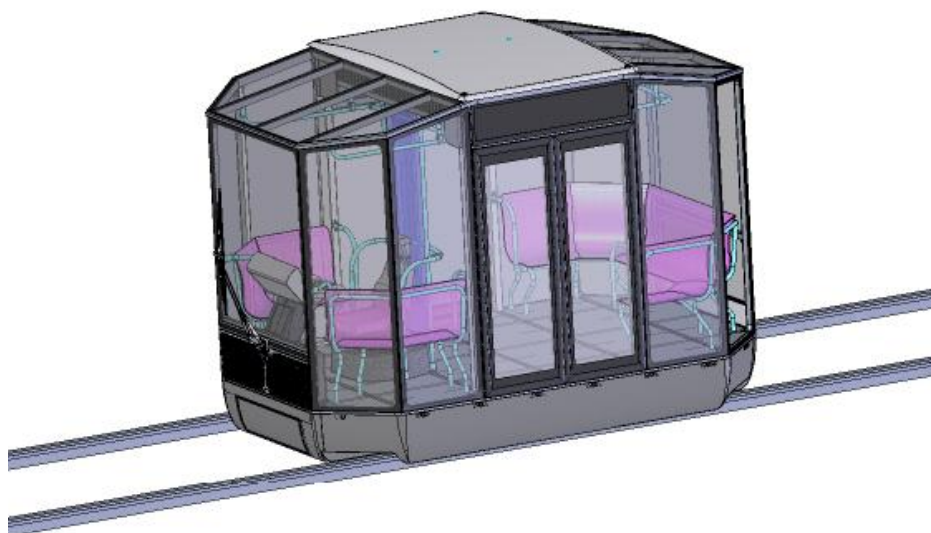




Техническое описание городского пассажирского рельсового автомобиля – ЮНИБУСА Ю-501



Содержание

1.	Введение.....	3
2.	Технические характеристики	3
3.	Техническое описание	4
3.1.	Общая компоновка.....	4
3.2.	Платформа.....	4
3.3.	Пассажирский кузов.....	5
3.4.	Ходовая система.....	10
3.5.	Тормозная система	12
3.6.	Электрооборудование	13
3.7.	Система управления юнибусом	17

1. Введение

Настоящее техническое описание содержит краткое описание конструкции и технические данные городского пассажирского рельсового автомобиля – юнибуса Ю-501.

Юнибус предназначен для перевозки пассажиров по городским трассам струнного транспорта Юницкого (СТЮ) тяжелого типа (колея 2 м).

Движение юнибуса организуется по двухпутной трассе с разворотами на конечных пунктах маршрута.

2. Технические характеристики

Число пассажирских мест (в том числе сидящих), чел	20 (12)
Порожняя масса юнибуса в снаряженном состоянии, кг	2500
Технически допустимая максимальная масса юнибуса, кг	4000
Распределение нагрузок на колёса юнибуса, %	25 ± 5
Габаритные размеры, мм:	
- длина	3900
- ширина	2500
- высота габаритная	2820
- высота над головкой рельса	2700
База, мм	2180
Колея, мм	2000 ± 2
Расстояние от головки рельса до нижней точки днища кузова при полной массе, мм	минус 71
Точность позиционирования на станции в автоматическом режиме, мм	± 30
Максимальная конструкционная скорость движения, км/ч, не менее,	65
Время разгона юнибуса до скорости 60 км/ч при полной массе на горизонтальном участке дороги на сухих чистых рельсах, с, не более	30
Длина тормозного пути с номинальной нагрузкой на горизонтальном участке дороги на сухих чистых рельсах при начальной скорости 40 км/ч, м, не более:	
- при служебном торможении	90
- при экстренном торможении (на сухих чистых рельсах)	35
Номинальное ускорение при разгоне и торможении, м/с ²	0,7
Изменение ускорения при трогании с места и торможении, м/с ³ , не более	0,5
Среднее энергопотребление, кВт·ч/км (с освещением, отоплением / кондиционированием воздуха)	0,45
Количество дверей	2
Колёсная формула	4x4
Количество тяговых двигателей	4
Усредненная потребная мощность, затрачиваемая на движение, кВт	7,7

3. Техническое описание

3.1. Общая компоновка

Юнибус Ю-501 (Рис. 1) конструктивно состоит из платформы и пассажирского кузова.

Платформа предназначена для установки кузова юнибуса, агрегатов моторно-ходовой системы, элементов системы электрооборудования, системы управления приводом движения юнибуса, буксировочного устройства, наружной светотехники, датчиков обнаружения пожара.

Пассажирский кузов предназначен для размещения и обеспечения комфортабельной перевозки пассажиров и организации рабочего места водителя.

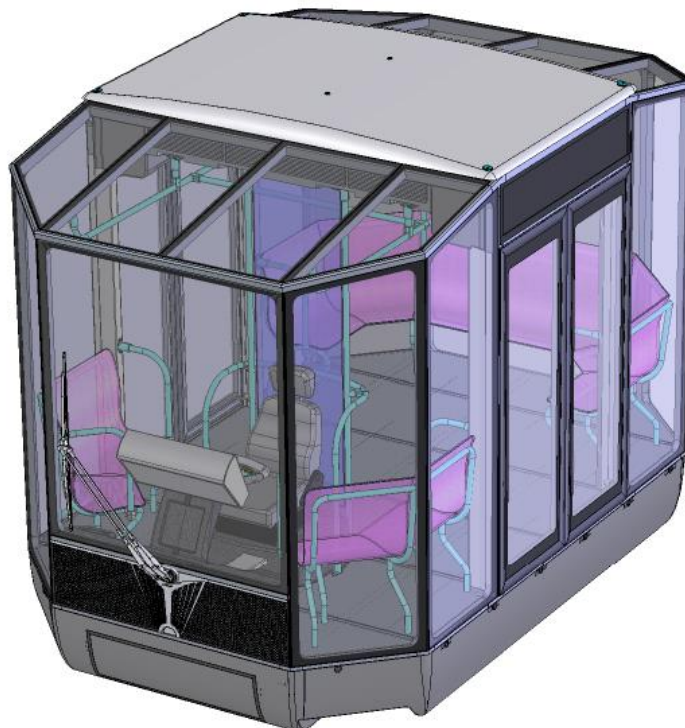


Рис. 1 Пассажирский юнибус Ю-501. Общий вид

3.2. Платформа

Платформа (Рис. 2) состоит из сварного каркаса, наружного кожуха, двух крышек и двух выдвижных тележек – передней и задней.

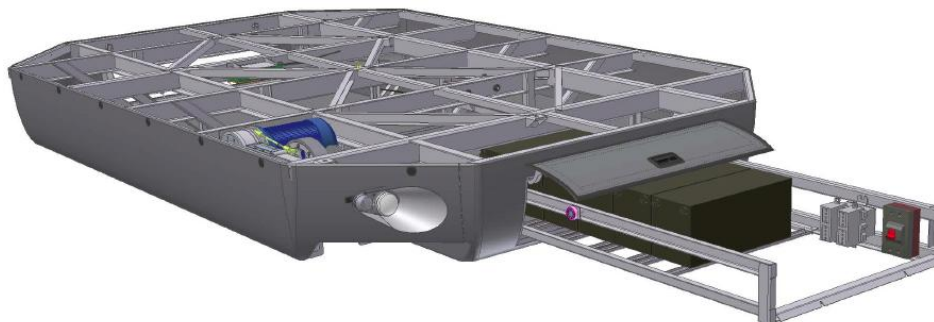


Рис. 2 Платформа пассажирского юнибуса

Сварной каркас (Рис. 3) представляет собой силовую пространственную конструкцию, выполненную из высокопрочных алюминиевых сплавов. Он состоит из поперечных ферм, соединенных между собой продольными балками, раскосов и наружного замкнутого обвода. В каркасе установлены кронштейны для установки тягово-опорных блоков, гнезда

пружин подвесок, кронштейны для крепления на платформе кузова юнибуса, направляющие дорожки для тележек.

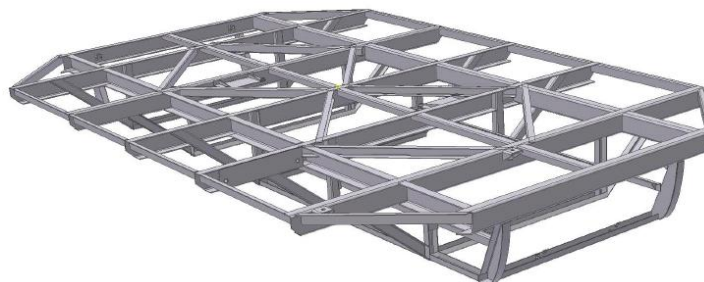


Рис. 3 Каркас платформы

Наружный кожух изготовлен из пластика и состоит из трёх частей: средней и двух боковых. Средняя часть несъёмная, неподвижно закреплена на сварном каркасе. Боковые части выполнены откидными. В передней и задней части боковых крышек предусмотрены отверстия для установки наружной светотехники.

Откидные передняя и задняя крышки установлены в средней части кожуха и предназначены для закрывания проемов тележек.

Передняя и задняя тележки (Рис. 4) представляют собой пространственную конструкцию, выполненную из высокопрочных алюминиевых сплавов. В тележках предусмотрены места для крепления аппаратуры транспортного модуля. Для обеспечения доступа к агрегатам, расположенным в тележках, предусмотрена возможность выкатывания последних за пределы платформы, для этого на боковых сторонах тележек установлены по три опорных ролика.



Рис. 4 Тележка

В передней тележке размещены два тяговых преобразователя, две аккумуляторные батареи и блок управления приводом движения (Рис. 21).

В задней тележке размещены шесть конденсаторных накопителей, автомат защиты сети, контактор и датчики обнаружения пожара (Рис. 20).

По углам платформы у бортов расположены четыре тягово-опорных блока.

В центральной части платформы у бортов расположены токосъемники системы электрозарядки юнибуса.

Также на платформе установлены фары переднего и заднего хода, фонари сигналов торможения и габаритные фонари.

На балках и фермах платформы установлены два актюатора и четыре троса тормозной системы, проложены жгуты электрооборудования.

3.3. Пассажирский кузов

Пассажирский кузов юнибуса (Рис. 5) каркасный, несущий, металлический, с термо- и шумоизоляцией, двухдверный, с окнами.

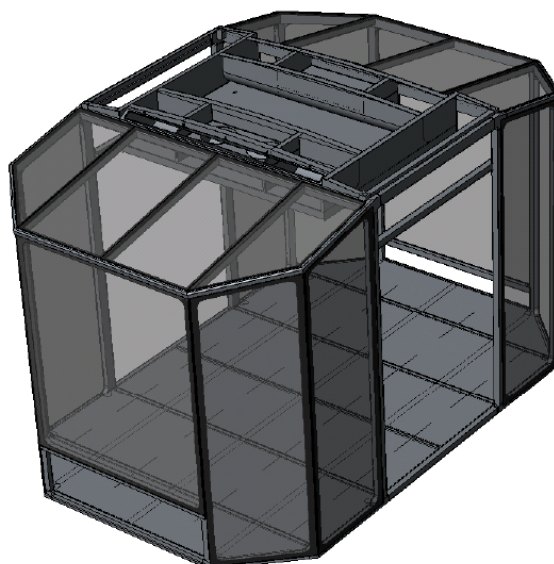


Рис. 5 Пассажирский кузов транспортного модуля

Пассажирский кузов состоит из сварного каркаса (Рис. 6), остекления и термошумоизоляции кузова.

Сварной каркас состоит из нижней рамы, верхней рамы, двух дверных коробок и вертикальных стоек. Все детали кузова выполнены из высокопрочных свариваемых алюминиевых сплавов.

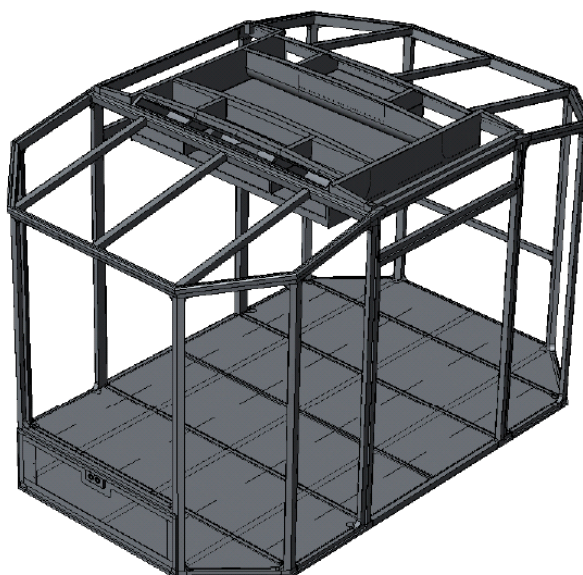


Рис. 6 Сварной каркас кузова транспортного модуля

Верхняя рама (Рис. 7) представляет собой сварную конструкцию, имеющая наружный замкнутый обвод, соединённый внутри поперечными и продольными балками. В средней части расположены воздуховоды системы вентиляции и отсеки для размещения аппаратуры и привода дверей.

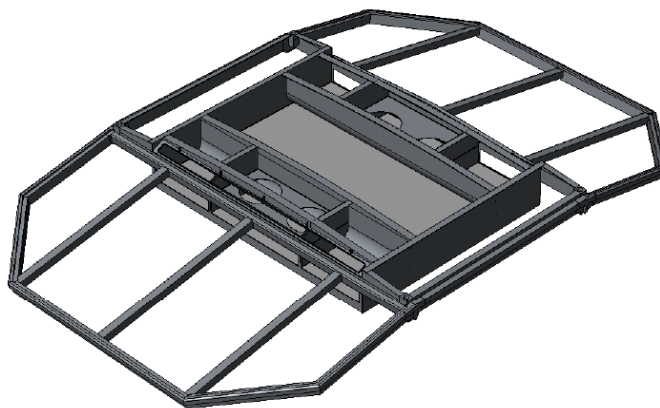


Рис. 7 Верхняя рама каркаса кузова

Нижняя рама (Рис. 8) представляет собой сварную конструкцию, имеющая наружный замкнутый обвод, соединённый внутри поперечными и продольными балками. На верхней поверхности балок расположено днище. На наружном обводе имеются кронштейны крепления кузова к платформе.

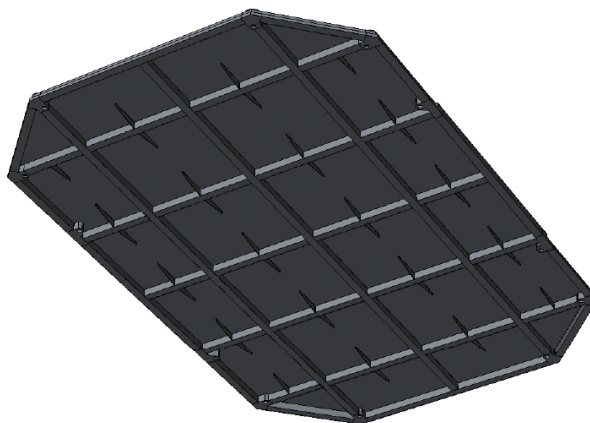


Рис. 8 Нижняя рама каркаса кузова

Окна кузова (Рис. 5) состоят из одного переднего, одного заднего, восьми боковых и двух потолочных стёкол.

Боковое остекление кузова – круговое, сплошное. Потолочное остекление – частичное – в передней и задней частях крыши. Все окна кроме переднего изготовлены из поликарбоната. Переднее стекло выполнено из триплекса.

Все стёкла вклеены в сварной каркас.

Термо-шумоизоляция представляет собой листы термо-шумоизолятора, наклеенные на днище нижней рамы и на потолочный лист верхней рамы сварного каркаса.

Кроме того, в пассажирском кузове расположены стеклоочиститель со стеклоомывателем, двери, система отопления и вентиляции, сиденья и поручни пассажиров.

Однощёточный пантографный стеклоочиститель (Рис. 9) установлен на переднем стекле юнибуса.

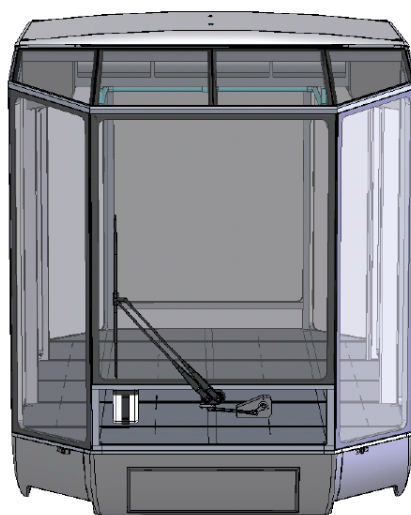


Рис. 9 Стеклоочиститель

Моторредуктор и омыватель стеклоочистителя установлены в кожухе в передней части салона. Вращение выходного вала моторредуктора через шарнирный рычаг передается на тягу и преобразуется в качание рычага поворотной оси. На поворотной оси закреплены рычаги пантографа. На рычагах пантографа установлена щётка.

На пассажирском юнибусе установлены две двухстворчатые поворотнораздвижные двери. Дверь, расположенная с правой стороны, является основной и предназначена для посадки и высадки пассажиров. Дверь, расположенная с левой стороны, является аварийной и предназначена для эвакуации пассажиров. В отсеке над правой дверью расположен привод для автоматического открытия и закрытия створок дверей.

Створки дверей изготовлены из алюминиевых профилей, в которые клеены стёкла. По контуру створок дверей установлены резиновые уплотнительные профили. На внутреннем торце двери установлен травмобезопасный профиль.

Привод основной двери электрический.

Двери оборудованы механической блокировкой и механическим устройством аварийной разблокировки.

Пассажирский юнибус оборудован системами вентиляции и отопления салона и рабочего места оператора.

Система вентиляции комбинированная: естественная и принудительная.

Система вентиляции (Рис. 10) состоит из входной и выходной заслонок, электромеханизма (Рис. 11), системы тяг и четырёх вентиляторов (Рис. 12): двух приточных и двух вытяжных.

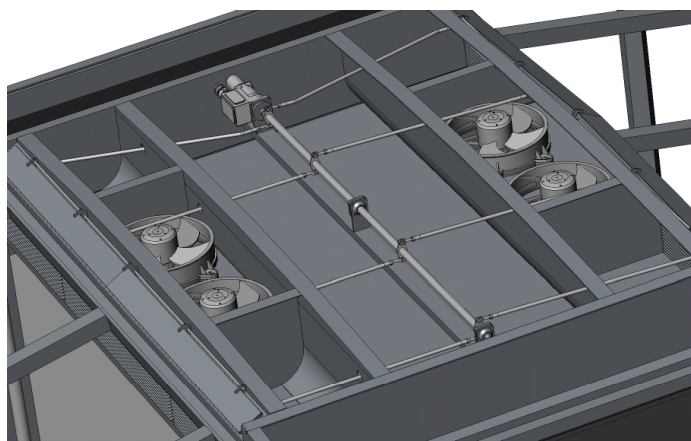


Рис. 10 Система вентиляции транспортного модуля

Для естественной вентиляции салона необходимо открыть приточную и вытяжную заслонки. Воздух во время движения под действием скоростного напора поступает через входную заслонку и приточные вентиляторы в салон юнибуса и выходит через вытяжные вентиляторы и выходную заслонку. Для принудительной вентиляции салона, необходимо включить приточные и вытяжные вентиляторы.

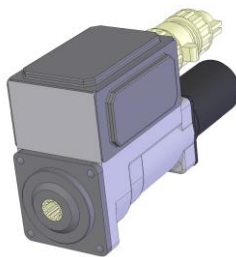


Рис. 11 Электромеханизм управления заслонками системы вентиляции



Рис. 12 Вентилятор системы вентиляции салона

Система отопления пассажирского салона электрическая. Система состоит из двух тепловентиляторов, электрообогревателя ног водителя и накидки на сиденье оператора.

Тепловентиляторы состоят из электрического нагревательного элемента и вентилятора. Тепловентиляторы расположены под сиденьями пассажиров за дверными стойками.

Электрообогреватель ног оператора состоит из электрического нагревательного элемента и установлен на полу в нижней части стойки пульта управления.

Накидка на сиденье оператора электрическая и расположена на спинке и подушке сиденья оператора.

В пассажирском кузове установлены мягкое сиденье оператора и жёсткие сиденья для пассажиров (Рис. 13).

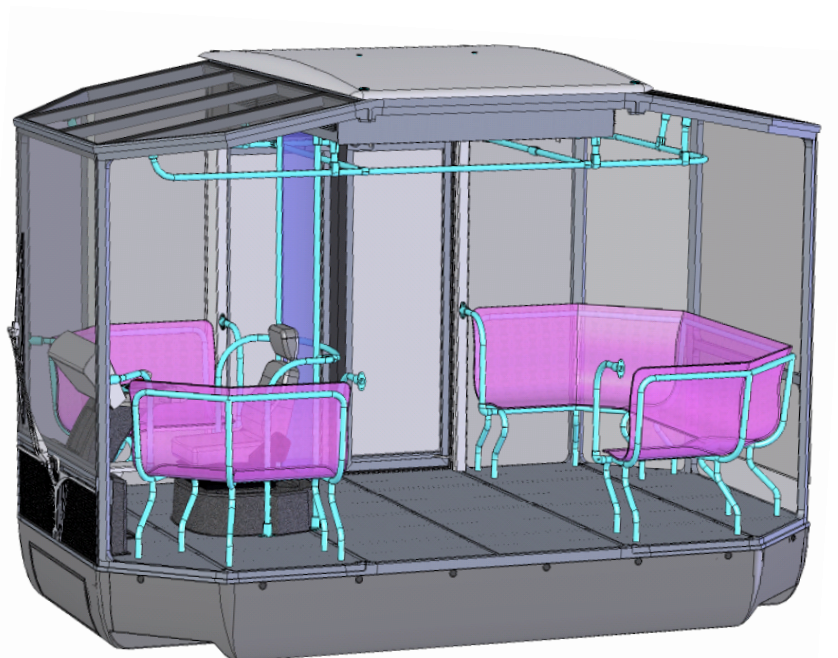


Рис. 13 Сиденья оператора, пассажиров и поручни транспортного модуля

Сиденье оператора расположено по центру транспортного модуля в передней его части и установлено на остоле. Сиденье имеет механизмы регулировки угла наклона спинки и продольного смещения.

Пассажирские сиденья состоят из трёх секций: передняя правая, передняя левая и задняя.

Все секции закреплены на стойках каркаса кузова и поручнях. Пассажирские сиденья изготовлены из прозрачного высокопрочного зеркального поликарбоната.

Поручни транспортного модуля (Рис. 13) изготовлены из металлических труб, покрытых порошковой краской.

3.4. Ходовая система

Ходовая система пассажирского юнибуса – четырехопорная. Подвеска пружинная, выполнена по балансирной схеме. Балансир подвески представляет собой тягово-опорный блок, включающий в себя: балансир, двигатель, редуктор, упругую муфту, колесо, пружины подвески, шарниры подвески, блок направляющих роликов и тормозной механизм (Рис. 14).

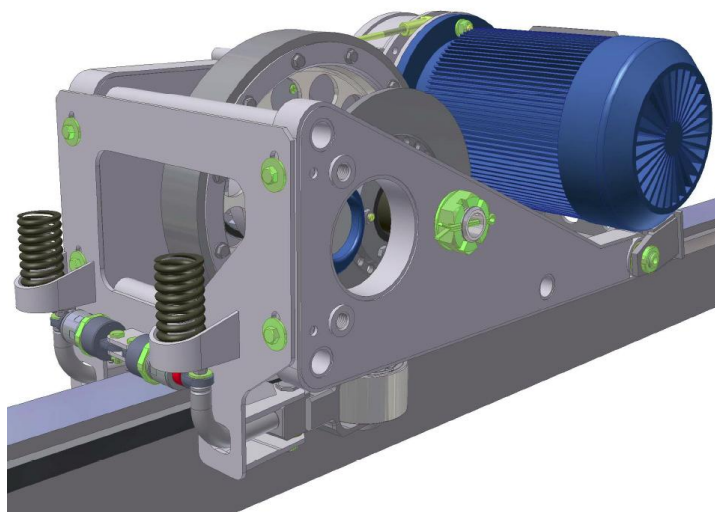


Рис. 14 Тягово-опорный блок. Общий вид

Балансир (Рис. 15) представляет собой пространственную сварную конструкцию, выполненную заодно с корпусом редуктора, и предназначен для соединения воедино всех элементов тягово-опорного блока.

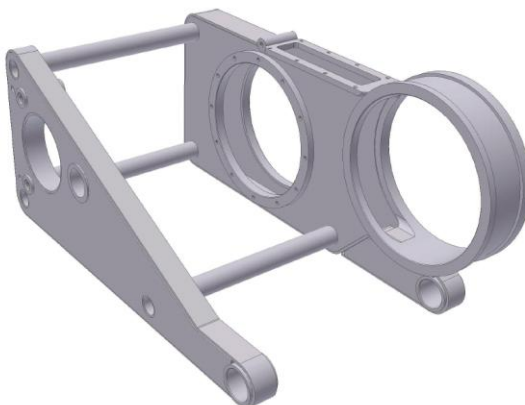


Рис. 15 Балансир тягово-опорного блока

Редуктор – цепной, включает в себя ведущую и ведомую шестерни, зубчатую цепь, подшипниковые узлы и ведущий элемент упругой муфты. Предназначен для повышения и передачи крутящего момента от электродвигателя к колесу юнибуса.

Упругая муфта предназначена для передачи крутящего момента от редуктора к колесу юнибуса и снижения динамических нагрузок, действующих на редуктор со стороны колеса.

Колесо (Рис. 16) представляет собой стальной обод, закрепленный на диске из алюминиевого сплава и включает в себя подшипниковый узел, тормозной диск и ведомый элемент упругой муфты.



Рис. 16 Колесо транспортного модуля

Пружина подвески – цилиндрическая сжатия. Предназначена для восприятия статической и динамической нагрузок от юнибуса и обеспечения упругой связи между юнибусом и рельсо-струнной дорогой. Установлено по две пружины на каждый опорный блок.

Шарниры подвески – резинометаллические. Предназначены для обеспечения подвижной упругой связи между опорным блоком и корпусом юнибуса. На каждом опорном блоке установлено по три резинометаллических шарнира – два для обеспечения качания балансира в продольной вертикальной плоскости и один для качания блока в поперечной вертикальной плоскости, что обеспечивает линейный контакт колеса с рельсо-струной.

Блок направляющих роликов состоит из двух подпружиненных роликов, которые установлены на корпусе и охватывают рельс-струну с двух сторон (Рис. 17).

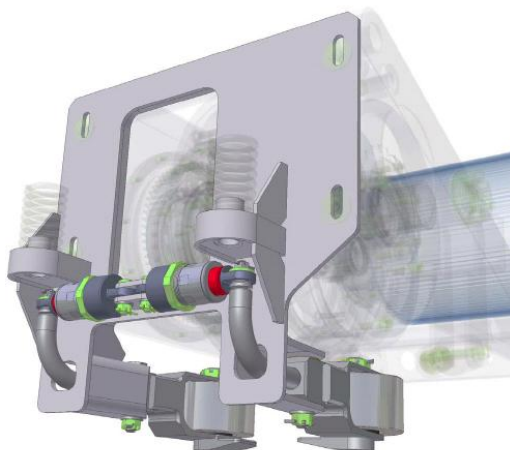


Рис. 17 Блок направляющих роликов

Ролик состоит из обода, который находится в постоянном контакте с боковой поверхностью рельса-струны, подшипников качения и оси. Нижняя часть оси выполнена в виде страховочного зацепа – имеет буртик.

Ролик в сборе установлен в вилке, которая позволяет подворачиваться в поперечной плоскости и быть в контакте с рельсом-струной по линии.

Ролики прижимаются к рельсу-струне через рычаги пружинами. Ход роликов ограничивается жестким упором.

Все детали блока направляющих роликов установлены на сварном алюминиевом корпусе, который закреплен на балансире. Корпус охватывает рельс-струну с трех сторон и препятствует попаданию под ведущее колесо посторонних предметов.

3.5. Тормозная система

Тормозная система юнибуса обеспечивает снижение скорости движения и полную его остановку, а также удержание модуля на уклоне при максимальной загрузке на сухих чистых рельсах.

Тормозная система состоит из электродинамической тормозной системы, стояночной, запасной и аварийной тормозных систем.

Колесные тормозные механизмы – дисковые, с механическим приводом.

В автоматическом режиме движения алгоритм работы электродинамической тормозной системы обеспечивается программой движения юнибуса по маршруту с бортового компьютера.

Стояночная тормозная система состоит из 2-х электромеханизмов (Рис. 18), оборудованных блокирующим устройством, и 4-х механических суппортов (Рис. 19). Связь между суппортами и электромеханизмами обеспечивается тросами дистанционного действия.

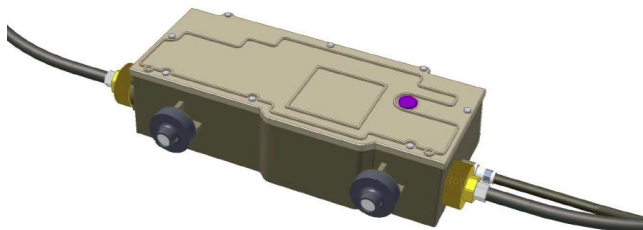


Рис. 18 Электромеханизм привода тормозов



Рис. 19 Механический суппорт тормозной системы

Стояночная тормозная система обеспечивает неподвижность пассажирского юнибуса на остановке за счет поддержания тормозных механизмов в заторможенном состоянии с помощью электромеханизмов. Стояночная система оборудована сигнализатором включенного состояния на пульте управления и индикации. Управляется при помощи кнопки, расположенной на пульте управления и индикации, и от сигнала с бортового компьютера.

Для аварийной разблокировки электромеханизмов в случае отсутствия аварийного электропитания предусмотрено ручное растормаживание тормозов с места оператора.

Запасная тормозная система обеспечивает остановку юнибуса в случае отказа электродинамического торможения. Запасная тормозная система обеспечивается энергией от аккумуляторных батарей или от блока конденсаторных накопителей. Управляется при помощи кнопки, расположенной на пульте управления и индикации, и бортовым компьютером.

Аварийная тормозная система используется как экстренное торможение. Аварийная тормозная система осуществляется совместным действием электродинамической и запасной тормозными системами. Управляется при помощи кнопки, расположенной на пульте управления и индикации, и бортовым компьютером.

3.6. Электрооборудование

Электрооборудование юнибуса состоит из комплекта тягового электрооборудования, узлов и блоков бортовой сети.

Комплект тягового электрооборудования (ТЭО) предназначен для автономного движения транспортного модуля по рельсам-струнам СТЮ. Комплект ТЭО состоит из блока шести конденсаторных накопителей (Рис. 20), двух аккумуляторных батарей, двух тяговых преобразователей, блока управления, пульта управления и индикации, блока заряда, устройства токосъёма, четырех тяговых электродвигателей, силового диода, четырех датчиков вращения, двух датчиков напряжения, датчика останова, автоматического выключателя, линейного контактора, путевого датчика, комплекта жгутов и проводов.

Блок конденсаторных накопителей (БНК) предназначен для питания преобразователей силового привода электрической энергией, запасенной при зарядке на станции и во время рекуперативного торможения.

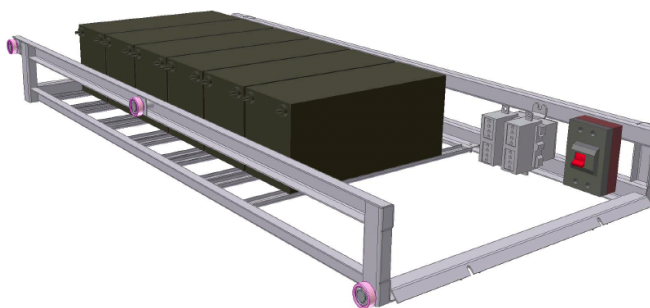


Рис. 20 Тележка с блоком накопителей, линейным контактором и автоматическим выключателем

Аккумуляторные батареи (АБ) предназначены для питания цепей бортовой сети и комплекта ТЭО (Рис. 21).

Тяговый преобразователь (ПТ) предназначен для регулирования частоты вращения тяговых двигателей в зависимости от сигналов блока управления (Рис. 21).

Блок управления (БУ) предназначен для выработки и выдачи управляющих сигналов на силовые элементы в зависимости от заданного режима работы, выбранного режима движения, заданного ускорения в ходовом и тормозном режимах, а также заданного изменения ускорения (Рис. 21).

Пульт управления и индикации (ПУИ) предназначен для выработки сигналов управления движением и сигнализации нормальных и аварийных режимов работы. На пульте управления и сигнализации также расположены органы управления элементами бортовой сети (Рис. 24).

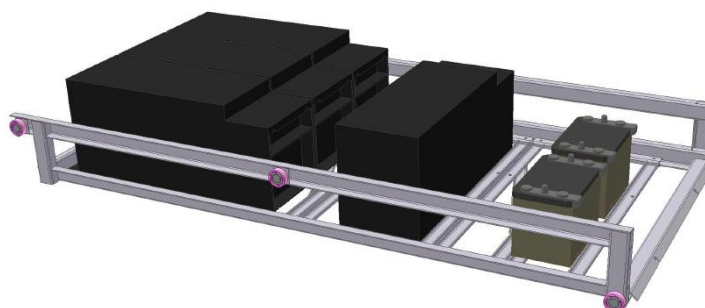


Рис. 21 Тележка с блоком управления, двумя тяговыми преобразователями, блоком заряда и двумя аккумуляторными батареями

Блок заряда АБ, БНК и питания бортовой сети (БЗ) предназначен для питания бортовой сети рабочим напряжением, заряда конденсаторных накопителей и АБ от стационарного зарядного устройства на стоянке и при рекуперативном торможении модуля от двигателей (Рис. 21).

Тяговые электродвигатели (ТЭД) предназначены для приведения пассажирского юнибуса в движение и обеспечения режима электродинамического торможения (Рис. 22).



Рис. 22 Тяговый электродвигатель

Силовой диод предназначен для исключения попадания напряжения блока накопителей конденсаторных на токосъем юнибуса во время движения и во время стоянок.

Датчики вращения (ДВ) предназначены для выработки электрического сигнала о фактическом числе оборотов ТЭД.

Датчики напряжения (ДН) предназначены для электрического сигнала о фактическом напряжении БНК и АБ.

Датчик останова (ДТО) предназначен для позиционирования пассажирского юнибуса на станции.

Устройство токосъёма (УТ) предназначено для подсоединения силовых цепей пассажирского юнибуса к зарядному устройству станции (Рис. 23).

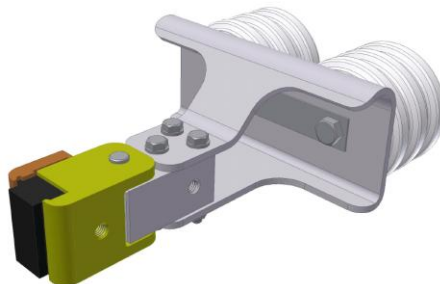


Рис. 23 Токосъёмник

Автоматический выключатель (Рис. 20) предназначен для защиты комплекта тягового оборудования от перегрузок и коротких замыканий, вызванных неисправностями силовых цепей.

Линейный контактор (КЛ) предназначен для оперативного отключения силовых цепей пассажирского юнибуса (Рис. 20).

Путевой датчик (ДП) предназначен для выработки электрического сигнала при проезде пассажирского юнибуса над опорой трассы.

Комплект жгутов и проводов предназначен для электрического соединения блоков комплекта тягового электрооборудования.

Электрооборудование, входящее в состав комплекта ТЭО, устанавливается в ПУИ и в выдвижных тележках.

Бортовая сеть состоит из стеклоочистителя и стеклоомывателя, передних и задних фар, передних и задних сигнальных фонарей, звукового сигнала, блока управления дверью, органов защиты элементов и проводов бортовой сети, органов управления элементами бортовой сети, органов сигнализации нормальной и аварийной работы блоков бортовой сети, светильников освещения салона и рабочего места оператора, блоков системы вентиляции и отопления, блоков телевизионной системы заднего обзора, блоков информационно-речевой системы оповещения пассажиров, комплекта жгутов и проводов.

Стеклоочиститель и стеклоомыватель (Рис. 9) предназначены для очистки переднего стекла. Предусмотрены два режима очистки стекла. Управление осуществляется переключателем, расположенным на ПУИ.

В передней и задней частях платформы пассажирского юнибуса установлены по две фары, предназначенные для освещения трассы при движении модуля передним и задним ходом. Включение фар осуществляется с ПУИ.

В передней части платформы юнибуса установлены передние габаритные фонари. В задней части платформы – задние габаритные фонари и сигналы торможения. Включение габаритных фонарей осуществляется с ПУИ. При включении выключателя аварийной сигнализации габаритные огни начинают гореть мигающим светом, исполняя роль сигналов аварийной остановки. Сигналы торможения включаются автоматически при торможении пассажирского юнибуса.

Звуковой сигнал расположен в передней части юнибуса. Включается кнопкой, расположенной на ПУИ. При возникновении аварийной ситуации в комплекте тягового электрооборудования сигнал включается автоматически (звук прерывистый).

Блоки управления дверью расположены около двери. Органы управления дверью и сигнализации открытого и закрытого состояния двери расположены на ПУИ.

Защита электрических элементов и проводов бортовой сети от короткого замыкания и перегрузок осуществляется предохранителями, расположенными в корпусе ПУИ.

Органы управления элементами бортовой сети предназначены для включения исполнительных механизмов бортовой сети и расположены на лицевых панелях мониторов и ПУИ.

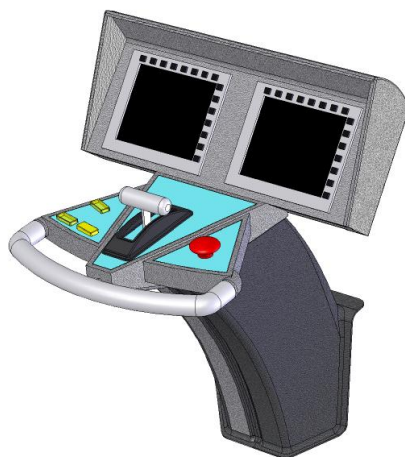


Рис. 24 Пульт управления и индикации

Светильники предназначены для освещения салона и рабочего места оператора. Светильники освещения салона расположены равномерно в верхней потолочной части салона (Рис. 25). Светильник освещения рабочего места оператора (Рис. 26) расположен над рабочим местом оператора. Светильники освещения салона включаются выключателем, расположенным на ПУИ, а выключатель включения светильника рабочего места оператора расположен на самом светильнике. При возникновении аварийной ситуации в системе электропитания юнибуса и отключения питания бортовой сети все светильники гаснут, а два светильника салона включаются вновь автоматически. Питание этих светильников в этом случае осуществляется от аварийной сети юнибуса.



Рис. 25 Люминесцентная лампа светильника салона

В верхней части салона установлены приточный и вытяжной вентиляторы. Управление ими осуществляется выключателями, расположенными на ПУИ. Отопление салона осуществляют два электронагревателя, расположенные в нижней части кузова пассажирского юнибуса, по обе стороны двери. Управление ими осуществляется выключателями, расположенными на ПУИ.



Рис. 26 Светильник освещения рабочего места оператора

Телевизионная система заднего обзора предназначена для просмотра оператором пространства сзади пассажирского юнибуса. Камера наблюдения расположена внутри салона в задней части. Монитор и пульт управления расположены на ПУИ.

Информационно-речевая система предназначена для зрительного и звукового информирования пассажиров о маршруте движения пассажирского юнибуса, сообщения рекламной информации, сообщения правил пользования юнибусом струнной системы и

действий в аварийных ситуациях. В состав системы входят пульт управления, усилитель звуковой частоты, стойка микрофонная, информационное табло (Рис. 27) и два громкоговорителя. Информационное табло расположено в верхней части салона в районе двери. Громкоговорители расположены вверху салона в передней и задней части. Пульт управления и стойка микрофонная расположены на ПУИ. Усилитель звуковой частоты расположен в корпусе ПУИ.



Рис. 27 Информационное табло

Комплект жгутов и проводов предназначен для электрического соединения блоков бортовой сети.

3.7. Система управления транспортным модулем

Для контроля и управления системами пассажирского юнибуса используется CAN–bus технология, в основе которой лежит центральный процессор, связанный единой шиной передачи данных от всех систем юнибуса. Функциональное взаимодействие основных систем и узлов юнибуса изображено на структурной схеме управления приводом пассажирского юнибуса (Рис. 28).

Управление движением в автоматическом режиме осуществляется центральным процессором юнибуса. В ручном режиме – все функции управления возлагаются на оператора.

Контроль состояния систем пассажирского юнибуса и управление его движением, и в автоматическом, и в ручном режимах, осуществляется с рабочего места оператора. На рабочем месте оператора (Рис. 24) расположены: два монитора – систем управления и контроля привода и видеобзора и положения юнибусов на линии; 3-х ходовой контроллер; кнопка включения аккумуляторной батареи; кнопка включения стояночного тормоза; кнопка «АВАРИЯ»; микрофон для нештатного общения с пассажирами. Кроме того, в пассажирском салоне имеется рычаг разблокировки и аварийного открытия дверей пассажирского юнибуса.

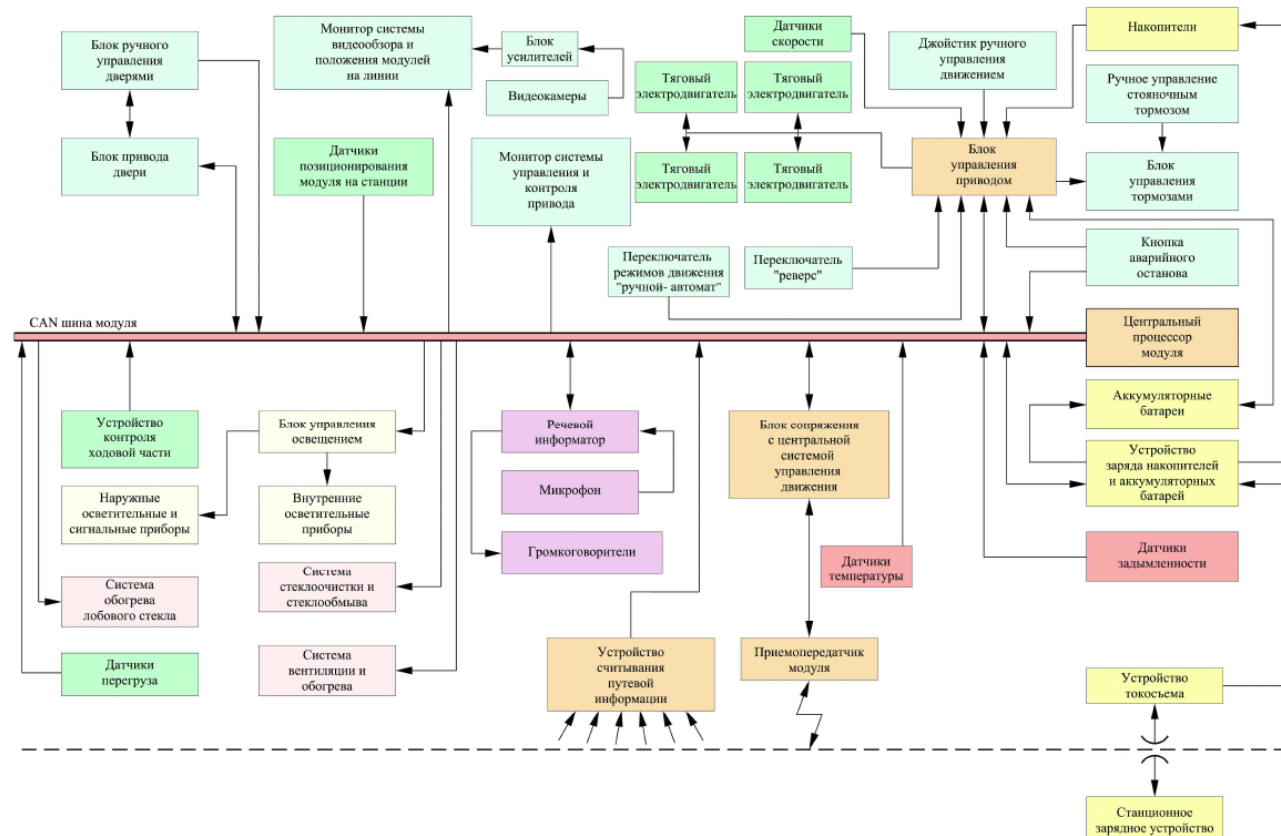


Рис. 28 Структурная схема управления приводом пассажирского юнибуса

В качестве источника энергии используется промышленная сеть, которая станционным зарядным устройством преобразуется в постоянный ток заданного напряжения и через устройство токосъёма передаётся на устройство заряда накопителей и аккумуляторных батарей юнибуса. Подзаряд накопителей и аккумуляторных батарей может производиться от тяговых двигателей, рекуперирующих энергию в режиме торможения.

Включение юнибуса производится путем нажатия кнопки «БАТ» и набора кода «ДОСТУП» на мониторе системы управления. Через краткий промежуток времени на экране монитора загораются и гаснут все символы систем и устройств модуля. В случае отсутствия неисправностей в системах, на мониторе остается отображаться лишь текущее время. При наличии неисправности или неготовности какой-либо системы или устройства, его символ начинает мигать, а для привлечения внимания оператора кратковременно воспроизводится звуковой сигнал. Мигание символа неисправной или неготовой к эксплуатации системы не прекращается до устранения неисправности или до приведения системы в полную готовность.

Нажатие кнопки «ГОТОВ» приводит все системы пассажирского юнибуса к готовности функционирования. При этом на мониторе загораются лишь символы тех систем и устройств, которые не дают разрешение на начало движения (например, недостаточный заряд БНК, включен стояночный тормоз и т. д.), а также «бегущий» символ предстоящего направления движения юнибуса. При необходимости включается наружное и внутреннее освещение, что также отображается на мониторе систем управления и контроля.

При эксплуатации пассажирского юнибуса в штатном режиме после посадки пассажиров, контролируемого по монитору системы видеобзора, рычаг контроллера переводится в нефиксированное положение «АВТОМАТ». При этом на мониторе системы управления и контроля высвечиваются табло «АВТОМАТ», изображение спидометра и комплекс индикации и контроля состояния энергосистемы, а информационная система объявляет следующую остановку и двери пассажирского юнибуса закрываются.

После выключения стояночного тормоза юнибус начинает движение. При этом изображение на мониторе системы видеобзора должно передаваться от телекамер, выполняющих роль внутренних салонных зеркал.

Во время движения монитор системы видеобзора показывает положение движущегося юнибуса и контролирует состояние пути (заднюю полусферу).

При необходимости нажатием соответствующих кнопок можно включить системы стеклоочистки, стеклоомыва и вентиляции салона.

При прибытии на станцию автоматически контролируется срабатывание системы торможения и останова; включается стояночный тормоз и срабатывает информационная система, сообщающая пассажирам о прибытии на станцию, а также открываются двери. При этом во время нахождения юнибуса на станции производится подзарядка БНК от стационарного источника электроэнергии.

После завершения посадки-высадки пассажиров на мониторе системы управления отображается наличие или отсутствие запрета на начало движения от весовой перегрузки. В случае весовой перегрузки юнибуса свыше установленной нормы, информационная система выдает пассажирам информацию об этом в виде звукового сигнала. Звуковой сигнал продолжает звучать до момента устранения весовой перегрузки.

При отсутствии запрета на движение оператор пассажирского юнибуса отклоняет рычаг контроллера в положение «АВТОМАТ» и выключает стояночный тормоз. После чего цикл движения юнибуса между станциями повторяется.

В случае возникновения нештатной ситуации (например, появление на пути следования препятствий, запредельных показателей комплекса индикации и контроля состояния энергосистемы и пр.), воздействуя на рычаг контроллера (вперед – ускорение, назад – торможение) можно перевести управление юнибусом в ручной режим. При этом на мониторе системы управления гаснет табло «АВТОМАТ» и загорается табло «РУЧНОЕ».

После завершения последней суточной смены оператор в ручном режиме управления, используя контроллер, перегоняет пассажирского юнибуса к месту стоянки и включает стояночный тормоз.

При необходимости движения задним ходом, оператор, при неподвижном состоянии пассажирского юнибуса и включенном стояночном тормозе, путем нажатия на соответствующую кнопку на мониторе системы управления задает нужное направление движения. При этом на мониторе появляется «бегущий» символ направления движения, а на мониторе системы видеобзора – вид задней полусферы. После чего оператор выключает стояночный тормоз и управляет юнибусом в ручном режиме движения, используя контроллер.

При возникновении короткого замыкания в энергосистеме, пожара или при серьезных механических поломках, оператор путем нажатия кнопки «АВАРИЯ» обесточивает пассажирский юнибус, включает стояночный тормоз после остановки, и, при необходимости, принимает меры для эвакуации пассажиров и устранения аварийной ситуации. При этом наружные габаритные огни юнибуса мигают.

В случае аварийной остановки юнибуса на путях оператор производит упомянутые выше действия по обесточиванию и затормаживанию пассажирского юнибуса и сообщает диспетчеру линии об аварии. С ближайшей станции по встречному пути отправляется другой юнибус загруженный спасательным трапом, который останавливается напротив аварийного юнибуса. С помощью рычага ручной разблокировки операторы обоих юнибусов открывают аварийные запасные двери, перебрасывают спасательный трап между ними и обеспечивают безопасный переход пассажиров аварийного пассажирского юнибуса. Затем юнибус вышедший из строя буксируется до места ремонта, либо причина аварии устраняется на месте силами оператора или ремонтной бригады.

Тягово-динамический расчет пассажирского юнибуса Ю-501

1. Введение

Данный расчет производится для пассажирского юнибуса автоматической транспортной системы СТЮ.

Предполагается, что:

- юнибус будет иметь 8 сидячих мест и 12 мест для стоящих пассажиров (см. рис.1);
- участок пути горизонтальный с двумя конечными остановками, где будет производиться подзарядка блока шести конденсаторных накопителей типа 30ЭК404, которые играют роль бортовых источников энергии для движения и жизнеобеспечения юнибуса;
- тяговый электропривод выполнен на базе асинхронных электродвигателей с возможностью увеличения мощности в два раза при помощи силовой электроники.

Целью настоящего расчета являются:

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

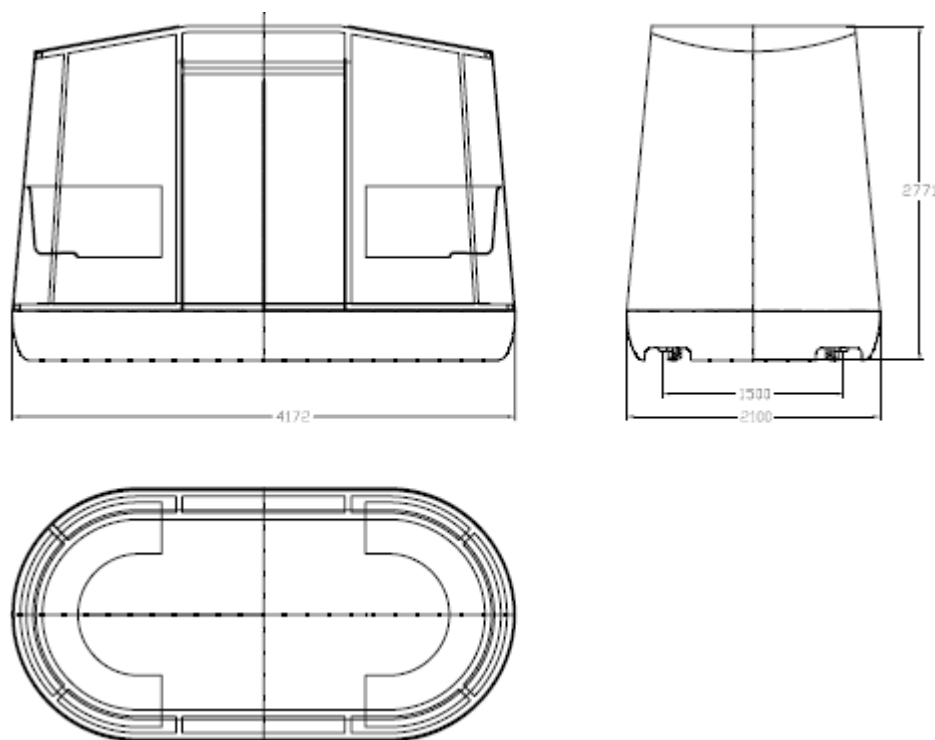


Рис.1 Юнибус Ю-501

2. Исходные данные расчета

Полная масса юнибуса, кг	$m = 3500$
Максимальная скорость, км/ч	$V = 25$
Коэффициент сопротивления качению колес юнибуса	$f = 0,0022$
Коэффициент лобового аэродинамического сопротивления	$C_w = 0,4$
Размер лобовой площади (мидель), м ²	$A = 5,0$
Плотность воздуха, кг/м ³	$\rho = 1,202$
Ускорение свободного падения, м/с ²	$g = 9,8$
Радиус качения тягового колеса, м	$r = 0,175$
Максимальное ускорение (замедление), м/с ²	$a = 0,7$
Мощность компрессора кондиционера, Вт	$N_k = 6000$
КПД редуктора (две пары зубчатого зацепления с подш.кач.)	$\eta_1 = 0,96$
КПД электродвигателей	$\eta_2 = 0,9$

КПД электронных преобразователей	$\eta_3 = 0,94$
Синхронная частота вращения тяговых электродвигателей, об/мин	$n = 1500$
Пусковой коэффициент тяговых электродвигателей	$k = 2,2$
Колесная формула	4 x 4
Протяженность участка, м	$S = 1000$
Мощность зарядного устройства, Вт	$N_3 = 90000$
КПД блока накопителей	$\eta_4 = 0,65$
Емкость блока накопителей, Ф	$C = 88,0$
Диапазон рабочих напряжений блока накопителей, В	144 – 288

3. Условия

3.1 По условиям рассматриваются два варианта:

Вариант 1: безветрие;

Вариант 2: скорость встречного ветра 15 м / с.

3.2 Цикл движения принят следующий:

- разгон со станции отправления до скорости 25 км / час (начальное ускорение $0,7 \text{ м / с}^2$);
- равномерное движение со скоростью 25 км / час;
- рекуперативное торможение с постоянным замедлением $0,7 \text{ м/с}^2$ до полной остановки на следующей станции (начало торможения определяется исходя из длины тормозного пути).

4. Выбор тягового электродвигателя

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

4.1 Определение наибольшего крутящего момента на тяговом колесе (T_2).

Наибольший потребный крутящий момент определятся из условия обеспечения тяговым электрооборудованием заданного максимального ускорения при встречном ветре 15 м / с.

$$M_2 = r (m \cdot a + F_{\text{вет}} + F) / 4 = 0,175 (3500 \cdot 0,7 + 270,5 + 75,5) / 4 = 122,5 \text{ Нм}$$

Где,

$$F = m \cdot g \cdot f = 3500 \cdot 9,8 \cdot 0,0022 = 75,5 \text{ Н} - \text{сила сопротивления качению};$$

$$F_{\text{вет}} = 0,5 \cdot \rho \cdot C_w \cdot A \cdot V_{\text{вет}}^2 = 0,5 \cdot 1,202 \cdot 0,4 \cdot 5,0 \cdot 15^2 = 270,5 \text{ Н} - \text{сила сопротивления ветра.}$$

4.2 Определение потребного наибольшего крутящего момента на валу тягового электродвигателя.

Наибольший крутящий момент на валу тягового электродвигателя (M_1) определяется по формуле:

$$M_1 = M_2 / i \cdot \eta_1 = 122,5 / 7,9 \cdot 0,96 = 16,15 \text{ Н м}$$

Где,

$$i = n_1 / n_2 = 3000 / 379 = 7,9 - \text{передаточное число редуктора};$$

$$n_1 = 3000 \text{ об/мин} - \text{максимальная частота вращения тяговых электродвигателей при частоте } 100 \text{ Гц питающего напряжения, об/мин};$$

$$n_2 = V / 0,377 \cdot r = 25 / 0,377 \cdot 0,175 = 379 \text{ об/мин} - \text{частота вращения тяговых колес при скорости } 25 \text{ км/ч.}$$

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

$$N = M_1 \cdot \omega / k = 16,15 \cdot 157 / 2,2 = 1152,5 \text{ Вт}$$

Где,
 $\omega = 157 \text{ сек}^{-1}$ - синхронная угловая скорость тягового электродвигателя;
 $k = 2,0 \dots 2,2$ - пусковой коэффициент асинхронных электродвигателей малой мощности с синхронная частота вращения 1500 об/мин.

Типоразмер выбранного электродвигателя АИР80А4. Номинальная мощность 1,1 кВт. Масса 12,4 кг.

5. Расчет динамических показателей разгона

Расчет динамических показателей производится из условия ограничения ускорения величиной $0,7 \text{ м/с}^2$ и использования максимальной мощности в дальнейшем (с момента начала падения ускорения).

Максимальная мощность (N_{max}) на валу тяговых электродвигателей при частоте 100 Гц питающего напряжения соответствует 8800 Вт.

5.1 Сила аэродинамического сопротивления определяется по формуле:

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

Где,
 V_i – текущая скорость, м/с
Результаты расчета см.:
- таблицу 1 для варианта 1;
- таблицу 2 для варианта 2.

5.2 Ускорение определяется по формуле:

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

Где,
 $P = N_{\text{max}} \cdot \eta_1 / V$ – суммарная сила тяги на колесах, Н
Результаты расчета см.:
- таблицу 1 для варианта 1;
- таблицу 2 для варианта 2.

5.3 Время (T_p) и путь разгона (S_p) определяются как сумма приращений в интервалах скорости (ΔV): 0 – 2; 2 – 4; и т.д. до 24 – 25 км/ч.

Приращение времени в каждом интервале скорости:

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

Где,
 $a_{\text{cp}} = 0,5(a_i + a_{i+1})$ – среднее ускорение, м/с^2

Результаты расчета см.:
- таблицу 1 для варианта 1;
- таблицу 2 для варианта 2.

Приращение пути разгона в каждом интервале:

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

Где,
 $V_{cp} = 0,5(V_i + V_{i+1})$ – средняя скорость в каждом интервале, м/с

Результаты расчета см.:

- таблицу 1 для варианта 1;
- таблицу 2 для варианта 2.

Таблица 1

Динамические показатели разгона для варианта 1 (безветрие)

V, км/ч	V, м/с	P, Н	R, Н	a, м/с	a ср, м/с	ΔT, сек	Vcp, м/с	ΔS, м	Tp, с	Sp, м
0										
2	0.556	15840.000	0.371	0.700	0.700	0.794	0.278	0.220	0.794	0.220
4	1.111	7920.000	1.484	0.700	0.700	0.794	0.833	0.661	1.587	0.882
6	1.667	5280.000	3.339	0.700	0.700	0.794	1.389	1.102	2.381	1.984
8	2.222	3960.000	5.936	0.700	0.700	0.794	1.944	1.543	3.175	3.527
10	2.778	3168.000	9.275	0.700	0.700	0.794	2.500	1.984	3.968	5.511
12	3.333	2640.000	13.356	0.700	0.700	0.794	3.056	2.425	4.762	7.937
14	3.889	2262.857	18.178	0.620	0.660	0.842	3.611	3.040	5.604	10.977
16	4.444	1980.000	23.743	0.537	0.579	0.960	4.167	4.001	6.564	14.978
18	5.000	1760.000	30.050	0.473	0.505	1.100	4.722	5.195	7.664	20.172
20	5.556	1584.000	37.099	0.420	0.447	1.244	5.278	6.566	8.908	26.738
22	6.111	1440.000	44.890	0.377	0.399	1.393	5.833	8.128	10.301	34.866
24	6.667	1320.000	53.422	0.340	0.359	1.549	6.389	9.896	11.850	44.761
25	6.944	1267.200	57.967	0.324	0.332	0.836	6.806	5.692	12.687	50.453

Таблица 2

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

V, км/ч	V, м/с	P, Н	R, Н	a, м/с	a ср, м/с	ΔT, сек	Vcp, м/с	ΔS, м	Tp, с	Sp, м
0										
2	0.556	15840.000	0.371	0.700	0.700	0.794	0.278	0.220	0.794	0.220
4	1.111	7920.000	1.484	0.700	0.700	0.794	0.833	0.661	1.587	0.882
6	1.667	5280.000	3.339	0.700	0.700	0.794	1.389	1.102	2.381	1.984
8	2.222	3960.000	5.936	0.700	0.700	0.794	1.944	1.543	3.175	3.527
10	2.778	3168.000	9.275	0.700	0.700	0.794	2.500	1.984	3.968	5.511
12	3.333	2640.000	13.356	0.652	0.676	0.822	3.056	2.512	4.790	8.023
14	3.889	2262.857	18.178	0.543	0.597	0.930	3.611	3.360	5.721	11.383
16	4.444	1980.000	23.743	0.460	0.501	1.108	4.167	4.618	6.829	16.001
18	5.000	1760.000	30.050	0.395	0.428	1.299	4.722	6.133	8.128	22.134
20	5.556	1584.000	37.099	0.343	0.369	1.504	5.278	7.940	9.632	30.074
22	6.111	1440.000	44.890	0.300	0.321	1.728	5.833	10.081	11.360	40.155
24	6.667	1320.000	53.422	0.263	0.281	1.974	6.389	12.613	13.335	52.768
25	6.944	1267.200	57.967	0.247	0.255	1.090	6.806	7.418	14.424	60.186

6. Динамические показатели торможения

$$T_{\text{торм}} = V / a = 6,944 / 0,7 = 9,92 \text{ с}$$

$$S_{\text{торм}} = a \cdot T_{\text{торм}}^2 / 2 = 0,7 \cdot 9,92^2 / 2 = 34,5 \text{ м}$$

7. Путь и время равномерного движения со скоростью 25 км/ч

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

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

Результаты расчета – см.таблицу 3.

Таблица 3

Путь и время равномерного движения со скоростью 25 км/ч

Параметр равномерного движения	Вариант 1	Вариант 2
$S_{\text{равн}}, \text{ м}$	915	905,4
$T_{\text{равн}}, \text{ с}$	131,8	130,4

8. Общее время необходимое для преодоления всего участка пути определяется как сумма

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

Результаты расчета – см.таблицу 4.

Таблица 4

Общее время, необходимое для преодоления всего участка пути

Вариант	$T, \text{ с}$
1	154,4
2	154,7

9. Энергия на тяговых колесах, потребная для разгона, определяется как сумма

$$W_1 = W_{11} + W_{12}, \text{ Дж}$$

Где,

$W_{11} = (m \cdot a + R_1 + F) S_1$ – энергия, потребная для разгона с постоянным ускорением $0,7 \text{ м/с}^2$, Дж;

R_1 – усредненная аэродинамическая сила сопротивления на участке разгона с постоянным ускорением $0,7 \text{ м/с}^2$ (см.таблицы 1 и 2);

S_1 – протяженность участка разгона с постоянным ускорением $0,7 \text{ м/с}^2$ (см.таблицы 1 и 2);

$W_{12} = N_{\text{max}} (t_2 - t_1)$ – энергия, потребная для дальнейшего разгона до достижения скорости 25 км/ч, Дж;

t_2 – время разгона до скорости 25 км/ч (см. таблицы 1 и 2);

t_1 – время разгона с постоянным ускорением $0,7 \text{ м/с}^2$ (см. таблицы 1 и 2).

Результаты расчета – см. таблицу 5.

10. Энергия на тяговых колесах, потребная для равномерного движения со скоростью 25 км/ч, определяется по формуле:

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

Где,

$R_2 = 57,967 \text{ Н}$ – сила аэродинамического сопротивления при скорости 25 км/ч (см. таблицы 1 и 2).

Результаты расчета – см. таблицу 5.

Таблица 5

Энергия на тяговых колесах, потребная для разгона и равномерного движения

Вариант	W_{11}	W_{12}	W_1	W_2
1	20259	70400	90659	120322,5
2	15684	91520	107204	558180,0

11. Определение энергии рекуперации на участке торможения

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

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

Результаты расчета – см. таблицы 6 и 7.

11.2 Энергия, затрачиваемая на преодоление сил аэродинамического сопротивления, сопротивления качению колес и встречного ветра определяется, определяется как сумма приращений в интервалах скорости (ΔV): 0 – 2; 2 – 4; и т.д. до 24 – 25 км/ч. При расчете приращение энергии в интервале определяется по формуле:

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

$$\begin{aligned} &\text{Где,} \\ N_{T\text{cp}} &= 0,5(N_{Ti} + N_{Ti+1}), \text{ Вт} \\ \Delta T &= \Delta V / a = 0,28 / 0,7 = 0,397 \text{ с} \end{aligned}$$

Результаты расчета – см. таблицы 6 и 7.

Таблица 6

Приращение энергии, затрачиваемой на преодоление сил аэродинамического сопротивления и сопротивления качению колес при торможении

$V, \text{ км/ч}$	$V, \text{ м/с}$	$R, \text{ Н}$	$R+F$	$N_T, \text{ Вт}$	$N_{T\text{cp}}, \text{ Вт}$	$\Delta W, \text{ Дж}$
25	6,94	57,967	133,427	926,5751457	892,8949803	354,32
24	6,67	53,422	128,882	859,2148148	827,3895876	328,33
23	6,39	49,063	124,523	795,5643604	765,5167824	303,78
22	6,11	44,890	120,350	735,4692044	707,1219865	280,60
21	5,83	40,901	116,361	678,7747685	652,0506216	258,75
20	5,56	37,099	112,559	625,3264746	600,1481096	238,15
19	5,28	33,482	108,942	574,9697445	551,2598723	218,75
18	5,00	30,050	105,510	527,55	505,2313314	200,49
17	4,72	26,804	102,264	482,9126629	461,907909	183,30
16	4,44	23,743	99,203	440,903155	421,1350266	167,12
15	4,17	20,868	96,328	401,3668981	382,7581061	151,89
14	3,89	18,178	93,638	364,1493141	346,6225694	137,55
13	3,61	15,674	91,134	329,0958248	312,5738383	124,04
12	3,33	13,356	88,816	296,0518519	280,4573345	111,29
11	3,06	11,222	86,682	264,8628172	250,1184799	99,25
10	2,78	9,275	84,735	235,3741427	221,4026963	87,86
9	2,50	7,513	82,973	207,43125	194,1554055	77,05
8	2,22	5,936	81,396	180,879561	168,2220293	66,75

Таблица 7

Приращение энергии, затрачиваемой на преодоление сил аэродинамического сопротивления, сопротивления качению колес и встречного ветра при торможении

V, км/ч	V, м/с	R, Н	R+F+Fветр	Nт, Вт	Nтсп, Вт	ΔW, Дж
25	6,94	57,967	403,877	2804,700146	2733,45748	1084,71
24	6,67	53,422	399,332	2662,214815	2592,827088	1028,90
23	6,39	49,063	394,973	2523,43936	2455,829282	974,54
22	6,11	44,890	390,800	2388,219204	2322,309486	921,55
21	5,83	40,901	386,811	2256,399769	2192,113122	869,89
20	5,56	37,099	383,009	2127,826475	2065,08561	819,48
19	5,28	33,482	379,392	2002,344745	1941,072372	770,27
18	5,00	30,050	375,960	1879,8	1819,918831	722,19
17	4,72	26,804	372,714	1760,037663	1701,470409	675,19
16	4,44	23,743	369,653	1642,903155	1585,572527	629,20
15	4,17	20,868	366,778	1528,241898	1472,070606	584,16
14	3,89	18,178	364,088	1415,899314	1360,810069	540,00
13	3,61	15,674	361,584	1305,720825	1251,636338	496,68
12	3,33	13,356	359,266	1197,551852	1144,394835	454,12
11	3,06	11,222	357,132	1091,237817	1038,93098	412,27
10	2,78	9,275	355,185	986,6241427	935,0901963	371,07
9	2,50	7,513	353,423	883,55625	832,7179055	330,44
8	2,22	5,936	351,846	781,879561	731,6595293	290,34
7	1,94	4,545	350,455	681,4394976	631,7604895	250,70
6	1,67	3,339	349,249	582,0814815	532,866208	211,45
5	1,39	2,319	348,229	483,6509345	434,8221065	172,55
4	1,11	1,484	347,394	385,9932785	337,4736068	133,92
3	0,83	0,835	346,745	288,9539352	240,6661308	95,50
2	0,56	0,371	346,281	192,3783265	144,2451003	57,24
1	0,28	0,093	346,003	96,11187414	48,05593707	19,07
0	0,00	0,000	345,910	0	0	0,00

Энергия, затрачиваемая на преодоление сил аэродинамического сопротивления, сопротивления качения колес и встречного ветра составит для:

- варианта 1(без встречного ветра): $W_{п} = 3599$ Дж;
- варианта 2(встречный ветер 15 м/с): $W_{п} = 12915$ Дж.

11.3 Энергия рекуперации на участке торможения определяется по формуле:

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

Где,
 $W_k = m \cdot V^2 / 2 = 3500 \cdot 6,94^2 / 2 = 84286$ Дж - кинетическая энергия модуля, движущегося со скоростью 25 км/ч.

Результаты расчета – см. таблицу 8.

12. Энергия блока накопителей, затраченная на преодоление всего участка пути модулем, определяется по формуле:

$$W_d = (W_1 + W_2) / \eta_2 \cdot \eta_3 - W_p, \text{ Дж}$$

Результаты расчета – см. таблицу 8.

13. Энергия блока накопителей, затраченная на кондиционирование воздуха в салоне определяется по формуле:

$$W_k = N_k \cdot T / \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 = 6000 \cdot 154,4 / 0,96 \cdot 0,9 \cdot 0,94 = 1140662 \text{ Дж}$$

Примечания.

1. Расчет произведен по варианту 1, т.к. расчетное время преодоления участка пути почти одинаковое в обоих вариантах (см. таблицу 4).

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

14. Энергия блока накопителей, затраченная на преодоление участка пути юнибусом и кондиционирование воздуха в салоне, определяется как сумма:

$$W_{\text{общ}} = W_d + W_k, \text{ Дж}$$

Результаты расчета – см. таблицу 8.

Таблица 8

Энергия блока накопителей, затраченная на преодоление участка пути юнибусом и кондиционирование воздуха в салоне

Варианты	W_p	W_d	W_k	$W_{\text{общ}}$
1	65531	184752	1140662	1325414
2	57965	729323	1140662	1869985

15. Время, необходимое для восполнения энергии блока накопителей на станции, определяется по формулам:

$t_d = W_d / N_3$, с – время, необходимое для восполнения энергии блока накопителей на станции для случая преодоления участка пути с выключенным кондиционером;

$t_{\text{общ}} = W_{\text{общ}} / N_3$, с – время, необходимое для восполнения энергии блока накопителей на станции для случая преодоления участка пути с включенным кондиционером.

Результаты – см. таблицу 9

Таблица 9

Время необходимое для восполнения энергии блока накопителей на станции

Вариант	t_d , с	$t_{\text{общ}}$, с
1	3,2	22,7
2	12,5	32,0

16. Проверка соответствия величины напряжения, выдаваемого блоком накопителей в конце участка равномерного движения, диапазону рабочих напряжений

16.1 Номинальная энергия полностью заряженного блока накопителей определяется по формуле:

$$W_{\text{н1}} = C \cdot U_1^2 / 2 = 88 \cdot 288^2 / 2 = 3649536 \text{ Дж}$$

$U_1 = 288 \text{ В}$ – верхнее значение диапазона рабочих напряжений

16.2 Наименьшее количество энергии блока накопителей соответствует энергии накопителей в конце участка равномерного движения со скоростью 25 км/ч и определяется по формуле:

$$W_{\text{мин}} = W_{\text{н1}} - W_{\text{д}} - W_{\text{к1}}, \text{ Дж}$$

Где,

$W_{\text{к1}} = N_{\text{к}} \cdot (T_{\text{р}} + T_{\text{равн}}) / \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3$ – энергия блока накопителей, затраченная на кондиционирование воздуха в салоне на участке разгона и равномерного движения, Дж

Примечание. Энергия блока накопителей, затраченная на кондиционирование воздуха в салоне на участке торможения, по расчетам примерно равно энергии рекуперации.

Результаты – см. таблицу 10.

Наименьшее напряжение, выдаваемое блоком накопителей, соответствует напряжению, выдаваемому в конце участка равномерного движения, и определяется по формуле:

$$U_{\text{мин}} = (2 \cdot W_{\text{мин}} / C)^{0,5}, \text{ В}$$

Результаты – см. таблицу 10.

Таблица 10

Наименьшее количество энергии и наименьшее напряжение блока накопителей

Вариант	$W_{\text{мин}}, \text{ Дж}$	$U_{\text{мин}}, \text{ В}$
1	2397356	233
2	1850295	205

17. Минимальный запас энергии блока накопителей соответствует оставшемуся количеству энергии в конце участка равномерного движения и определяется из выражения:

$$W_{\text{зап}} = W_{\text{мин}} - W_{\text{н2}}, \text{ Дж}$$

Где,

$W_{\text{н2}} = C \cdot U_2^2 / 2 = 88 \cdot 144^2 / 2 = 912384 \text{ Дж}$ – остаточная энергия блока накопителей при нижнем значении рабочего напряжения 144 В (данная энергия согласно ТУ изготовителя не может быть использована: питание должно быть отключено).

Результаты – см. таблицу 11.

Таблица 11

Минимальный запас энергии блока накопителей

Вариант	$W_{\text{зап}}, \text{ Дж}$
1	1484972
2	937911,0

18. Выводы

18.1 Установочная мощность каждого тягового электродвигателя (4 шт.) должна быть 1152,5 Вт. Наиболее подходящий типоразмер электродвигателя: АИР80А4 номинальной мощностью 1,1 кВт при массе 12,4 кг.

Примечание.

1. Снижение установочной мощности тяговых электродвигателей возможно (теоретически) при условии снабжения каждого электродвигателя редуктором, обеспечивающим автоматическое изменение передаточного числа по мере разгона. Такое решение значительно усложнит привод и управление. При этом вполне может оказаться, что масса такого моторного блока превысит массу блока, состоящего из двигателя с большей установочной мощностью и редуктора с постоянным передаточным числом.

2. Анализ возможности использования мотор-колес показал, что серийно изготавливает мотор-колеса близкой мощности только фирма ИНКАР М (мощность -1000 Вт при массе 16 кг). Однако использование их (при указанных исходных данных) не представляется возможным по той причине, что указанные мотор-колеса обеспечивают пусковой момент 100 Нм против требуемого 122,5 Нм. Кроме того, данный пусковой момент 100 Нм допускается лишь в течение 1-2 сек, тогда, как расчеты показывают, что при разгоне крутящий момент такой величины на тяговых колесах будет иметь место не менее 14 сек (асинхронные двигатели малой мощности допускают перегруз без последствий до 30 сек). По предварительным расчетам для использования указанных мотор-колес необходимо снизить примерно в два раза полную массу модуля или соответственно ограничить величину ускорения (или комбинировать).

18.2 Энергия, затраченная на равномерное движение в варианте 1 (без ветра) всего лишь на 25 % превышает энергию, затраченную на разгон, тогда как для варианта 2 (встречный ветер 15 м/с) это превышение составляет уже 80%. Для снижения затрат энергии при равномерном движении следует поискать пути дальнейшего снижения коэффициента аэродинамического сопротивления и миделя.

18.3 Время, необходимое для восполнения энергии блока накопителей после преодоления модулем всего участка с выключенными кондиционерами для варианта 1 составило 3,2 с, что в семь раз меньше в сравнении со случаем движения с включенными кондиционерами.

Для снижения затрат энергии на кондиционирование воздуха в салоне желательно:

- уменьшить прозрачные перекрытия, поступление тепла через которые превышает по расчетам количество тепла через непрозрачные перекрытия более чем в два раза;
- снизить теплопроводность перекрытий (например, используя полые оболочки);
- рассмотреть возможность уменьшения количества пассажиров и объема салона.

18.4 Рабочее напряжение блока накопителей не снижается ниже 205 В, что выше нижнего предела 144 В, оговоренного производителем накопителей.

18.5 Количество энергии блока накопителей не снижается ниже 937911 Дж, что автоматически обеспечит повторный разгон модуля (после остановки по команде безопасности) с заложенным в программу ускорением с любой точки участка движения.