Стадии, этапы разработки и отчетность по этапам.....	60
10. Порядок контроля и приемки.....	61
11. Количество изготавливаемых опытных образцов.....	61
12. Примечание	61

1. Наименование, шифр и область применения

Городской пассажирский рельсовый автомобиль — моно-юнибус.

Шифр образца — Ю-422П.

Пассажирский транспорт.

2. Основание для разработки

Основанием для разработки городского пассажирского рельсового автомобиля (моно-юнибуса) является инициатива вице-мэра города Ставрополя Уткина Андрея Валентиновича, необходимость решения острой транспортной проблемы в городе по перевозке пассажиров, а также возможность обеспечения всепогодной и круглогодичной доступности микрорайонов города.

3. Разработчик

Общество с ограниченной ответственностью «Струнный транспорт Юницкого» (ООО «СТЮ»), г. Москва.

4. Изготовитель

ООО «ЭТОН», Республика Беларусь, г. Минск.

5. Цель и назначение разработки

Целью разработки товарного образца моно-юнибуса является проверка конструкторских и технологических решений и уточнение отдельных характеристик для использования их при разработке конструкций подвесного подвижного состава для пассажирских трасс моноСТЮ в г. Ставрополе.

Моно-юнибус разрабатывается впервые, заменяемое изделие отсутствует.

6. Источники финансирования

Администрация г. Ставрополя.

7. Технические требования

7.1. Требования назначения

Моно-юнибус предназначен для перевозки пассажиров в количестве до 40 человек.

7.2. Состав образца

Перечень основных конструкторских групп приведен в таблице 1 (перечень может быть скорректирован в процессе проектирования).

Таблица 1

Перечень узлов и агрегатов, входящих в товарный образец моно-юнибуса

Группа	Перечень узлов, систем и агрегатов	Краткая характеристика базового узла, системы или агрегата	Примечание
10 00	Силовой привод	Электропривод оригинальный	Покупка
10 40	Система охлаждения силового привода	Система оригинальная жидкостная	Покупка основных элементов
13 12	Система автоматического управления движением	Оригинальная	Покупка основных элементов
13 02	Система управления рабочим и стояночным тормозом	Система оригинальная, двухконтурный электрогидропривод. Конструкция тормозной скобы обеспечивает управление, как рабочим, так и стояночным тормозами.	Покупка основных элементов
12 10	Ходовая часть	Подвеска оригинальная. Ось оригинальная с дисковым тормозом.	Покупка основных элементов

Группа	Перечень узлов, систем и агрегатов	Краткая характеристика базового узла, системы или агрегата	Примечание
18 70	Отсек для накопителей энергии	Оригинальный. С системой вентиляции	
18 67	Отсек электронного оборудования	Оригинальный	
16 60	Система аудиоинформации	Оригинальная	Покупка основных элементов
20 00	Электрооборудование	Оригинальное. Бортовая сеть однопроводная, номинальным напряжением 24 В, определяется после выбора двигателя и основных элементов.	Покупка основных элементов
14 41	Система радиосвязи	Радиостанция, передатчик	Покупка основных элементов
18 90	Кузов пассажирского юнибуса	Оригинальный, несущий, имеет силовой металлический каркас и стеклянные унифицированные панели	
17 40	Оборудование специальное	Система пожаротушения.	Покупка основных элементов
		Сцепное устройство для эвакуации моно-юнибуса.	
17 50	Механизм открывания дверей	Оригинальный	Покупка основных элементов

7.3. Конструктивные требования

- 7.3.1 Число пассажирских мест (условное, определяется соображениями удобного размещения пассажиров с учетом высокого уровня комфортабельности), чел. 40
- 7.3.2. Масса снаряженного моно-юнибуса, кг, не более 2500
- 7.3.3. Полная масса моно-юнибуса, кг, не более 5500

7.3.4.	Габаритные размеры, мм:	
	– длина с буксировочными устройствами	7000
	– ширина	2310
	– высота габаритная	4230
	– ширина на уровне пола — габаритная	2040
	– высота от верхней точки рельса-струны до нижней точки пассажирской кабины	3655
7.3.5.	База (расстояние между осями колес в тележке), мм	1200
7.3.6.	Расстояние между осями тележек	2400
7.3.7.	Количество приводных колес	4
7.3.8.	Максимальная конструкционная скорость движения, не менее, км/ч	135
7.3.9.	Радиопомехи, излучаемые работающими механизмами и системами моно-юнибуса, не должны влиять на работу бортовой системы управления и систем связи, включая телевизионные и радиоканалы	
7.3.10.	Все элементы моно-юнибуса должны быть устойчивы к моющим средствам, а элементы, расположенные в агрегатном отсеке, кроме того, к эксплуатационным жидкостям и материалам	

7.4. Требования экономного использования сырья, материалов, топлива и энергии

Экономические показатели экспериментального городского пассажирского моно-юнибуса, учитывая его назначение, настоящим Техническим заданием не оговариваются.

Для повышения экономической эффективности и конкурентоспособности моно-юнибуса на стадии его проектирования должны быть минимизированы его основные характеристики:

- коэффициент аэродинамического сопротивления корпуса;
- мидель корпуса;
- масса моно-юнибуса;
- коэффициент сопротивления качению колеса;
- мощность вспомогательных систем,

не ухудшая при этом комфортность и безопасность для пассажиров, с целью уменьшения расхода энергии на единицу транспортной работы во всем диапазоне скоростей движения.

Кроме этого, необходимо оптимизировать значение показателя «цена / качество» для всех используемых агрегатов, узлов, механизмов, материалов отделки и т.д., как оригинальных, так и покупных.

7.5. Требования стойкости к внешним воздействиям

7.5.1. Климатические факторы

Значение температуры окружающего воздуха при эксплуатации:

- верхнее рабочее значение $+45^{\circ}\text{C}$;
- нижнее рабочее значение -30°C

Перепад температур окружающего воздуха при заезде моно-юнибуса в помещение или выезде из него на улицу в зимнее время может достигать 50°C .

Рабочее значение относительной влажности воздуха:

- верхнее значение — 100%;
- среднегодовое значение — 80% при температуре $+20^{\circ}\text{C}$.

В эксплуатации моно-юнибус подвергается воздействию атмосферных осадков: дождь, снег, град, снежная крупа, морось, а также атмосферных конденсированных осадков: роса, иней, изморозь.

При хранении моно-юнибуса на открытой площадке допускается накопление снега на крыше модуля.

7.5.2. Механические факторы

Группа условий эксплуатации в части воздействия механических факторов М25 по ГОСТ 17516.1-90.

7.5.3. Электрические факторы

В процессе эксплуатации возможно воздействие на кузов моно-юнибуса электрического разряда молнии.

7.6. Требования надежности

Ресурс, не менее:

- | | |
|---|--|
| – для кузова | 20 лет |
| – для деталей и узлов, периодически заменяемых в процессе эксплуатации, принять периодичность замены: | |
| – для токосъемников | по необходимости |
| – для конденсаторов | после 1.000.000 циклов зарядки |
| – для тормозных колодок | определяется системой сигнализации об износе тормозных колодок |
| – для резиновых втулок шарниров и резиновых подушек | по необходимости |
| – для амортизаторов | по необходимости |
| – для других покупных узлов и агрегатов | определяется рекомендациями изготовителей |

Показатели надежности готовых агрегатов и узлов, используемых в конструкции моно-юнибуса, определяются техническими условиями фирм - поставщиков.

Гарантии на покупные изделия, входящие в состав моно-юнибуса, должны обеспечиваться фирмами-поставщиками в соответствии с условиями договоров на поставку этих изделий.

7.7. Требования технологичности

Конструкция моно-юнибуса должна быть технологичной и позволять организацию серийного производства.

7.8. Требования безопасности и охрана окружающей среды

Конструкция всех агрегатов моно-юнибуса должна исключать подтекание смазочных материалов и других эксплуатационных жидкостей.

Уровень радиопомех, создаваемых моно-юнибусом во всех режимах движения, не должен превышать значений, установленных нормативным документом: «Общесоюзные нормы допускаемых промышленных помех 2-88», утвержденным Государственной комиссией по радиопомехам 25.01.1983 г.

Внешний шум, создаваемый моно-юнибусом при движении (за исключением режима экстренного торможения), во всем диапазоне скоростей, не должен превышать требований правил ЕЭК ООН № 51.

Шум внутри пассажирского салона не должен превышать требований ГОСТ Р 51616-2000 и правила ЕЭК ООН № 85.

Температура в салоне и воздухообмен должны соответствовать ГОСТ 50993-96.

Конструкция и крепление съемных защитных панелей, осуществляющих капотирование силового привода, должны обеспечивать:

- защиту от шума;
- защиту от огня (панели должны выдерживать не менее 10—15 минут воздействия на них пламени при возникновении пожара в отсеке силового привода).

На моно-юнибусе должна быть предусмотрена установка двух страхующих роликов, размещенных снизу рельса с небольшим зазором, для предотвращения схода транспортного средства с рельса-струны.

При невозможности самостоятельного движения с места поломки в место, предусмотренное для оказания помощи, моно-юнибус должен иметь возможность транспортировки (в обе стороны) к месту ремонта в сцепке со специальным устройством, которое должно быть отправлено со станции.

Сцепное устройство при соединении с моно-юнибусом должно стыковаться автоматически без участия человека.

7.9. Требования к взаимозаменяемости и унификации

Проектируемый моно-юнибус является первым образцом новой серии разрабатываемых подвесных транспортных средств для монострунной (однорельсовой) путевой структуры.

При проектировании должна быть учтена возможность максимальной унификации узлов, агрегатов и деталей базового модуля с его последующими модификациями.

Для оснащения моно-юнибуса должны максимально использоваться механические узлы, электрические и электронные элементы, агрегаты и отдельные элементы промышленности, отвечающие современным перспективным международным и российским требованиям.

7.10. Требования эргономики

Внешние формы моно-юнибуса должны отвечать его функциональному назначению и стандартам ООО «СТЮ», сочетание цветов окрашиваемых поверхностей должны отвечать требованиям технической эстетики.

Пассажирский салон предусматривается без сидений для пассажиров для времени в пути до 5 минут (дальность поездки до 5 км). В перспективе, при увеличении длины линий СТЮ в г. Ставрополе, возможна установка сидений, тогда общее расположение пассажирских сидений (при их установке), размер проходов, расположение поручней, расположение входных и аварийных выходов должны соответствовать ГОСТ 27815-88 (правила ЕЭК ООН № 36, 52).

Параметры вибрации в салоне, уровень шумовых нагрузок, предельно-допустимые концентрации вредодействующих веществ и другие эргономические показатели должны отвечать требованиям соответствующих стандартов «Системы стандартов безопасности труда».

Для отделки салона моно-юнибуса должны быть использованы материалы из числа «антивандальных».

7.11. Требования к патентной чистоте

Разработка пассажирского моно-юнибуса защищена следующими патентами на изобретения (автор и патентообладатель А. Э. Юницкий):

- Патент Российской Федерации № 2211890 «Транспортная система»;
- Патент Российской Федерации № 2203195 «Высокоскоростной транспортный модуль транспортной системы Юницкого»;
- Евразийский патент № 003533 «Высокоскоростной транспортный модуль»;
- Евразийский патент № 005017 «Струнная транспортная система (варианты), способ изготовления и монтажа пролетного отрезка струнной рельсовой нити»
- Евразийский патент № 005534 «Транспортная система»;

Конструкция моно-юнибуса, его агрегаты, узлы должны быть проверены на патентную чистоту.

Для обеспечения конкурентоспособности проектируемого моно-юнибуса на внешнем рынке обеспечить:

- соответствие общим мировым требованиям и стандартам к легковым и пассажирским транспортным средствам;
- разработку необходимых комплектаций для стран с различными климатическими условиями и специфическими требованиями на этапе технического проекта.

7.12. Требования к составным частям моно-юнибуса, исходным эксплуатационным материалам

7.12.1. Силовой привод

В качестве тягового привода на моно-юнибусе должен использоваться электропривод с системой автоматического управления движением и дублированием управления с диспетчерского пункта.

Колеса моно-юнибуса должны быть двухребордные, металлические, профиль поверхности катания должен быть согласован с геометрическими параметрами и формой головки рельса. Внешний элемент колеса (бандаж) должен соединяться с центральной частью колеса через полимерную (резиновую) прослойку для снижения шума, возникающего при качении колеса по рельсу, и гашения высокочастотных колебаний, обусловленных микронеровностями (до 0,5 мм) рабочих поверхностей рельса и колеса.

7.12.2. Система питания

Система питания должна быть электрической от накопителей энергии с емкостью не менее 2 МДж и необслуживаемой.

7.12.3. Тормозная система и системы управления остановочным и стояночным тормозами

Тормозная система моно-юнибуса включает в себя остановочную и стояночную системы.

Остановочный тормоз должен обеспечивать плавное замедление моно-юнибуса (исключающее блокировку колес) до полной остановки и надежное фиксирование моно-юнибуса.

Стояночный тормоз должен обеспечивать надежное фиксирование моно-юнибуса в депо или на площадке ремонта.

Тормозная система должна быть снабжена сигнализаторами неисправной работы основной системы и включения стояночного тормоза.

7.12.4. Кузов пассажирского моно-юнибуса

Пассажирский кузов выполнен несущим, форма кузова — высокоаэродинамична и выполнена из стеклянных унифицированных панелей с использованием металлических элементов и конструкций. Кузов подвешен на двух штангах к тележкам ходовой системы, расположенной над головкой рельса-струны.

Общая (силовая) схема кузова состоит из:

- основания (несущего пола), выполненного в виде «сэндвич-панели» со встроенными стальными прямоугольными профилями и усилителями;
- крыши, выполненной аналогично основанию;
- вертикальных и сегментных стоек, выполненных из стальных труб прямоугольного, круглого или овального сечения, расположенных между крышей и основанием;
- боковых стёкол, выполненных в виде стеклопакета с максимальной унификацией.

Кузов разделен на следующие конструктивно-функциональные зоны:

- закрытые (герметичные) отсеки электронного оборудования, расположенные в передней и задней частях кузова, отделенных от пассажирского салона специальными перегородками;
- пассажирский салон (зона), в котором могут комфортно разместиться не менее 40 пассажиров;
- зона входа-выхода пассажиров через две двери, расположенных слева и справа в средней части моно-юнибуса.

7.12.5. Отсек силового привода

Отсек силового привода (зона) располагается отдельно от пассажирского салона над головкой рельса-струны и имеет высокоаэродинамичную форму.

Отсек силового привода включает в себя: обтекатель, силовой привод, ходовую систему, систему охлаждения силового привода и другое необходимое оборудование.

Обтекатель обеспечивает шумоизоляцию, возможность проезда изгибов пути в горизонтальной и вертикальной плоскостях, пожарную безопасность пассажирского салона. Конструкция обтекателя обеспечивает свободный доступ к агрегатам, требующим

технического обслуживания, и защищает от попадания на пассажирскую кабину смазочных материалов, охлаждающих жидкостей и т.д.

К отсеку силового привода на двух штангах подвешивается пассажирский кузов. Штанги закрыты высокоаэродинамичными обтекателями, аналогичными по форме обтекателям пассажирской кабины и отсека силового привода.

7.12.6. Система управления моно-юнибусом

На моно-юнибусе предусмотрена автоматическая система управления движением и оборудованием. Управляющие датчики располагаются как на путевой структуре, станциях, так и на моно-юнибусе непосредственно. Следуя по контролируемому диспетчером участку, моно-юнибус автоматически передает на пульт диспетчера полную информацию о работоспособности всех, в том числе и дублирующих, систем. Каждая связь управления продублирована и дает возможность диспетчеру переключить «неисправную функцию» на исправный контур управления со своего пульта управления на вверенном ему участке.

7.12.7. Отсеки электронного оборудования

В отсеках электронного оборудования расположены: накопители энергии, электронные, коммуникационные блоки и прочее оборудование.

7.12.8. Электрооборудование

Электрооборудование состоит из систем: электропитания, внутреннего освещения и сигнализации.

Система электропитания моно-юнибуса обеспечивает электропитание всех штатных систем, аварийных систем, силового привода. Подзарядка накопителей энергии осуществляется на станции во время высадки-посадки пассажиров.

Система электропитания моно-юнибуса состоит из: накопителей энергии для питания всех систем моно-юнибуса, токосъемных штанг для подзарядки накопителей от стационарной сети на пассажирских станциях, дистанционного разъединителя массы, автоматов защиты сети и коммутирующей аппаратуры.

Токосъемные штанги расположены на отсеке силового привода.

Номинальное напряжение питания низковольтных цепей постоянного тока должно быть 24 В. Электрооборудование должно надежно работать при колебаниях напряжения в диапазоне 18—31 В. Низковольтные цепи питания модуля должны быть выполнены по однопроводной схеме — отрицательные выводы источника и потребителей электроэнергии должны быть соединены с массой (корпусом модуля), который выполняет функцию второго

провода.

Низковольтная система питания должна состоять из основной системы и аварийной. При включении аварийной цепи питания должна быть обеспечена возможность включения:

- аварийного торможения;
- аварийной сигнализации;
- аварийного освещения пассажирского салона и входных дверей;
- радиосвязи и радиомаяка;
- аварийной вентиляции.

Каждая электрическая цепь защищена отдельным предохранителем. Все предохранители сгруппированы в отдельный распределительный щит. Каждый предохранитель четко идентифицирован относительно схемы, которую он должен защищать.

Электрическая проводка имеет двойную изоляцию. Все электрические провода увязаны в жгуты и защищены изолирующими трубками.

Источники электроэнергии размещены в отсеке вспомогательного оборудования, имеющем вентиляционную систему.

Система внешнего и внутреннего освещения моно-юнибуса обеспечивает освещение внутри пассажирского салона, работу наружной сигнализации, аварийное освещение салона.

Система внешнего и внутреннего освещения состоит из фонарей сигналов торможения, габаритных боковых фонарей, внутренних светильников пассажирского салона и входа в моно-юнибус, фонарей освещения отсека силового агрегата и отсеков вспомогательного оборудования, фонарей освещения аварийного выхода.

Включение габаритных огней осуществляется при движении в темное время суток, а также при автоматическом включении аварийного выключателя «Аварийная сигнализация». Режим свечения в аварийном режиме — мигающий, частота включения 1,5—2,5 Гц.

Внутреннее освещение салона должно обеспечивать нормативное освещение мест для размещения пассажиров.

Управление освещением салона осуществляется с диспетчерского пункта. Предусмотрено два режима освещения:

- основной (освещенность салона не менее 100 лк на уровне 0,86 м от уровня пола);
- аварийный (освещенность салона не менее 20 лк на уровне 0,86 м от уровня пола).

Фонари освещения отсека силового агрегата и отсека вспомогательного оборудования размещены в зонах установки основных агрегатов. Фонари должны иметь индивидуальный выключатель.

Система сигнализации должна обеспечивать подачу звуковых сигналов.

Система звуковой сигнализации состоит из звукового излучателя и электронного блока.

Система звуковой сигнализации осуществляет подачу звуковых сигналов при открывании и закрывании дверей, при въезде на станцию и движении по перрону, подачу предупредительных звуковых сигналов при поломке или аварийной остановке моно-юнибуса.

Тембр, тональность и мелодичность звука выполнены информационными, оригинальными (не повторяют звуки существующих транспортных средств и основаны на звуках, издаваемых инструментом звонница и похожих на колокольный звон), и должны привлекать внимание пассажиров (а не пугать их и не раздражать), а при аварийных ситуациях — предупреждать диспетчера на станции и ассоциироваться со струнным транспортным средством (моно-юнибусом).

7.12.9. Система радиосвязи и аварийной аудиоинформации

Система радиосвязи и аварийной аудиоинформации обеспечивает радиосвязь с диспетчерским пунктом маршрута следования и должна работать в режиме радиомаяка при возникновении аварийной ситуации.

В состав системы связи входят: микрофон, приемопередатчик (радиостанция), антенна, антенно-фидерное устройство, громкоговоритель.

Радиостанция должна обеспечивать связь с однотипными радиостанциями или радиостанциями других типов, имеющих одинаковые частоты связи и сигналы взаимодействия.

В радиостанции должна использоваться частотная модуляция, диапазон звуковых частот информационного сигнала 300—3400 Гц. Минимальный разнос соседних каналов 25 кГц, число рабочих каналов до 80.

Мощность передатчика должна быть не менее 15 Вт.

Микрофон, приемопередатчик и громкоговоритель размещены в пассажирском салоне.

Антенна и антенно-фидерное устройство размещены в крыше моно-юнибуса. Устройства не должны выступать за пределы наружной поверхности.

7.12.10. Оборудование специальное

Система пожаротушения состоит из: датчиков температуры, генераторов огнетушащего аэрозоля МАГ (кассеты), которые должны быть расположены в отсеках силового привода и электронного оборудования, и системы индикации.

При возникновении пожара на пульте диспетчера должно загораться табло и звучать прерывистый звуковой сигнал с частотой 1,5—2,5 Гц.

В пассажирском салоне должны быть установлены углекислотные огнетушители.

7.12.11. Система эвакуации

В исключительных случаях (при необходимости) должна быть предусмотрена возможность эвакуации моно-юнибуса с перегона. Для обеспечения эвакуации моно-юнибус должен быть снабжен шаровым стыковочным узлом, расположенным спереди и сзади силового отсека.

Эвакуация должна осуществляться следующим способом. С ближайшей станции к неисправному юнибусу по рельсу-струне должен направиться буксирный тягач, управляемый оператором. В качестве источника электроэнергии буксирный тягач может быть оборудован дизель-генератором. Буксирный тягач должен иметь сцепное устройство цангового типа с автоматической сцепкой. После стыковки тягач буксирует неисправный моно-юнибус на станцию. На станции диспетчер должен обеспечить эвакуацию пассажиров.

Информация о способе эвакуации и действиях пассажиров в экстренных ситуациях должна находиться в доступных для пассажиров местах.

При невозможности эвакуации моно-юнибуса при помощи буксировочного устройства, должна быть предусмотрена эвакуация людей с моно-юнибуса при помощи вертолета либо тросового эвакуатора альпинистского типа. Для этого должна быть предусмотрена возможность разблокировки дверей снаружи.

Моно-юнибус должен быть снабжен системой определения скорости движения и иметь возможность дистанционного регулирования диспетчером скорости движения.

7.12.12. Механизм открывания дверей

Вход и выход пассажиров осуществляется через две двери, расположенные по обе стороны моно-юнибуса в средней части.

Механизм открывания дверей должен приводиться в движение электрическим двигателем. Если при закрытии двери в проеме находится препятствие (человек, багаж и т.п.), он должен автоматически открыть дверь, не причинив вреда (травмы) препятствию, зажатому дверью.

Закрытая дверь должна фиксироваться механическим замком. Во время движения моно-юнибуса механический замок двери должен блокироваться от открывания. При попытке несанкционированного открывания двери во время движения должны включиться звуковая сигнализация и загореться табло красного цвета на панели у диспетчера.

Ширина проема двери должна быть не менее 1200 мм. Открывание двери должно сопровождаться звуковым сигналом и световой сигнализацией.

В аварийной ситуации при невозможности открывания двери в автоматическом режиме, должна быть предусмотрена возможность разблокировки и открывания двери

вручную из пассажирского салона на станции и, только в исключительных случаях, снаружи на перегоне.

7.13. Условия эксплуатации, требования к техническому обслуживанию и ремонту

7.13.1. Дорожные условия

Эксплуатация моно-юнибуса должна осуществляться по струнной дороге, размещенной между башнями-опорами на высоте 50—100 м и более над поверхностью земли (у опор), с максимальным прогибом (отклонением от прямой линии) не более 30 м на пролете 1000 м и не более 60 м — на пролете 2000 м, с максимальным углом подъема-спуска не более 7° (12%), с коэффициентом сопротивления качению колес не более 0,005, с коэффициентом сцепления колеса с рельсом не менее 0,125. Расстояние между остановочными пунктами должно составлять не более 2000 м.

7.13.2. Режимы и особенности движения

Моно-юнибус должен иметь возможность осуществлять следующие маневры:

- остановки на остановочных пунктах при посадке и высадке пассажиров,
- при аварийной остановке в середине перегона, исключая возможность отката назад;
- движение на перегоне: пуск, разгон, выбег и торможение.

Время пребывания моно-юнибуса в движении в течение суток может достигать 20 часов.

7.13.3. Динамические нагрузки

Время разгона моно-юнибуса до максимальной скорости при полной массе определяется только профилем трассы и величиной максимального перепада высот между станциями и серединой трассы (двигатели должны компенсировать только аэродинамические и механические потери при движении моно-юнибуса).

Максимальное ускорение при разгоне модуля — не более $1,25 \text{ м/с}^2$.

Установившееся замедление модуля при рабочем торможении должно быть не более $1,25 \text{ м/с}^2$.

Максимальная скорость движения на перегоне может достигать 133 км/ч (при перепаде высот между концами и серединой перегона в 70 м с учетом провиса под действием веса моно-юнибуса).

7.14. Требования к транспортированию и хранению

Должны быть разработаны специальные захваты (крепления) для погрузки-выгрузки моно-юнибуса и для его транспортировки без повреждения наружной пластиковой оболочки и стеклянных панелей (стеклопакетов). Места расположения таких креплений — элементы стальной рамы (каркаса).

Моно-юнибусы должны отправляться в собранном виде в зависимости от места нахождения потребителя и требований заказа: без упаковки — железнодорожным, речным или морским транспортом или специальными автоприцепами. Должна быть предусмотрена возможность блочного транспортирования моно-юнибуса (силовой привод, кузов и т.д.).

7.15. Требование к метрологическому обеспечению

Правила и нормы метрологического обеспечения должны соответствовать требованиям стандартов государственной системы измерений.

7.16. Дополнительные требования

На моно-юнибусе в передней и задней частях силового блока должны быть предусмотрены устройства для присоединения буксирного устройства. Буксирное устройство на моно-юнибусе должно представлять собой горизонтально расположенный стержень со сферой на конце, размещенный спереди и сзади силового привода моно-юнибуса по его центру. При буксировке сфера должна охватываться цанговым зажимом, являющимся принадлежностью буксирного устройства. Буксировочный захват должен быть подпружинен для исключения сильного удара во время стыковки (при относительной скорости стыковки моно-юнибуса и сцепного устройства до 3 км/ч).

Конструкция агрегатов и узлов моно-юнибуса должна быть ориентирована на агрегатный (блочный) метод ремонта.

Для выполнения работ по техническому обслуживанию и ремонту моно-юнибуса, связанных с подъемом его корпуса, должны быть предусмотрены места для применения домкратов или иных специальных приспособлений.

Нормализованные детали и комплектующие изделия (подшипники, уплотнительные кузовные профили, манжетные уплотнения, крепежные детали и т.п.), а также конструкционные материалы, должны выбираться, как правило, из перечня продукции выпускаемой промышленностью. Материалы, применяемые в моно-юнибусе, не должны

быть взрывоопасны, легковоспламенимы и токсичны при горении.

Проработать применение автоматизированного комплексного (стендового) диагностирования и ремонта моно-юнибуса.

8. Экономические показатели

Экономические показатели экспериментального городского пассажирского рельсового автомобиля, учитывая его назначение, настоящим Техническим заданием не оговариваются.

9. Стадии, этапы разработки и отчетность по этапам

№ этапа	Наименование этапа	Исполнитель	Отчетность
1.	Разработка комплекта рабочей конструкторской документации	ООО «СТЮ»	Комплект рабочей конструкторской документации
2.	Изготовление образца в соответствии с требованиями настоящего ТЗ	ООО «СТЮ», ООО «ЭТОН»	Опытный образец
3.	Проведение предварительных испытаний	ООО «СТЮ», ООО «ЭТОН»	Программа и акт испытаний
4.	Корректировка документации и доработка образца по результатам предварительных испытаний	ООО «СТЮ», ООО «ЭТОН»	Комплект откорректированной документации и доработанный образец
5.	Проведение приемо-сдаточных испытаний	Заказчик	Программа и акт испытаний
6.	Корректировка документации по результатам приемо-сдаточных испытаний (при необходимости)	ООО «СТЮ», ООО «ЭТОН»	Комплект откорректированной документации и доработанный образец
7.	Проведение повторных приемо-сдаточных испытаний (при необходимости)	Заказчик	Программа и акт испытаний

10. Порядок контроля и приемки

Образец изготавливается по рабочей конструкторской документации, разработанной ООО «Струнный транспорт Юницкого».

Порядок выполнения работ и приемка осуществляется в соответствии с СТБ 1080-97.

Порядок проведения испытаний образца определяется отдельной программой испытаний.

По результатам выполнения работ заказчику представляется:

- образец моно-юнибуса в количестве — 1 штуки;
- эксплуатационная документация на образец — 1 экземпляр.

Вся документация должна быть разработана в соответствии с требованиями ЕСКД.

11. Количество изготавливаемых опытных образцов

Изготавливаемая партия — 2 образца.

12. Примечание

Данное техническое задание может уточняться в процессе выполнения работ в установленном порядке.



115487, Москва, ул. Нагатинская, 18/29
тел./факс: (495) 680-52-53, 116-15-48
e-mail: info@unitsky.ru
http: //www.unitsky.ru

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный конструктор
ООО «Струнный транспорт Юницкого»

_____ А.Э. Юницкий

« ____ » _____ 2006 г.

ТЯГОВО-ДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ
пассажирского рельсового автомобиля (моно-юнибуса)
для условий города Ставрополя
(для трассы моноСТЮ с пролетами 2000 м)

(422П-0000010РР)

Содержание тягово-динамического расчета

1. Введение	64
2. Исходные данные	64
3. Условия.....	65
4. Допущения	65
5. Определение параметров дуги	65
6. Определение количества энергии, затраченной юнибусом на преодоление сил сопротивления.....	66
7. Расчет количества накопителей электроэнергии, необходимого для преодоления сил сопротивления.....	74
8. Расчет количества накопителей электроэнергии, необходимого для кондиционирования воздуха при прохождении всего участка пути.....	76
9. Расчет количества накопителей электроэнергии, необходимого для обогрева воздуха при прохождении всего участка пути.....	77
10. Расчет количества накопителей электроэнергии, необходимого для перемещения юнибуса из нижней точки траектории (дуги) до станции (аварийный режим).....	78
11. Определение срока службы и суточной стоимости накопителей электроэнергии при эксплуатации их на юнибусе	81
12. Проверка возможности движения юнибуса по условиям сцепления.....	82
13. Оценка воздействия боковой ветровой нагрузки на юнибус	82
14. Определение мощности тягового электродвигателя и его выбор.....	83
15. Выводы	84
16. Используемая литература.....	85

1. Введение

Целью настоящего расчета являются:

- определение минимального запаса электроэнергии на борту моно-юнибуса Ю-422П, необходимого для преодоления им пролета в 2000 м между станциями. Расчет производится исходя из максимального использования сил гравитации;
- определение минимального запаса электроэнергии на борту моно-юнибуса Ю-422П, необходимого для перемещения юнибуса из нижней точки траектории (дуги) до станции (аварийный режим) с перепадом высот в 70 м;
- определение минимально необходимого количества трех разных типов накопителей электроэнергии;
- определение срока службы накопителей и их суточной эксплуатационной стоимости;
- проверка возможности движения юнибуса по условиям сцепления;
- оценка воздействия боковой ветровой нагрузки на юнибус;
- определение мощности тягового электродвигателя и его выбор (для безредукторного варианта).

Расчет ведется для 2-х опорного варианта трассы (один пролет длиной 2000 м) струнного монорельса.

2. Исходные данные

Масса юнибуса	$m = 5500$ кг
Снаряженная масса юнибуса	$m_1 = 2500$ кг
Коэффициент сопротивления качению колеса юнибуса (для мягкой стали и бронзы с учетом потерь в подшипниках качения)	$f = 0,005$
Коэффициент лобового аэродинамического сопротивления юнибуса	$C_w = 0,1$
Коэффициент сцепления колеса с рельсом	$\varphi = 0,12$
Размер лобовой площади юнибуса (мидель)	$A = 4,8$ м ²
Плотность воздуха	$\rho = 1,202$ кг/м ³
Длина пролета трассы моноСТЮ	$S = 2000$ м
Провис рельса-струны на пролете (суммарный: строительный провис и прогиб рельса-струны под действием веса моно-юнибуса)	$h = 70$ м

Время восстановления запаса электроэнергии на станции	$t = 60$ с
Мощность обогревателя воздуха в салоне	$N_{об} = 10000$ Вт
Мощность компрессора кондиционера	$N_{кон} = 6000$ Вт
Средний КПД эл. двигателей	$\eta_1 = 0,85$
КПД привода кондиционера	$\eta_2 = 0,8$

3. Условия

Скорость встречного ветра	$V_B = 15$ м / с
---------------------------	------------------

4. Допущения

Приняты следующие допущения:

- траекторией движения юнибуса является дуга окружности, которая определяется хордой в 2000 м (соответствует длине пролета $S = 2000$ м) и стрелкой хорды в 70 м (соответствует провису струны $h = 70$ м);
- потери в электрических цепях не учитываются;
- расчет производится без учета момента инерции колес юнибуса, что ожидаемо, ухудшит результаты на 2—3%.

5. Определение параметров дуги

Радиус дуги определяются по формуле:

$$r = (S^2 + 4 \cdot h^2) / (8 \cdot h) = (2000^2 + 4 \cdot 70^2) / (8 \cdot 70) = 7177,86 \text{ м}$$

Синус половины центрального угла определяется по формуле:

$$\sin \alpha / 2 = S / (2 \cdot r) = 2000 / (2 \cdot 7177,86) = 0,1393,$$

Тогда $\alpha / 2 = 8^\circ = 480'$

6. Определение количества энергии, затраченной юнибусом на преодоление сил сопротивления

Для определения характеристик движения юнибуса перегон разбивается на две симметричные части — А и В (см. рис. 19). Обе части одинаковые и соответствуют половине центрального угла дуги окружности, принятой за траекторию движения юнибуса. На части перегона А юнибус движется вниз по траектории. Разгон происходит исключительно за счет сил гравитации. Часть В траектории движения юнибуса является зеркально полностью тождественной части А за исключением того, что транспортное средство движется с отрицательным ускорением, постепенно затормаживаясь. Торможение осуществляется исключительно за счет сил гравитации. Потери энергии на преодоление сил сопротивления на обоих участках компенсируются бортовым источником электроэнергии. Все параметры движения части А зеркально полностью соответствуют части В. Поскольку потенциальная энергия моно-юнибуса будет переходить с помощью сил гравитации в кинетическую на спуске (и наоборот при подъеме) с КПД = 100%, то любая другая схема работы подвижного состава (например, с использованием рекуператора энергии) будет менее эффективна, т.к. КПД рекуператора не может быть равен 100%.

Для определения параметров движения часть А разбиваем на 64 участка. Каждый участок соответствует углу $0,125^\circ(7,5')$.

Длина участка определяются по формуле:

$$\Delta L = (\beta_i - \beta_{i-1}) \cdot 2 \cdot \pi \cdot r / 360^\circ = 15,65966 \text{ м}$$

Скорость юнибуса в конце каждого участка определяется по формуле:

$$V_i = (2 \cdot h_i \cdot g)^{0,5}, \text{ м/с,}$$

где:

$h_i = r \cdot (\cos \beta_i - \cos \alpha / 2)$ — провисание струны в конце i -го участка.

Результаты — см. таблицу 2.

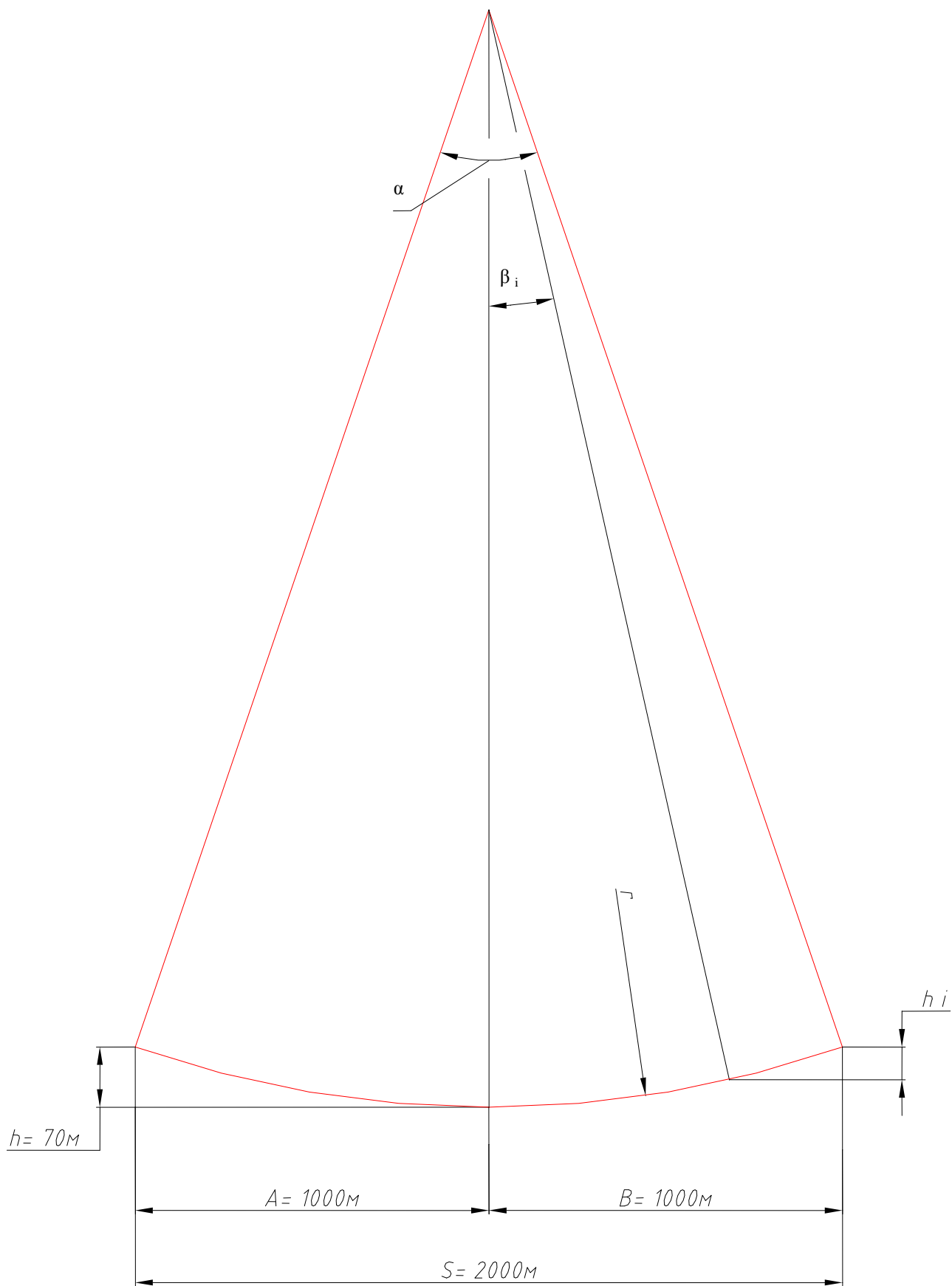


Рис. 19. Принятая траектория движения юнибуса

Изменение скорости движения юнибуса в зависимости от пройденного пути

$\beta,^\circ$	$\beta, \text{рад}$	$L, \text{ м}$	$h_i, \text{ м}$	$V_i, \text{ м/с}$	$V_i, \text{ км/час}$
8	0,13962634	0,000		0	0
7,875	0,137444679	15,660	2,162	6,510	23,435
7,75	0,135263017	31,319	4,291	9,171	33,014
7,625	0,133081355	46,979	6,386	11,187	40,275
7,5	0,130899694	62,639	8,447	12,867	46,320
7,375	0,128718032	78,298	10,474	14,328	51,580
7,25	0,126536371	93,958	12,467	15,632	56,274
7,125	0,124354709	109,618	14,426	16,815	60,535
7	0,122173048	125,277	16,351	17,902	64,448
6,875	0,119991386	140,937	18,243	18,909	68,073
6,75	0,117809725	156,597	20,100	19,849	71,455
6,625	0,115628063	172,256	21,924	20,729	74,626
6,5	0,113446401	187,916	23,714	21,559	77,612
6,375	0,11126474	203,576	25,470	22,343	80,434
6,25	0,109083078	219,235	27,191	23,086	83,109
6,125	0,106901417	234,895	28,879	23,791	85,649
6	0,104719755	250,555	30,533	24,463	88,067
5,875	0,102538094	266,214	32,153	25,104	90,373
5,75	0,100356432	281,874	33,739	25,715	92,575
5,625	0,09817477	297,534	35,291	26,300	94,681
5,5	0,095993109	313,193	36,809	26,860	96,695
5,375	0,093811447	328,853	38,293	27,396	98,625
5,25	0,091629786	344,513	39,742	27,910	100,475
5,125	0,089448124	360,172	41,158	28,403	102,249
5	0,087266463	375,832	42,540	28,875	103,951
4,875	0,085084801	391,492	43,888	29,329	105,585
4,75	0,082903139	407,151	45,202	29,765	107,154
4,625	0,080721478	422,811	46,481	30,183	108,660
4,5	0,078539816	438,471	47,727	30,585	110,107
4,375	0,076358155	454,130	48,939	30,971	111,495

$\beta,^\circ$	$\beta, \text{рад}$	L, м	$h_i, \text{ м}$	$V_i, \text{ м/с}$	$V_i, \text{ км/час}$
4,25	0,074176493	469,790	50,116	31,341	112,829
4,125	0,071994832	485,449	51,260	31,697	114,109
4	0,06981317	501,109	52,369	32,038	115,337
3,875	0,067631509	516,769	53,445	32,365	116,515
3,75	0,065449847	532,428	54,486	32,679	117,645
3,625	0,063268185	548,088	55,493	32,980	118,727
3,5	0,061086524	563,748	56,466	33,268	119,763
3,375	0,058904862	579,407	57,405	33,543	120,755
3,25	0,056723201	595,067	58,310	33,806	121,703
3,125	0,054541539	610,727	59,180	34,058	122,608
3	0,052359878	626,386	60,017	34,298	123,472
2,875	0,050178216	642,046	60,820	34,526	124,295
2,75	0,047996554	657,706	61,588	34,744	125,077
2,625	0,045814893	673,365	62,322	34,950	125,821
2,5	0,043633231	689,025	63,022	35,146	126,525
2,375	0,04145157	704,685	63,688	35,331	127,192
2,25	0,039269908	720,344	64,320	35,506	127,822
2,125	0,037088247	736,004	64,918	35,671	128,414
2	0,034906585	751,664	65,482	35,825	128,970
1,875	0,032724923	767,323	66,011	35,970	129,491
1,75	0,030543262	782,983	66,506	36,104	129,976
1,625	0,0283616	798,643	66,967	36,229	130,425
1,5	0,026179939	814,302	67,394	36,345	130,841
1,375	0,023998277	829,962	67,787	36,450	131,221
1,25	0,021816616	845,622	68,146	36,547	131,568
1,125	0,019634954	861,281	68,470	36,634	131,881
1	0,017453293	876,941	68,761	36,711	132,160
0,875	0,015271631	892,601	69,017	36,780	132,406
0,75	0,013089969	908,260	69,239	36,839	132,619
0,625	0,010908308	923,920	69,427	36,889	132,799
0,5	0,008726646	939,580	69,581	36,929	132,946
0,375	0,006544985	955,239	69,700	36,961	133,060
0,25	0,004363323	970,899	69,786	36,984	133,142

$\beta,^\circ$	$\beta, \text{рад}$	L, м	$h_i, \text{ м}$	$V_i, \text{ м/с}$	$V_i, \text{ км/час}$
0,125	0,002181662	986,559	69,837	36,997	133,191
0	0	1002,218	69,854	37,002	133,207

Время прохождения каждого участка определяется по формуле:

$$t_i = \Delta L / V_{\text{ср}i}, \text{ с,}$$

где:

$V_{\text{ср}i} = (V_{i-1} + V_i) / 2$ — средняя скорость движения по i -му участку в м / с.

Результаты — см. таблицу 3.

Таблица 3

Параметры движения юнибуса по части А (В) перегона

$\beta,^\circ$	$R_i, \text{ Н}$	$P_i, \text{ Н}$	$N, \text{ Вт}$	$A_i, \text{ Дж}$
8	0,000	334,500	0,000	0,000
7,875	3,056	337,556	1098,719	5286,017
7,75	17,733	352,233	2761,577	5515,842
7,625	29,890	364,390	3709,116	5706,222
7,5	41,728	376,228	4524,912	5891,611
7,375	53,335	387,835	5273,462	6073,366
7,25	64,732	399,232	5980,358	6251,839
7,125	75,928	410,428	6658,537	6427,158
7	86,926	421,426	7315,395	6599,386
6,875	97,729	432,229	7955,481	6768,553
6,75	108,337	442,837	8581,722	6934,677
6,625	118,752	453,252	9196,059	7097,769
6,5	128,973	463,473	9799,794	7257,836
6,375	139,002	473,502	10393,804	7414,881
6,25	148,838	483,338	10978,672	7568,908
6,125	158,481	492,981	11554,772	7719,919
6	167,932	502,432	12122,327	7867,914

$\beta, ^\circ$	Ri, H	Pi, H	N, Вт	Ai, Дж
5,875	177,190	511,690	12681,451	8012,894
5,75	186,256	520,756	13232,176	8154,860
5,625	195,129	529,629	13774,474	8293,813
5,5	203,810	538,310	14308,271	8429,751
5,375	212,298	546,798	14833,459	8562,675
5,25	220,594	555,094	15349,904	8692,585
5,125	228,697	563,197	15857,454	8819,481
5	236,608	571,108	16355,941	8943,362
4,875	244,327	578,827	16845,190	9064,228
4,75	251,852	586,352	17325,019	9182,078
4,625	259,185	593,685	17795,239	9296,913
4,5	266,326	600,826	18255,663	9408,731
4,375	273,274	607,774	18706,099	9517,533
4,25	280,029	614,529	19146,359	9623,318
4,125	286,592	621,092	19576,256	9726,085
4	292,962	627,462	19995,605	9825,835
3,875	299,139	633,639	20404,223	9922,566
3,75	305,123	639,623	20801,932	10016,279
3,625	310,915	645,415	21188,559	10106,973
3,5	316,513	651,013	21563,934	10194,648
3,375	321,919	656,419	21927,893	10279,303
3,25	327,132	661,632	22280,275	10360,938
3,125	332,152	666,652	22620,927	10439,552
3	336,980	671,480	22949,698	10515,146
2,875	341,614	676,114	23266,447	10587,718
2,75	346,056	680,556	23571,033	10657,269
2,625	350,304	684,804	23863,326	10723,799
2,5	354,359	688,859	24143,198	10787,306
2,375	358,222	692,722	24410,529	10847,791
2,25	361,891	696,391	24665,203	10905,254
2,125	365,368	699,868	24907,110	10959,693
2	368,651	703,151	25136,148	11011,110
1,875	371,742	706,242	25352,217	11059,503

$\beta, ^\circ$	R_i, H	P_i, H	$N, \text{Вт}$	$A_i, \text{Дж}$
1,75	374,639	709,139	25555,227	11104,873
1,625	377,343	711,843	25745,091	11147,219
1,5	379,854	714,354	25921,728	11186,541
1,375	382,172	716,672	26085,065	11222,839
1,25	384,297	718,797	26235,031	11256,113
1,125	386,228	720,728	26371,564	11286,363
1	387,967	722,467	26494,607	11313,588
0,875	389,512	724,012	26604,108	11337,788
0,75	390,865	725,365	26700,022	11358,963
0,625	392,024	726,524	26782,308	11377,114
0,5	392,990	727,490	26850,932	11392,239
0,375	393,762	728,262	26905,865	11404,340
0,25	394,342	728,842	26947,085	11413,415
0,125	394,728	729,228	26974,575	11419,466
0	394,921	729,421	26988,322	11422,491

Сила аэродинамического сопротивления на i -м участке определяется по формуле:

$$R_i = 0,5 \cdot \rho \cdot C_w \cdot A \cdot V_{cp}^2, \text{ Н.}$$

Результаты — см. таблицу 3.

Сила сопротивления движению юнибуса на i -м участке определяется по формуле:

$$P_i = R_i + F + P_B, \text{ Н.}$$

где:

$F = G \cdot f = 53900 \cdot 0,005 = 269,5 \text{ Н}$, — сила сопротивления качению колес,

$G = m \cdot g = 5500 \cdot 9,8 = 53900 \text{ Н}$, — вес юнибуса ,

$P_B = 0,5 \cdot \rho \cdot C_w \cdot A \cdot V_B^2 = 0,5 \cdot 1,202 \cdot 0,1 \cdot 4,8 \cdot 15^2 = 65 \text{ Н}$, — дополнительная сила сопротивления от встречного лобового ветра,

где:

$V_B = 15 \text{ м/с}$ — скорость встречного ветра.

Результаты — см. таблицу 3.

Мощность, требующаяся для преодоления сил сопротивления движению юнибуса на i -м участке, определяется по формуле:

$$N_i = V_{\text{ср}i} \cdot P_i, \text{ Вт.}$$

Результаты — см. таблицу 3 и в виде графика — на рис. 20.

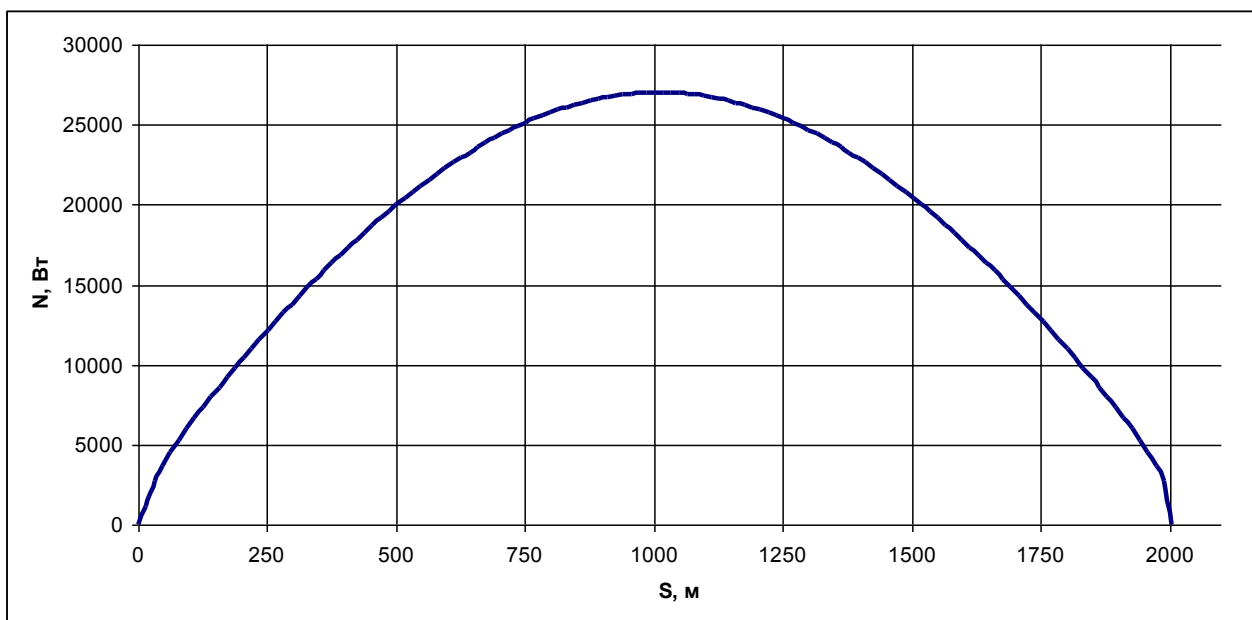


Рис. 20. Мощность, затрачиваемая на преодоление сил сопротивления движению юнибуса на перегоне длиной 2000 м и с перепадом высот 70 м

Работа, производимая силой сопротивления движению юнибуса на i -м участке, определяется по формуле:

$$A_i = N_i \cdot t_i, \text{ Дж.}$$

Результаты — см. таблицу 3.

Общее время движения моно-юнибуса по всему перегону длиной 2000 м определяется по формуле:

$$T = 2 \cdot (t_1 + t_2 + \dots + t_i) = 85,2 \text{ с.}$$

Количество энергии, необходимое для преодоления сил сопротивления на всем участке

перегона, определяется формулой:

$$W = 2 \cdot (A_1 + A_2 + \dots + A_i) = 1197908,5 \text{ Дж.}$$

7. Расчет количества накопителей электроэнергии, необходимого для преодоления сил сопротивления

7.1. Вариант 1

Использование в качестве накопителей электроэнергии суперконденсаторов В48621А7205Q018 фирмы «EPCOS» (Германия)

Основные параметры суперконденсаторов В48621А7205Q018:

Запас электроэнергии	176400 Дж
Число рабочих циклов	500000
Напряжение	42 В
Размеры	552×267×189
Рабочий диапазон температур	от -30 °С до +70 °С
Масса	20 кг
Стоимость	около 2100 USD

Минимальное количество конденсаторов определяем по формуле:

$$n = W / (W_n \cdot k \cdot \eta_1) = 1197908,5 / (176400 \cdot 0,667 \cdot 0,85) = 12 \text{ шт.}$$

где:

W_n — запас электроэнергии одного суперконденсатора;

k — коэффициент рекомендуемой глубины разряда;

η_1 — средний КПД эл. двигателей.

7.2. Вариант 2

Использование в качестве накопителей электроэнергии конденсаторов ЭК303 компании «ЭСМА» (РФ)

Основные параметры конденсаторов ЭК303:

Запас электроэнергии	58000 Дж
Число рабочих циклов	1000000
Напряжение	1,6 В
Размеры	98,5×82,5×207
Рабочий диапазон температур	от –50 °С до +50 °С
Масса	2,5 кг
Стоимость	около 247 USD

Минимальное количество конденсаторов определяем по формуле:

$$n = W / (W_n \cdot k \cdot \eta_1) = 1197908,5 / (58000 \cdot 0,667 \cdot 0,85) = 36,4 \text{ шт. (округленно 37 шт.)}$$

Уточнение: при использовании мотор-колес М-61 количество конденсаторов должно быть больше, т.к. 37 конденсаторов обеспечивают лишь величину напряжения 59,2 В, тогда как номинальное напряжение для М-61 составляет 300 В. Таким образом, количество конденсаторов должно быть около 180 шт.

7.3. Вариант 3

Использование в качестве накопителей электроэнергии аккумуляторных батарей типа «ОРТИМА-850»

Основные параметры аккумуляторной батареи ОРТИМА-850:

Напряжение	12 В
Номинальная емкость	56 Ач
Масса	17,7 кг
Длина	245 мм
Ширина	172 мм
Высота	199 мм
Рабочий диапазон температур	от –40 °С до +60 °С
Отдаваемый ток в стартерном режиме разряда	850 А при –18 °С в течение 30 сек

Допустимое число циклов зарядки при 25% разряде	4000
Допустимое число стартовых циклов	12400
Стоимость	150 USD

Величина снижения общей емкости батарей на всем участке пути определяется по формуле:

$$Q = W / U_{cp} = 114086,5 \text{ А} \cdot \text{с},$$

где:

$U_{cp} = 10,5 \text{ В}$ — среднее напряжение разряда.

Необходимое количество батарей для преодоления сил сопротивления на всем участке пути определяется по формуле:

$$n = Q / (t \cdot I \cdot \eta \cdot \eta_1) = 114086,5 / (60 \cdot 200 \cdot 0,65 \cdot 0,85) = 17,2 \text{ (округленно 17 шт.)},$$

где:

I — принятый зарядный ток на станции, А,

η — коэффициент отдачи энергии батарей.

8. Расчет количества накопителей электроэнергии, необходимого для кондиционирования воздуха при прохождении всего участка пути

Количество энергии, необходимое для кондиционирования воздуха:

$$W_{кон} = N_{кон} \cdot T / \eta_2 = 6000 \cdot 85,2 / 0,8 = 639000 \text{ Дж.}$$

8.1. Вариант 1

Использование в качестве накопителей электроэнергии суперконденсаторов В48621А7205Q018 фирмы «EPCOS» (Германия)

Минимальное количество конденсаторов определяем по формуле:

$$n = W_{\text{кон}} / (W_{\text{н}} \cdot k) = 639000 / (176400 \cdot 0,667) = 5,5 \text{ шт. (округленно 6,0 шт.)}$$

8.2. Вариант 2

Использование в качестве накопителей электроэнергии конденсаторов ЭК303 компании «ЭСМА» (РФ).

Минимальное количество конденсаторов определяем по формуле:

$$n = W_{\text{кон}} / (W_{\text{н}} \cdot k) = 639000 / (58000 \cdot 0,667) = 16,5 \text{ шт. (округленно 17,0 шт.)}$$

8.3. Вариант 3

Использование в качестве накопителей электроэнергии аккумуляторных батарей типа «ОПТИМА-850».

Величина снижения емкости батарей для кондиционирования воздуха определяются по формуле:

$$Q_{\text{к}} = W_{\text{кон}} / U_{\text{ср}} = 639000 / 10,5 = 60857,2 \text{ А} \cdot \text{сек.}$$

Необходимое количество батарей определяется по формуле:

$$n = Q_{\text{к}} / (t \cdot I \cdot \eta) = 60857,2 / (60 \cdot 200 \cdot 0,65) = 7,8 \text{ шт. (округленно 8,0 шт.)}$$

9. Расчет количества накопителей электроэнергии, необходимого для обогрева воздуха при прохождении всего участка пути

Количество энергии, необходимое для обогрева воздуха:

$$W_{\text{об}} = N_{\text{об}} \cdot T = 10000 \cdot 85,2 = 852000 \text{ Дж.}$$

9.1. Вариант 1

Использование в качестве накопителей электроэнергии суперконденсаторов В48621А7205Q018 фирмы «EPCOS» (Германия).

Минимальное количество конденсаторов определяем по формуле:

$$n = W_{об} / (W_H \cdot k) = 852000 / (176400 \cdot 0,667) = 7,3 \text{ шт. (округленно 8,0 шт.)}$$

9.2. Вариант 2

Использование в качестве накопителей электроэнергии конденсаторов ЭК303 компании «ЭСМА» (РФ).

Минимальное количество конденсаторов определяем по формуле:

$$n = W_{об} / (W_H \cdot k) = 852000 / (58000 \cdot 0,667) = 22 \text{ шт.}$$

9.3. Вариант 3

Использование в качестве накопителей электроэнергии аккумуляторных батарей типа «ОПТИМА-850».

Величина снижения емкости батарей при обогреве воздуха определяется по формуле:

$$Q_{об} = W_{об} / U_{cp} = 852000 / 10,5 = 81142,8 \text{ А} \cdot \text{сек.}$$

Необходимое количество батарей определяется по формуле:

$$n = Q_{об} / (t \cdot I \cdot \eta) = 81142,8 / (60 \cdot 200 \cdot 0,65) = 10,4 \text{ шт. (округленно 10,0 шт.)}$$

10. Расчет количества накопителей электроэнергии, необходимого для перемещения юнибуса из нижней точки траектории (дуги) до станции (аварийный режим)

Количество энергии, потребной для подъема юнибуса с глубины провиса струны (70 м) без учета потерь на преодоление сил сопротивления, определяются по формуле:

$$W_1 = m \cdot g \cdot h = 5500 \cdot 9,8 \cdot 70 = 3773000 \text{ Дж.}$$

Количество энергии, необходимой для преодоления сил сопротивления, определяется по формуле:

$$W_2 = (F + P_v) \cdot L = (269,5 + 65) \cdot 1002,2 = 335235,9 \text{ Дж},$$

где:

L — путь, пройденный юнибусом (половина дуги, см. таблицу 2).

Примечание: при расчете учитываются только сила F сопротивления качению и сила P_v от действия встречного ветра. Силы аэродинамического сопротивления при движении моно-юнибуса не учитываются, т.к. скорость аварийного перемещения будет низкой и не будет превышать 10 км/час.

Общее количество энергии, необходимой для перемещения юнибуса из нижней точки траектории до станции, определяется формулой:

$$W_a = W_1 + W_2 = 3773000 + 335235,9 = 4108235,9 \text{ Дж}.$$

10.1. Вариант 1

Использование в качестве накопителей электроэнергии суперконденсаторов В48621А7205Q018 фирмы «EPCOS» (Германия).

Минимальное количество конденсаторов определяется по формуле:

$$n = W_a / (W_n \cdot k \cdot \eta_1) = 4108235,9 / (176400 \cdot 0,667 \cdot 0,85) = 41 \text{ шт.}$$

10.2. Вариант 2

Использование в качестве накопителей электроэнергии конденсаторов ЭК303 компании «ЭСМА» (РФ).

Минимальное количество конденсаторов определяется по формуле:

$$n = W_a / (W_n \cdot k \cdot \eta_1) = 4108235,9 / (58000 \cdot 0,667 \cdot 0,85) = 124,9 \text{ шт. (округленно 125 шт.)}.$$

Уточнение: при использовании мотор-колес М-61 количество конденсаторов должно быть больше, т.к. 125 конденсаторов обеспечивают лишь величину напряжения 200 В, тогда как номинальное напряжение для М-61 составляет 300 В. Таким образом, количество конденсаторов должно быть около 180 шт.

10.3. Вариант 3

Использование в качестве накопителей электроэнергии аккумуляторных батарей типа «ОПТИМА-850».

Величина снижения емкости батарей определяется по формуле:

$$Q_{об} = W_a / U_{cp} = 4108235,9 / 10,5 = 391260,6 \text{ А} \cdot \text{сек.}$$

Необходимое количество батарей определяется по формуле:

$$n = Q_{об} / (t \cdot I \cdot \eta \cdot \eta_l) = 391260,6 / (60 \cdot 200 \cdot 0,65 \cdot 0,85) = 59,01 \text{ шт. (округленно 59 шт.)}$$

Результаты расчета минимально необходимого количества накопителей электроэнергии и их стоимости — см. таблицы 4 и 5.

Таблица 4

Минимально необходимое количество накопителей электроэнергии

Тип накопителя	n, шт (штатный режим)			Аварийный режим (тяга)		Штатный режим (тяга + обогрев)	
	тяга	кондиционер	обогрев	n, шт.	масса, кг	n, шт.	масса, кг
B48621A7205Q018	12	6	8	41	820	20	400
ЭК 303	180	17	22	180	450	202	505
ОПТИМА-850	17	8	10	59	1044	27	478

Таблица 5

Стоимость минимально необходимого количества накопителей электроэнергии в USD

Тип накопителя	Штатный режим (тяга + обогрев)	Аварийный режим (тяга)
B48621A7205Q018	42000	86100
ЭК 303	49894	44460
ОПТИМА-850	4050	8850

11. Определение срока службы и суточной стоимости накопителей электроэнергии при эксплуатации их на юнибусе

Принимается, что:

- моно-юнибус эксплуатируется с полной нагрузкой 18 часов (1080 мин) в сутки;
- продолжительность одного цикла «заряд-разряд» 2,5 мин (1,5 мин — время движения; 1 мин – время восполнения энергии).

В этом случае число циклов «заряд-разряд» за одни сутки составит 432 раза.

Срок службы накопителей определятся по следующей формуле:

$$Z = N / 432, \text{ суток,}$$

где:

N — число допустимых рабочих циклов соответствующего накопителя.

Результаты — см. таблицу 6.

Таблица 6

Срок службы и суточная эксплуатационная стоимость накопителей электроэнергии

Тип накопителя	Z, суток	C _{сут} , USD / сут
B48621A7205Q018	1157,4	74,4
ЭК 303	3247	13,7
ОПТИМА-850	28,7	308,4

Суточная эксплуатационная стоимость накопителей электроэнергии определятся по формуле:

$$C_{\text{сут}} = C / Z, \text{ USD / сут,}$$

где:

C — стоимость комплекта накопителей электроэнергии (см. таблицу 5, аварийный режим).

Результаты — см. таблицу 6.

12. Проверка возможности движения юнибуса по условиям сцепления

Для движения колес юнибуса без скольжения необходимо соблюдение условия:

$$P_{\text{сц}} \geq P_{\text{max}},$$

где:

$P_{\text{сц}}$ — сила тяги по условиям сцепления колеса с рельсом;

P_{max} — наибольшая сила сопротивления движению юнибуса на наиболее крутом участке пути.

$$P_{\text{сц}} = \varphi \cdot G \cdot \cos \alpha / 2 = 0,12 \cdot 53900 \cdot \cos 8^\circ = 6405 \text{ Н.}$$

$$P_{\text{max}} = G \cdot \sin \alpha / 2 + F + P_{\text{в}} = 53900 \cdot \sin 8^\circ + 269,5 + 65 = 7836 \text{ Н.}$$

$6405 \text{ Н} \leq 7836 \text{ Н}$ — условие не соблюдается. Необходимо при аварийном режиме движения на наиболее крутых участках пути (у опор-башен) увеличить сцепление колес с рельсом, например, путем использования мелкодисперсных абразивных материалов (песка), поджима ведущих колес (с помощью страховочных роликов, размещенных ниже рельса) и др. известными методами.

13. Оценка воздействия боковой ветровой нагрузки на юнибус

Сила боковой ветровой нагрузки определяется по формуле:

$$F_{\text{б}} = 0,5 \cdot \rho \cdot C_w \cdot S_{\text{бок}} \cdot V_{\text{в}}^2 = 0,5 \cdot 1,202 \cdot 0,8 \cdot 12,6 \cdot 15^2 = 1363 \text{ Н,}$$

где:

$S_{\text{бок}} = 12,6 \text{ м}^2$ — площадь продольного сечения салона,

$C_w = 0,8$ — коэффициент бокового аэродинамического сопротивления юнибуса.

Угол крена юнибуса под воздействием боковой ветровой нагрузки определяется из уравнения:

$$\sin 2\gamma = 2 \cdot F_{\text{б}} / G_{\text{с}},$$

где:

γ — угол крена;

G_c — вес салона юнибуса (принято, что масса салона составляет 0,85 массы юнибуса).

Результаты — см. таблицу 7.

Таблица 7

Угол крена юнибуса под воздействием боковой ветровой нагрузки

Масса юнибуса, кг	G_c , Н	γ , градус
Полная (m)	45815	1,7°
Снаряженная (m_1)	20825	3,76°

14. Определение мощности тягового электродвигателя и его выбор

Аварийный режим. Движение юнибуса у башен-опор по наклонной под углом 8° к горизонту со скоростью $V = 10$ км/час (2,77 м/с):

$$N_3 = P_{\max} \cdot V / \eta_1 = 7836 \cdot 2,77 / 0,85 = 25536 \text{ Вт.}$$

Штатный режим (см. таблицу 2, $\beta = 0^\circ$). Максимальная (пиковая) мощность в середине пролета при скорости 133 км/час:

$$N_3 = 26988,322 / \eta_1 = 26988,322 / 0,85 = 31751 \text{ Вт.}$$

Определение мощности тягового электродвигателя производится по наибольшей потребной мощности:

- для 4-х колесного варианта мощность одного электродвигателя должна быть не ниже 8,0 кВт;
- для 8-ми колесного варианта мощность одного электродвигателя должна быть не ниже 4,0 кВт.

Этим требованиям по мощности удовлетворяет мотор-колесо М-61 производства «Магнет-Мотор», Германия, которое необходимо проверить по допустимой частоте вращения и крутящему моменту.

Проверка мотор-колес М-61 по допустимой частоте вращения и крутящему моменту.

Определение минимального радиуса колеса производится по формуле:

$$r_{\min} = V_{\max} \cdot 30 / (\pi \cdot n_{\text{доп}}) = 37 \cdot 30 / (3,14 \cdot 1300) = 0,27 \text{ м,}$$

где:

$V_{\max} = 37 \text{ м/с}$ — максимальная скорость юнибуса (см. таблицу 3, $\beta = 0^\circ$),

$n_{\text{доп}} = 1300 \text{ мин}^{-1}$ — максимальная допустимая частота вращения мотор-колеса.

Определение потребного суммарного максимального крутящего момента (аварийный режим; движение юнибуса вверх по наклонной под углом 8° к горизонту):

$$M_{\max} = P_{\max} \cdot r_{\min} = 7836 \cdot 0,27 = 2115,72 \text{ Нм.}$$

Определение потребного количества мотор-колес:

$$n_{\min} = M_{\max} / M_{\text{доп}} = 2115,72 / 500 = 4,23,$$

где:

$M_{\text{доп}} = 500 \text{ Нм}$ — максимальный допустимый крутящий момент мотор-колеса.

15. Выводы

Выполненные расчеты позволяют сделать следующие выводы:

- время прохождения моно-юнибусом пролета длиной 2 км составит 85,2 с (без учета движения по переходному участку траектории и по станции);
- максимальная скорость прохождения пролета достигает 133 км/час (в самой низкой точке пути);
- средняя скорость прохождения пролета составит 84,6 км/час;
- для преодоления пролета между станциями на борту юнибуса необходимо иметь запас электроэнергии не менее $1197908,5 / 0,85 = 1409304 \text{ Дж}$;
- для перемещения юнибуса из нижней точки траектории (дуги) до станции (аварийный режим) на борту юнибуса необходимо иметь запас электроэнергии не менее $4108235,9 / 0,85 = 4833219 \text{ Дж}$;
- минимально необходимое количество накопителей электроэнергии — см. таблицу 4;

- сроки службы накопителей и их суточную эксплуатационную стоимость — см. таблицу 6;
- по суточной эксплуатационной стоимости предпочтительней использование в качестве накопителей электроэнергии на борту юнибуса конденсаторов ЭК 303 компании «ЭСМА» (РФ);
- на участке траектории, где угол β_1 стремится к $\alpha / 2 = 8^\circ$, аварийное движение юнибуса по условиям сцепления не соблюдается (в штатном режиме движения наклон пути не имеет принципиального значения). Для соблюдения указанного условия необходимо принятие специальных мер, которые бы обеспечили увеличение силы тяги по условиям сцепления колеса с рельсом не менее чем на 1431 Н, или уменьшили бы максимальный угол наклона пути $\alpha / 2$ до $6,5^\circ$;
- угол крена юнибуса под воздействием боковой ветровой нагрузки при скорости ветра 15 м/с (54 км/час) будет достигать:
 - 1,7° — при полной массе юнибуса;
 - 3,76° — при снаряженной массе юнибуса;
- мощность каждого тягового электродвигателя должна быть не менее:
 - 8,0 кВт — при 4-х колесном варианте юнибуса;
 - 4,0 кВт — при 8-ми колесном варианте юнибуса;
- в случае использования в качестве тяговых электродвигателей мотор-колес М-61 производства «Магнет-Мотор», для обеспечения самостоятельного (аварийного) перемещения юнибуса из нижней точки траектории (дуги) до станции (аварийный режим), общее их количество должно быть не менее 5 шт.

16. Использованная литература

- 16.1. Электротехнический справочник, том 2, под редакцией профессоров Московского энергетического института, 1964 г, Москва, издательство «Энергия».
- 16.2. Автомобильный справочник «BOSCH», издательство «За рулем», 1999 г.
- 16.3. В.И. Иларионов и др. «Теория и конструкция автомобиля», издательство «Машиностроение», 1979 г.



115487, Москва, ул. Нагатинская, 18/29
тел./факс: (495) 680-52-53, 116-15-48
e-mail: info@unitsky.ru
http: //www.unitsky.ru

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный конструктор
ООО «Струнный транспорт Юницкого»

_____ А.Э. Юницкий

« ____ » _____ 2006 г.

ТЯГОВО-ДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ
пассажирского рельсового автомобиля (моно-юнибуса)
для условий города Ставрополя
(для трассы моноСТЮ протяженностью 2000 м
с двумя пролетами по 1000 м)

(422П-0000010-01PP)

Содержание тягово-динамического расчета

1. Введение	88
2. Исходные данные	88
3. Условия.....	89
4. Допущения	89
5. Определение параметров дуги	89
6. Определение количества энергии, затраченной юнибусом на преодоление сил сопротивления.....	89
7. Расчет количества накопителей электроэнергии, необходимого для преодоления сил сопротивления.....	96
8. Расчет количества накопителей электроэнергии, необходимого для перемещения юнибуса из нижней точки траектории (дуги) до ближайшей станции (аварийный режим).....	98
9. Определение срока службы и суточной стоимости накопителей электроэнергии при эксплуатации их на моно-юнибусе	100
10. Проверка возможности движения юнибуса по условиям сцепления.....	101
11. Оценка воздействия боковой ветровой нагрузки на юнибус	102
12. Определение мощности тягового электродвигателя и его выбор.....	103
13. Выводы	104
14. Использованная литература.....	106

1. Введение

Целью настоящего расчета являются:

- определение минимального запаса электроэнергии на борту моно-юнибуса, необходимого для преодоления им двух пролетов (по 1 км каждый) между станциями. Расчет производится исходя из максимального использования сил гравитации;
- определение минимального запаса электроэнергии на борту моно-юнибуса, необходимого для перемещения юнибуса из нижней точки траектории (дуги) до станции (аварийный режим);
- определение минимально необходимого количества трех разных типов накопителей электроэнергии;
- определение срока службы накопителей и их суточной эксплуатационной стоимости;
- проверка возможности движения юнибуса по условиям сцепления;
- оценка воздействия боковой ветровой нагрузки на юнибус;
- определение мощности тягового электродвигателя и его выбор (для безредукторного варианта).

Расчет ведется для 3-х опорного варианта трассы (два пролета по 1000 м каждый) струнного монорельса.

2. Исходные данные

Масса юнибуса	$m = 5500$ кг
Снаряженная масса юнибуса	$m_1 = 2500$ кг
Коэффициент сопротивления качению колеса юнибуса (для мягкой стали и бронзы с учетом потерь в подшипниках качения)	$f = 0,005$
Коэффициент лобового аэродинамического сопротивления юнибуса	$C_w = 0,1$
Коэффициент сцепления колеса с рельсом (наименьший)	$\varphi = 0,12$
Размер лобовой площади юнибуса (мидель)	$A = 4,8$ м ²
Плотность воздуха	$\rho = 1,202$ кг/м ³
Длина пролета трассы моноСТЮ	$S = 1000$ м

Провис рельса-струны на пролете (суммарный: строительный провис и прогиб рельса-струны под действием веса моно-юнибуса)	$h = 30$ м
Время восстановления запаса электроэнергии на станции	$t = 60$ с
Средний КПД эл. двигателей	$\eta_1 = 0,85$

3. Условия

Скорость встречного ветра	15 м/с
---------------------------	--------

4. Допущения

Приняты следующие допущения:

- траекторией движения юнибуса является дуга окружности, которая определяется хордой в 1000 м (соответствует длине пролета $S = 1000$ м) и стрелкой хорды в 30 м (соответствует провису струны $h = 30$ м);
- потери в электрических цепях не учитываются;
- расчет производится без учета момента инерции колес юнибуса, что ожидаемо, ухудшит результаты на 2—3 %.

5. Определение параметров дуги

Радиус дуги определяется по формуле:

$$r = (S^2 + 4 \cdot h^2) / (8 \cdot h) = (1000^2 + 4 \cdot 30^2) / (8 \cdot 30) = 4181,67 \text{ м.}$$

Синус половины центрального угла определяется по формуле:

$$\sin \alpha / 2 = S / (2 \cdot r) = 1000 / (2 \cdot 4181,67) = 0,1196,$$

тогда $\alpha / 2 = 6,87^\circ = 6,9^\circ$.

6. Определение количества энергии, затраченной юнибусом на преодоление сил сопротивления

Так как перегон состоит из 2-х одинаковых пролетов, то для определения

характеристик движения юнибуса рассматривается только один пролет, который разбивается на 2 симметричные части — А и В (см. рис. 21).

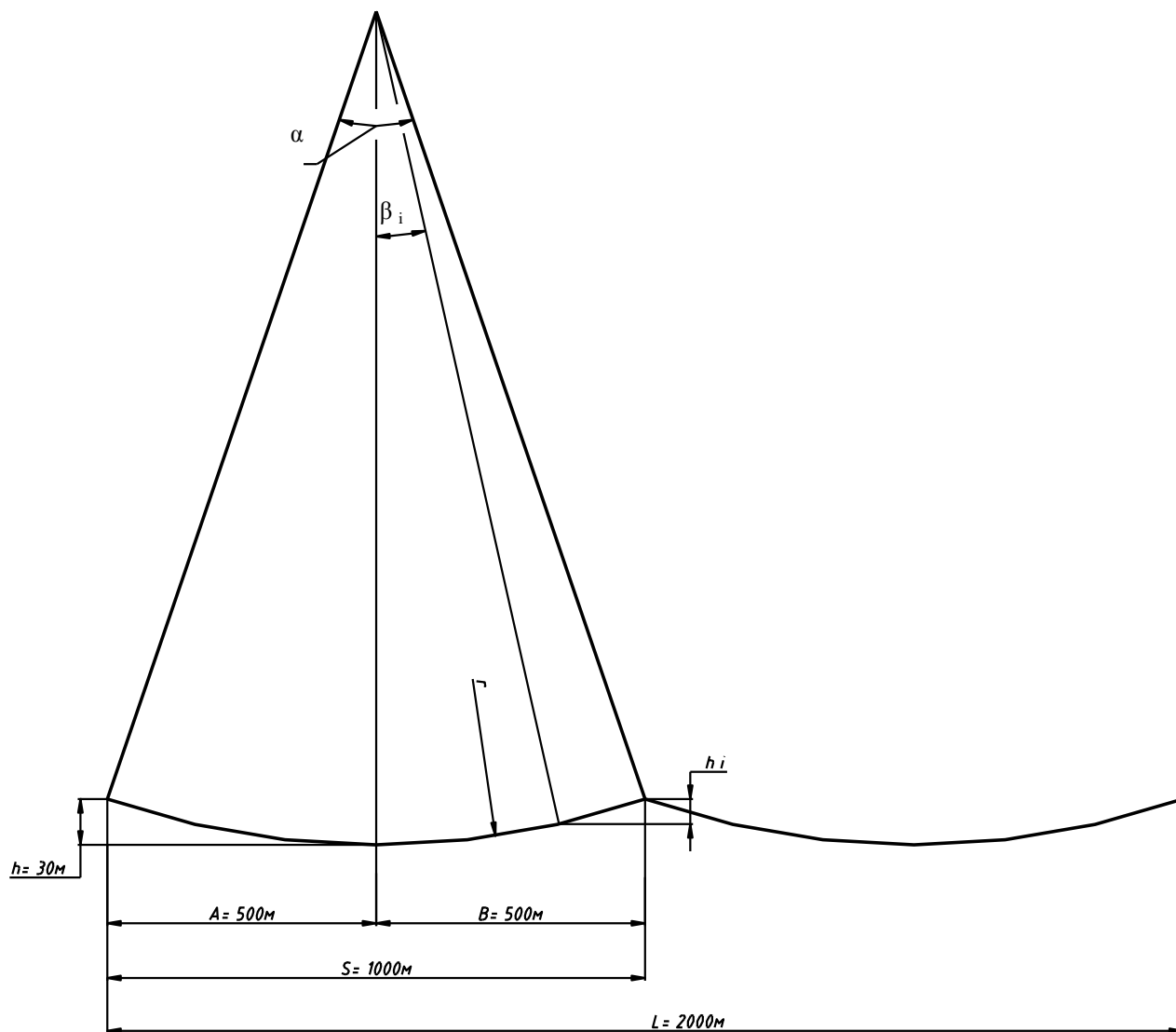


Рис. 21. Принятая траектория движения моно-юнибуса

Обе части А и В одинаковые и соответствуют половине центрального угла дуги окружности, принятой за траекторию движения юнибуса. На части А перегона юнибус движется вниз по траектории. Разгон происходит исключительно за счет сил гравитации. Часть В траектории движения юнибуса является зеркально полностью тождественной части А за исключением того, что транспортное средство движется с отрицательным ускорением, постепенно затормаживаясь. Торможение осуществляется исключительно за счет сил гравитации. Потери энергии на преодоление сил сопротивления на обоих участках компенсируются бортовым источником электроэнергии. Все параметры движения части А

полностью соответствуют части В. Поскольку потенциальная энергия моно-юнибуса будет переходить с помощью сил гравитации в кинетическую на спуске (и наоборот при подъеме) с КПД = 100%, то любая другая схема работы подвижного состава (например, с использованием рекуператора энергии) будет менее эффективна, т.к. КПД рекуператора не может быть равен 100%.

Для определения параметров движения часть А разбиваем на 35 участков. Каждый участок соответствует углу 0,2° (12'), кроме последнего, который соответствует углу 0,1° (6').

Длина участка определяется по формуле:

$$\Delta L = (\beta_i - \beta_{i-1}) \cdot 2 \cdot \pi \cdot r / 360^\circ.$$

Скорость юнибуса в конце каждого участка определяется по формуле:

$$V_i = (2 \cdot h_i \cdot g)^{0,5}, \text{ м/с,}$$

где:

$h_i = r \cdot (\cos \beta_i - \cos \alpha / 2)$ — провисание струны в конце i-го участка.

Результаты — см. таблицу 8.

Таблица 8

Изменение скорости движения юнибуса в зависимости от пройденного пути

$\beta,^\circ$	$\Delta L, \text{ м}$	$L, \text{ м}$	$\Delta h_i, \text{ м}$	$V_i, \text{ м/с}$	$V_i, \text{ км/ час}$	$V_{\text{ср}}, \text{ м/с}$
6,9	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
6,7	14,597	14,597	1,728	5,820	20,954	2,910
6,5	14,597	29,194	3,406	8,171	29,415	6,996
6,3	14,597	43,790	5,033	9,932	35,756	9,052
6,1	14,597	58,387	6,610	11,382	40,975	10,657
5,9	14,597	72,984	8,135	12,628	45,459	12,005
5,7	14,597	87,581	9,611	13,725	49,409	13,176
5,5	14,597	102,177	11,035	14,707	52,944	14,216
5,3	14,597	116,774	12,409	15,595	56,143	15,151

$\beta, ^\circ$	$\Delta L, \text{ м}$	$L, \text{ м}$	$\Delta h_i, \text{ м}$	$V_i, \text{ м/с}$	$V_i, \text{ км/ час}$	$V_{\text{ср}}, \text{ м/с}$
5,1	14,597	131,371	13,732	16,405	59,060	16,000
4,9	14,597	145,968	15,004	17,149	61,735	16,777
4,7	14,597	160,565	16,225	17,833	64,199	17,491
4,5	14,597	175,161	17,396	18,465	66,474	18,149
4,3	14,597	189,758	18,516	19,050	68,580	18,758
4,1	14,597	204,355	19,585	19,592	70,532	19,321
3,9	14,597	218,952	20,603	20,095	72,343	19,844
3,7	14,597	233,549	21,570	20,562	74,022	20,328
3,5	14,597	248,145	22,487	20,994	75,578	20,778
3,3	14,597	262,742	23,353	21,394	77,019	21,194
3,1	14,597	277,339	24,167	21,764	78,351	21,579
2,9	14,597	291,936	24,931	22,105	79,580	21,935
2,7	14,597	306,532	25,644	22,419	80,710	22,262
2,5	14,597	321,129	26,306	22,707	81,745	22,563
2,3	14,597	335,726	26,918	22,969	82,689	22,838
2,1	14,597	350,323	27,478	23,207	83,546	23,088
1,9	14,597	364,920	27,987	23,421	84,316	23,314
1,7	14,597	379,516	28,446	23,612	85,004	23,517
1,5	14,597	394,113	28,854	23,781	85,611	23,697
1,3	14,597	408,710	29,210	23,927	86,139	23,854
1,1	14,597	423,307	29,516	24,052	86,588	23,990
0,9	14,597	437,903	29,771	24,156	86,961	24,104
0,7	14,597	452,500	29,974	24,238	87,258	24,197
0,5	14,597	467,097	30,127	24,300	87,480	24,269
0,3	14,597	481,694	30,229	24,341	87,628	24,321
0,1	14,597	496,291	30,280	24,362	87,702	24,351
0	7,298	503,589	30,286	24,364	87,711	24,363

Время прохождения каждого участка определяется по формуле:

$$t_i = \Delta L / V_{\text{ср}i}, \text{ с},$$

где:

$V_{срi} = (V_{i-1} + V_i) / 2$ — средняя скорость движения по i-му участку в м/с.

Результаты — см. таблицу 9.

Таблица 9

Параметры движения юнибуса по части А (В) пролета

$\beta,^\circ$	Ri, Н	Pi, Н	N, Вт	Ai, Дж
6,9	0	0	0	0
6,7	2,443	336,943	980,581	4918,287
6,5	14,118	348,618	2438,787	5088,697
6,3	23,635	358,135	3241,675	5227,622
6,1	32,764	367,264	3913,998	5360,876
5,9	41,574	376,074	4514,684	5489,472
5,7	50,083	384,583	5067,309	5613,674
5,5	58,297	392,797	5583,871	5733,578
5,3	66,220	400,720	6071,272	5849,229
5,1	73,854	408,354	6533,780	5960,649
4,9	81,198	415,698	6974,165	6067,851
4,7	88,254	422,754	7394,277	6170,842
4,5	95,021	429,521	7795,375	6269,627
4,3	101,501	436,001	8178,320	6364,208
4,1	107,692	442,192	8543,704	6454,587
3,9	113,596	448,096	8891,923	6540,764
3,7	119,212	453,712	9223,239	6622,741
3,5	124,541	459,041	9537,813	6700,516
3,3	129,581	464,081	9835,734	6774,090
3,1	134,334	468,834	10117,038	6843,463
2,9	138,798	473,298	10381,724	6908,634
2,7	142,975	477,475	10629,762	6969,603
2,5	146,864	481,364	10861,106	7026,369
2,3	150,465	484,965	11075,695	7078,933
2,1	153,778	488,278	11273,461	7127,293

$\beta, ^\circ$	R_i, H	P_i, H	$N, \text{Вт}$	$A_i, \text{Дж}$
1,9	156,803	491,303	11454,333	7171,449
1,7	159,541	494,041	11618,237	7211,402
1,5	161,990	496,490	11765,104	7247,150
1,3	164,151	498,651	11894,865	7278,693
1,1	166,023	500,523	12007,460	7306,031
0,9	167,608	502,108	12102,832	7329,163
0,7	168,905	503,405	12180,932	7348,090
0,5	169,913	504,413	12241,720	7362,811
0,3	170,634	505,134	12285,163	7373,327
0,1	171,066	505,566	12311,238	7379,636
0	171,228	505,728	12321,018	3691,001

Сила аэродинамического сопротивления на i -м участке определяется по формуле:

$$R_i = 0,5 \cdot \rho \cdot C_w \cdot A \cdot V_{cp}^2, \text{ H.}$$

Результаты — см. таблицу 9.

Сила сопротивления движению юнибуса на i -м участке определяется по формуле:

$$P_i = R_i + F + P_B, \text{ H,}$$

где:

$F = G \cdot f = 53900 \cdot 0,005 = 269,5 \text{ H}$, — сила сопротивления качению колес,

$G = m \cdot g = 5500 \cdot 9,8 = 53900 \text{ H}$, — вес юнибуса ,

$P_B = 0,5 \cdot \rho \cdot C_w \cdot A \cdot V_B^2 = 0,5 \cdot 1,202 \cdot 0,1 \cdot 4,8 \cdot 15^2 = 65 \text{ H}$, — дополнительная сила сопротивления от встречного лобового ветра,

где:

$V_B = 15 \text{ м / с}$ — скорость встречного ветра.

Результаты — см. таблицу 9.

Мощность, требующаяся для преодоления сил сопротивления движению юнибуса на i -м участке, определяется по формуле:

$$N_i = V_{cpi} \cdot P_i, \text{ Вт.}$$

Результаты — см. таблицу 9 и в виде графика — на рис. 22.

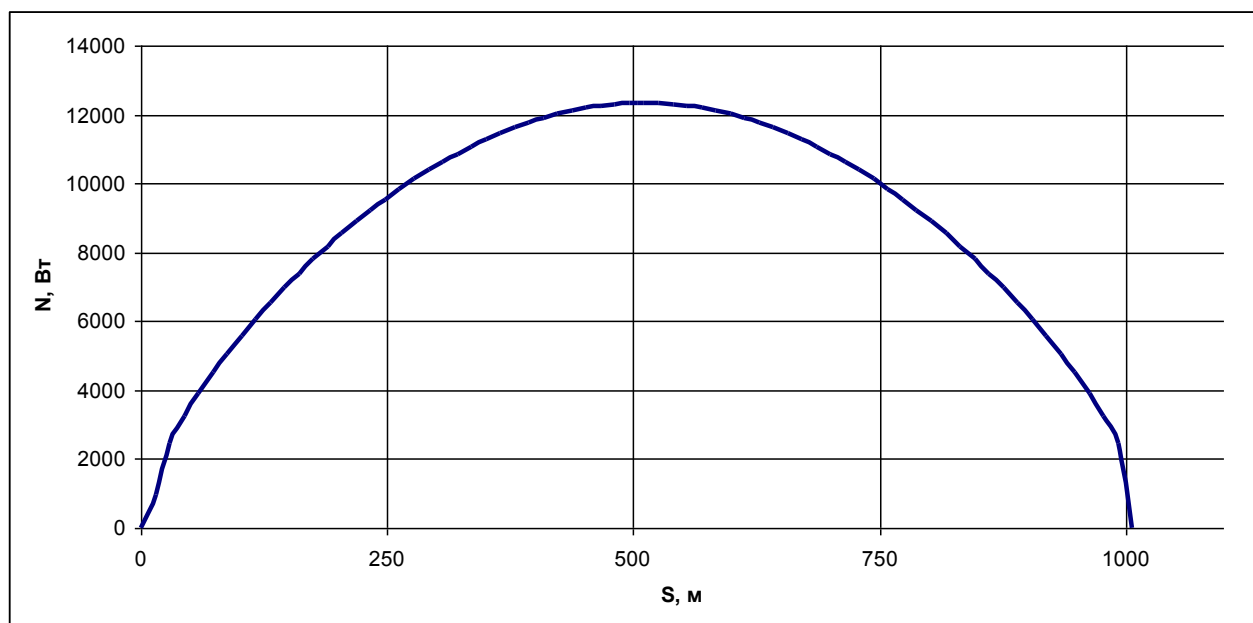


Рис. 22. Мощность, затрачиваемая на преодоление сил сопротивления движению моно-юнибуса на перегоне длиной 1000 м и с перепадом высот 30 м

Работа, производимая силой сопротивления движению юнибуса на i -м участке, определяется по формуле:

$$A_i = N_i \cdot t_i, \text{ Дж.}$$

Результаты — см. таблицу 9.

Общее время движения моно-юнибуса по всему перегону длиной 2000 м (2 участка по 1000 м) определяется по формуле:

$$T = 4 \cdot (t_1 + t_2 + \dots + t_i) = 4 \cdot 32,5 = 130 \text{ с.}$$

Количество энергии, необходимое для преодоления сил сопротивления на всем перегоне длиной 2000 м, определяется формулой:

$$W = 4 \cdot (A_1 + A_2 + \dots + A_i) = 4 \cdot 225860,4 = 903441,6 \text{ Дж.}$$

7. Расчет количества накопителей электроэнергии, необходимого для преодоления сил сопротивления

Вариант 1

Использование в качестве накопителей электроэнергии суперконденсаторов В48621А7205Q018 фирмы «EPCOS» (Германия)

Основные параметры суперконденсаторов В48621А7205Q018:

Запас электроэнергии	176400 Дж
Число рабочих циклов	500000
Напряжение	42 В
Размеры	552×267×189
Рабочий диапазон температур	от –30 °С до +70 °С
Масса	20 кг
Стоимость	около 2100 USD

Минимальное количество конденсаторов определяем по формуле:

$$n = W / (W_n \cdot k \cdot \eta_1) = 903441,6 / (176400 \cdot 0,667 \cdot 0,85) = 9,03 \text{ шт. (округленно 9 шт.)},$$

где:

W_n — запас электроэнергии одного суперконденсатора,

k — коэффициент рекомендуемой глубины разряда,

η_1 — средний КПД эл. двигателей.

Вариант 2

Использование в качестве накопителей электроэнергии конденсаторов ЭК303 компании «ЭСМА» (РФ).

Основные параметры конденсаторов ЭК 303:

Запас электроэнергии	58000 Дж
Число рабочих циклов	1000000
Напряжение	1,6 В

Размеры	98,5×82,5×207
Рабочий диапазон температур	от –50 °С до +50 °С
Масса	2,5 кг
Стоимость	около 247 USD

Минимальное количество конденсаторов определяем по формуле:

$$n = W / (W_n \cdot k \cdot \eta_1) = 903441,6 / (58000 \cdot 0,667 \cdot 0,85) = 27,47 \text{ шт. (округленно 28 шт.)}$$

Уточнение: при использовании мотор-колес М-61 количество конденсаторов должно быть больше, т.к. 28 конденсаторов обеспечивают лишь величину напряжения 44,8 В, тогда как номинальное напряжение для М-61 составляет 300 В. Таким образом, количество конденсаторов должно быть около 180 шт.

Вариант 3

Использование в качестве накопителей электроэнергии аккумуляторных батарей типа «ОПТИМА-850».

Основные параметры аккумуляторной батареи ОПТИМА-850:

Напряжение	12 В
Номинальная емкость	56 Ач
Масса	17,7 кг
Длина	245 мм
Ширина	172 мм
Высота	199 мм
Рабочий диапазон температур	от –40 °С до +60 °С
Отдаваемый ток в стартерном режиме разряда	850 А при –18 °С в течение 30 сек
Допустимое число циклов зарядки при 25% разряде	4000
Допустимое число стартовых циклов	12400
Стоимость	150 USD

Величина снижения общей емкости батарей на всем участке пути определяется по формуле:

$$Q = W / U_{\text{cp}} = 86042 \text{ А} \cdot \text{с},$$

где:

$U_{\text{cp}} = 10,5 \text{ В}$ — среднее напряжение разряда.

Необходимое количество батарей для преодоления сил сопротивления на всем участке пути (2 км) определяется по формуле:

$$n = Q / (t \cdot I \cdot \eta \cdot \eta_1) = 86042 / (60 \cdot 200 \cdot 0,65 \cdot 0,85) = 12,97 \text{ (округленно 13 шт.)},$$

где:

I — принятый зарядный ток на станции, А,

η — коэффициент отдачи энергии батарей.

8. Расчет количества накопителей электроэнергии, необходимого для перемещения юнибуса из нижней точки траектории (дуги) до ближайшей станции (аварийный режим)

Количество энергии, потребной для подъема юнибуса с глубины провиса рельса-струны (30 м) без учета потерь на преодоление сил сопротивления, определяются по формуле:

$$W_1 = m \cdot g \cdot h = 5500 \cdot 9,8 \cdot 30 = 1617000 \text{ Дж}.$$

Количество энергии, необходимой для преодоления сил сопротивления, определяется по формуле:

$$W_2 = (F + P_{\text{в}}) \cdot A = (269,5 + 65) \cdot 503,6 = 168454 \text{ Дж},$$

где:

A — путь, пройденный юнибусом (половина дуги, см. таблицу 1).

Примечание: при расчете учитываются только сила F сопротивления качению и сила $P_{\text{в}}$ от действия встречного ветра. Силы аэродинамического сопротивления не учитываются, т.к. скорость аварийного перемещения будет низкой и не будет превышать 10 км/час.

Количество энергии, необходимой для перемещения моно-юнибуса из нижней точки траектории до станции, определяется формулой:

$$W_a = W_1 + W_2 = 1617000 + 168454 = 1785454 \text{ Дж.}$$

Вариант 1

Использование в качестве накопителей электроэнергии суперконденсаторов B48621A7205Q018 фирмы «EPCOS» (Германия).

Минимальное количество конденсаторов определяем по формуле:

$$n = W_a / (W_n \cdot k \cdot \eta_1) = 1785454 / (176400 \cdot 0,667 \cdot 0,85) = 17,84 \text{ шт. (округленно 18 шт.)}$$

Вариант 2

Использование в качестве накопителей электроэнергии конденсаторов ЭК 303 компании «ЭСМА» (РФ).

Минимальное количество конденсаторов определяем по формуле:

$$n = W_a / (W_n \cdot k \cdot \eta_1) = 1785454 / (58000 \cdot 0,667 \cdot 0,85) = 54,3 \text{ шт. (округленно 54 шт.)}$$

Уточнение: при использовании мотор-колес М-61 количество конденсаторов должно быть больше, т.к. 54 конденсатора обеспечивают лишь величину напряжения 86,5 В, тогда как номинальное напряжение для М-61 составляет 300 В. Таким образом, количество конденсаторов должно быть около 180 шт.

Вариант 3

Использование в качестве накопителей электроэнергии аккумуляторных батарей типа «ОПТИМА-850».

Величина снижения емкости батарей определяются по формуле:

$$Q_{об} = W_a / U_{cp} = 1785454 / 10,5 = 170043 \text{ А с.}$$

Необходимое количество батарей определяется по формуле:

$$n = Q_{об} / (t \cdot I \cdot \eta \cdot \eta_1) = 170043 / 60 \cdot 200 \cdot 0,65 \cdot 0,85 = 25,6 \text{ шт. (округленно 26 шт.)}$$

Результаты расчета минимально необходимого количества накопителей электроэнергии и их стоимости — см. таблицу 10.

Таблица 10

Минимально необходимое количество накопителей электроэнергии

Тип накопителя	Штатный режим			Аварийный режим		
	п, шт.	масса, кг	Стоимость, USD	п, шт.	масса, кг	Стоимость, USD
B48621A7205Q018	9	180	18900	18	360	37800
ЭК 303	180	450	44460	180	450	44460
ОПТИМА-850	13	230	1950	26	460	3900

9. Определение срока службы и суточной стоимости накопителей электроэнергии при эксплуатации их на моно-юнибусе

Принимается, что:

- юнибус эксплуатируется с полной нагрузкой 18 часов (1080 мин) в сутки;
- продолжительность одного цикла «заряд-разряд» 3,2 мин (2,2 мин — время движения; 1 мин — время восполнения энергии).

В этом случае число циклов «заряд-разряд» за одни сутки составит 337 циклов.

Срок службы накопителей определяется по следующей формуле:

$$Z = N / 337, \text{ суток}$$

где:

N — число допустимых рабочих циклов соответствующего накопителя.

Результаты — см. таблицу 11.

Срок службы и суточная эксплуатационная стоимость накопителей электроэнергии

Тип накопителя	Z, суток	C _{сут.} USD/сутки	Примечание
B48621A7205Q018	1483,7	25,5	
ЭК 303	7042	6,3	См. п. 9.4
ОРТИМА-850	36,8	106	

Суточная эксплуатационная стоимость накопителей электроэнергии определяются по формуле:

$$C_{\text{сут}} = C / Z, \text{ USD} / \text{сут}$$

где:

C — стоимость комплекта накопителей электроэнергии (см. таблицу 11, аварийный режим)

Результаты — см. таблицу 11.

Примечание: Так как количество накопителей типа ЭК 303 (n = 180 шт., см. таблицу 10) выбиралось из условия обеспечения номинального напряжения электродвигателей М-61 (300 В), а минимально необходимое их может быть равным 54 из условия обеспечения запаса энергии, потребной для подъема юнибуса с глубины провиса рельса-струны 30 м, то продолжительность движения моно-юнибуса без подзарядки может быть увеличено до $2,2 \cdot 180 / 54 = 7,3$ мин. (принимая, что энергия моно-юнибуса на станции не расходуется).

При этом:

- число полных проходов без подзарядки составит 3 (общий путь: $2 \text{ км} \times 3 = 6 \text{ км}$);
- продолжительность одного цикла «заряд-разряд» составит 7,6 мин;
- число циклов «заряд-разряд» за одни сутки составит 142 цикла;
- срок службы накопителей увеличивается до 7042 суток (19,3 года);
- суточная эксплуатационная стоимость накопителей будет равна примерно 6,3 USD.

10. Проверка возможности движения юнибуса по условиям сцепления

Для движения колес юнибуса без скольжения необходимо соблюдение условия:

$$P_{\text{сц}} \geq P_{\text{max}}$$

где:

$P_{\text{сц}}$ — сила тяги по условиям сцепления колеса с рельсом;

P_{max} — наибольшая сила сопротивления движению юнибуса на наиболее крутом участке пути.

$$P_{\text{сц}} = \varphi \cdot G \cdot \cos \alpha / 2 = 0,12 \cdot 53900 \cdot \cos 6,9^\circ = 6421 \text{ Н}$$

$$P_{\text{max}} = G \cdot \sin \alpha / 2 + F + P_{\text{в}} = 53900 \cdot \sin 6,9^\circ + 269,5 + 65 = 6810 \text{ Н}$$

$6421 \text{ Н} \leq 6810 \text{ Н}$ — условие не соблюдается при выбранном наименьшем коэффициенте сцепления колеса с рельсом $\varphi = 0,12$. Поскольку принятое допущение — кривая прогиба рельса-струны под воздействием собственного веса и веса моно-юнибуса является частью окружности, а не цепной линией, — увеличивает максимальный угол наклона пути (у башен-опор), т.к. в реальности он будет меньше на 5—6%, то сцепление колеса с рельсом будет достаточным для обеспечения подъема наверх моно-юнибуса в аварийном режиме. Для обеспечения полной гарантии выезда наверх, максимальный прогиб пути может быть снижен еще при строительстве моноСТЮ на 5—10%, т.е. до 27—28 м, путем увеличения предварительного натяжения струн на 10—15%.

11. Оценка воздействия боковой ветровой нагрузки на юнибус

Сила боковой ветровой нагрузки определяется по формуле:

$$F_{\text{б}} = 0,5 \cdot \rho \cdot C_w \cdot S_{\text{бок}} \cdot V_{\text{в}}^2 = 0,5 \cdot 1,202 \cdot 0,8 \cdot 12,6 \cdot 15^2 = 1363 \text{ Н},$$

где:

$S_{\text{бок}} = 12,6 \text{ м}^2$ — площадь продольного сечения салона,

$C_w = 0,8$ — коэффициент бокового аэродинамического сопротивления юнибуса.

Угол крена юнибуса под воздействием боковой ветровой нагрузки определяется из уравнения:

$$\sin 2\gamma = 2 \cdot F_{\text{б}} / G_{\text{с}},$$

где:

γ — угол крена;

G_c — вес салона юнибуса (принято, что масса салона составляет 0,85 массы юнибуса).

Результаты — см. таблицу 12.

Таблица 12

Угол крена юнибуса под воздействием боковой ветровой нагрузки ($V_b = 15$ м/с)

Масса юнибуса, кг	G_c , Н	γ , градус
Полная (m)	45815	1,7°
Снаряженная (m_1)	20825	3,76°

12. Определение мощности тягового электродвигателя и его выбор

Аварийный режим. Движение юнибуса по наклонной под углом $6,9^\circ$ к горизонту со скоростью $V = 10$ км/час (2,77 м/с).

$$N_3 = P_{\max} \cdot V / \eta_1 = 6810 \cdot 2,77 / 0,85 = 22193 \text{ Вт.}$$

Штатный режим (см. таблицу 9, $\beta = 0^\circ$). Максимальная (пиковая) мощность в середине пролета:

$$N_3 = N_0 / \eta_1 = 12321,018 / 0,85 = 14495,3 \text{ Вт.}$$

Определение мощности тягового электродвигателя производится по наибольшей потребной мощности:

- для 4-х колесного варианта мощность одного электродвигателя должна быть не ниже 5,6 кВт;
- для 8-ми колесного варианта мощность одного электродвигателя должна быть не ниже 2,8 кВт.

Этим требованиям по мощности удовлетворяет мотор-колесо М-61 производства «Магнет-Мотор», Германия, которое необходимо проверить по допустимой частоте вращения и крутящему моменту.

Проверка мотор- колес М-61 по допускаемой частоте вращения и крутящему моменту.

Определение минимального радиуса колеса производится по формуле:

$$r_{\min} = V_{\max} \cdot 30 / (\pi \cdot n_{\text{доп}}) = 24,364 \cdot 30 / (3,14 \cdot 1300) = 0,18 \text{ м,}$$

где:

$V_{\max} = 24,364 \text{ м/с}$ — максимальная скорость юнибуса (см. таблицу 9, $\beta = 0^\circ$),

$n_{\text{доп}} = 1300 \text{ мин}^{-1}$ — максимальная допускаемая частота вращения мотор-колеса.

Определение потребного суммарного максимального крутящего момента (аварийный режим; движение юнибуса вверх по наклонной под углом $6,9^\circ$ к горизонту):

$$M_{\max} = P_{\max} \cdot r_{\min} = 6810 \cdot 0,18 = 1226 \text{ Нм.}$$

Определение потребного количества мотор-колес:

$$n_{\min} = M_{\max} / M_{\text{доп}} = 1226 / 500 = 2,45,$$

где:

$M_{\text{доп}} = 500 \text{ Нм}$ — максимальный допускаемый крутящий момент мотор-колеса.

13. Выводы

На основании выполненных расчетов можно сделать следующие выводы:

- время прохождения юнибусом перегона длиной 2 км (два пролета по 1 км каждый) составит 130 с (без учета движения по переходному участку траектории и по станции);
- максимальная скорость прохождения перегона достигает 88 км/час (в самой низкой точке пути);
- средняя скорость прохождения перегона составит 68 км/час;
- для преодоления перегона между станциями на борту юнибуса необходимо иметь запас электроэнергии не менее $903441,6 / 0,85 = 1062872,5 \text{ Дж}$;
- для перемещения моно-юнибуса из нижней точки траектории (дуги) до станции (аварийный режим) на борту юнибуса необходимо иметь запас электроэнергии не менее $1785494 / 0,85 = 2100581 \text{ Дж}$;

- минимально необходимое количество накопителей электроэнергии — см. таблицу 10;
- сроки службы накопителей и их суточную эксплуатационную стоимость — см. таблицу 11;
- по суточной эксплуатационной стоимости предпочтительней использование в качестве накопителей электроэнергии на борту юнибуса конденсаторов ЭК 303 компании «ЭСМА» (см. таблицу 11);
- на участке траектории, где угол β_i стремится к $\alpha / 2 = 6,9^\circ$, условие движения юнибуса по условиям сцепления не соблюдается. Для соблюдения указанного условия необходимо принятие специальных мер, которые бы обеспечили увеличение силы тяги по условиям сцепления колеса с рельсом не менее чем на 390 Н или уменьшили бы угол $\alpha / 2$ до $6,5^\circ$. Следует заметить, что увеличение минимального коэффициента сцепления с 0,12 до величины 0,127 уже будет обеспечивать реализацию требуемой силы тяги на угле $6,9^\circ$. В этой связи целесообразно проведение исследований, направленных на определение минимального коэффициента сцепления для колеса и рельса монострунной системы;
- установка промежуточной опоры между башнями для снижения длины пролета с 2000 м до 1000 м целесообразна, так как при этом снижаются: углы подъема рельса-струны, мощности тяговых электродвигателей и их количество, минимально необходимый запас электроэнергии на борту моно-юнибуса, суточная эксплуатационная стоимость накопителей (см. п. 15, 422П-0000010РР). Кроме того, в данном варианте юнибус сможет производить подзарядку накопителей на одной лишь башне, запаса электроэнергии при этом будет достаточным для двух полных переходов. При обеспечении подзарядки накопителей на обеих башнях, юнибус сможет совершать три полных перехода пролета, что увеличит их срок службы и снизит суточную эксплуатационную стоимость (см. п. 9.4);
- угол крена юнибуса под воздействием боковой ветровой нагрузки при скорости ветра 15 м/с будет достигать:
 - 1,7° — при полной массе юнибуса,
 - 3,76° — при снаряженной массе юнибуса;
- мощность тягового электродвигателя должна быть не менее:
 - 5,6 кВт — при 4-х колесном варианте юнибуса,
 - 2,8 кВт — при 8-ми колесном варианте юнибуса;

- в случае использования в качестве тяговых электродвигателей мотор-колес М-61 производства «Магнет-Мотор», для обеспечения самостоятельного перемещения юнибуса из нижней точки траектории (дуги) до станции (аварийный режим), общее их количество должно быть не менее 3 шт.

14. Использованная литература

Электротехнический справочник, том 2, под редакцией профессоров Московского энергетического института, 1964 г, Москва, издательство «Энергия».

Автомобильный справочник «BOSCH», издательство «За рулем», 1999 г.

В.И. Иларионов и др. «Теория и конструкция автомобиля», издательство «Машиностроение», 1979 г.



115487, Москва, ул. Нагатинская, 18/29
тел./факс: (495) 680-52-53, 116-15-48
e-mail: info@unitsky.ru
http: //www.unitsky.ru

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный конструктор
ООО «Струнный транспорт Юницкого»

_____ А.Э. Юницкий

« ____ » _____ 2006 г.

ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС
городского пассажирского рельсового автомобиля
(моно-юнибуса) для условий города Ставрополя
(для пролета трассы моноСТЮ 2000 м)

(422П-0000010-02PP)

Содержание

1.	Схема салона моно-юнибуса.....	109
2.	Отопление	110
3.	Кондиционирование.....	114

1. Схема салона моно-юнибуса

На рис. 23 показана упрощённая схема салона моно-юнибуса.

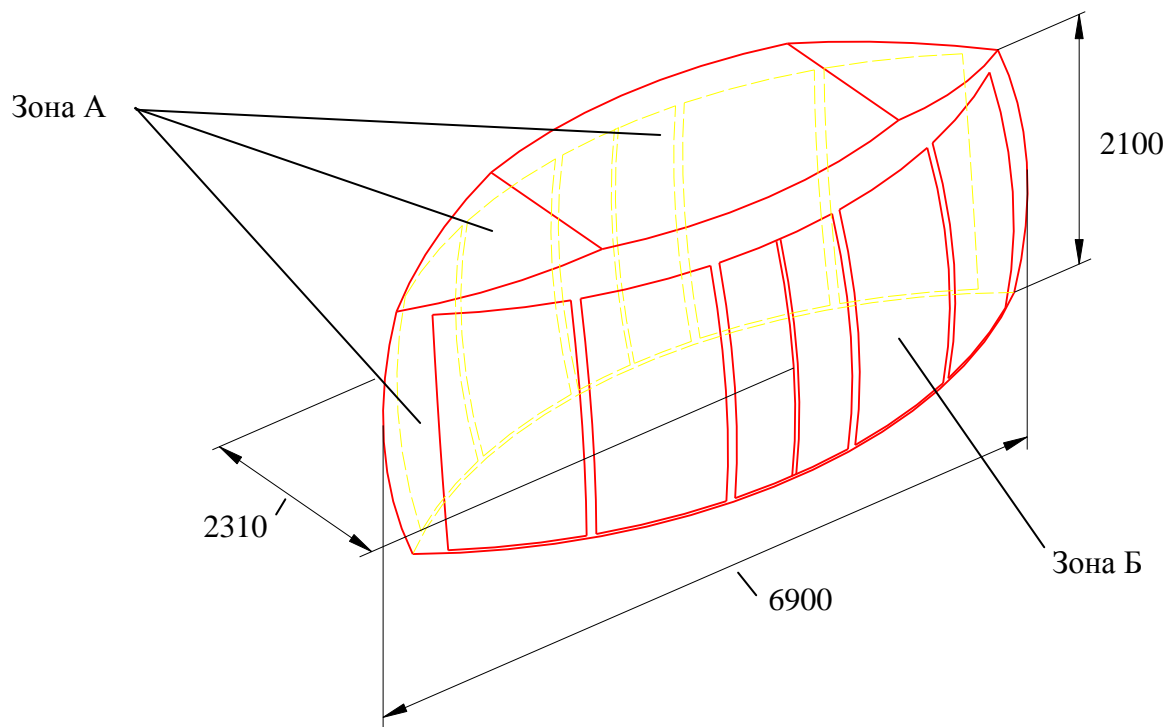


Рис. 23. Упрощенная схема салона моно-юнибуса:

зона А — непрозрачные перекрытия (пол, потолок),
зона Б — прозрачные перекрытия (боковые поверхности).

Параметры ограждающих поверхностей моно-юнибуса и их теплофизические свойства представлены в табл. 13 и 14.

Таблица 13

Параметры ограждающих поверхностей

Зона	Площадь, м ²	Толщина, м
А теплоизолятор	23	0,010
Б стеклопакет:	22	
– стекло		0,005
– воздух		0,008
– стекло		0,005

Теплофизические свойства материалов поверхностей

Материал	Коэффициент теплопроводности, λ , Вт/(м × °С)
Зона А — непрозрачное перекрытие (теплоизолятор)	0,04
Зона Б — прозрачное перекрытие (стеклопакет из двух стекол и воздушной прослойкой):	
– стекло	0,75
– воздух	0,027

2. Отопление

Тепловой баланс салона моно-юнибуса в зимний период года:

$$\Sigma Q_3 = Q_3 + Q_{\text{нпр}} + Q_{\text{пр}} - Q_{\text{ч}},$$

где:

Q_3 — количество теплоты, которое необходимо для прогрева воздуха, поступающего через вентилятор блока;

$Q_{\text{нпр}}$ — потери тепла в окружающую среду через непрозрачные перекрытия;

$Q_{\text{пр}}$ — потери тепла в окружающую среду через прозрачные перекрытия;

$Q_{\text{чз}}$ — тепловыделения пассажиров.

Расчётная температура наружного воздуха $t_{\text{нз}} = -30$ °С и относительная влажность 30%.

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

Плотность воздуха:

$$\rho_3 = 1,293 \times 273 / t_{\text{нз}} \times (P_6 / 760 - 0,378 \times P_{\text{пз}} / 760), \text{ кг/м}^3,$$

где

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

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

$$P_{\text{пз}} = (P_6 \times d_{\text{нз}}) / (622 + d_{\text{нз}}) = (745 \times 0,1) / (622 + 0,1) = 0,12 \text{ мм. рт. ст.}$$

Тогда:

$$\rho_3 = 1,293 \times 273 / 243 \times (745 / 760 - 0,378 \times 0,12 / 760) = 1,42 \text{ кг/м}^3$$

$$Q_3 = V_{\text{вз}} \times \rho_3 \times C_{L3} \times \Delta T_3,$$

где:

$V_{\text{вз}}$ — минимальный объём воздуха, подаваемый вентилятором блока, $\text{м}^3/\text{ч}$;

$$V_{\text{вз}} = V_{\text{ч}} \times n,$$

$V_{\text{ч}} = 15 \text{ м}^3/\text{ч}$ — минимальное количество свежего воздуха на человека,

n — количество пассажиров,

$$V_{\text{ч}} = 15 \times 40 = 600 \text{ м}^3/\text{ч},$$

ρ_3 — плотность подаваемого воздуха, кг/м^3 ,

C_{L3} — среднее теплосодержание воздуха, $\text{Вт} \times \text{ч}/(\text{кг} \times ^\circ\text{C})$,

ΔT_3 — разность между внутренней и наружной температурой, $^\circ\text{C}$.

Внутреннюю температуру принимаем $t_{\text{вз}} = +15 \text{ }^\circ\text{C}$ и относительную влажность воздуха 40%. Отсюда

$$\Delta T_3 = 15^\circ\text{C} - (-30 \text{ }^\circ\text{C}) = 45 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Среднее теплосодержание воздуха $C_{L3} = 0,22 \text{ Вт} \times \text{ч}/(\text{кг} \times ^\circ\text{C})$. Тогда:

$$Q_3 = 600 \times 1,42 \times 0,22 \times 45 = 8457,8 \text{ Вт} \approx 8458 \text{ Вт}$$

Процесс теплопередачи многослойной стенки характеризуется коэффициентом теплопередачи K .

Коэффициент теплопередачи определяет количество теплоты, проходящей через стенку с площадью поверхности 1 м^2 в единицу времени при разности температур $t^\circ\text{C}$ между внутренней и наружной сторонами стенок 1°C .

$$K = 1 \times (1 / \alpha_{\text{н}} + \sum \delta_i / \lambda_i + 1 / \alpha_{\text{в}}),$$

где:

$\alpha_{\text{н}}$ и $\alpha_{\text{в}}$ — коэффициенты теплоотдачи от воздуха к наружной поверхности и от внутренней поверхности к воздуху соответственно.

$$\alpha_n = 5 + 0,0945 V,$$

$$\alpha_b = 7,1 + 0,018 V,$$

$V = 85$ км/час — средняя скорость юнибуса,

$$\alpha_n = 5 + 0,0945 \times 85 = 13,03 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \times ^\circ\text{С}),$$

$$\alpha_b = 7,1 + 0,018 \times 85 = 8,63 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \times ^\circ\text{С}),$$

δ_i — толщина i -го слоя стенки,

λ_i — коэффициент теплопроводности материала i -го слоя стенки.

$$K_{\text{пр}} = 1 / (1 / 13,03 + (2 \times 0,005 / 0,265 + 0,01 / 0,0265) + 1 / 8,63) = 1,16 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \times ^\circ\text{С}).$$

$$K_{\text{нпр}} = 1 / (1 / 13,03 + 0,010 / 0,04 + 1 / 8,63) = 2,26 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \times ^\circ\text{С}).$$

Количество теплоты, проходящее через поверхность:

$$Q = K \times S \times (t_b - t_n) = K \times S \times \Delta T_3;$$

где:

K — коэффициент теплопередачи, Вт / ($\text{м}^2 \times ^\circ\text{С}$),

S — площадь стенки, через которую идёт теплопередача;

ΔT_3 — разность между внутренней и наружной температурами, $^\circ\text{С}$.

$$Q_{\text{прз}} = K_{\text{пр}} \times S_{\text{пр}} \times \Delta T_3.$$

$$Q_{\text{прз}} = 1,16 \times 22 \times 45 = 1152,14 \text{ Вт} \approx 1152 \text{ Вт}$$

$$Q_{\text{нпрз}} = K_{\text{нпр}} \times S_{\text{нпр}} \times \Delta T_3.$$

$$Q_{\text{нпрз}} = 2,26 \times 23 \times 45 = 2338,42 \text{ Вт} \approx 2338 \text{ Вт}$$

Тепловыделения одного человека, которые окажут существенное влияние на тепловой баланс салона юнибуса, представлены в табл. 15.

Тепловыделения человека

$Q_{я}$ (Вт)	135	125	115	105	100	90	85	75	70	60	45	30
$Q_{скр}$ (Вт)	20	20	20	20	25	25	35	40	50	60	70	80
$t_{в}$ °С	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32

$$Q_{чз} = Q_{яз} + Q_{скрз},$$

где:

$Q_{яз}$ — явная теплота влажного воздуха;

$Q_{скрз}$ — скрытая теплота водяного пара, содержащаяся в этом же воздухе.

Для $t_{в} = 15^{\circ}\text{C}$ из таблицы 15: $Q_{чз} = 110 + 20 = 130$ Вт.

Для 40 человек: $Q_{чзп} = 40 \times 130 = 5200$ Вт.

Суммарное количество теплоты, необходимое для прогрева салона моно-юнибуса:

$$\Sigma Q_3 = Q_3 + Q_{нпрз} + Q_{прз} - Q_{чзп}$$

$$\Sigma Q_3 = 8458 + 2338 + 1152 - 5200 = 6748,36 \text{ Вт.} \approx 6,7 \text{ кВт.}$$

Потребная мощность для отопления салона (при -30°C) представлена в табл. 16.

Таблица 16

Потребная мощность для отопления салона (при -30°C)

Количество теплоты для прогрева воздуха, проходящего через вентилятор, Q_3 , Вт	Потери тепла на окружающую среду через непрозрачные перекрытия, $Q_{нпрз}$, Вт	Потери тепла на окружающую среду через прозрачные перекрытия, $Q_{прз}$, Вт	Тепловыделение водителя и пассажиров, $Q_{чзп}$, Вт	Суммарное количество теплоты, необходимое для прогрева салона, ΣQ_3 , Вт
8458	2338	1152	5200	6748

3. Кондиционирование

Тепловой баланс салона моно-юнибуса в летний период года:

$$\Sigma Q_{\text{л}} = Q_{\text{н}} + Q_{\text{нпр}} + Q_{\text{пр}} + Q_{\text{ч}} + Q_{\text{изл}},$$

где:

$Q_{\text{л}}$ — количество теплоты, которое необходимо удалить из воздуха, поступающего через вентилятор блока;

$Q_{\text{нпрл}}$ — количество теплоты, поступающей через непрозрачные перекрытия;

$Q_{\text{нрл}}$ — количество теплоты, поступающей через прозрачные перекрытия;

$Q_{\text{члп}}$ — количество теплоты, поступающей от пассажиров;

$Q_{\text{излл}}$ — количество теплоты излучения, поступающего в кабину через прозрачные перекрытия.

Расчётная температура наружного воздуха $t_{\text{нл}} = +45^{\circ}\text{C}$ и относительная влажность 80%.

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

Плотность воздуха:

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

где:

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

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

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

Тогда:

$$\rho_{\text{л}} = 1,293 \times 273 / 318 \times (745 / 760 - 0,378 \times 11,79 / 760) = 1,08 \text{ кг/м}^3.$$

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

где:

$V_{\text{вл}}$ — объём воздуха, подаваемый вентилятором блока, $\text{м}^3/\text{ч}$;

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

$C_{Lл}$ — среднее теплосодержание воздуха, Вт×ч/кг×°С;

$\Delta T_{л}$ — разность между внутренней и наружной температурой, °С.

Внутреннюю температуру принимаем $t_{вл} = +20$ °С и относительную влажность воздуха 33%. Отсюда:

$$\Delta T_{л} = 45 - 20 = 25 \text{ °С.}$$

Среднее теплосодержание воздуха $C_{Lл} = 0,34$ Вт×ч/(кг×°С).

Объем воздуха, подаваемого вентилятором $V_{вл} = 600$ м³/ч.

Тогда:

$$Q_{л} = 600 \times 1,08 \times 0,34 \times 25 = 5516 \text{ Вт.}$$

$$Q_{прл} = K_{пр} \times S_{пр} \times \Delta T_{л}$$

$$Q_{прл} = 1,16 \times 22 \times 25 = 640 \text{ Вт.}$$

$$Q_{нпрл} = K_{нпр} \times S_{нпр} \times \Delta T_{л}$$

$$Q_{нпрл} = 2,26 \times 23 \times 25 = 1299 \text{ Вт.}$$

$$Q_{л} = Q_{ял} + Q_{скрл} \text{ — тепловыделения пассажиров,}$$

где:

$Q_{ял}$ — явная теплота влажного воздуха;

$Q_{скрл}$ — скрытая теплота водяного пара, содержащаяся в этом же воздухе.

$$\text{Для } t_{вл} = 20^{\circ}\text{С} \quad Q_{ч} = 90 + 25 = 115 \text{ Вт.}$$

$$\text{Для 40 человек} \quad Q_{ч} = 40 \times 115 = 4600 \text{ Вт.}$$

$$Q_{изл.} = ((S_1 \times I \times a + (S - S_1) \times I_{диф})) \times b,$$

где:

S_1 — площадь, облучённая солнцем к определённом моменту, м²;

$S_1 = 11$ м² — половина площади прозрачных перекрытий;

S — площадь прозрачных перекрытий, м^2 ;

$$S = 22 \text{ м}^2.$$

I – интенсивность прямой и диффузионной солнечной радиации:

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

где:

$I_{\text{диф}}$ — интенсивность диффузионной солнечной радиации на вертикальную поверхность;

$$I_{\text{диф}} = 158,2 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \times \text{ч}),$$

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

Тогда:

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

a – корректировочный коэффициент для затемнённого стекла. Принимаем $a = 0,5$;

v – коэффициент пропускания для различных конструкций стёкол. Принимаем $v = 1$.

Тогда:

$$Q_{\text{изл.}} = ((11 \times 361,5 \times 0,5 + (22 - 11) \times 158,2)) \times 1 = 3920 \text{ Вт}.$$

Суммарное количество теплоты, которое необходимо удалить из салона моно-юнибуса:

$$\begin{aligned} \Sigma Q_{\text{л}} &= Q_{\text{л}} + Q_{\text{нпрл}} + Q_{\text{прл}} + Q_{\text{члп}} + Q_{\text{изл}} \\ \Sigma Q_{\text{л}} &= 5516 + 1299 + 640 + 4600 + 3920 = 15975 \text{ Вт} \approx 16 \text{ кВт}. \end{aligned}$$

Потребная мощность, необходимая для кондиционирования салона моно-юнибуса (при $+45^\circ\text{C}$), представлена в табл. 17.

Потребная мощность для кондиционирования салона (при +45 °С)

Количество теплоты, которое необходимо удалить из воздуха, поступающего через вентилятор, $Q_{л}, \text{Вт}$	Количество теплоты, поступающей через непрозрачные перекрытия, $Q_{нпрл}, \text{Вт}$	Количество теплоты, поступающей через прозрачные перекрытия, $Q_{прл}, \text{Вт}$	Тепловыделения водителя и пассажиров, $Q_{члп}, \text{Вт}$	Количество теплоты излучения, поступающего в кабину через прозрачные перекрытия, $Q_{изл}, \text{Вт}$	Суммарное количество теплоты, которое необходимо удалить из салона, $\Sigma Q_{л}, \text{Вт}$
5516	1299	640	4600	3920	15975