



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

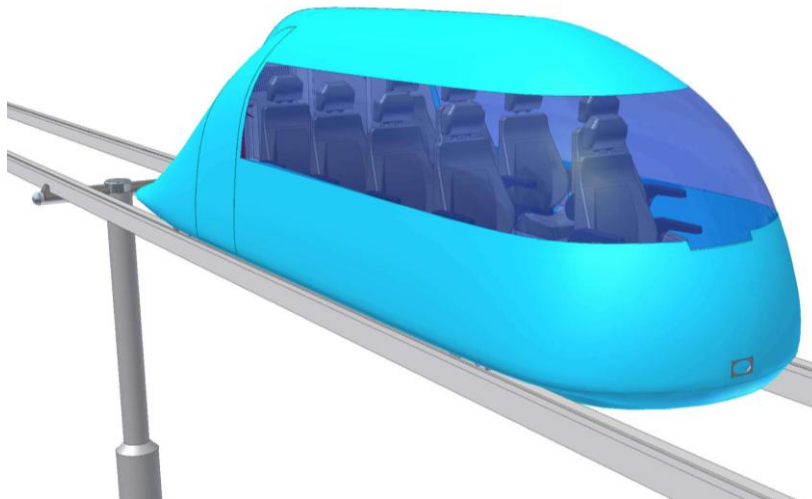
Аванпроект на экипажи СТЮ (юнибусы)

Том 3. Экипажи моделей Ю-321П и Ю-321ПЭ колеей 1500 мм

Государственный контракт № 7у на разработку проекта «Генеральная транспортная стратегия применения и создания трасс струнного транспорта Юницкого (СТЮ) в Ханты-Мансийском автономном округе — Югре» от 31 мая 2007 г.

Этап 2. Проведение предпроектных расчетно-конструкторских работ

Подэтап 2.1. Разработка Аванпроекта на экипажи СТЮ (юнибусы)



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

_____ А.Э. Юницкий
«18» июня 2007 г.

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. Даньщиков

Ведущий конструктор ООО «СТЮ»

_____ В.Ю. Акулов

Ведущий конструктор ООО «СТЮ»

_____ А.И. Лапцевич

Содержание

1. Пояснительная записка к Аванпроекту на экипажи СТЮ (юнибусы) моделей Ю-321П и Ю-321ПЭ колесей 1500 мм (321П-0000010ПЗ)	4
2. Тягово-динамический расчет высокоскоростного пассажирского юнибуса Ю-321П (321П-0000010РР)	54
3. Тягово-динамический расчет высокоскоростного пассажирского юнибуса Ю-321ПЭ (321ПЭ-0000010РР)	72
4. Тепловой баланс высокоскоростных пассажирских юнибусов моделей Ю-321П и Ю-321ПЭ (321П-0000010-01РР)	93
5. Расчет на статическую и динамическую устойчивость пассажирских высокоскоростных юнибусов моделей Ю-321П и Ю-321ПЭ (321П-0000010-02РР)	111



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

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный конструктор
ООО «Струнный транспорт Юницкого»

_____ А.Э. Юницкий

«18» июня 2007 г.

Пояснительная записка
к Аванпроекту на экипажи СТЮ (юнибусы)
моделей Ю-321П и Ю-321ПЭ колеей 1500 мм
(321П-0000010ПЗ)

Содержание пояснительной записки

1. Введение	6
2. Назначение, область применения и цель разработки	6
3. Технические характеристики высокоскоростного пассажирского юнибуса	7
4. Технические решения, используемые при разработке высокоскоростного пассажирского юнибуса	20
5. Техничко-экономические показатели высокоскоростного юнибуса	49
6. Организация разработки и производства юнибуса	52

1. Введение

1.1. Основание для разработки

Основанием для разработки аванпроекта на экипажи СТЮ (юнибусы) моделей Ю-321П и Ю-321ПЭ колеей 1500 мм является государственный контракт № 7у от 31.05.2007 г. на разработку проекта «Генеральная транспортная стратегия применения и создания трасс струнного транспорта Юницкого (СТЮ) в Ханты-Мансийском автономном округе — Югре».

1.2. Наименование заказчика

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

2. Назначение, область применения и цель разработки

Высокоскоростной пассажирский рельсовый автомобиль (юнибус) моделей Ю-321П (см. рис. 1) и Ю-321ПЭ предназначен для высокоскоростной междугородной двурельсовой струнной транспортной системы второго уровня колеей 1500 мм. Наиболее целесообразно использовать этот юнибус для высокоскоростных пассажирских перевозок по маршруту «Ханты-Мансийск — Сургут», а также на других высокоскоростных трассах СТЮ колеей 1500 мм, построенных в будущем в ХМАО—Югре.

Целью разработки опытного образца юнибуса является проверка конструкторских, технологических решений и уточнение отдельных характеристик для использования их при разработке конструкций подвижного состава высокоскоростной междугородной струнной транспортной системы по маршруту «Ханты-Мансийск — Сургут» (первая очередь в создании сети высокоскоростных трасс «второго уровня» в ХМАО—Югре).

Юнибус моделей Ю-321П и Ю-321ПЭ разрабатывается впервые, заменяемое изделие отсутствует.

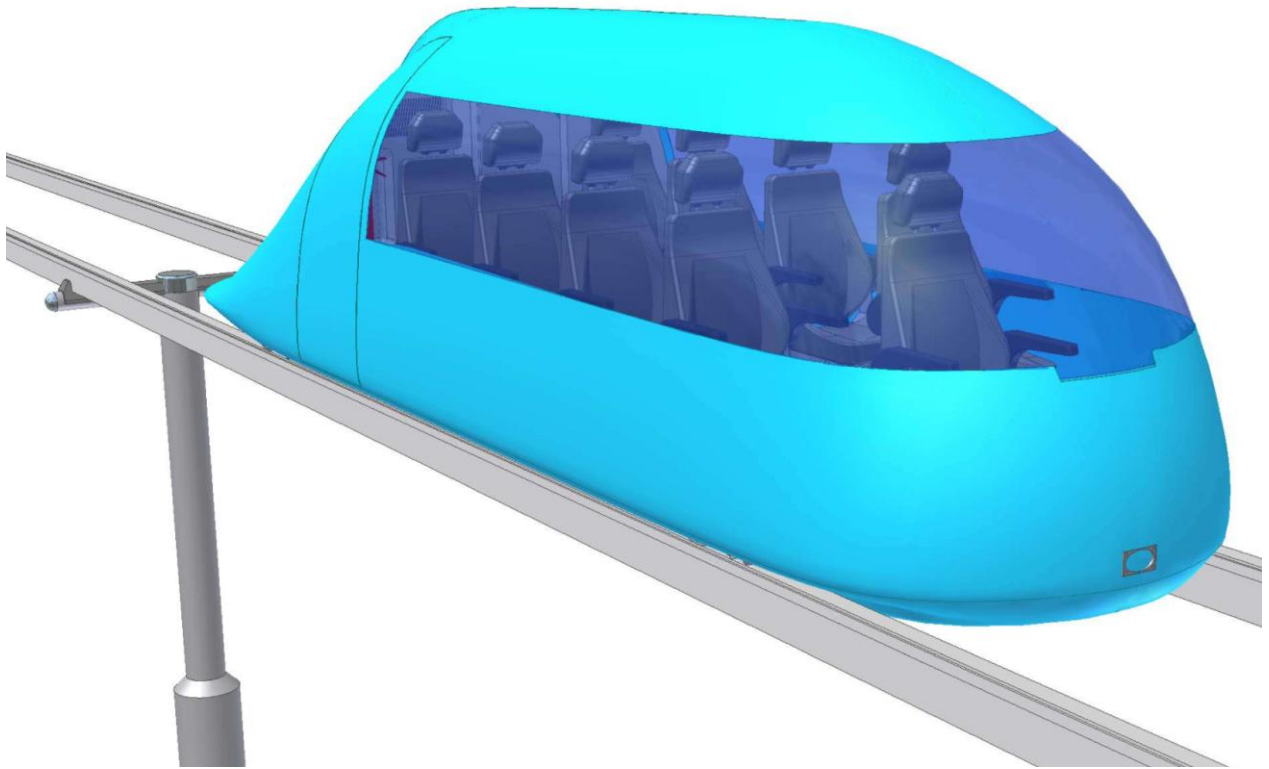


Рис. 1. Общий вид юнибуса модели Ю-321П
для высокоскоростной междугородной струнной транспортной системы

3. Технические характеристики высокоскоростного пассажирского юнибуса

Высокоскоростной пассажирский рельсовый автомобиль (юнибус) моделей Ю-321П и Ю-321ПЭ для высокоскоростной междугородной струнной транспортной системы по маршруту «Ханты-Мансийск — Сургут» представлен в нескольких вариантах исполнения:

- Ю-321П — девятиместный юнибус повышенной комфортности, оснащенный силовым агрегатом «Дизельный двигатель — автоматическая коробка передач» (габаритный чертеж — см. рис. 2; чертеж общего вида — см. рис. 3). Рассмотрены три варианта оснащения юнибуса разными силовыми агрегатами: ГАЗ 5602 + RL608, AFD-2.5TDI + 5HP24 и M16TCA + 5HP24;
- Ю-321П1 — одиннадцатиместный юнибус, оснащенный силовым агрегатом

«Дизельный двигатель — автоматическая коробка передач» (габаритный чертеж — см. рис. 4; чертеж общего вида — см. рис. 5);

- Ю-321ПЭ — девятиместный юнибус повышенной комфортности, оснащенный электрическим приводом (габаритный чертеж — см. рис. 6; чертеж общего вида — см. рис. 7);
- Ю-321ПЭ1 — одиннадцатиместный юнибус, оснащенный электрическим приводом (габаритный чертеж - см. рис. 8; чертеж общего вида - см. рис.9).

Юнибусы вариантов Ю-321ПЭ и Ю-321ПЭ1 предназначены для эксплуатации на электрифицированной струнной транспортной линии, Ю-321П и Ю-321П1 — для неэлектрифицированной линии.

Эксплуатация обоих вариантов предполагается в автоматическом режиме. Аванпроектом предусмотрены также варианты выполнения юнибуса с полуавтоматическим управлением (с оператором на борту на переднем кресле).

Технические характеристики базовых вариантов Ю-321П и Ю-321ПЭ приведены в таблице 1.

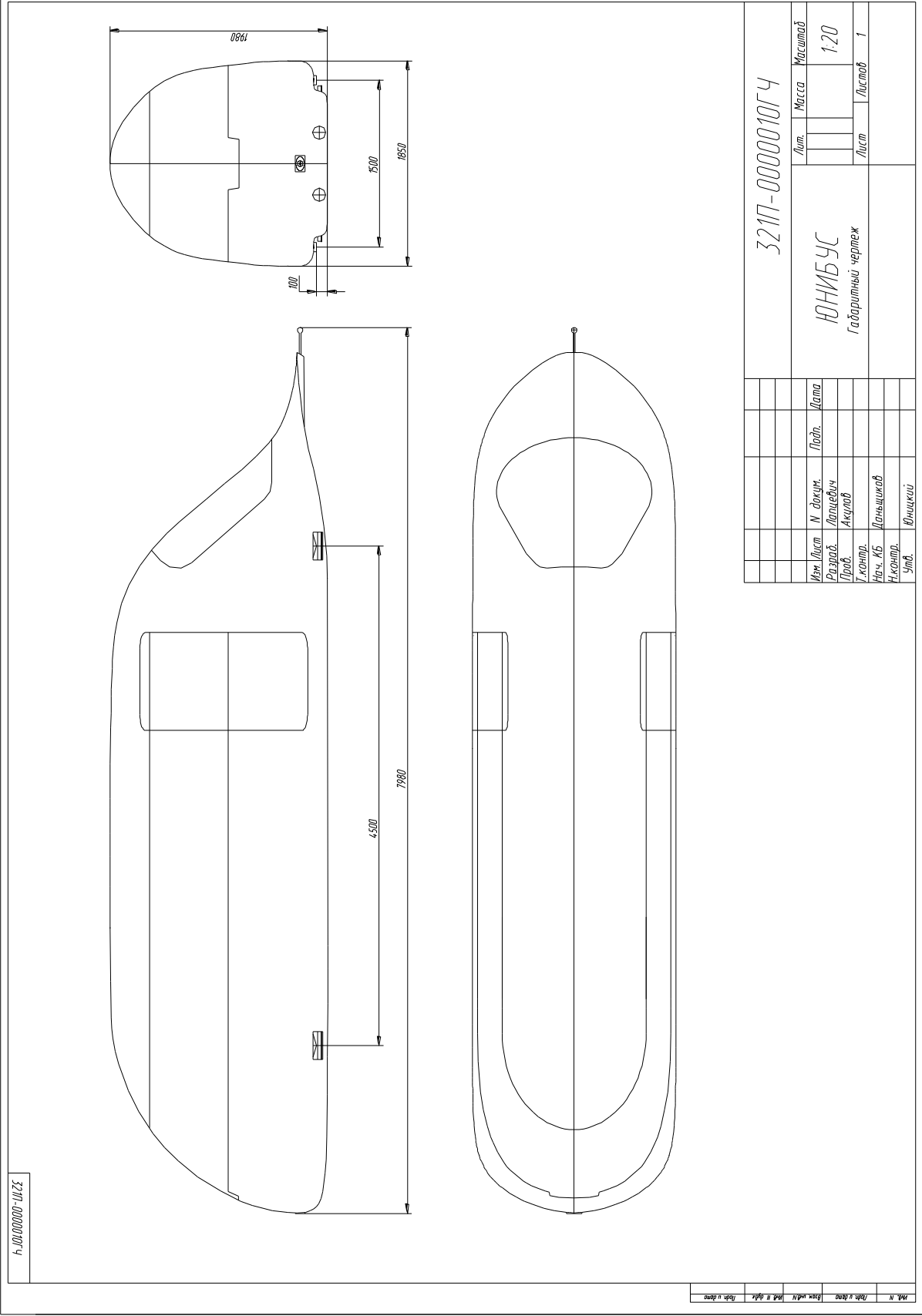


Рис. 2. Габаритный чертеж высокоскоростного пассажирского юнибуса Ю-321П

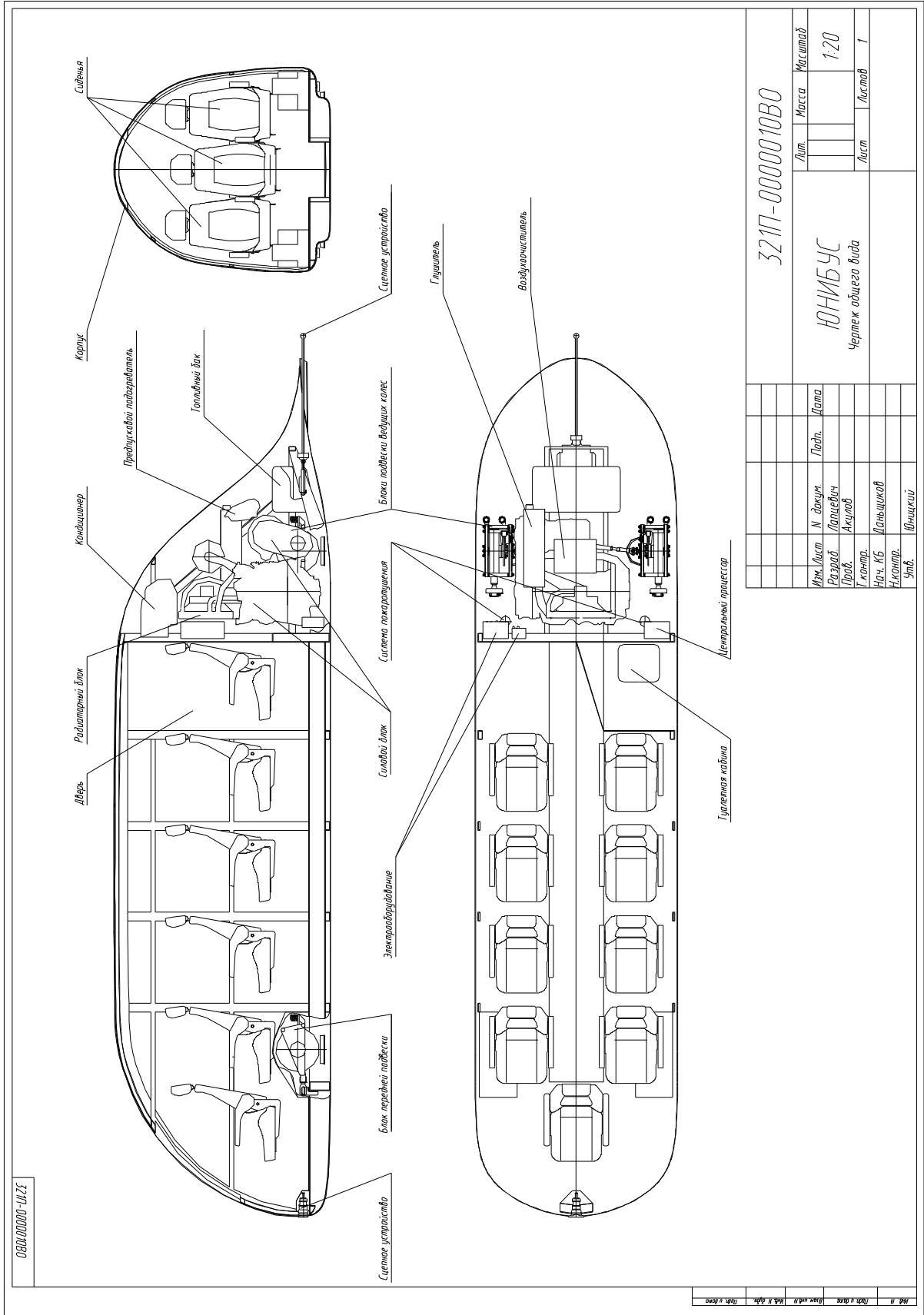


Рис. 3. Чертеж общего вида высокоскоростного пассажирского юнибуса Ю-321П

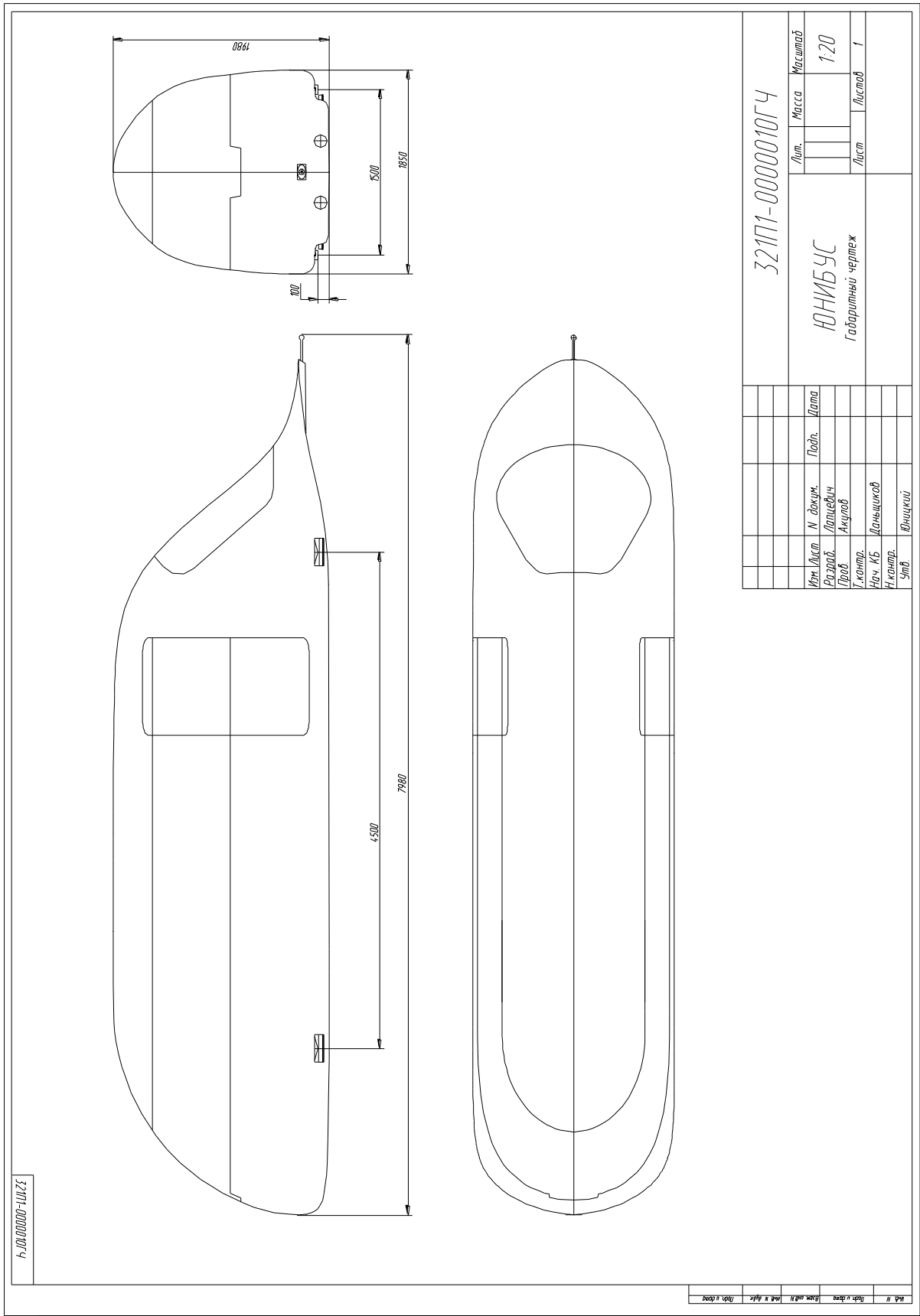


Рис. 4. Габаритный чертеж высокоскоростного пассажирского юнибуса Ю-321П1

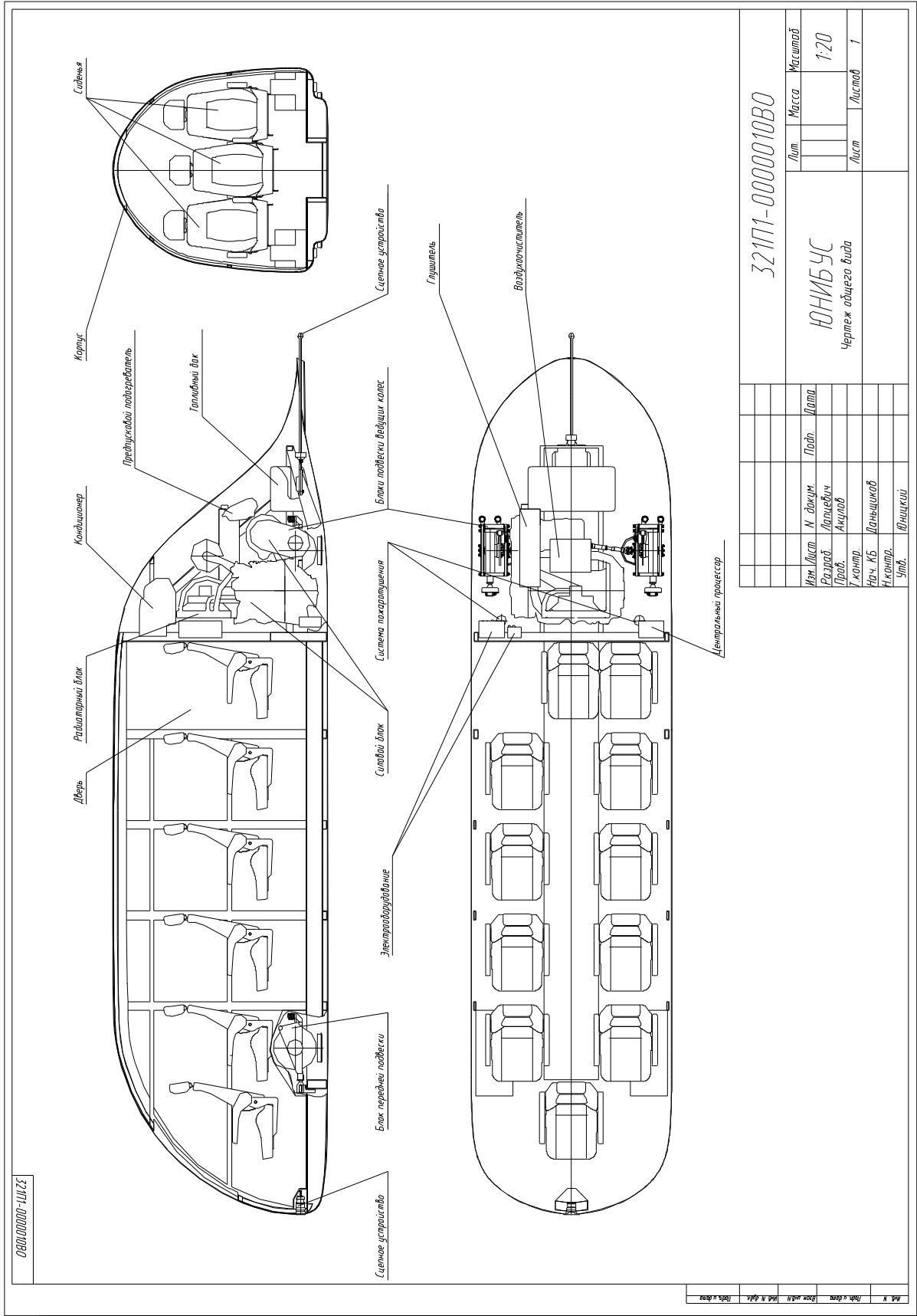


Рис. 5. Чертеж общего вида высокоскоростного пассажирского юнибуса Ю-321П1

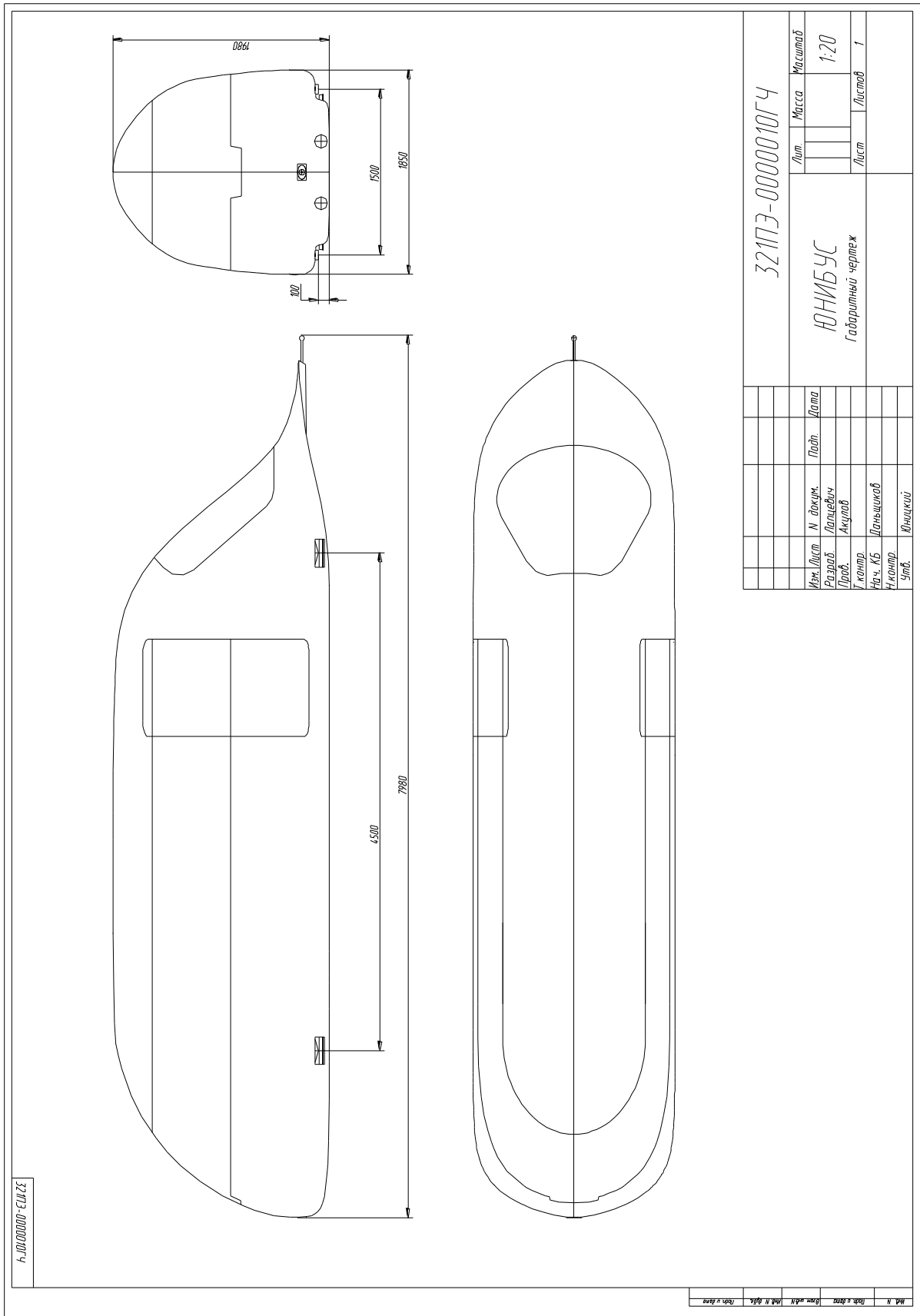
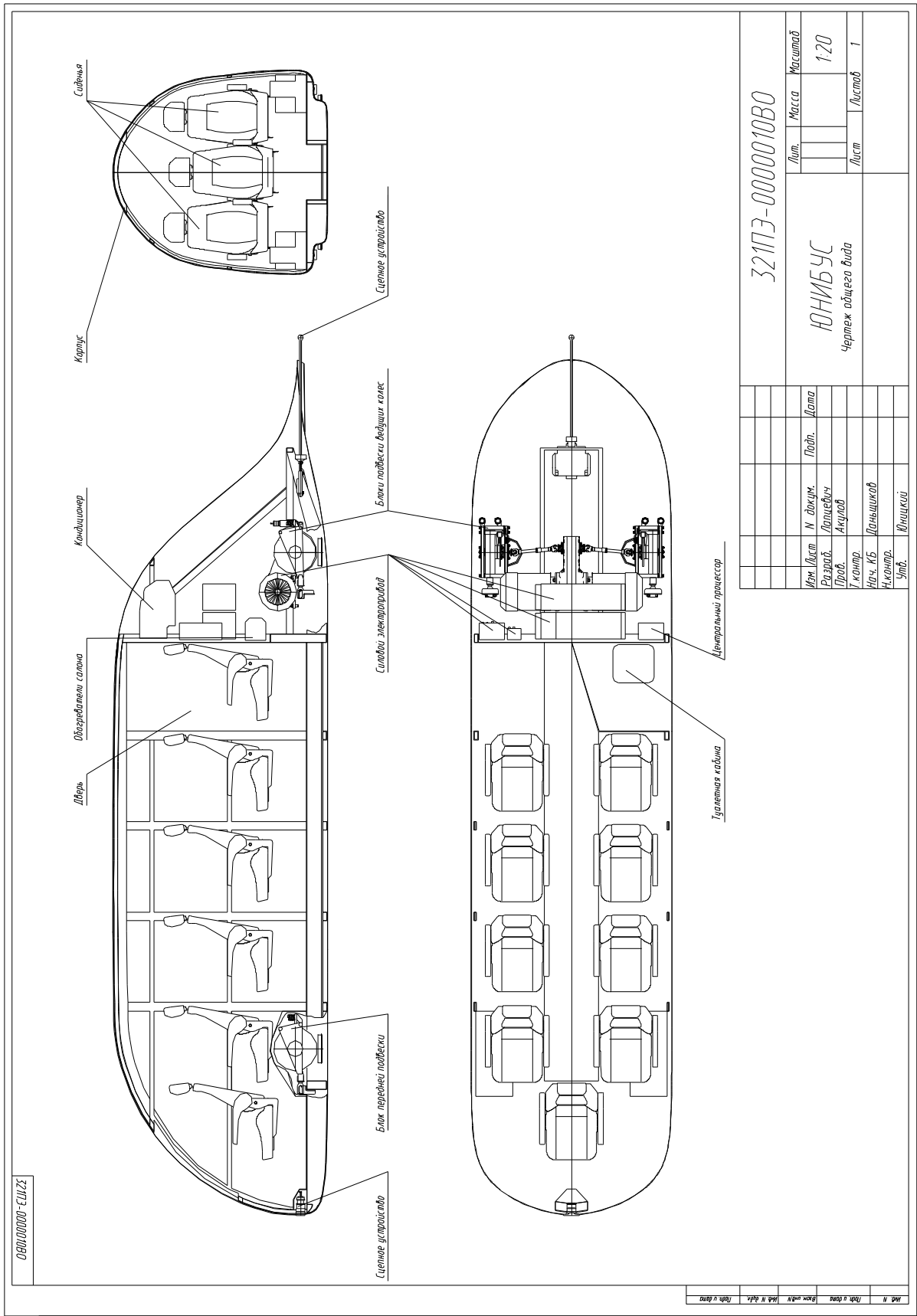


Рис. 6. Габаритный чертёж высокоскоростного пассажирского юнибуса Ю-321ПЭ



321ПЭ-0000010В0

321ПЭ-0000010В0

ЮНИБУС		Лит.	Масса	Максимум
Чертеж общего вида				120
Изм.	Лист	И. докин.	Лист	Листов
Разработ.	Лопышев	Лопышев		1
Проб.	Акулов	Акулов		
Г. контр.				
Испол. КБ	Лопышев	Лопышев		
Начальн.				
Упр.	Виноцкий	Виноцкий		

Рис. 7. Чертеж общего вида высокоскоростного пассажирского юнибуса Ю-321ПЭ

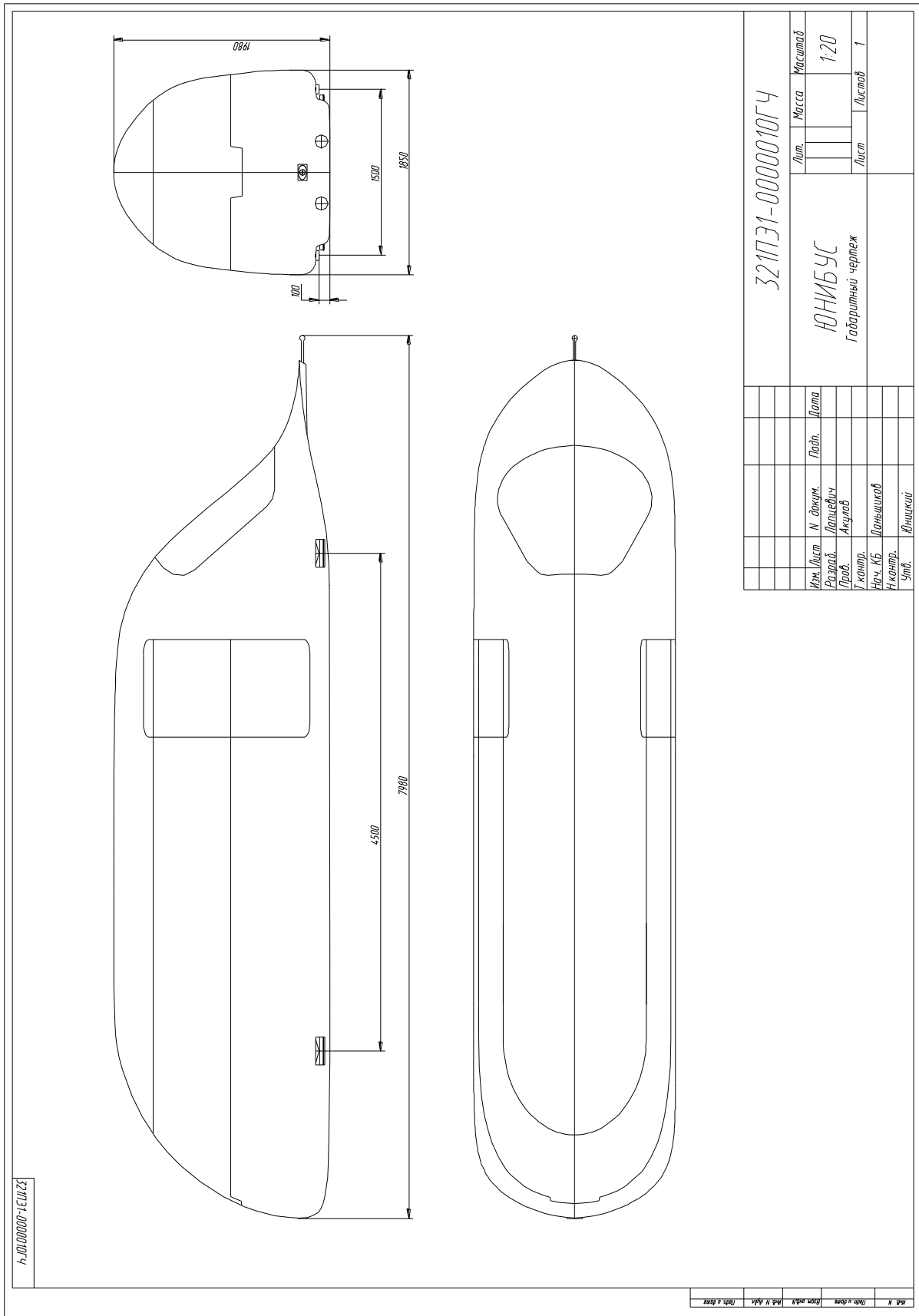


Рис. 8. Габаритный чертеж высокоскоростного пассажирского юнибуса Ю-321ПЭ1

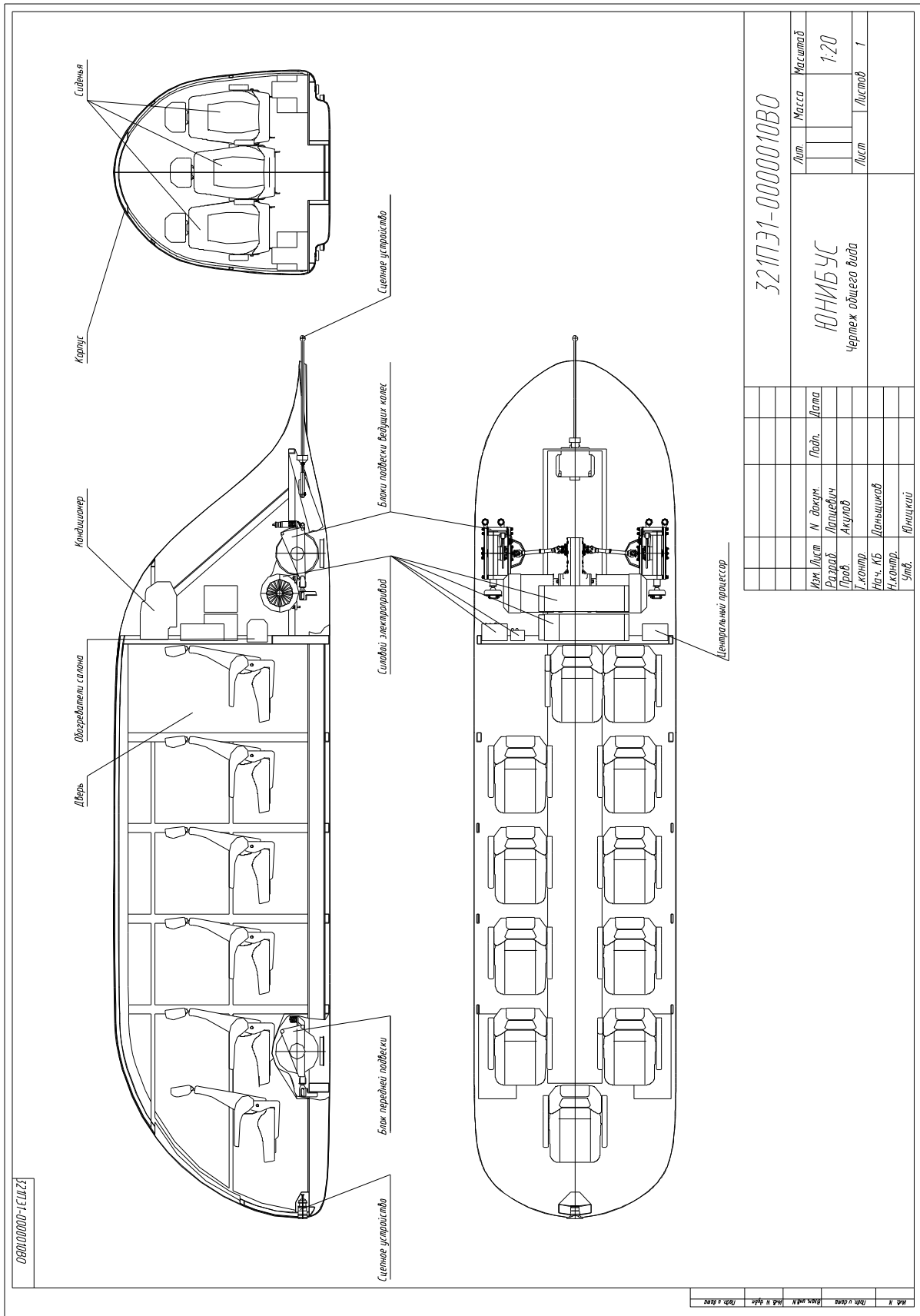


Рис. 9. Чертеж общего вида высокоскоростного пассажирского юнибуса Ю-321ПЭ1

Таблица 1

Технические характеристики высокоскоростного пассажирского юнибуса колеей 1500 мм

№	Параметр	Ю-321П			Ю-321ПЭ (электро- привод)
		Силовой агрегат			
		ГА35602 + RL608 (дизель)	AFD-2.5TDI + 5HP24 (дизель)	M16TCA + 5HP24 (дизель)	
1	Число пассажирских мест	9			9
2	Снаряженная масса, кг	1550	1600	1600	1600
3	Максимальная масса, кг	2300			2300
4	Распределение максимальной массы по осям пар колес, кг: - передняя - задняя	920 1380			
5	Габаритные размеры, мм: - длина - ширина - высота - высота над головкой рельса - база - колея - клиренс	7550 1850 1980 1880 4575 1500 минус 100			
6	Точность позиционирования юнибуса на станции, мм	±90			±30
7	Максимальная скорость, км /час	242	272	300	200
8	Время разгона до максимальной скорости, мин	6,9	6,4	12,9	6,0
9	Длина тормозного пути при начальной скорости, равной максимальной, м	3763	4762	5796	2572
10	Максимальное ускорение при разгоне и торможении, м/с ²	0,6			
11	Среднее потребление электроэнергии, кВт×ч/100 км	—			21
12	Средний расход дизельного топлива, л/100 км	11,1	12,0	15,4	—

№	Параметр	Ю-321П			Ю-321ПЭ (электро- привод)
		Силовой агрегат			
		ГА35602 + RL608 (дизель)	AFD-2.5TDI + 5HP24 (дизель)	M16TCA + 5HP24 (дизель)	
13	Емкость топливного бака, л	90			—
14	Количество дверей: - пассажирская - запасная	1 1			
15	Колесная формула	4×2 (с приводом на задние колеса)			
16	Характеристики агрегатов и систем				
16.1	Корпус	Сварной каркас из высокопрочного алюминиевого сплава, облицованный пластиком. Остекление — поликарбонат.			
16.2	Оборудование салона	Пассажирская дверь, запасная дверь, девять сидений. Освещение салона и входа. Обогрев и кондиционирование воздуха в салоне. Туалетная кабина. Огнетушитель. Связь с диспетчером.			
16.3	Силовая установка: - количество - модель - тип - максимальная мощность, кВт - удельный расход дизельного топлива в режиме максимальной мощности, г/кВт×ч - масса, кг - система управления - система охлаждения	1 ГА35602 дизельный 81 265 180 электронная жидкостная, закрытая с принудитель- ной циркуляцией жидкости	1 AFD-2.5TDI дизельный 111 234 205 электронная жидкостная, закрытая с принуди- тельной цир- куляцией жидкости	1 M16TCA дизельный 145 255 235 электронная жидкостная, закрытая с принуди- тельной цир- куляцией жидкости	2 АИР160М2 электрическ., асинхронный 18,5 — 113 электронная воздушная, с самовен- тиляцией

№	Параметр	Ю-321П			Ю-321ПЭ (электро- привод)
		Силовой агрегат			
		ГАЗ5602 + RL608 (дизель)	AFD-2.5TDI + 5HP24 (дизель)	M16TCA + 5HP24 (дизель)	
16.4	Силовая передача	согласующий редуктор, коробка передач, раздаточный редуктор с дифференциальным механизмом, карданные валы			раздаточный редуктор, карданные валы
16.5	Коробка передач: - модель - тип - количество передач переднего хода - масса, кг	RL608 автоматическ. 6 80	5HP24 автоматическ. 5 95	5HP24 автоматическ. 5 95	—
16.6	Ходовая система: - подвеска - направляющее устройство - гасители колебаний корпуса	независимая, на продольных рычагах четыре боковых ролика, контактирующих с боковыми дорожками качения головок рельсов телескопические амортизаторы			
16.7	Тормозная система остановочная	гидравлическая, двухконтурная			электроди- намическая
16.8	Тормозная система стояночная	электромеханическая			
16.9	Тормозные механизмы	дисковые			
16.10	Система управления движением	автоматизированная (или полуавтоматизированная с оператором на борту в переднем кресле)			
16.11	Электрооборудование	АКБ, генератор 12В, двухпроводное			внешняя сеть, 600 В постоянного тока
16.12	Силовой электропривод	—			трехфазные асинхрон- ные элект- родвигатели, тяговые пре- образователи
16.13	Система отопления	от системы охлаждения двигателя, подогреватель			отопитель электрический

№	Параметр	Ю-321П			Ю-321ПЭ (электро- привод)
		Силовой агрегат			
		GA35602 + RL608 (дизель)	AFD-2.5TDI + 5HP24 (дизель)	M16TCA + 5HP24 (дизель)	
16.14	Система вентиляции	кондиционер			кондиционер
16.15	Система пожаротушения силового отсека	автоматическая, генераторы огнетушащего аэрозоля			
16.16	Устройство сцепное	полуавтоматическое, с фрикционным энергогасителем удара			
16.17	Система эвакуации пассажиров	буксировка на станцию; переход в специальный эвакуационный модуль; тросовый эвакуатор на поверхность земли			

4. Технические решения, используемые при разработке высокоскоростного пассажирского юнибуса

4.1. Компоновка

Высокоскоростной пассажирский юнибус колеи 1500 мм конструктивно разделен на три отсека:

- пассажирский салон;
- туалетная кабина;
- силовой отсек.

Компоновка варианта Ю-321ПЭ в трехмерном изображении показана на рис. 10 и рис. 11.

Пассажирский салон находится в передней части юнибуса. В нем установлены пассажирские сидения, воздуховоды подачи воздуха к пассажирам, светильники общего и индивидуального освещения, устройства связи с диспетчером, огнетушитель, аптечка.

Туалетная кабина расположена слева в средней части модуля.

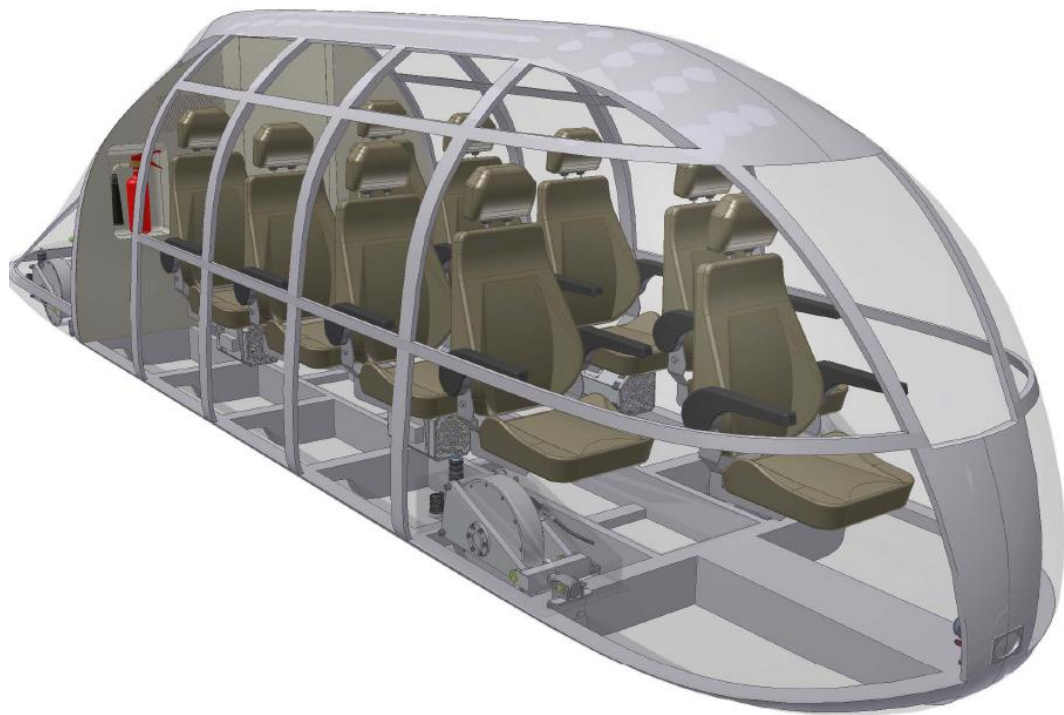


Рис. 10. Компоновка юнибуса Ю-321ПЭ (вид на носовую часть)

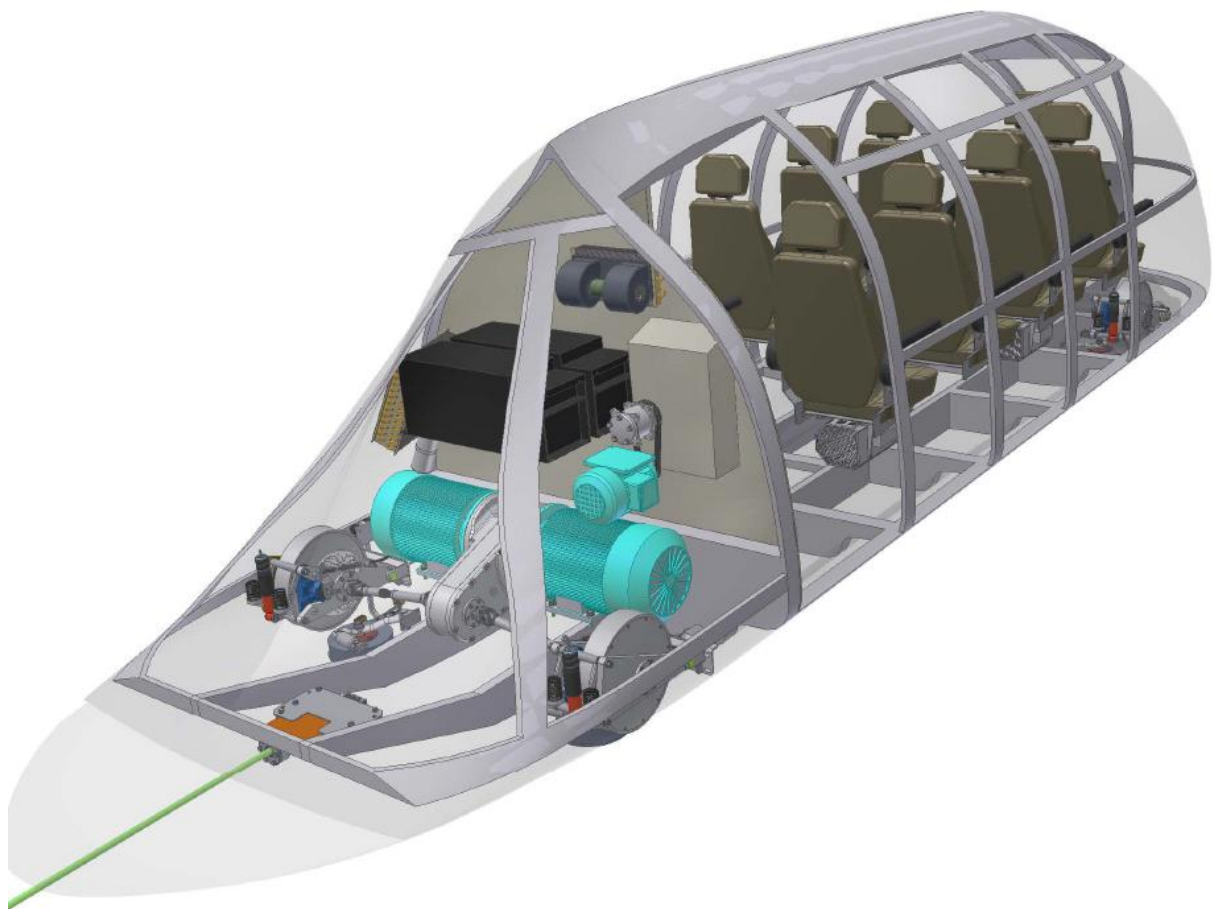


Рис. 11. Компоновка юнибуса Ю-321ПЭ (вид на корму)

Силовой отсек расположен в кормовой части юнибуса. В нем размещены:

- в Ю-321П — силовой блок (дизельный двигатель + АКП), заблокированный с согласующим и раздаточным редукторами, карданные валы, блоки подвески ведущих колес, аккумуляторная батарея (АКБ), выключатель массы, центральный процессор, отопитель, кондиционер, система пожаротушения, системы обеспечения силовой установки: воздухоочистки, охлаждения, топливная, газоотвода, предпускового подогрева;
- в Ю-321ПЭ — тяговые электродвигатели, заблокированные с раздаточным редуктором, карданные валы, блоки подвески ведущих колес (см. рис. 12), центральный процессор, комплект тягового электрооборудования, отопитель, кондиционер, система пожаротушения.

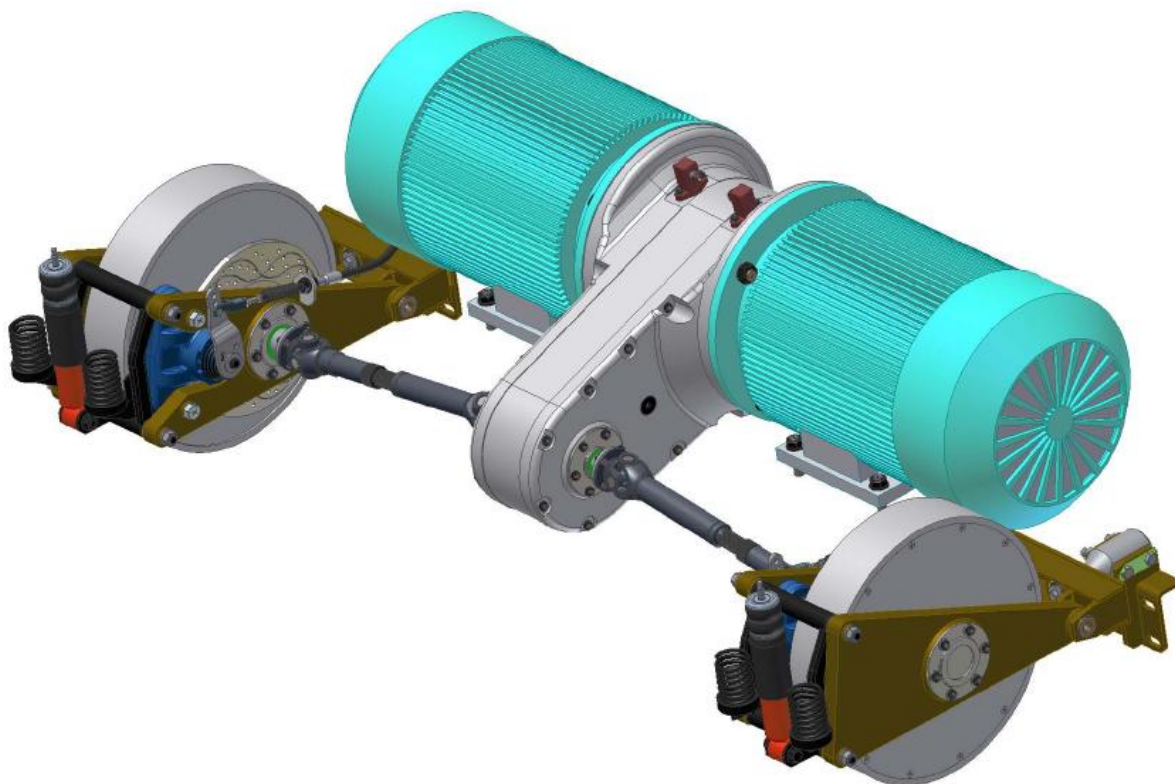


Рис. 12. Тяговые электродвигатели, заблокированные с раздаточным редуктором, карданные валы, блоки подвески ведущих колес высокоскоростного юнибуса Ю-321ПЭ

4.2. Корпус и внешние формы

Корпус высокоскоростного юнибуса (рис. 13) каркасный, несущий, металлический, с термозвукоизоляцией, двухдверный, с окнами и с наружной и внутренней облицовкой.

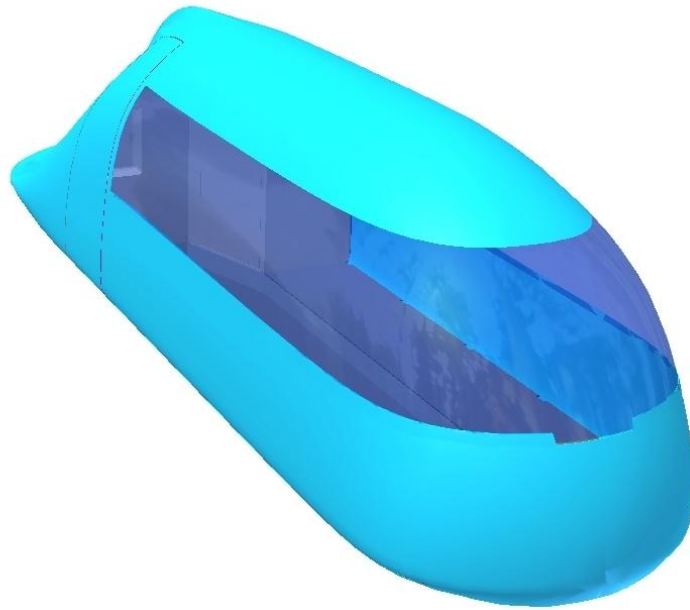


Рис. 13. Корпус высокоскоростного юнибуса

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

Сварной каркас (рис. 14) состоит из нижней рамы и верхнего строения.

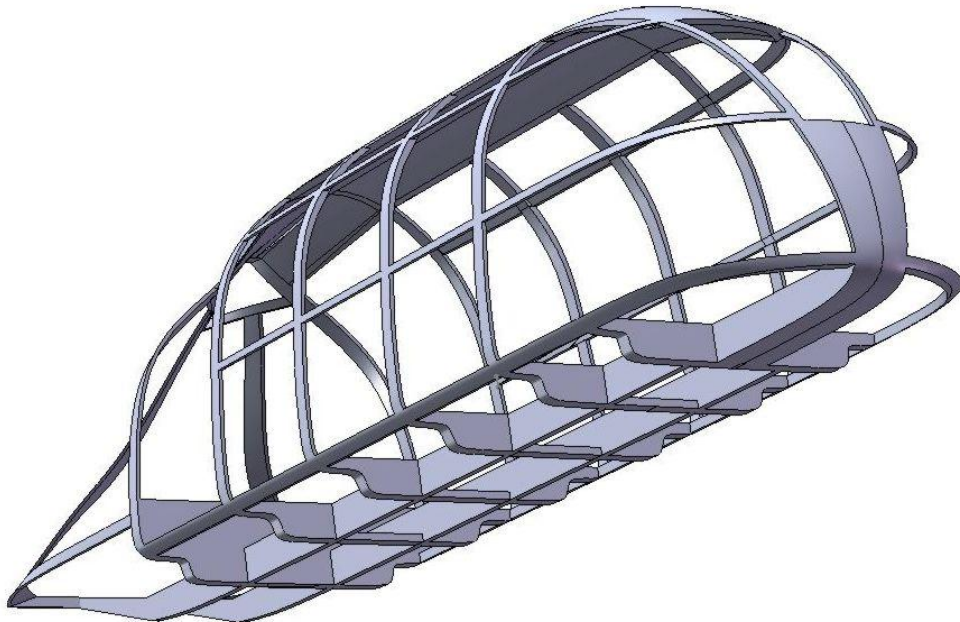


Рис. 14. Каркас сварной

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

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

Все детали каркаса изготовлены из высокопрочных алюминиевых сплавов.

Остекление юнибуса состоит из боковых и переднего окон. В качестве материала окон применён затемнённый зеркальный высокопрочный поликарбонат.

Наружная поверхность корпуса облицована непрозрачным высокопрочным поликарбонатом.

Внутренняя поверхность салона и туалетной комнаты облицована декоративным негорючим пластиком.

Для термозумоизоляции пассажирского салона, туалетной комнаты и силового отсека применён негорючий пенопласт ПХВ.

Важнейшей отличительной особенностью высокоскоростного пассажирского междугородного юнибуса колеей 1500 мм является его высокая аэродинамичность внешних форм. Построение внешних форм юнибуса осуществлено с учетом результатов многократных продувок моделей высокоскоростных юнибусов масштаба 1:5 в ЦНИИ им. А.Н. Крылова (г. Санкт-Петербург), что позволило добиться снижения величины коэффициента аэродинамического сопротивления (C_w) юнибуса до 0,1. Для сравнения, коэффициент аэродинамического сопротивления близкого по габаритам к юнибусу семиместного минивена Ford Galaxy равен 0,38.

В таблице 2 приведен анализ влияния коэффициента аэродинамического сопротивления на технико-экономические показатели высокоскоростного юнибуса (при использовании того же самого двигателя, т.е. без изменения мощности привода — 145 кВт).

Таблица 2

Анализ влияния коэффициента аэродинамического сопротивления (C_w) на технико-экономические показатели высокоскоростного юнибуса на маршруте «Ханты-Мансийск — Сургут» (250 км)

Показатель	$C_w = 0,1$	$C_w = 0,38$	Ухудшение показателя, %
Максимальная скорость, км/ч	300	192	36
Время на маршруте, мин	52,5	80,0	52
Расход топлива на маршруте, л	38.6	60.0	55,4

Для построения высокоаэродинамичных внешних обводов корпуса высокоскоростного юнибуса использовались изобретения А. Э. Юницкого: «Высокоскоростной транспортный модуль» по евразийским патентам №№ 003490, 003535, 003534 и 003533, а также «Высокоскоростной транспортный модуль

транспортной системы Юницкого» по патентам РФ №№ 2211781, 2201369, 2201368, 2203195, 2217339 и 2203194.

Если бы у высокоскоростного юнибуса Ю-321П коэффициент аэродинамического сопротивления был не 0,1, а 0,38, как у легкового автомобиля, то мощность его аэродинамического сопротивления при скорости 300 км/час составила бы 421 кВт. Юнибусу потребовался бы привод мощностью около 500 кВт, который при 20-ти часовой работе в сутки за срок службы юнибуса (20 лет) пережег бы лишнего топлива в количестве около 15 тысяч тонн стоимостью более 11 миллионов долларов. При использовании даже небольшого парка высокоскоростных юнибусов, например, в количестве 100 шт., аналогичная экономия топлива высокоскоростной транспортной системой за 20 лет составит около 1,5 миллиона тонн стоимостью более 1,1 миллиарда долларов (это значительно превышает стоимость всей высокоскоростной транспортной системы СТЮ «Ханты-Мансийск — Сургут»: высокоскоростной транспортной линии второго уровня колеей 1500 мм, станций, вокзалов, депо и всего подвижного состава).

Поэтому высокая аэродинамичность внешних форм высокоскоростного юнибуса — одно из главных его преимуществ перед другими известными транспортными средствами и, в частности, перед легковыми автомобилями, в том числе лучшими спортивными автомобилями.

4.3. Силовая установка

В качестве силовой установки на юнибусе Ю-321П используется дизельный двигатель для привода на задние колеса. При разработке аванпроекта рассмотрены три возможных варианта оснащения юнибуса дизельными двигателями: ГАЗ 5602 (см. рис. 15), AFD-2.5TDI (см. рис. 17) и M16TCA (см. рис. 18), основные технические параметры которых приведены в таблице 1.

В качестве силовой установки на юнибусе Ю-321ПЭ используются два асинхронных трехфазных электродвигателя АИР160М2 (см. рис. 19), по одному двигателю на каждое заднее колесо.

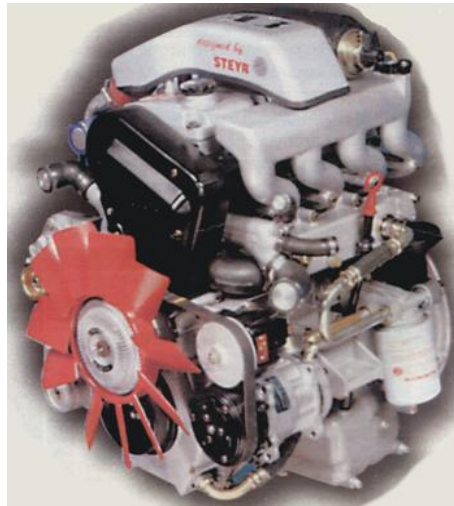


Рис. 15. Дизельный двигатель ГАЗ 5602 (лицензионный аналог М14ТСА) мощностью 81 кВт

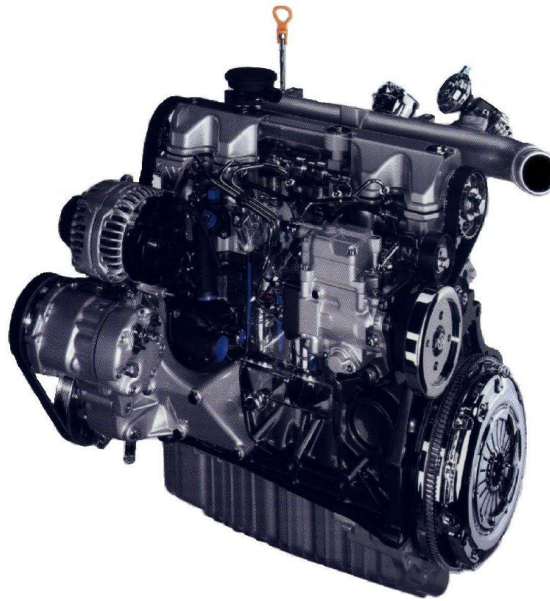


Рис. 17. Дизельный двигатель AFD-2.5TDI мощностью 111 кВт



Рис. 18. Дизельный двигатель М16ТСА мощностью 145 кВт

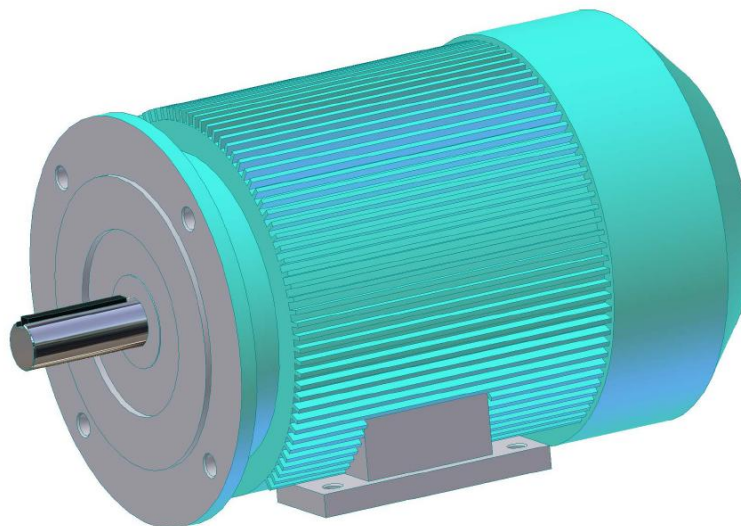


Рис. 19. Тяговый электрический асинхронный двигатель юнибуса Ю-321ПЭ мощностью 18,5 кВт

Все варианты дизельных двигателей с электронным управлением, приспособлены к диагностике, и могут отвечать требованиям норм выброса вредных веществ двигателей внутреннего сгорания Евро-4 при условии использования в эксплуатации дизельного топлива, соответствующего требованиям Евро-4, а также — оснащения дополнительно системы газоотвода нейтрализатором и сажевым фильтром. При использовании дизельного топлива по ГОСТ Р52368-2005 «Топливо дизельное Евро», который введен в РФ 01.07.2006 г. и почти соответствует дизельному топливу Евро-3 (кроме нормы массовой доли серы), экологические показатели указанных двигателей без оснащения системы газоотвода нейтрализатором и сажевым фильтром будут соответствовать действующим в РФ в настоящее время нормам Евро-3. Двигатели AFD-2.5TDI и M16TCA пригодны для работы на биодизельном топливе.

4.4. Автоматическая коробка передач (АКП)

При разработке аванпроекта рассмотрены два возможных варианта оснащения юнибуса АКП: RL608 (см. рис. 20) и 5HP24 (см. рис. 21), основные технические параметры которых приведены в таблице 1.

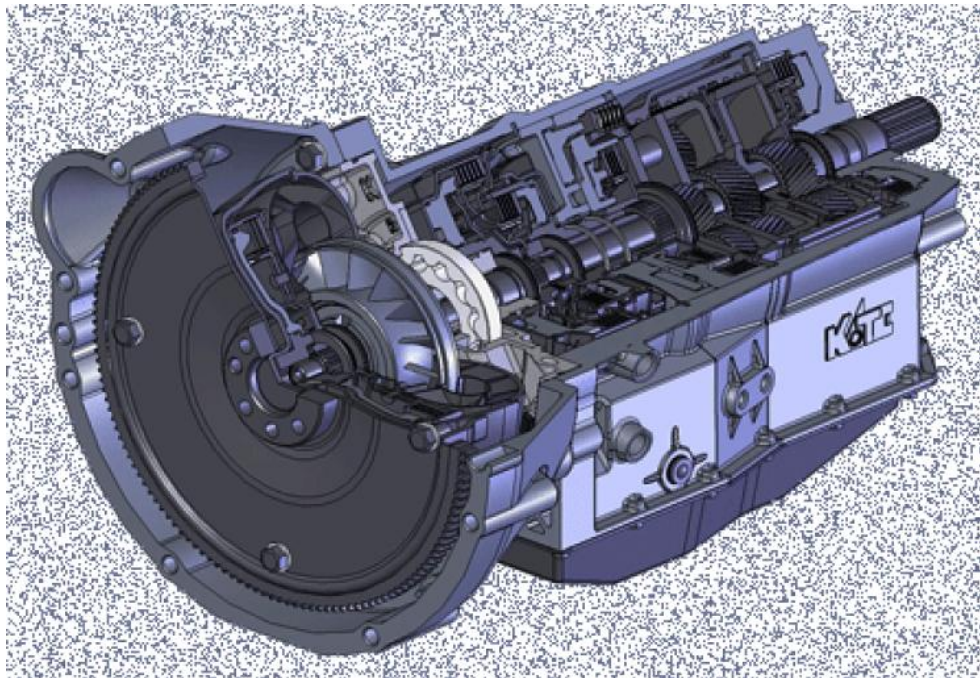


Рис. 20. Автоматическая коробка передач RL608

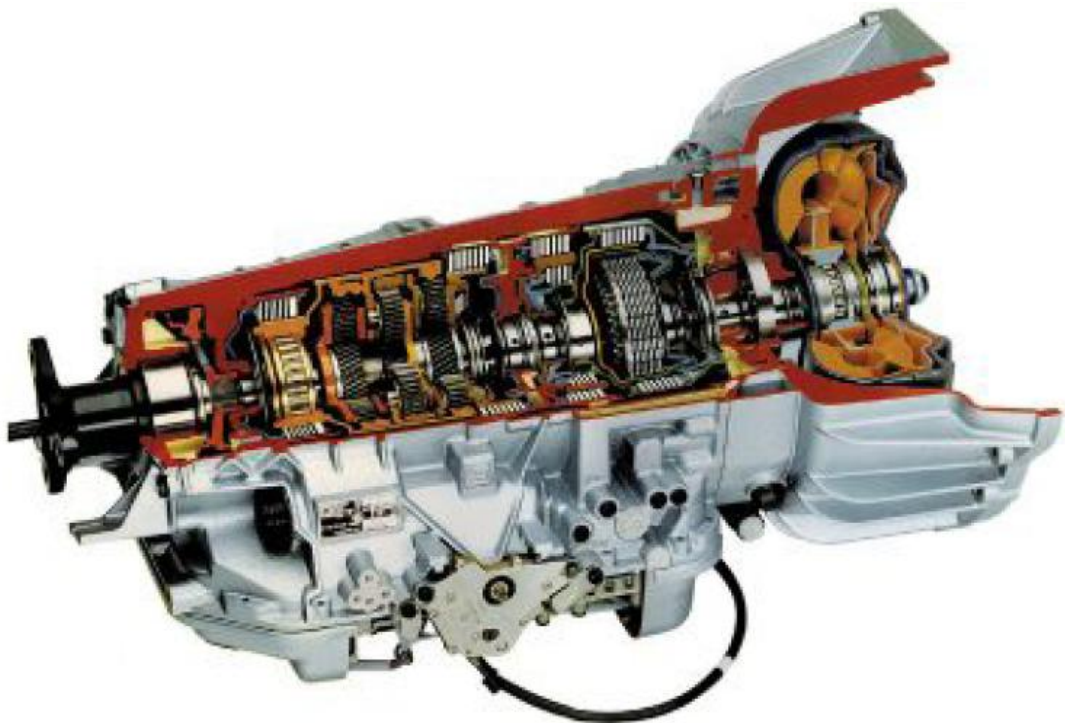


Рис. 21. Автоматическая коробка передач 5HP24

Оба варианта имеют блокируемый, начиная со второй передачи, гидротрансформатор, электронно-гидравлическое управление, встроенную диагностику.

4.5. Ходовая система

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

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

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

Передняя подвеска показана на рис. 22. Элементы задней подвески изображены на рис. 12.



Рис. 22. Передняя подвеска

Колесо представляет собой стальной высокопрочный обод, закрепленный на диске из высокопрочного алюминиевого сплава. Для снижения аэродинамических

потерь при высоких оборотах полости колес закрыты крышками.

Функцию направляющего и противосходного устройства высокоскоростного юнибуса выполняют четыре ролика (по ролику на каждое колесо), контактирующие с боковыми дорожками качения головок левого и правого рельсов-струн (см. рис. 23). Ролики снабжены страховочными буртами, заходящими за низ уширения рельсов. Ролики прижимаются к рельс-струне определенным начальным усилием (около 10 кгс). При возникновении значительной боковой возмущающей силы юнибус будет получать небольшое поперечное смещение, пока возрастающая поперечная сила сопротивления боковому перемещению роликов не сравняется с возмущающей поперечной силой. При этом контакт роликов, размещенных с другой стороны юнибуса, с боковыми дорожками качения головок рельсов не теряется. Дальнейшее поперечное перемещение юнибуса ограничивают жесткие упоры, что обеспечивает 100% гарантию устойчивости юнибуса даже в случае вынужденной эксплуатации при ураганном ветре. При прекращении действия боковой возмущающей силы юнибус возвращается направляющими и противосходными роликами в исходное положение, симметричное относительно левой и правой рельсов-струн.

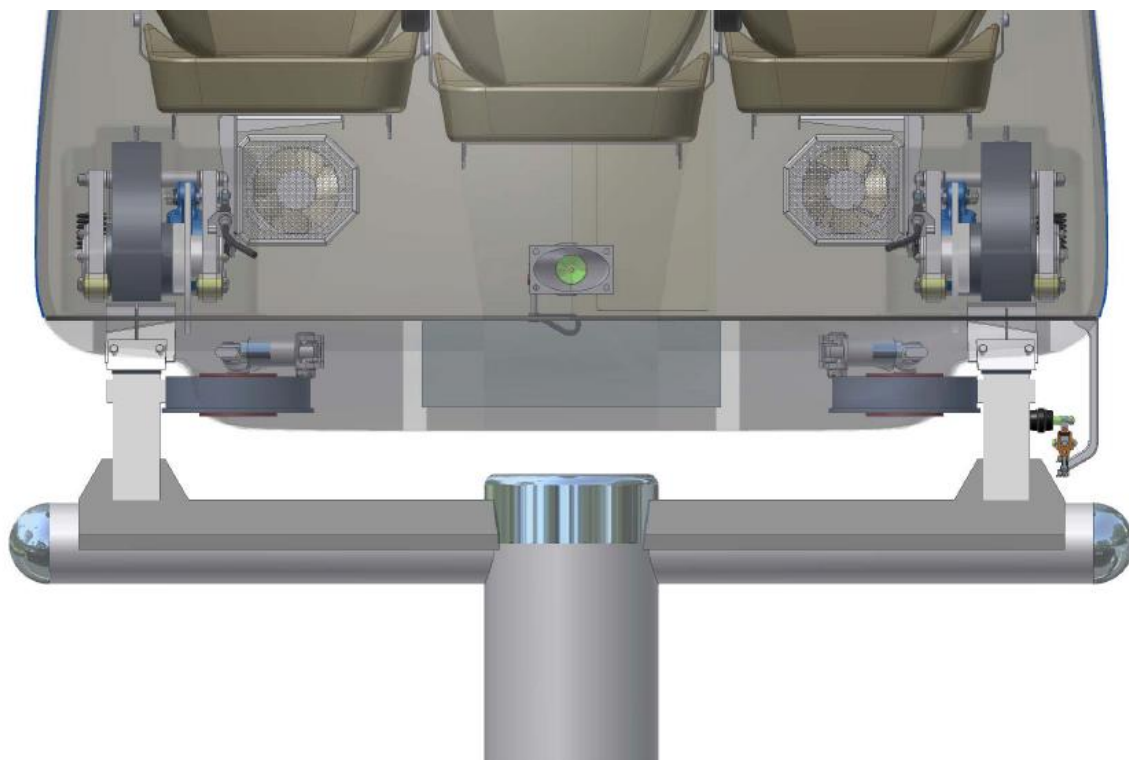


Рис. 23. Схема размещения направляющего и противосходного устройств юнибуса Ю-321ПЭ (справа показан токосъем)

Линейный контакт обода с головкой рельса и замена в противосходном устройстве традиционных на железной дороге реборд на боковые упорные ролики, позволили снизить коэффициент сопротивления качения (f) до величины 0,0022. Для сравнения, коэффициент сопротивления качения резиновых колес легкового автомобиля (при скорости порядка 100 км/час) по асфальтобетону составляет примерно 0,013 (при росте скорости движения до 300 км/час коэффициент сопротивления качению резинового колеса может возрасти в несколько раз, однако в технической литературе отсутствуют эти данные).

В таблице 3 приведен анализ влияния коэффициента сопротивления качению колес на технико-экономические показатели высокоскоростного юнибуса.

Таблица 3

Анализ влияния коэффициента сопротивления качению колес (f) на технико-экономические показатели юнибуса Ю-321П на маршруте «Ханты-Мансийск — Сургут»

Показатель	$f = 0,0022$	$f = 0,013$	Ухудшение показателя, %
Максимальная скорость, км/ч	300	280	6,7
Время на маршруте, мин	52,5	56,0	6,6
Расход топлива, л	38,6	41,6	7,5

Применение стальных колес с цилиндрическим опиранием и боковыми упорными роликами в сравнении с резиновыми колесами даст экономию топлива за срок службы высокоскоростного юнибуса (20 лет) при 20-ти часовой работе в сутки примерно 440 тонн (на один юнибус) стоимостью около 300 тысяч долларов. При использовании даже небольшого парка юнибусов на трассе, например, в количестве 100 шт., аналогичная экономия топлива высокоскоростной транспортной системой СТЮ составит более 40 тысяч тонн стоимостью около 30 миллионов долларов.

4.6. Тормозная система

Тормозная система высокоскоростного юнибуса Ю-321П включает остановочную гидравлическую двухконтурную систему автомобильного типа, стояночную и запасную (на основе стояночной).

Колесные тормозные механизмы — дисковые, с механическим приводом.

Тормозная система юнибуса Ю-321ПЭ состоит из электродинамической тормозной системы, стояночной, запасной (на основе стояночной) и аварийной тормозных систем.

Стояночная тормозная система юнибуса Ю-321П состоит из электромеханизмов (см. рис. 24). Связь между задними тормозными суппортами (см. рис. 25) и электромеханизмами обеспечивается тросами дистанционного действия.

Стояночная тормозная система юнибуса Ю-321П состоит из 2-х электромеханизмов и 4-х механических суппортов (см. рис. 26). Связь между суппортами и электромеханизмами обеспечивается тросами дистанционного действия.

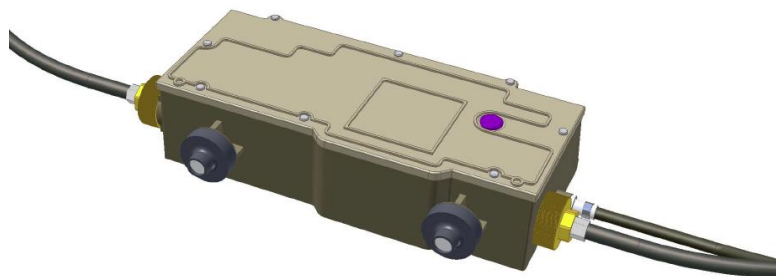


Рис. 24. Электромеханизм привода тормозов



Рис. 25. Задний тормозной суппорт с диском юнибуса Ю-321П



Рис. 26. Механический суппорт стояночной тормозной системы юнибуса Ю-321П

4.7. Электрооборудование

4.7.1. Электрооборудование юнибуса Ю-321ПЭ

В качестве силового привода юнибуса Ю-321ПЭ используется электропривод. Питание его осуществляется от контактной сети постоянного тока напряжением 600 В.

Силовой электропривод состоит из:

- двух тяговых асинхронных электродвигателей;
- двух тяговых преобразователей;
- двух статических преобразователей для питания цепей управления и вспомогательного оборудования;
- центрального процессора;
- токосъёмного устройства.

Управление тяговыми двигателями осуществляют тяговые преобразователи, которые преобразуют 600 В постоянного тока в переменный ток заданной частоты. Тяговый преобразователь использует режим векторного регулирования. Векторное регулирование частоты характеризуется тем, что преобразователь строит математическую модель двигателя и регулирует частоту с учётом этой модели. Статические преобразователи предназначены для питания цепей управления силовых преобразователей и вспомогательных электрических цепей юнибуса напряжением +12 В.

Токосъёмное устройство (см. рис. 27) осуществляет подключение юнибуса к подвесной контактной цепи. Контактный провод +600 В через изоляторы крепится

непосредственно к боковой поверхности рельса-струны. Контакт с проводом осуществляется при помощи токосъемного устройства, при этом токоведущая шина (-600 В), которой является металлический корпус рельса-струны, глухо заземлена. Электрический монтаж юнибуса выполнен по двухпроводной схеме. Использование в качестве заземленной токоведущей шины (-600 В) корпуса рельса-струны повышает безопасность юнибуса, так как любое попадание высокого напряжения ($+600\text{ В}$) на корпус приведёт к срабатыванию электрической защиты и отключению вышедшего из строя устройства. Жёсткое соединение заземлённого минуса питающей сети и корпуса устраняет возникновение статического и емкостного электрического потенциала на металлических деталях юнибуса.

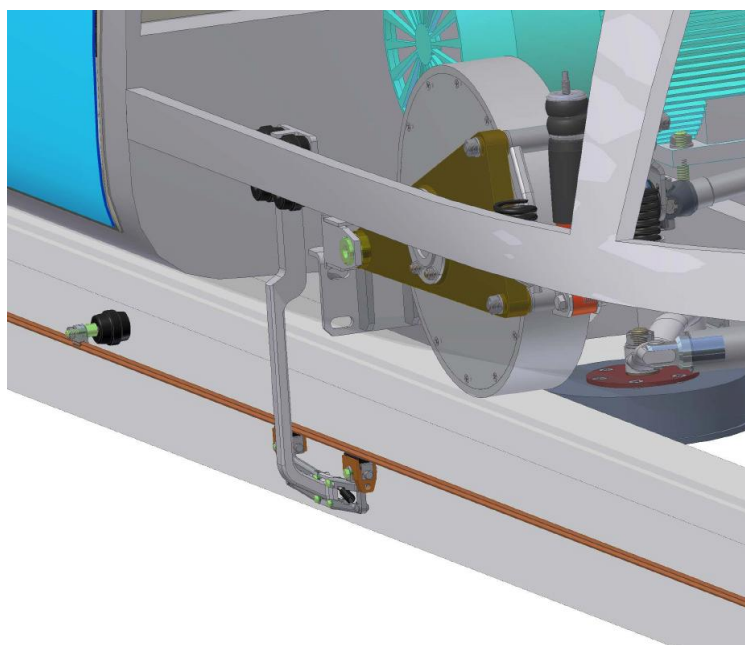


Рис. 27. Токосъемное устройство юнибуса Ю-321ПЭ

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

Центральный процессор контролирует работу всех составных частей юнибуса, включая систему управления приводом.

Система управления приводом юнибуса обеспечивает также режим генераторного (рекуперативного) торможения. При этом электродвигатели, работающие в генераторном режиме, начинают воспроизводить электроэнергию и

передают её в контактную сеть. Произведенная энергия может быть использована другими юнибусами, осуществляющими разгон или равномерное движение на данном участке, что значительно повышает КПД транспортной системы в целом.

Режим управляемого останова юнибуса позволяет производить его плавное замедление и позиционирование в заданной точке с погрешностью не более ± 30 мм.

Для удобства обслуживания система управления позволяет проводить её диагностику дистанционно, что исключает неквалифицированное вмешательство в работу системы управления приводом.

На рис. 28 изображена функциональная схема системы управления приводом юнибуса Ю-321ПЭ.

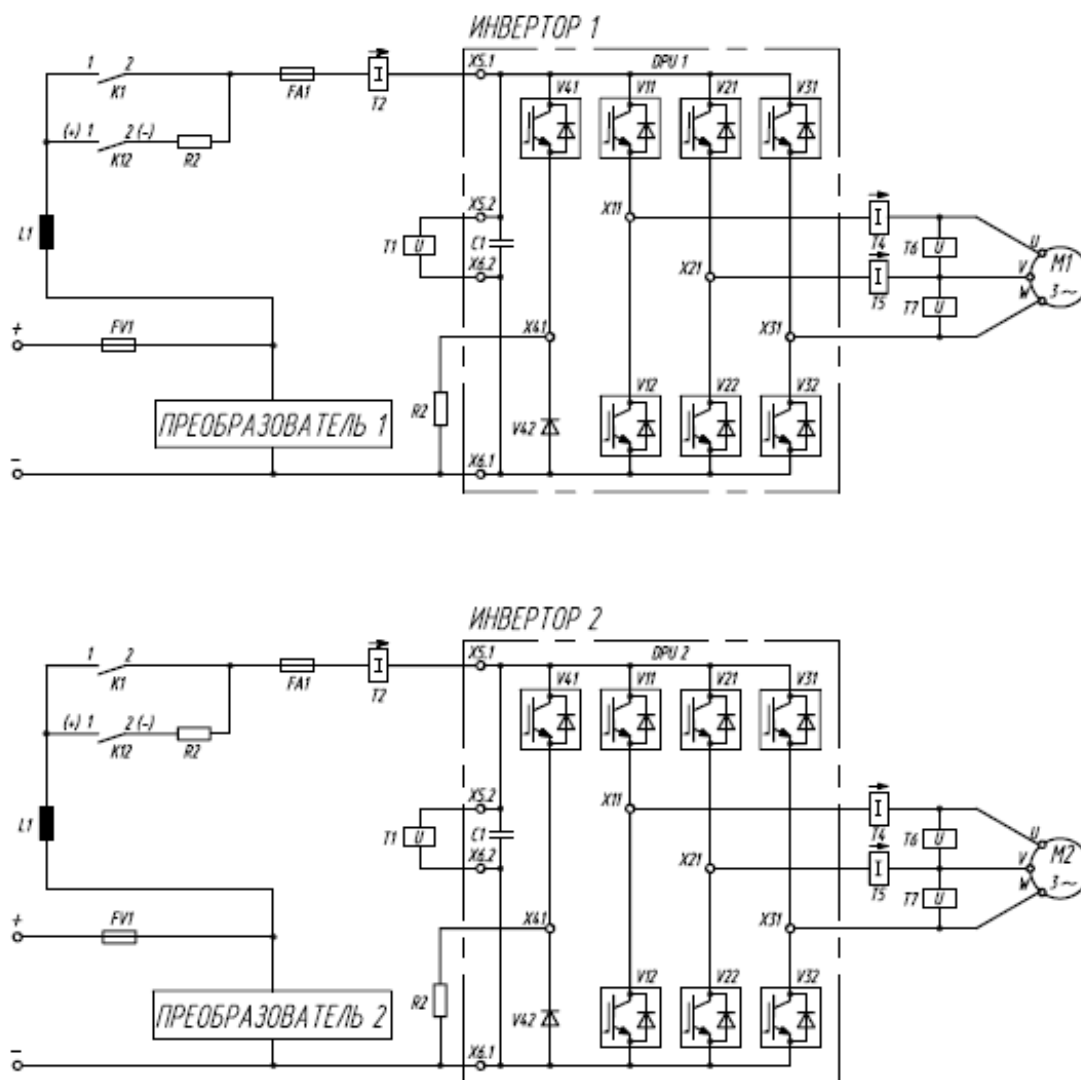


Рис. 28. Функциональная схема системы управления приводом Ю-321ПЭ

Силовые частотные и статические преобразователи изготовлены из элементов IGBT, что позволяет снизить их энергопотребление, уменьшить габариты и вес.

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

Питание дополнительного оборудования осуществляется от преобразователей, обеспечивающих 100% дублирование.

Для защиты обслуживающего персонала от поражения электрическим током в юнибусе предусмотрена система отключения высокого напряжения при открывании защитных кожухов электрооборудования.

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

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

Функциональная схема юнибуса Ю-321ПЭ изображена на рис. 29.

4.7.2. Электрооборудование юнибуса Ю-321П

В качестве силового привода высокоскоростного пассажирского юнибуса Ю-321П используется дизельный двигатель. Запуск двигателя осуществляется от аккумуляторной батареи.

Источниками тока бортовой сети являются генератор и аккумуляторная батарея. Напряжение бортовой сети 12В. Бортовая сеть выполнена по двухпроводной схеме с использованием экранирующих оплётки и специальных разъёмных соединений.

В юнибусе применена электронная система управления системами двигателя и автоматической коробки передач.

К электрооборудованию юнибуса относятся также устройства аппаратуры позиционирования и диспетчерского управления, информационная система, а также элементы жизнеобеспечения, пожаротушения, освещения и механизмы привода двери.

Центральный процессор осуществляет управление силовым приводом и всех систем юнибуса, а также осуществляет связь между юнибусом и диспетчерским

пунктом.

Функциональная схема юнибуса Ю-321П показана на рис. 30.

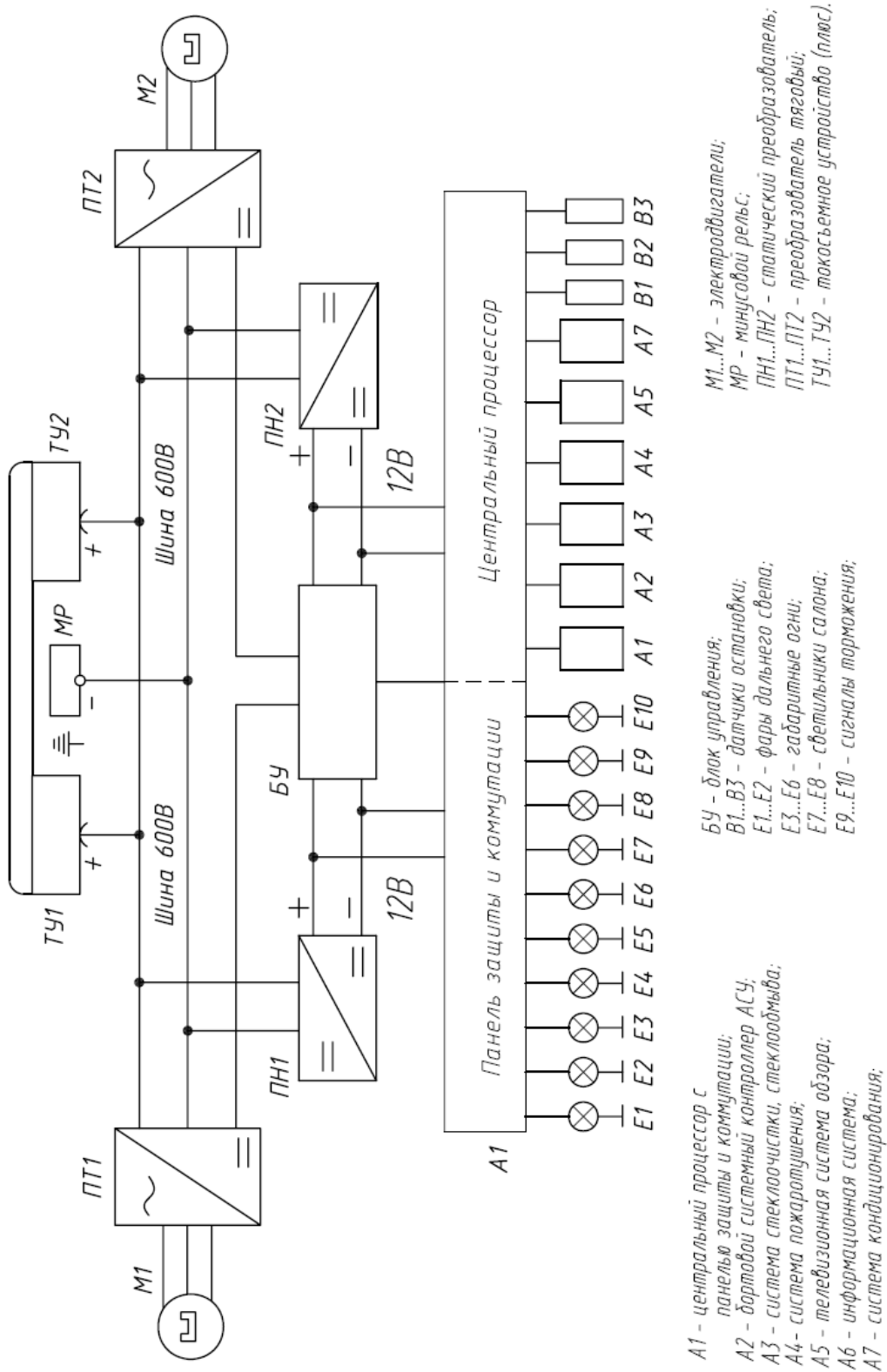
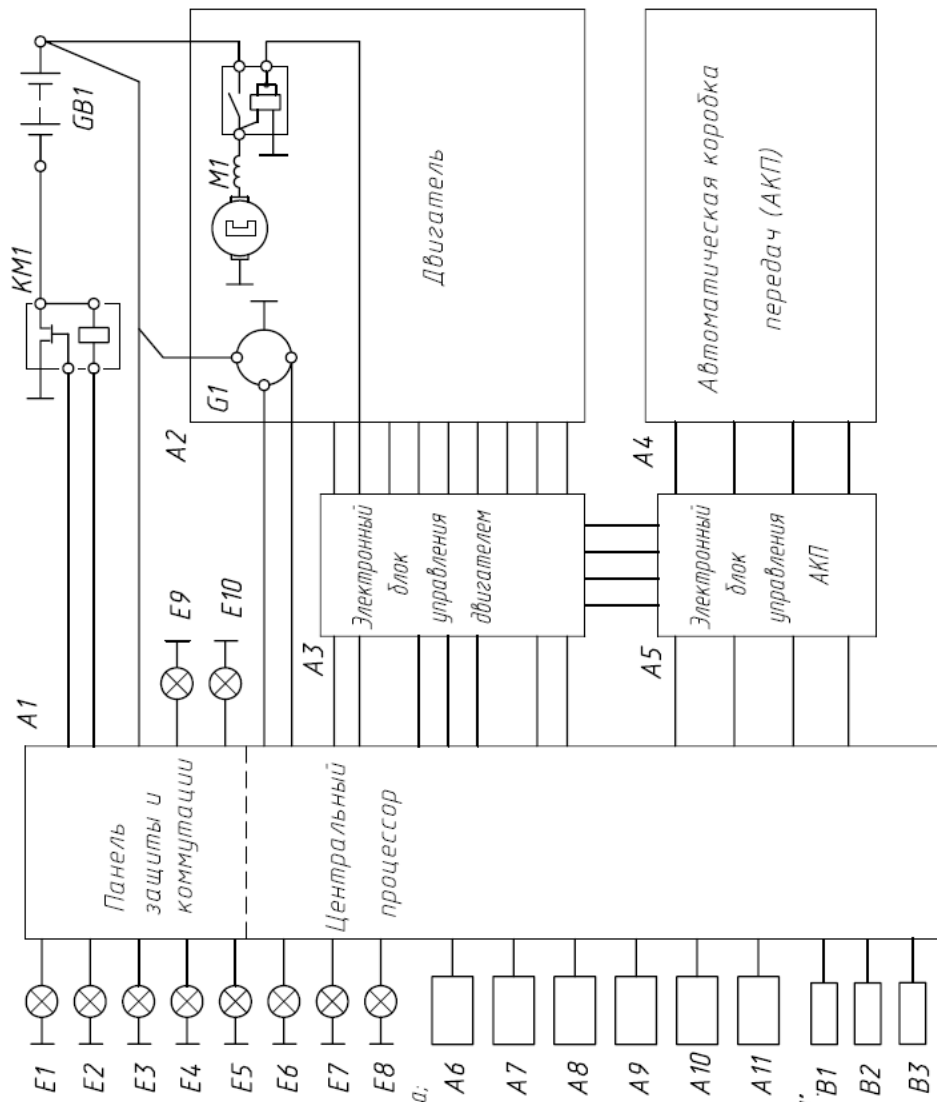


Рис. 29. Функциональная схема юнибуса Ю-321ПЭ



- A1 - центральный процессор с панелью защиты и коммутации;
- A2 - двигатель;
- A3 - электронный блок управления двигателем;
- A4 - автоматическая коробка передач (АКП);
- A5 - электронный блок управления АКП;
- A6 - бортовой системный контроллер АСУ;
- A7 - система стеклоочистки, стеклообогрев;
- A8 - система пожаротушения;
- A9 - телевизионная система обзора;
- A10 - информационная система;
- A11 - система кондиционирования;
- B1...B3 - датчики останова;
- E1...E2 - фары дальнего света;
- E3...E6 - габаритные огни;
- E7...E8 - светильники салона;
- E9...E10 - сигналы торможения;
- G1 - генератор;
- GB1 - аккумуляторная батарея;
- M1 - стартер;
- KM1 - дистанционный выключатель "МАССЫ";

Рис. 30. Функциональная схема юнибуса Ю-321П

4.8. Автоматизированная система управления движением

В основу автоматизированной системы управления движением высокоскоростных пассажирских рельсовых автомобилей (юнибусов) Ю-321П и Ю-321ПЭ на высокоскоростной междугородной струнной транспортной системе по маршруту «Ханты-Мансийск — Сургут», заложены принципы автоматизированной системы управления транспортом АСУ-Т (разработка ФГУП «КНИИТМУ», патенты на промышленный образец: RU №49455 , 49456, МКПО 14-03) с дублированием всех каналов управления и связи.

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

Система обеспечивает:

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

средств за требуемый период;

- непрерывную автоматическую самодиагностику с выдачей сообщений о неисправностях системы;
- возможность передачи диспетчеру специальных сигналов в случае аварийной ситуации или при несанкционированном доступе к транспортному средству, если оно оборудовано специальными датчиками.

В состав АСУ-Т входят:

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

Основные технические данные АСУ-Т приведены в таблице 4.

Таблица 4

Основные технические данные АСУ-Т

№	Наименование параметра	Величина параметра
1	Количество обслуживаемых транспортных средств	до 1000
2	Количество диспетчеров в центральной диспетчерской станции	до 8
3	Точность определения местоположения транспортных средств, м: - обычный режим - дифференциальный режим	50—100 2—5
4	Диапазон частот радиоканала, МГц	146—147
5	Количество радиоканалов	2—6
6	Напряжение питания, В: - диспетчерской станции - борсеть	220, 50 Гц 12
7	Выходная мощность радиостанций, Вт	10—25
8	Диапазон рабочих температур, °С	от -50 до +60

Базовая стойка ЦДС включает устройство обработки и управления, две базовые радиостанции (одна для передачи данных, вторая — для речевой связи и передачи данных) и устройство бесперебойного питания, обеспечивающее работу системы при

отключениях первичной сети. АРМ диспетчера ЦДС состоит из ПЭВМ и телефонного аппарата. АРМ старшего диспетчера дополнительно оборудовано печатающим устройством.

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

В БСК предусмотрено сопряжение с ПЭВМ IBM PC (в бортовом варианте — «ноутбук») по стандартному стыку K3-232, что существенно расширяет функциональные возможности, в т.ч. позволяет обмениваться файлами данных с диспетчерской станцией на уровне ПЭВМ, что особенно удобно при проведении обслуживания юнибуса. По этому же стыку обеспечивается перезапись программы функционирования БСК. Основные параметры БСК приведены в таблице 5.

Таблица 5

Основные параметры БСК

№	Наименование параметра	Величина параметра
1	Точность определения местоположения, м	не хуже 15
2	Периодичность определения, с	1—600 (задается)
3	Скорость передачи данных, бит/с	1200/2400/4800
4	Помехоустойчивое кодирование	каскадный код
5	Обеспечиваемое быстродействие АСУ, ТС/с	12
6	Объем флэш-памяти, Кбайт	64

№	Наименование параметра	Величина параметра
7	Напряжение питания, В	12
8	Потребляемая мощность, Вт	не более 3
9	Габаритные размеры, мм: - длина - ширина - высота	168 131 45
10	Вес, кг	не более 0,6
11	Время готовности, мин	не более 2

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

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

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

Аванпроектом также предусмотрен вариант юнибуса с полуавтоматическим управлением (с оператором на борту в переднем кресле)

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

Контроль состояния систем транспортного модуля и управление его движением в полуавтоматическом режиме осуществляется с рабочего места оператора. На рабочем месте оператора расположены мониторы систем управления и контроля привода, видеообзора и положения модулей на линии, 3-х ходовой контроллер, кнопка «Авария», кнопка включения стояночного тормоза, кнопка включения аккумуляторной батареи, кнопка открывания — закрывания двери. При необходимости нажатием соответствующих кнопок оператор может включить системы стеклоочистки, стеклообмыва, наружного и внутреннего освещения, вентиляции, кондиционирования и отопления салона.

4.9. Система отопления

Элементы системы отопления расположены в силовом отсеке.

На юнибусе Ю-321ПЭ установлены четыре электрических подогревателя (см. рис. 35).

Подогреватели работают в режиме рециркуляции.

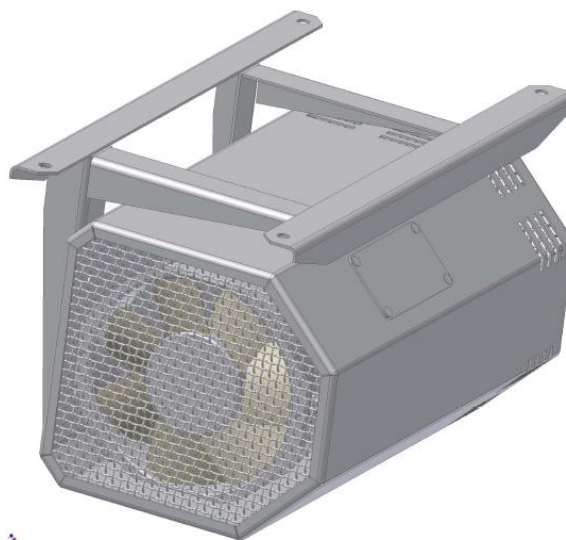


Рис.35. Электрический подогреватель

На юнибусе Ю-321П установлены четыре радиатора отопления, использующих тепло системы охлаждения двигателя. Радиаторы отопления работают в режиме рециркуляции.

Максимальная теплопроизводительность подогревателей 12 кВт.

4.10. Система вентиляции и кондиционирования

Кондиционер расположен в силовом отсеке. Он состоит из компрессорного, конденсаторного и испарительного агрегатов (см. рис. 36). Для варианта Ю-321П компрессорный агрегат интегрирован в силовую установку. Кондиционер может работать как в режиме кондиционирования, так и в режиме вентиляции салона.

Максимальная холодопроизводительность кондиционера 6 кВт.

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

Производительность вентилятора испарительного агрегата 270 м³/ч.

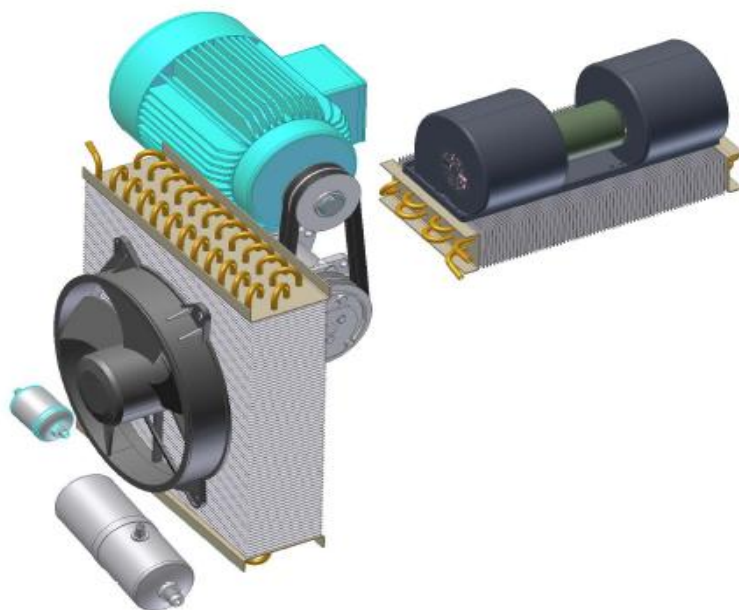


Рис. 36. Комплект системы кондиционирования и вентиляции юнибуса Ю-321ПЭ

4.11. Пассажирская дверь с механизмом открывания

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

Пассажирская дверь (см. рис. 37) расположена с левой стороны юнибуса перед перегородкой силового отсека.

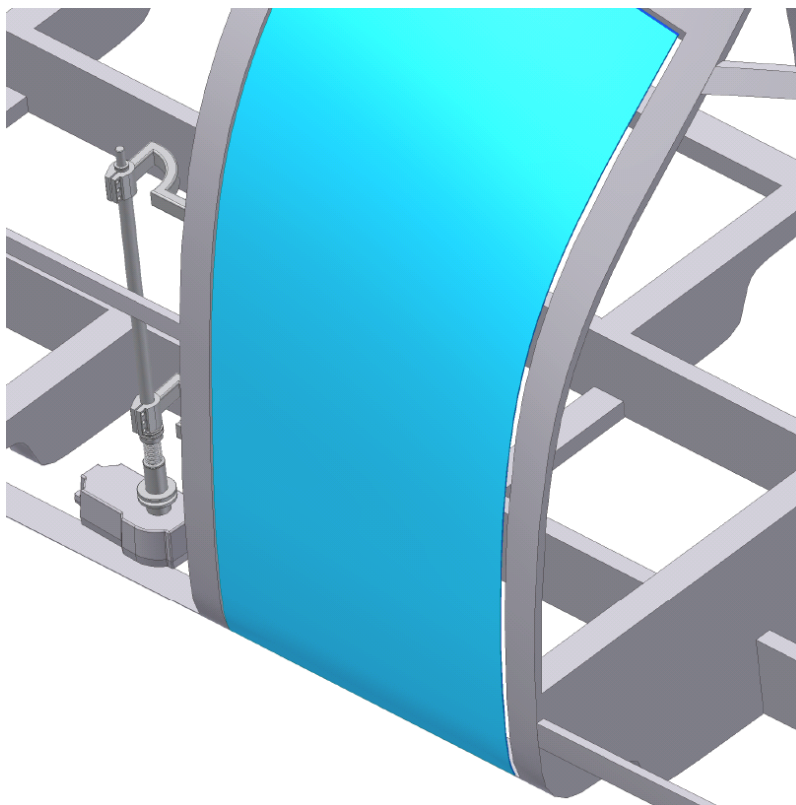


Рис. 37. Пассажирская дверь с механизмом открывания

Дверь состоит из створки двери, механического замка, механизма блокировки, стойки с верхним и нижним рычагами, механизма открывания двери, датчиков и блока управления.

Материал створки двери — непрозрачный поликарбонат.

Механизм открывания двери приводится в движение электрическим двигателем. Если при закрытии двери в проёме находится препятствие (человек, багаж и т.п.), механизм автоматически производит открывание, не причинив вреда (травмы) препятствию, зажатому дверью. Закрытая дверь фиксируется механическим замком. Во время движения юнибуса механический замок двери блокируется от открывания.

Ширина проёма дверного прохода 800 мм. Открывание двери сопровождается звуковым сигналом и световой сигнализацией. В аварийной ситуации при невозможности открывания двери в автоматическом режиме, предусмотрена возможность разблокировки и открывания двери вручную из пассажирского салона на станции и, в исключительных случаях, снаружи на перегоне.

Запасная дверь в вариантах Ю-312П и 321ПЭ расположена в туалетной кабине.

Запасная дверь в вариантах Ю-312П1 и Ю-312ПЭ1 расположена с правой стороны салона перед перегородкой силового отсека.

Запасная дверь отличается от пассажирской двери отсутствием механизма открывания.

4.12. Пассажирские сиденья

В салоне юнибуса установлены, в зависимости от варианта исполнения, девять или одиннадцать пассажирских сидений:

- в вариантах юнибусов Ю-321П и Ю-321ПЭ установлено девять пассажирских сидений — по четыре с каждой стороны корпуса и одно по центру впереди салона. Переднее сиденье поворотное с фиксацией в переднем положении.
- в вариантах юнибусов Ю-321П1 и Ю-312ПЭ1 установлено одиннадцать пассажирских сидений. По сравнению с вариантами Ю-321П и Ю-321ПЭ с левой стороны перед перегородкой силового отсека установлены дополнительно два пассажирских сиденья (вместо туалетной кабины).

Пассажирские сиденья (см. рис. 38) имеют мягкие подушку и спинку, подлокотники и механизм регулировки положения спинки. Переднее центральное сиденье поворотное с фиксацией в переднем положении. Дополнительные сиденья имеют поворотную подушку.



Рис. 38. Пассажирское сидение

4.13. Система пожаротушения

Система пожаротушения расположена в силовом отсеке.

Система состоит из датчиков температуры и генераторов огнетушащего аэрозоля МАГ (см. рис. 39).



Рис. 39. Генератор огнетушащего аэрозоля МАГ-5/1 и датчики температуры

Технические характеристики генератора огнетушащего аэрозоля МАГ:

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

В пассажирском салоне установлен углекислый огнетушитель ОУ-2 (см. рис. 40).



Рис.40. Углекислотный огнетушитель ОУ-2

4.14. Устройство сцепное автоматическое

Для обеспечения возможности буксировки с любого места трассы юнибусы оснащаются автоматическими сцепными устройствами (см. рис. 41). Сцепные устройства при сцепке двух юнибусов срабатывают автоматически без участия человека. При аварийной сцепке стыковочный узел способен погасить удар при относительной скорости сцепляемых юнибусов 10 км/час без повреждений корпуса и ускорениях в салоне до 4 м/с².



Рис. 41. Сцепное устройство

4.15. Туалетная кабина

В вариантах юнибусов Ю-321П и Ю-312ПЭ расположена туалетная кабина повышенной комфортности. Туалетная кабина находится перед перегородкой моторного отсека с левой стороны корпуса и изолирована от пассажирского салона перегородкой с дверью.

В туалетной комнате расположен портативный биотуалет модели Porta Potti-365 (см. рис. 42) и умывальник.



Рис. 42. Биотуалет модели Porta Potti-365

Биотуалет Porta Potti-365 оснащён системой смыва с электрической помпой и 21-литровым приёмным резервуаром. Биотуалет снабжен эффективной экономичной системой смыва чистой водой, съёмным приемным резервуаром со встроенной ручкой для переноски. Применяемая туалетная жидкость предотвращает скопление неприятных запахов и разлагает субстанции стоков, сохраняя бачок для стоков чистым.

4.16. Система эвакуации пассажиров

Предусмотрены три варианта эвакуации пассажиров из неисправного юнибуса:

- если отказавший юнибус не может продолжать движение самостоятельно, то по тому же пути подгоняется впереди идущий или следующий за ним юнибус, который берет аварийный юнибус на буксир и доставляет до ближайшей станции, где пассажиры выходят. Один исправный юнибус может буксировать до трех неисправных юнибусов;
- если юнибус неисправен и не может продолжать движение, то по встречному пути отправляется специальный модуль с загруженными в него на станции переходными трапами, подгоняется точно напротив аварийного, через аварийный боковой проем по трапам пассажиры переходят в специальный модуль и едут до ближайшей станции (для отдельных случаев предусмотрен специальный модуль-эвакуатор, который подгоняется по тому же пути и оборудование которого обеспечивает переход пассажиров на его борт и буксировку отказавшего юнибуса);
- если транспортная система полностью неработоспособна (например, при отключении электричества для варианта Ю-321ПЭ) или существует угроза здоровью пассажиров, то на этот исключительный случай предусмотрены специальные эвакуационные устройства типа тросового эвакуатора, рассчитанного на спуск пассажиров на поверхность земли с высоты до 10 м.

5. Технико-экономические показатели высокоскоростного юнибуса

Пассажирские рельсовые автомобили (юнибусы) Ю-321П и Ю-321ПЭ, в

качестве примера рассмотрены в составе высокоскоростной междугородной двухпутной струнной транспортной системы «Ханты-Мансийск — Сургут» протяженностью 250 км. В будущем эта дорога может быть продолжена на север и юг, восток и запад.

Основные технико-экономические показатели высокоскоростных юнибусов Ю-321П и Ю-321ПЭ на маршруте «Ханты-Мансийск — Сургут» колеей 1500 мм приведены в таблице 6.

Стоимостные показатели основных ценообразующих комплектующих систем юнибусов при единичном производстве приведены в таблицах 7 и 8.

Таблица 6

Основные технико-экономические показатели высокоскоростных юнибусов Ю-321П и Ю-321ПЭ на маршруте «Ханты-Мансийск — Сургут» колеей 1500 мм

Варианты юнибуса	Показатели				
	Максимальная скорость, км/час	Время движения, мин.	Количество пассажиров, чел	Удельный расход топлива (электроэнергии), л/100км (кВт×ч/100 км для Ю-321П)	Стоимость затраченной энергии на маршруте, USD
Ю-321П					
с дизельной силовой установкой:					
- ГАЗ 5602	242	64	до 11	11,1	19,2
- AFD-2.5TDI	272	57,5	до 11	12,0	20,7
- M16TCA	300	52,5	до 11	15,4	26,6
Ю-321ПЭ (электропривод)	200	77	до 11	21,0	10,5

Примечание. Расход топлива (электроэнергии) и стоимость затраченной энергии приведены для случая движения юнибусов с включенным на максимальную мощность кондиционером.

Основные показатели ценообразующих комплектов высокоскоростного юнибуса Ю-321П

№	Комплект	Производитель	Ориентировочная стоимость комплекта, USD	Примечание
1	Силовая установка: - ГАЗ 5602 - AFD-2.5TDI - M16TCA	ОАО «ГАЗ», РФ Volkswagen AG, Германия Steyr Motors, Австрия	3500 4500 5000	
2	АКП: - 5HP24 - RL608	ZF Getriebe GmbH, Германия ООО «КАТЕ», РФ	2100 1300	Намечен серийный выпуск с 2008 г.
3	Силовая передача	ООО «ЭТОН», Белоруссия	3500	
4	Ходовая система	Bonatrans a.S. Bohumin, Чехия Gummi-Metall-Technik GmbH, Германия	6000	
5	Бортовой комплект АСУ	ИТЦ МП, Белоруссия ФГУП «КНИИТМУ», РФ	2000	Без учета затрат на программное обеспечение
6	Тормозная система	Continental Teves AG, KNOTT, Германия	3500	
7	Каркас	ООО «ЭТОН», Белоруссия	18000	
8	Облицовка	Venture, США	13500	
9	Дверь: - пассажирская - запасная	УЭТК «КАНОПУС», РФ	2500 1000	
10	Комплект сидений	ОАО «РИАТ», РФ	4500	
11	Система кондиционирования	Webasto, Германия	4000	
12	Предпусковой подогреватель двигателя	Webasto, Германия	800	
	Всего:		66400	

Основные показатели ценообразующих комплектов высокоскоростного юнибуса Ю-321ПЭ

№	Комплект	Производитель	Ориентировочная стоимость комплекта, USD	Примечание
1	Силовая передача	ООО «ЭТОН», Белоруссия	2600	
2	Ходовая система	Bonatrans a.S. Bohumin, Чехия Gummi-Metall-Technik GmbH, Германия	6000	
3	Бортовой комплект АСУ	ИТЦ МП, Белоруссия ФГУП «КНИИТМУ», РФ	2000	Без учета затрат на программное обеспечение
4	Тормозная система	Continental Teves AG, KNOTT, Германия	3500	
5	Комплект силового электропривода	ООО «ЭТОН», Белоруссия	10000	
6	Каркас	ООО «ЭТОН», Белоруссия	18000	
7	Облицовка	Venture, США	13500	
8	Дверь: - пассажирская - запасная	УЭТК «КАНОПУС», РФ	2500 1000	
9	Комплект сидений	ОАО «РИАТ», РФ	4500	
10	Система кондиционирования	Webasto, Германия	4000	
	Всего:		67600	

6. Организация разработки и производства юнибуса

6.1. Сроки разработки

Сроки разработки определяются отдельным договором и для любой модели юнибуса ориентировочно составляют 12 месяцев.

6.2. Головной разработчик и соисполнители разработки

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

Возможные соисполнители разработки и поставщики комплектующих систем:

- Volkswagen AG, Германия
- ОАО «ГАЗ», г. Нижний Новгород, Российская Федерация
- Steyr Motors, Австрия
- Continental Teves AG, Германия
- Bonatrans a.S. Bohumin, Чехия
- Gummi-Metall-Technik GmbH, Германия
- ООО «ЭТОН», г. Смолевичи, Белоруссия
- ZF Getriebe GmbH, Германия
- ООО «КАТЕ», г. Москва, Российская Федерация
- ИТЦ МП, г. Молодечно, Белоруссия
- ФГУП «КНИИТМУ», г. Калуга, Российская Федерация
- Venture, США
- УЭТК «КАНОПУС», г. Златоуст, Российская Федерация
- ОАО «РИАТ», г. Набережные Челны, Российская Федерация
- Webasto, Германия

6.3. Количество изготавливаемых опытных образцов, место проведения испытаний

Изготавливаемая партия — 1 образец.

Место проведения испытаний:

Стационарные испытания — на производственных площадях изготовителя.

Ходовые испытания — в составе высокоскоростной транспортной системы в Ханты-Мансийском автономном округе — Югре.

6.4. Изготовитель опытного образца

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



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

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный конструктор
ООО «Струнный транспорт Юницкого»

_____ А.Э. Юницкий

«18» июня 2007 г.

Тягово-динамический расчет
высокоскоростного пассажирского юнибуса Ю-321П
(321П-0000010PP)

Содержание тягово-динамического расчета Ю-321П

1. Введение	56
2. Исходные данные	56
3. Условия и допущения	57
4. Наиболее подходящие варианты силового блока	58
5. Расчет динамических показателей разгона	58
6. Динамические показатели торможения юнибуса	68
7. Путь и время равномерного движения с максимальной скоростью	69
8. Общее время, необходимое для преодоления всего участка пути	69
9. Расход топлива	69
10. Выводы	70

1. Введение

Данный расчет-анализ производится для высокоскоростного пассажирского юнибуса Ю-321П транспортной системы СТЮ «Ханты-Мансийск — Сургут» (см. рис. 43), оснащенного силовым блоком «Дизельный двигатель — автоматическая коробка передач».

Крутящий момент от выходного вала автоматической коробки передач (АКП) на задние ведущие колеса осуществляется через дифференциальный механизм раздаточного редуктора при помощи карданных валов.

Целью настоящего расчета-анализа являются:

- выбор дизельного двигателя и АКП;
- определение динамических параметров;
- определение количества топлива, необходимого для преодоления участка пути «Ханты-Мансийск — Сургут» протяженностью 250 км.

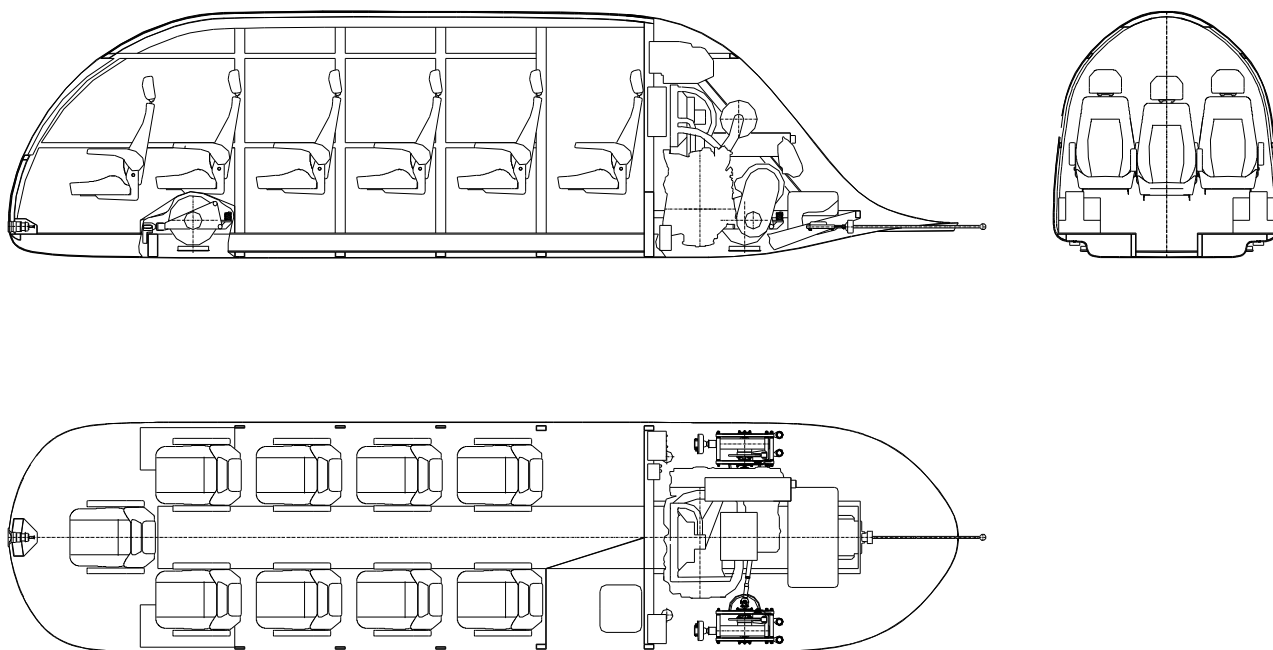


Рис. 43. Высокоскоростной пассажирский модуль Ю-321П

2. Исходные данные

Максимальная масса модуля, кг

$m = 2300$

Коэффициент сопротивления качению колес модуля

$f = 0,0022$

Коэффициент лобового аэродинамического сопротивления	$C_w = 0,1$
Размер лобовой площади (мидель), m^2	$A = 3,07$
Плотность воздуха, kg/m^3	$\rho = 1,202$
Ускорение свободного падения, m/c^2	$g = 9,8$
Радиус качения тягового колеса, м	$r = 0,2$
Максимальное ускорение (замедление), m/c^2	$a = 0,6$
Мощность генератора, Вт	$N_r = 1000$
Мощность компрессора кондиционера, Вт	$N_{ko} = 3000$
КПД трансмиссии (АКП, раздаточный редуктор, карданные валы)	$\eta = 0,87$
Колесная формула	4×2
Распределение максимальной массы по осям пар колес:	
передняя пара, кг	$m_1 = 920$
задняя пара, кг	$m_2 = 1380$
Коэффициент сцепления колеса с рельсом (наименьший)	$\varphi = 0,12$
Протяженность участка, м	$S = 250000$

3. Условия и допущения

Станции находятся на одной высоте по отношению к уровню моря. Безветрие.

Величина мощности двигателя при расчете времени и пути ускорения принята постоянной и соответствует номинальной.

Потери времени на переключение передач в АКП не учитываются.

Цикл движения принят следующий:

- разгон со станции «Ханты-Мансийск» до максимальной скорости, которую обеспечит мощность привода (начальное ускорение $0,6 m/c^2$);
- равномерное движение с максимальной скоростью без остановок на промежуточных станциях «Пойковский» и «Нефтеюганск»;
- торможение с постоянным замедлением $0,6 m/c^2$ до полной остановки на конечной станции назначения «Сургут» (начало торможения определяется исходя из длины тормозного пути).

Момент инерции вращающихся масс не учитывается.

4. Наиболее подходящие варианты силового блока

Исходя из предварительного весового анализа юнибуса, масса силового блока юнибуса не должна превышать 350 кг. Наиболее подходящими (из выставленных на сегодняшнее время на продажу производителями промышленных дизельных двигателей и АКП) по весогабаритным показателям, образующие силовой блок, сочетания дизельных двигателей и АКП приведены в таблице 9.

Таблица 9

Варианты сочетаний дизельного двигателя и АКП

Варианты сочетаний	Силовой блок (дизельный двигатель + АКП)	N_n , кВт	g , г / кВт час	Масса блока, кг
1	ГАЗ 5602 + RL608	81	265	260
2	AFD-2.5TDI + 5HP24	111	234	300
3	M16TCA + 5HP24	145	255	330

где:

N_n — мощность номинальная двигателя;

g — удельный расход топлива в режиме N_n .

5. Расчет динамических показателей разгона

Расчет динамических показателей производится из условия ограничения ускорения величиной $0,6 \text{ м/с}^2$ для исключения пробуксовок тяговых колес и использования максимальной мощности двигателя (с момента начала падения ускорения) для продолжения ускорения до максимальной скорости.

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 10 для варианта сочетаний 1 (см. табл. 9);

- таблицу 11 для варианта 2;
- таблицу 12 для варианта 3.

Ускорение определяется по формуле:

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

где:

$$P = N \cdot \eta / V_i \text{ — суммарная сила тяги на колесах, Н}$$

$$F = m \cdot g \cdot f = 2300 \cdot 9,8 \cdot 0,0022 = 49,6 \text{ Н — сила сопротивления качению колес}$$

юнибуса;

$$N = N_n - N_r - N_{ko} - N_b, \text{ Вт — свободная мощность двигателя;}$$

$$N_b = 0,1 \cdot N_n, \text{ Вт — мощность привода вентилятора системы охлаждения двигателя.}$$

Результаты расчета см.:

- таблицу 10 для варианта 1;
- таблицу 11 для варианта 2;
- таблицу 12 для варианта 3.

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

Приращение времени в каждом интервале скорости:

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

где:

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

Результаты расчета см.:

- таблицу 10 для варианта 1;
- таблицу 11 для варианта 2;
- таблицу 12 для варианта 3.

Приращение пути разгона в каждом интервале:

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

где:

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

Результаты расчета см.:

- таблицу 10 для варианта 1;
- таблицу 11 для варианта 2;
- таблицу 12 для варианта 3.

Таблица 10

Динамические показатели разгона юнибуса для варианта 1

V, км/час	V, м/с	P, Н	R, Н	a ср, м/с	Vср, м/с	ΔS, м	Тр, сек	Sp, м
0								
2	0,556	107897,400	0,058	0,600	0,278	0,257	0,926	0,257
4	1,111	53948,700	0,230	0,600	0,833	0,772	1,852	1,029
6	1,667	35965,800	0,518	0,600	1,389	1,286	2,778	2,315
8	2,222	26974,350	0,920	0,600	1,944	1,800	3,704	4,115
10	2,778	21579,480	1,438	0,600	2,500	2,315	4,630	6,430
12	3,333	17982,900	2,070	0,600	3,056	2,829	5,556	9,259
14	3,889	15413,914	2,818	0,600	3,611	3,344	6,481	12,603
16	4,444	13487,175	3,680	0,600	4,167	3,858	7,407	16,461
18	5,000	11988,600	4,658	0,600	4,722	4,372	8,333	20,833
20	5,556	10789,740	5,750	0,600	5,278	4,887	9,259	25,720
22	6,111	9808,855	6,958	0,600	5,833	5,401	10,185	31,121
24	6,667	8991,450	8,280	0,600	6,389	5,916	11,111	37,037
26	7,222	8299,800	9,718	0,600	6,944	6,430	12,037	43,467
28	7,778	7706,957	11,271	0,600	7,500	6,944	12,963	50,412
30	8,333	7193,160	12,938	0,600	8,056	7,459	13,889	57,870
32	8,889	6743,588	14,721	0,600	8,611	7,973	14,815	65,844
34	9,444	6346,906	16,618	0,600	9,167	8,488	15,741	74,331
36	10,000	5994,300	18,631	0,600	9,722	9,002	16,667	83,333
38	10,556	5678,811	20,759	0,600	10,278	9,516	17,593	92,850
40	11,111	5394,870	23,001	0,600	10,833	10,031	18,519	102,881
42	11,667	5137,971	25,359	0,600	11,389	10,545	19,444	113,426
44	12,222	4904,427	27,831	0,600	11,944	11,060	20,370	124,486
46	12,778	4691,191	30,419	0,600	12,500	11,574	21,296	136,060
48	13,333	4495,725	33,122	0,600	13,056	12,088	22,222	148,148
50	13,889	4315,896	35,939	0,600	13,611	12,603	23,148	160,751
52	14,444	4149,900	38,872	0,600	14,167	13,117	24,074	173,868
54	15,000	3996,200	41,920	0,600	14,722	13,632	25,000	187,500
56	15,556	3853,479	45,082	0,600	15,278	14,146	25,926	201,646
58	16,111	3720,600	48,360	0,600	15,833	14,660	26,852	216,307
60	16,667	3596,580	51,753	0,600	16,389	15,175	27,778	231,481
62	17,222	3480,561	55,260	0,600	16,944	15,689	28,704	247,171
64	17,778	3371,794	58,883	0,600	17,500	16,204	29,630	263,374
66	18,333	3269,618	62,621	0,600	18,056	16,718	30,556	280,093
68	18,889	3173,453	66,474	0,600	18,611	17,233	31,481	297,325
70	19,444	3082,783	70,441	0,600	19,167	17,747	32,407	315,072
72	20,000	2997,150	74,524	0,600	19,722	18,261	33,333	333,333
74	20,556	2916,146	78,722	0,600	20,278	18,776	34,259	352,109
76	21,111	2839,405	83,034	0,600	20,833	19,290	35,185	371,399
78	21,667	2766,600	87,462	0,600	21,389	19,805	36,111	391,204
80	22,222	2697,435	92,005	0,600	21,944	20,319	37,037	411,523
82	22,778	2631,644	96,663	0,600	22,500	20,833	37,963	432,356
84	23,333	2568,986	101,435	0,600	23,056	21,348	38,889	453,704

V, км/час	V, м/с	P, Н	R, Н	a ср, м/с	Vср, м/с	ΔS, м	Тр, сек	Sp, м
86	23,889	2509,242	106,323	0,600	23,611	21,862	39,815	475,566
88	24,444	2452,214	111,326	0,600	24,167	22,377	40,741	497,942
90	25,000	2397,720	116,444	0,600	24,722	22,891	41,667	520,833
92	25,556	2345,596	121,677	0,600	25,278	23,405	42,593	544,239
94	26,111	2295,689	127,024	0,600	25,833	23,920	43,519	568,158
96	26,667	2247,863	132,487	0,600	26,389	24,434	44,444	592,593
98	27,222	2201,988	138,065	0,600	26,944	24,949	45,370	617,541
100	27,778	2157,948	143,758	0,600	27,500	25,463	46,296	643,004
102	28,333	2115,635	149,566	0,600	28,056	25,977	47,222	668,981
104	28,889	2074,950	155,488	0,600	28,611	26,492	48,148	695,473
106	29,444	2035,800	161,526	0,600	29,167	27,006	49,074	722,479
108	30,000	1998,100	167,679	0,600	29,722	27,521	50,000	750,000
110	30,556	1961,771	173,947	0,600	30,278	28,035	50,926	778,035
112	31,111	1926,739	180,330	0,600	30,833	28,549	51,852	806,584
114	31,667	1892,937	186,828	0,600	31,389	29,064	52,778	835,648
116	32,222	1860,300	193,440	0,600	31,944	29,578	53,704	865,226
118	32,778	1828,769	200,168	0,600	32,500	30,093	54,630	895,319
120	33,333	1798,290	207,011	0,600	33,056	30,607	55,556	925,926
122	33,889	1768,810	213,969	0,600	33,611	31,121	56,481	957,047
124	34,444	1740,281	221,042	0,600	34,167	31,636	57,407	988,683
126	35,000	1712,657	228,230	0,600	34,722	32,150	58,333	1020,833
128	35,556	1685,897	235,533	0,600	35,278	32,665	59,259	1053,498
130	36,111	1659,960	242,951	0,597	35,833	33,331	60,189	1086,829
132	36,667	1634,809	250,483	0,587	36,389	34,415	61,135	1121,243
134	37,222	1610,409	258,131	0,573	36,944	35,798	62,104	1157,041
136	37,778	1586,726	265,894	0,560	37,500	37,232	63,097	1194,273
138	38,333	1563,730	273,772	0,546	38,056	38,721	64,114	1232,995
140	38,889	1541,391	281,765	0,533	38,611	40,268	65,157	1273,263
142	39,444	1519,682	289,873	0,520	39,167	41,875	66,227	1315,138
144	40,000	1498,575	298,096	0,507	39,722	43,547	67,323	1358,685
146	40,556	1478,047	306,434	0,494	40,278	45,286	68,447	1403,971
148	41,111	1458,073	314,887	0,482	40,833	47,098	69,601	1451,069
150	41,667	1438,632	323,455	0,469	41,389	48,987	70,784	1500,056
152	42,222	1419,703	332,138	0,457	41,944	50,957	71,999	1551,013
154	42,778	1401,265	340,936	0,445	42,500	53,014	73,246	1604,027
156	43,333	1383,300	349,849	0,434	43,056	55,164	74,528	1659,191
158	43,889	1365,790	358,877	0,422	43,611	57,414	75,844	1716,605
160	44,444	1348,718	368,020	0,411	44,167	59,769	77,197	1776,374
162	45,000	1332,067	377,278	0,399	44,722	62,239	78,589	1838,613
164	45,556	1315,822	386,651	0,388	45,278	64,831	80,021	1903,444
166	46,111	1299,969	396,139	0,377	45,833	67,556	81,495	1971,000
168	46,667	1284,493	405,742	0,366	46,389	70,422	83,013	2041,422
170	47,222	1269,381	415,460	0,355	46,944	73,443	84,577	2114,866
172	47,778	1254,621	425,293	0,344	47,500	76,631	86,191	2191,496
174	48,333	1240,200	435,241	0,334	48,056	80,000	87,855	2271,496
176	48,889	1226,107	445,304	0,323	48,611	83,566	89,575	2355,063
178	49,444	1212,330	455,482	0,313	49,167	87,348	91,351	2442,411
180	50,000	1198,860	465,775	0,302	49,722	91,366	93,189	2533,777
182	50,556	1185,686	476,183	0,292	50,278	95,643	95,091	2629,419
184	51,111	1172,798	486,706	0,282	50,833	100,205	97,062	2729,624
186	51,667	1160,187	497,344	0,272	51,389	105,082	99,107	2834,706
188	52,222	1147,845	508,097	0,262	51,944	110,309	101,231	2945,015
190	52,778	1135,762	518,965	0,252	52,500	115,924	103,439	3060,939

V, км/час	V, м/с	P, Н	R, Н	a ср, м/с	Vср, м/с	ΔS, м	Тр, сек	Sp, м
192	53,333	1123,931	529,948	0,242	53,056	121,974	105,738	3182,913
194	53,889	1112,344	541,047	0,232	53,611	128,511	108,135	3311,424
196	54,444	1100,994	552,260	0,222	54,167	135,598	110,638	3447,021
198	55,000	1089,873	563,588	0,212	54,722	143,308	113,257	3590,329
200	55,556	1078,974	575,031	0,202	55,278	151,727	116,002	3742,056
202	56,111	1068,291	586,589	0,193	55,833	160,959	118,885	3903,015
204	56,667	1057,818	598,262	0,183	56,389	171,129	121,919	4074,144
206	57,222	1047,548	610,050	0,173	56,944	182,390	125,122	4256,534
208	57,778	1037,475	621,953	0,164	57,500	194,927	128,512	4451,461
210	58,333	1027,594	633,972	0,154	58,056	208,973	132,112	4660,434
212	58,889	1017,900	646,105	0,145	58,611	224,819	135,948	4885,253
214	59,444	1008,387	658,353	0,135	59,167	242,838	140,052	5128,091
216	60,000	999,050	670,716	0,126	59,722	263,511	144,464	5391,602
218	60,556	989,884	683,194	0,116	60,278	287,475	149,233	5679,077
220	61,111	980,885	695,787	0,107	60,833	315,589	154,421	5994,666
222	61,667	972,049	708,496	0,098	61,389	349,035	160,107	6343,701
224	62,222	963,370	721,319	0,088	61,944	389,497	166,395	6733,198
226	62,778	954,844	734,257	0,079	62,500	439,447	173,426	7172,645
228	63,333	946,468	747,310	0,070	63,056	502,674	181,398	7675,319
230	63,889	938,238	760,478	0,060	63,611	585,297	190,599	8260,616
232	64,444	930,150	773,762	0,051	64,167	697,875	201,475	8958,491
234	65,000	922,200	787,160	0,042	64,722	860,332	214,768	9818,824
236	65,556	914,385	800,673	0,033	65,278	1115,292	231,853	10934,116
238	66,111	906,701	814,301	0,023	65,833	1573,293	255,751	12507,409
240	66,667	899,145	828,044	0,014	66,389	2637,585	295,480	15144,994
242	67,222	891,714	841,903	0,005	66,944	7870,855	413,053	23015,849

Таблица 11

Динамические показатели разгона юнибуса для варианта 2

V, км/час	V, м/с	P, Н	R, Н	a ср, м/с	Vср, м/с	ΔS, м	Тр, сек	Sp, м
0								
2	0,556	150179,400	0,057	0,600	0,278	0,257	0,926	0,257
4	1,111	75089,700	0,228	0,600	0,833	0,772	1,852	1,029
6	1,667	50059,800	0,513	0,600	1,389	1,286	2,778	2,315
8	2,222	37544,850	0,911	0,600	1,944	1,800	3,704	4,115
10	2,778	30035,880	1,424	0,600	2,500	2,315	4,630	6,430
12	3,333	25029,900	2,050	0,600	3,056	2,829	5,556	9,259
14	3,889	21454,200	2,790	0,600	3,611	3,344	6,481	12,603
16	4,444	18772,425	3,645	0,600	4,167	3,858	7,407	16,461
18	5,000	16686,600	4,613	0,600	4,722	4,372	8,333	20,833
20	5,556	15017,940	5,695	0,600	5,278	4,887	9,259	25,720
22	6,111	13652,673	6,891	0,600	5,833	5,401	10,185	31,121
24	6,667	12514,950	8,200	0,600	6,389	5,916	11,111	37,037
26	7,222	11552,262	9,624	0,600	6,944	6,430	12,037	43,467
28	7,778	10727,100	11,162	0,600	7,500	6,944	12,963	50,412
30	8,333	10011,960	12,813	0,600	8,056	7,459	13,889	57,870
32	8,889	9386,213	14,578	0,600	8,611	7,973	14,815	65,844
34	9,444	8834,082	16,458	0,600	9,167	8,488	15,741	74,331
36	10,000	8343,300	18,451	0,600	9,722	9,002	16,667	83,333

V, км/час	V, м/с	P, Н	R, Н	a ср, м/с	Vср, м/с	ΔS, м	Тр, сек	Sp, м
38	10,556	7904,179	20,558	0,600	10,278	9,516	17,593	92,850
40	11,111	7508,970	22,779	0,600	10,833	10,031	18,519	102,881
42	11,667	7151,400	25,113	0,600	11,389	10,545	19,444	113,426
44	12,222	6826,336	27,562	0,600	11,944	11,060	20,370	124,486
46	12,778	6529,539	30,125	0,600	12,500	11,574	21,296	136,060
48	13,333	6257,475	32,801	0,600	13,056	12,088	22,222	148,148
50	13,889	6007,176	35,592	0,600	13,611	12,603	23,148	160,751
52	14,444	5776,131	38,496	0,600	14,167	13,117	24,074	173,868
54	15,000	5562,200	41,514	0,600	14,722	13,632	25,000	187,500
56	15,556	5363,550	44,646	0,600	15,278	14,146	25,926	201,646
58	16,111	5178,600	47,892	0,600	15,833	14,660	26,852	216,307
60	16,667	5005,980	51,252	0,600	16,389	15,175	27,778	231,481
62	17,222	4844,497	54,726	0,600	16,944	15,689	28,704	247,171
64	17,778	4693,106	58,313	0,600	17,500	16,204	29,630	263,374
66	18,333	4550,891	62,015	0,600	18,056	16,718	30,556	280,093
68	18,889	4417,041	65,830	0,600	18,611	17,233	31,481	297,325
70	19,444	4290,840	69,760	0,600	19,167	17,747	32,407	315,072
72	20,000	4171,650	73,803	0,600	19,722	18,261	33,333	333,333
74	20,556	4058,903	77,960	0,600	20,278	18,776	34,259	352,109
76	21,111	3952,089	82,231	0,600	20,833	19,290	35,185	371,399
78	21,667	3850,754	86,616	0,600	21,389	19,805	36,111	391,204
80	22,222	3754,485	91,115	0,600	21,944	20,319	37,037	411,523
82	22,778	3662,912	95,727	0,600	22,500	20,833	37,963	432,356
84	23,333	3575,700	100,454	0,600	23,056	21,348	38,889	453,704
86	23,889	3492,544	105,294	0,600	23,611	21,862	39,815	475,566
88	24,444	3413,168	110,249	0,600	24,167	22,377	40,741	497,942
90	25,000	3337,320	115,317	0,600	24,722	22,891	41,667	520,833
92	25,556	3264,770	120,499	0,600	25,278	23,405	42,593	544,239
94	26,111	3195,306	125,795	0,600	25,833	23,920	43,519	568,158
96	26,667	3128,738	131,205	0,600	26,389	24,434	44,444	592,593
98	27,222	3064,886	136,729	0,600	26,944	24,949	45,370	617,541
100	27,778	3003,588	142,367	0,600	27,500	25,463	46,296	643,004
102	28,333	2944,694	148,118	0,600	28,056	25,977	47,222	668,981
104	28,889	2888,065	153,984	0,600	28,611	26,492	48,148	695,473
106	29,444	2833,574	159,963	0,600	29,167	27,006	49,074	722,479
108	30,000	2781,100	166,056	0,600	29,722	27,521	50,000	750,000
110	30,556	2730,535	172,263	0,600	30,278	28,035	50,926	778,035
112	31,111	2681,775	178,585	0,600	30,833	28,549	51,852	806,584
114	31,667	2634,726	185,020	0,600	31,389	29,064	52,778	835,648
116	32,222	2589,300	191,568	0,600	31,944	29,578	53,704	865,226
118	32,778	2545,414	198,231	0,600	32,500	30,093	54,630	895,319
120	33,333	2502,990	205,008	0,600	33,056	30,607	55,556	925,926
122	33,889	2461,957	211,898	0,600	33,611	31,121	56,481	957,047
124	34,444	2422,248	218,903	0,600	34,167	31,636	57,407	988,683
126	35,000	2383,800	226,021	0,600	34,722	32,150	58,333	1020,833
128	35,556	2346,553	233,253	0,600	35,278	32,665	59,259	1053,498
130	36,111	2310,452	240,599	0,600	35,833	33,179	60,185	1086,677
132	36,667	2275,445	248,059	0,600	36,389	33,693	61,111	1120,370
134	37,222	2241,484	255,633	0,600	36,944	34,208	62,037	1154,578
136	37,778	2208,521	263,321	0,600	37,500	34,722	62,963	1189,300
138	38,333	2176,513	271,123	0,600	38,056	35,237	63,889	1224,537
140	38,889	2145,420	279,038	0,600	38,611	35,751	64,815	1260,288
142	39,444	2115,203	287,068	0,600	39,167	36,265	65,741	1296,553

V, км/час	V, м/с	P, Н	R, Н	a ср, м/с	Vср, м/с	ΔS, м	Тр, сек	Sp, м
144	40,000	2085,825	295,211	0,600	39,722	36,780	66,667	1333,333
146	40,556	2057,252	303,468	0,600	40,278	37,294	67,593	1370,628
148	41,111	2029,451	311,840	0,600	40,833	37,809	68,519	1408,436
150	41,667	2002,392	320,325	0,600	41,389	38,323	69,444	1446,759
152	42,222	1976,045	328,924	0,600	41,944	38,837	70,370	1485,597
154	42,778	1950,382	337,636	0,600	42,500	39,352	71,296	1524,949
156	43,333	1925,377	346,463	0,600	43,056	39,866	72,222	1564,815
158	43,889	1901,005	355,404	0,600	43,611	40,381	73,148	1605,195
160	44,444	1877,243	364,458	0,600	44,167	40,895	74,074	1646,091
162	45,000	1854,067	373,627	0,600	44,722	41,409	75,000	1687,500
164	45,556	1831,456	382,909	0,600	45,278	41,924	75,926	1729,424
166	46,111	1809,390	392,305	0,597	45,833	42,631	76,856	1772,055
168	46,667	1787,850	401,815	0,588	46,389	43,843	77,801	1815,898
170	47,222	1766,816	411,439	0,574	46,944	45,404	78,768	1861,303
172	47,778	1746,272	421,177	0,561	47,500	47,026	79,758	1908,329
174	48,333	1726,200	431,029	0,548	48,056	48,713	80,772	1957,042
176	48,889	1706,584	440,995	0,535	48,611	50,467	81,810	2007,508
178	49,444	1687,409	451,074	0,522	49,167	52,294	82,874	2059,802
180	50,000	1668,660	461,268	0,510	49,722	54,197	83,964	2113,999
182	50,556	1650,323	471,575	0,497	50,278	56,183	85,081	2170,182
184	51,111	1632,385	481,996	0,485	50,833	58,255	86,227	2228,437
186	51,667	1614,832	492,531	0,473	51,389	60,422	87,403	2288,859
188	52,222	1597,653	503,180	0,460	51,944	62,687	88,610	2351,546
190	52,778	1580,836	513,943	0,448	52,500	65,060	89,849	2416,607
192	53,333	1564,369	524,820	0,436	53,056	67,548	91,122	2484,154
194	53,889	1548,241	535,811	0,425	53,611	70,159	92,431	2554,313
196	54,444	1532,443	546,915	0,413	54,167	72,902	93,777	2627,216
198	55,000	1516,964	558,134	0,401	54,722	75,790	95,162	2703,005
200	55,556	1501,794	569,466	0,390	55,278	78,832	96,588	2781,837
202	56,111	1486,925	580,912	0,378	55,833	82,042	98,057	2863,880
204	56,667	1472,347	592,472	0,367	56,389	85,435	99,572	2949,315
206	57,222	1458,052	604,147	0,355	56,944	89,027	101,136	3038,342
208	57,778	1444,033	615,934	0,344	57,500	92,837	102,750	3131,179
210	58,333	1430,280	627,836	0,333	58,056	96,884	104,419	3228,063
212	58,889	1416,787	639,852	0,322	58,611	101,192	106,146	3329,254
214	59,444	1403,546	651,982	0,311	59,167	105,787	107,934	3435,041
216	60,000	1390,550	664,225	0,300	59,722	110,700	109,787	3545,741
218	60,556	1377,793	676,583	0,289	60,278	115,965	111,711	3661,706
220	61,111	1365,267	689,054	0,278	60,833	121,622	113,710	3783,328
222	61,667	1352,968	701,639	0,267	61,389	127,717	115,791	3911,045
224	62,222	1340,888	714,338	0,256	61,944	134,302	117,959	4045,347
226	62,778	1329,021	727,151	0,245	62,500	141,442	120,222	4186,789
228	63,333	1317,363	740,078	0,235	63,056	149,208	122,588	4335,997
230	63,889	1305,908	753,119	0,224	63,611	157,689	125,067	4493,687
232	64,444	1294,650	766,274	0,213	64,167	166,989	127,670	4660,676
234	65,000	1283,585	779,542	0,203	64,722	177,233	130,408	4837,909
236	65,556	1272,707	792,925	0,192	65,278	188,573	133,297	5026,482
238	66,111	1262,012	806,421	0,182	65,833	201,197	136,353	5227,679
240	66,667	1251,495	820,031	0,171	66,389	215,338	139,597	5443,018
242	67,222	1241,152	833,755	0,161	66,944	231,288	143,051	5674,306
244	67,778	1230,979	847,593	0,150	67,500	249,419	146,747	5923,725
246	68,333	1220,971	861,545	0,140	68,056	270,215	150,717	6193,940
248	68,889	1211,124	875,611	0,130	68,611	294,311	155,007	6488,251

V, км/час	V, м/с	P, Н	R, Н	a ср, м/с	Vср, м/с	ΔS, м	Тр, сек	Sp, м
250	69,444	1201,435	889,791	0,119	69,167	322,564	159,670	6810,815
252	70,000	1191,900	904,084	0,109	69,722	356,156	164,778	7166,971
254	70,556	1182,515	918,492	0,098	70,278	396,761	170,424	7563,731
256	71,111	1173,277	933,013	0,088	70,833	446,837	176,732	8010,568
258	71,667	1164,181	947,648	0,078	71,389	510,145	183,878	8520,714
260	72,222	1155,226	962,398	0,067	71,944	592,736	192,117	9113,449
262	72,778	1146,408	977,261	0,057	72,500	705,016	201,841	9818,465
264	73,333	1137,723	992,238	0,047	73,056	866,523	213,703	10684,988
266	73,889	1129,168	1007,328	0,037	73,611	1118,753	228,901	11803,741
268	74,444	1120,742	1022,533	0,026	74,167	1568,074	250,043	13371,816
270	75,000	1112,440	1037,852	0,016	74,722	2593,793	284,756	15965,608
272	75,556	1104,260	1053,284	0,006	75,278	7290,300	381,601	23255,909

Таблица 12

Динамические показатели разгона юнибуса для варианта 3

V, км/час	V, м/с	P, Н	R, Н	a ср, м/с	Vср, м/с	ΔS, м	Тр, сек	Sp, м
0								
2	0,556	198099,00	0,057	0,600	0,278	0,257	0,926	0,257
4	1,111	99049,500	0,228	0,600	0,833	0,772	1,852	1,029
6	1,667	66033,000	0,513	0,600	1,389	1,286	2,778	2,315
8	2,222	49524,750	0,911	0,600	1,944	1,800	3,704	4,115
10	2,778	39619,800	1,424	0,600	2,500	2,315	4,630	6,430
12	3,333	33016,500	2,050	0,600	3,056	2,829	5,556	9,259
14	3,889	28299,857	2,790	0,600	3,611	3,344	6,481	12,603
16	4,444	24762,375	3,645	0,600	4,167	3,858	7,407	16,461
18	5,000	22011,000	4,613	0,600	4,722	4,372	8,333	20,833
20	5,556	19809,900	5,695	0,600	5,278	4,887	9,259	25,720
22	6,111	18009,000	6,891	0,600	5,833	5,401	10,185	31,121
24	6,667	16508,250	8,200	0,600	6,389	5,916	11,111	37,037
26	7,222	15238,385	9,624	0,600	6,944	6,430	12,037	43,467
28	7,778	14149,929	11,162	0,600	7,500	6,944	12,963	50,412
30	8,333	13206,600	12,813	0,600	8,056	7,459	13,889	57,870
32	8,889	12381,188	14,578	0,600	8,611	7,973	14,815	65,844
34	9,444	11652,882	16,458	0,600	9,167	8,488	15,741	74,331
36	10,000	11005,500	18,451	0,600	9,722	9,002	16,667	83,333
38	10,556	10426,263	20,558	0,600	10,278	9,516	17,593	92,850
40	11,111	9904,950	22,779	0,600	10,833	10,031	18,519	102,881
42	11,667	9433,286	25,113	0,600	11,389	10,545	19,444	113,426
44	12,222	9004,500	27,562	0,600	11,944	11,060	20,370	124,486
46	12,778	8613,000	30,125	0,600	12,500	11,574	21,296	136,060
48	13,333	8254,125	32,801	0,600	13,056	12,088	22,222	148,148
50	13,889	7923,960	35,592	0,600	13,611	12,603	23,148	160,751
52	14,444	7619,192	38,496	0,600	14,167	13,117	24,074	173,868
54	15,000	7337,000	41,514	0,600	14,722	13,632	25,000	187,500
56	15,556	7074,964	44,646	0,600	15,278	14,146	25,926	201,646
58	16,111	6831,000	47,892	0,600	15,833	14,660	26,852	216,307
60	16,667	6603,300	51,252	0,600	16,389	15,175	27,778	231,481
62	17,222	6390,290	54,726	0,600	16,944	15,689	28,704	247,171
64	17,778	6190,594	58,313	0,600	17,500	16,204	29,630	263,374

V, км/час	V, м/с	P, Н	R, Н	a ср, м/с	Vср, м/с	ΔS, м	Тр, сек	Sp, м
66	18,333	6003,000	62,015	0,600	18,056	16,718	30,556	280,093
68	18,889	5826,441	65,830	0,600	18,611	17,233	31,481	297,325
70	19,444	5659,971	69,760	0,600	19,167	17,747	32,407	315,072
72	20,000	5502,750	73,803	0,600	19,722	18,261	33,333	333,333
74	20,556	5354,027	77,960	0,600	20,278	18,776	34,259	352,109
76	21,111	5213,132	82,231	0,600	20,833	19,290	35,185	371,399
78	21,667	5079,462	86,616	0,600	21,389	19,805	36,111	391,204
80	22,222	4952,475	91,115	0,600	21,944	20,319	37,037	411,523
82	22,778	4831,683	95,727	0,600	22,500	20,833	37,963	432,356
84	23,333	4716,643	100,454	0,600	23,056	21,348	38,889	453,704
86	23,889	4606,953	105,294	0,600	23,611	21,862	39,815	475,566
88	24,444	4502,250	110,249	0,600	24,167	22,377	40,741	497,942
90	25,000	4402,200	115,317	0,600	24,722	22,891	41,667	520,833
92	25,556	4306,500	120,499	0,600	25,278	23,405	42,593	544,239
94	26,111	4214,872	125,795	0,600	25,833	23,920	43,519	568,158
96	26,667	4127,063	131,205	0,600	26,389	24,434	44,444	592,593
98	27,222	4042,837	136,729	0,600	26,944	24,949	45,370	617,541
100	27,778	3961,980	142,367	0,600	27,500	25,463	46,296	643,004
102	28,333	3884,294	148,118	0,600	28,056	25,977	47,222	668,981
104	28,889	3809,596	153,984	0,600	28,611	26,492	48,148	695,473
106	29,444	3737,717	159,963	0,600	29,167	27,006	49,074	722,479
108	30,000	3668,500	166,056	0,600	29,722	27,521	50,000	750,000
110	30,556	3601,800	172,263	0,600	30,278	28,035	50,926	778,035
112	31,111	3537,482	178,585	0,600	30,833	28,549	51,852	806,584
114	31,667	3475,421	185,020	0,600	31,389	29,064	52,778	835,648
116	32,222	3415,500	191,568	0,600	31,944	29,578	53,704	865,226
118	32,778	3357,610	198,231	0,600	32,500	30,093	54,630	895,319
120	33,333	3301,650	205,008	0,600	33,056	30,607	55,556	925,926
122	33,889	3247,525	211,898	0,600	33,611	31,121	56,481	957,047
124	34,444	3195,145	218,903	0,600	34,167	31,636	57,407	988,683
126	35,000	3144,429	226,021	0,600	34,722	32,150	58,333	1020,833
128	35,556	3095,297	233,253	0,600	35,278	32,665	59,259	1053,498
130	36,111	3047,677	240,599	0,600	35,833	33,179	60,185	1086,677
132	36,667	3001,500	248,059	0,600	36,389	33,693	61,111	1120,370
134	37,222	2956,701	255,633	0,600	36,944	34,208	62,037	1154,578
136	37,778	2913,221	263,321	0,600	37,500	34,722	62,963	1189,300
138	38,333	2871,000	271,123	0,600	38,056	35,237	63,889	1224,537
140	38,889	2829,986	279,038	0,600	38,611	35,751	64,815	1260,288
142	39,444	2790,127	287,068	0,600	39,167	36,265	65,741	1296,553
144	40,000	2751,375	295,211	0,600	39,722	36,780	66,667	1333,333
146	40,556	2713,685	303,468	0,600	40,278	37,294	67,593	1370,628
148	41,111	2677,014	311,840	0,600	40,833	37,809	68,519	1408,436
150	41,667	2641,320	320,325	0,600	41,389	38,323	69,444	1446,759
152	42,222	2606,566	328,924	0,600	41,944	38,837	70,370	1485,597
154	42,778	2572,714	337,636	0,600	42,500	39,352	71,296	1524,949
156	43,333	2539,731	346,463	0,600	43,056	39,866	72,222	1564,815
158	43,889	2507,582	355,404	0,600	43,611	40,381	73,148	1605,195
160	44,444	2476,238	364,458	0,600	44,167	40,895	74,074	1646,091
162	45,000	2445,667	373,627	0,600	44,722	41,409	75,000	1687,500
164	45,556	2415,841	382,909	0,600	45,278	41,924	75,926	1729,424
166	46,111	2386,735	392,305	0,600	45,833	42,438	76,852	1771,862
168	46,667	2358,321	401,815	0,600	46,389	42,953	77,778	1814,815
170	47,222	2330,576	411,439	0,600	46,944	43,467	78,704	1858,282

V, км/час	V, м/с	P, Н	R, Н	a ср, м/с	Vср, м/с	ΔS, м	Тр, сек	Sp, м
172	47,778	2303,477	421,177	0,600	47,500	43,981	79,630	1902,263
174	48,333	2277,000	431,029	0,600	48,056	44,496	80,556	1946,759
176	48,889	2251,125	440,995	0,600	48,611	45,010	81,481	1991,770
178	49,444	2225,831	451,074	0,600	49,167	45,525	82,407	2037,294
180	50,000	2201,100	461,268	0,600	49,722	46,039	83,333	2083,333
182	50,556	2176,912	471,575	0,600	50,278	46,553	84,259	2129,887
184	51,111	2153,250	481,996	0,600	50,833	47,068	85,185	2176,955
186	51,667	2130,097	492,531	0,600	51,389	47,582	86,111	2224,537
188	52,222	2107,436	503,180	0,600	51,944	48,097	87,037	2272,634
190	52,778	2085,253	513,943	0,600	52,500	48,611	87,963	2321,245
192	53,333	2063,531	524,820	0,600	53,056	49,126	88,889	2370,370
194	53,889	2042,258	535,811	0,600	53,611	49,640	89,815	2420,010
196	54,444	2021,418	546,915	0,600	54,167	50,154	90,741	2470,165
198	55,000	2001,000	558,134	0,600	54,722	50,669	91,667	2520,833
200	55,556	1980,990	569,466	0,596	55,278	51,520	92,599	2572,354
202	56,111	1961,376	580,912	0,585	55,833	52,987	93,548	2625,341
204	56,667	1942,147	592,472	0,572	56,389	54,773	94,519	2680,114
206	57,222	1923,291	604,147	0,559	56,944	56,632	95,514	2736,746
208	57,778	1904,798	615,934	0,545	57,500	58,571	96,532	2795,317
210	58,333	1886,657	627,836	0,532	58,056	60,594	97,576	2855,911
212	58,889	1868,858	639,852	0,519	58,611	62,706	98,646	2918,617
214	59,444	1851,393	651,982	0,506	59,167	64,915	99,743	2983,533
216	60,000	1834,250	664,225	0,494	59,722	67,227	100,869	3050,760
218	60,556	1817,422	676,583	0,481	60,278	69,650	102,024	3120,409
220	61,111	1800,900	689,054	0,468	60,833	72,191	103,211	3192,600
222	61,667	1784,676	701,639	0,456	61,389	74,859	104,430	3267,459
224	62,222	1768,741	714,338	0,443	61,944	77,665	105,684	3345,124
226	62,778	1753,088	727,151	0,431	62,500	80,620	106,974	3425,745
228	63,333	1737,711	740,078	0,418	63,056	83,736	108,302	3509,481
230	63,889	1722,600	753,119	0,406	63,611	87,027	109,670	3596,509
232	64,444	1707,750	766,274	0,394	64,167	90,508	111,081	3687,017
234	65,000	1693,154	779,542	0,382	64,722	94,197	112,536	3781,214
236	65,556	1678,805	792,925	0,370	65,278	98,112	114,039	3879,326
238	66,111	1664,697	806,421	0,358	65,833	102,275	115,592	3981,601
240	66,667	1650,825	820,031	0,346	66,389	106,712	117,200	4088,313
242	67,222	1637,182	833,755	0,334	66,944	111,450	118,865	4199,762
244	67,778	1623,762	847,593	0,322	67,500	116,521	120,591	4316,283
246	68,333	1610,561	861,545	0,310	68,056	121,963	122,383	4438,246
248	68,889	1597,573	875,611	0,298	68,611	127,817	124,246	4566,063
250	69,444	1584,792	889,791	0,286	69,167	134,133	126,185	4700,196
252	70,000	1572,214	904,084	0,275	69,722	140,969	128,207	4841,166
254	70,556	1559,835	918,492	0,263	70,278	148,392	130,319	4989,558
256	71,111	1547,648	933,013	0,251	70,833	156,482	132,528	5146,040
258	71,667	1535,651	947,648	0,240	71,389	165,333	134,844	5311,372
260	72,222	1523,838	962,398	0,228	71,944	175,058	137,277	5486,431
262	72,778	1512,206	977,261	0,217	72,500	185,796	139,840	5672,227
264	73,333	1500,750	992,238	0,205	73,056	197,714	142,546	5869,941
266	73,889	1489,466	1007,328	0,194	73,611	211,018	145,413	6080,959
268	74,444	1478,351	1022,533	0,182	74,167	225,968	148,459	6306,927
270	75,000	1467,400	1037,852	0,171	74,722	242,889	151,710	6549,816
272	75,556	1456,610	1053,284	0,159	75,278	262,201	155,193	6812,017
274	76,111	1445,978	1068,831	0,148	75,833	284,452	158,944	7096,469
276	76,667	1435,500	1084,491	0,137	76,389	310,369	163,007	7406,838

V, км/час	V, м/с	P, Н	R, Н	a ср, м/с	Vср, м/с	ΔS, м	Тр, сек	Sp, м
278	77,222	1425,173	1100,265	0,125	76,944	340,943	167,438	7747,781
280	77,778	1414,993	1116,153	0,114	77,500	377,557	172,310	8125,339
282	78,333	1404,957	1132,155	0,103	78,056	422,201	177,719	8547,540
284	78,889	1395,063	1148,271	0,091	78,611	477,846	183,797	9025,386
286	79,444	1385,308	1164,501	0,080	79,167	549,138	190,734	9574,524
288	80,000	1375,688	1180,845	0,069	79,722	643,765	198,809	10218,289
290	80,556	1366,200	1197,302	0,058	80,278	775,442	208,469	10993,731
292	81,111	1356,842	1213,874	0,046	80,833	971,244	220,484	11964,975
294	81,667	1347,612	1230,559	0,035	81,389	1293,126	236,372	13258,101
296	82,222	1338,507	1247,358	0,024	81,944	1920,778	259,812	15178,880
298	82,778	1329,523	1264,272	0,012	82,500	3684,336	304,471	18863,216
300	83,333	1320,660	1281,299	0,001	83,056	39036,468	774,475	57899,684

Анализ результатов расчета максимальной скорости движения, приведенных в таблицах 10—12, показывает, что дизельный двигатель:

- ГАЗ 5602 — позволит разогнать юнибус до скорости $V_{\max} = 242$ км/час;
- AFD-2.5TDI — до скорости $V_{\max} = 272$ км/час;
- M16TCA — до скорости $V_{\max} = 300$ км/час.

6. Динамические показатели торможения юнибуса

$T_{\text{торм}} = V_{\max} / a$, с — время торможения;

$S_{\text{торм}} = a \cdot T_{\text{торм}}^2 / 2$, м — тормозной путь.

Результаты расчета при ускорении торможения $a = 0,6 \text{ м/с}^2$ — см. таблицу 13. При ускорении торможения, равном $1,2 \text{ м/с}^2$, время торможения и тормозной путь уменьшаться в 2 раза.

Таблица 13

Динамические показатели торможения

Вариант	$T_{\text{торм}}$, с	$S_{\text{торм}}$, м
1	112,0	3763,0
2	126,0	4762,0
3	139,0	5796,0

7. Путь и время равномерного движения с максимальной скоростью

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

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

Результаты расчета — см. таблицу 14.

8. Общее время, необходимое для преодоления всего участка пути

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

Результаты расчета — см. таблицу 14.

9. Расход топлива

Количество топлива, необходимое для преодоления всего участка пути, определяется по формуле:

$$G = g \cdot N_n \cdot (T_p + T_{\text{равн}}) / 1000, \text{ кг}$$

Допущение. Так как промежуток времени разгона модуля с ограничением начального ускорения величиной $0,6 \text{ м/с}^2$ невелико (59 с для варианта 1; 76 с для варианта 2 и 92 с для варианта 3, см. выделенное в табл. 10, 11 и 12), то можно пренебречь тем обстоятельством, что в пределах этого промежутка времени двигатель развивает мощность, несколько меньше номинальной мощности. Расходом топлива при торможении модуля, когда двигатель будет работать в режиме холостого хода, также можно пренебречь.

Результаты расчета — см. таблицу 14.

Таблица 14

Время и количество топлива,
необходимые для преодоления участка пути «Ханты-Мансийск — Сургут» протяженностью 250 км

Варианты	$S_p, \text{ м}$	$T_p, \text{ с(час)}$	$S_{\text{равн}}, \text{ м}$	$T_{\text{равн}}, \text{ с(час)}$	$T, \text{ с(час)}$	$G, \text{ кг}$
1	23015,8	413,0(0,115)	223221	3320,7(0,922)	3845,7(1,068)	22,25
2	23255,9	381,6(0,106)	221982	2940,2(0,817)	3447,8(0,957)	23,96
3	57899,7	774,5(0,215)	186304	2236,5(0,621)	3150,0(0,875)	30,92

10. Выводы

10.1. Дизельный двигатель:

- ГАЗ 5602 (вариант 1) позволит разогнать юнибус до скорости 242 км/час;
- AFD-2.5TDI (вариант 2) — до скорости 272 км/час;
- M16TCA (вариант 3) — до скорости 300 км/час.

10.2. Юнибус, оснащенный силовым блоком:

- ГАЗ 5602 + RL608 (вариант 1) будет преодолевать весь участок пути «Ханты-Мансийск — Сургут» (250 км) за 1 час 4 мин;
- AFD-2.5TDI + 5HP24 (вариант 2) — за 57,4 мин;
- M16TCA + 5H24 (вариант 3) — за 52,5 мин.

10.3. Количество топлива, необходимое для преодоления всего участка пути, составит для юнибуса, оснащенного двигателем:

- ГАЗ 5602 (вариант 1) — 27,8 л, или в пересчете на одного пассажира: 3,09 л/пасс. для 9-ти местного и 2,53 л/пасс. для 11-ти местного юнибуса;
- AFD-2.5TDI (вариант 2) — 30,0 л, или в пересчете на одного пассажира: 3,33 л/пасс. для 9-ти местного и 2,73 л/пасс. для 11-ти местного юнибуса;
- M16TCA (вариант 3) — 38,6 л, или в пересчете на одного пассажира: 4,29 л/пасс. для 9-ти местного и 3,51 л/пасс. для 11-ти местного юнибуса.

10.4. Стоимость топлива, необходимого для преодоления всего участка, составит для юнибуса, оснащенного двигателем:

- ГАЗ 5602 (вариант 1) — 19,2 USD, или в пересчете на одного пассажира: 2,13 USD/пасс. для 9-ти местного и 1,75 USD/пасс. для 11-ти местного юнибуса;
- AFD-2.5TDI (вариант 2) — 20,7 USD, или в пересчете на одного пассажира: 2,30 USD/пасс. для 9-ти местного и 1,88 USD/пасс. для 11-ти местного юнибуса;
- M16TCA (вариант 3) — 26,6 USD, или в пересчете на одного пассажира: 2,96 USD/пасс. для 9-ти местного и 2,42 USD/пасс. для 11-ти местного юнибуса.

10.5 Средний расход топлива составит для юнибуса, оснащенного двигателем:

- ГАЗ 5602 (вариант 1) — 11,12 л/100 км, или в пересчете на одного пассажира: 1,24 л/100пасс.×км для 9-ти местного и 1,01 л/100пасс.×км для 11-ти местного юнибуса;
- AFD-2.5TDI (вариант 2) — 12,0 л/100 км, или в пересчете на одного пассажира: 1,33 л/100пасс.×км. для 9-ти местного и 1,09 л/100пасс.×км для 11-ти местного юнибуса;
- M16TCA (вариант 3) — 15,4 л/100 км, или в пересчете на одного пассажира: 1,71 л/100пасс.×км для 9-ти местного и 1,40 л/100пасс.×км для 11-ти местного юнибуса.

10.6 Юнибус, оснащенный по варианту 1, будет проходить весь участок пути на 11,5 мин медленнее, чем юнибус, оснащенный по варианту 3. Однако, при этом он израсходует на 10,8 л меньше топлива. Стоимость такого количества топлива составит 7,5 USD, или в перерасчете на одного пассажира — 0,7 USD/пасс. (для 11-ти местного юнибуса). Здесь необходимо отметить, что силовой блок по варианту 1 легче силового блока по варианту 3 на 55 кг. Если учесть, что масса систем силового блока, как правило, составляет дополнительно еще около 30% от массы самого блока, то юнибус, оснащенный по варианту 1, может брать дополнительно груз массой до 75 кг (или еще, как минимум, одного пассажира). В этом случае расходы на каждого пассажира могут быть снижены на 1,5 USD по сравнению с вариантом оснащения 3.



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

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный конструктор
ООО «Струнный транспорт Юницкого»

_____ А.Э. Юницкий

«18» июня 2007 г.

**Тягово-динамический расчет
высокоскоростного пассажирского юнибуса Ю-321ПЭ
(321ПЭ-0000010PP)**

Содержание тягово-динамического расчета Ю-321ПЭ

1. Введение	74
2. Исходные данные	74
3. Условия и допущения	75
4. Выбор тягового электродвигателя	76
5. Расчет динамических показателей разгона	76
6. Определение максимального продольного уклона пути, преодолеваемого юнибусом	82
7. Динамические показатели торможения	83
8. Путь и время равномерного движения со скоростью 200 км/час	83
9. Общее время, необходимое для преодоления всего участка пути	83
10. Энергия на тяговых колесах, потребная для разгона	84
11. Энергия на тяговых колесах, потребная для равномерного движения	84
12. Определение энергии рекуперации на участке торможения	85
13. Электроэнергия, затраченная на движение	89
14. Электроэнергия, затраченная на кондиционирование воздуха в салоне	90
15. Электроэнергия, затраченная на обогрев салона	90
16. Электроэнергия, затраченная на преодоление участка пути юнибусом и на кондиционирование воздуха в салоне	90
17. Электроэнергия, затраченная на преодоление участка пути юнибусом и на обогрев салона	90
18. Выводы	91

1. Введение

Данный расчет производится для высокоскоростного пассажирского юнибуса с электроприводом модели Ю-321ПЭ для высокоскоростной транспортной системы СТЮ «Ханты-Мансийск — Сургут» (см. рис. 44).

Электропривод осуществляется двумя трехфазными асинхронными двигателями. Привод движения осуществляется двумя задними колесами. Электродвигатели попарно параллельно подключены к частотным преобразователям, обеспечивающим плавное регулирование оборотов и рекуперативное торможение.

Целью настоящего расчета являются:

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

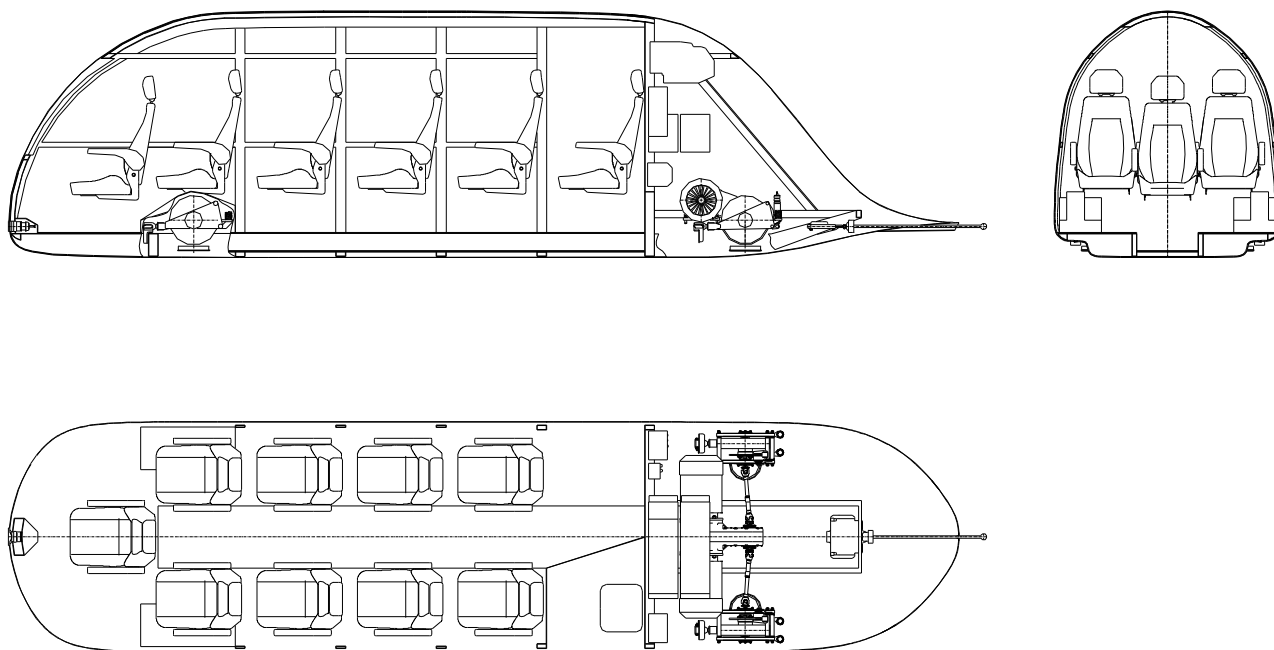


Рис. 44. Высокоскоростной юнибус Ю-321ПЭ

2. Исходные данные

Максимальная масса юнибуса, кг

$m = 2300$

Коэффициент сопротивления качению колес юнибуса

$f = 0,0022$

Коэффициент лобового аэродинамического сопротивления	$C_w = 0,1$
Размер лобовой площади (мидель), m^2	$A = 3,07$
Плотность воздуха, kg/m^3	$\rho = 1,202$
Ускорение свободного падения, m/c^2	$g = 9,8$
Радиус качения тягового колеса, м	$r = 0,2$
Максимальное ускорение (замедление), m/c^2	$a = 0,6$
Мощность компрессора кондиционера, Вт	$N_{ko} = 3000$
Мощность воздушного отопителя, Вт	$N_o = 12000$
КПД редуктора (две пары зубчатого зацепления с подшипниками качения)	$\eta_1 = 0,96$
КПД электродвигателей	$\eta_2 = 0,9$
КПД частотных преобразователей	$\eta_3 = 0,94$
Синхронная частота вращения тяговых электродвигателей, об/мин	$n = 3000$
Колесная формула	4×2
Распределение максимальной массы по осям:	
передняя ось, кг	$m_1 = 920$
задняя ось, кг	$m_2 = 1380$
Коэффициент сцепления колеса с рельсом (наименьший)	$\varphi = 0,12$
Протяженность участка, м	$S = 250000$

3. Условия и допущения

Динамические показатели разгона рассчитываются для двух вариантов:

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

Цикл движения принят следующий:

- разгон со станции «Ханты-Мансийск» до максимальной скорости (начальное ускорение $0,6 m/c^2$);
- равномерное движение с максимальной скоростью без остановок на промежуточных станциях «Пойковский» и «Нефтеюганск»;
- рекуперативное торможение с постоянным замедлением $0,6 m/c^2$ до полной

остановки на конечной станции назначения «Сургут» (начало торможения определяется исходя из длины тормозного пути).

Момент инерции вращающихся масс не учитывается.

Потери в электроцепях не учитываются.

4. Выбор тягового электродвигателя

Величина установочной мощности электродвигателей вытекает из ограничения массы силовой передачи. По предварительному весовому анализу масса силовой передачи не должна быть больше 350 кг. Исходя из вышесказанного, наиболее подходящим типоразмером тягового электродвигателя будет АИР160М2: масса 113 кг, номинальная мощность $N = 18500$ Вт, синхронная частота вращения 3000 об/мин.

5. Расчет динамических показателей разгона

Расчет динамических показателей производится из условия ограничения ускорения величиной $0,6 \text{ м/с}^2$ для исключения пробуксовок тяговых колес и использования максимальной мощности тяговых электродвигателей в дальнейшем (с момента начала падения ускорения) для продолжения ускорения до максимальной скорости.

Сила аэродинамического сопротивления определяется по формуле:

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

где:

V_i — текущая скорость, м/с

Результаты расчета см.:

- таблицу 15 для варианта 1 (безветрие);
- таблицу 16 для варианта 2 (встречный ветер).

Ускорение определяется по формуле:

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

где:

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

$F = m \cdot g \cdot f = 2300 \cdot 9,8 \cdot 0,0022 = 49,6 \text{ Н}$ — сила сопротивления качению колес юнибуса;

$F_{\text{вет}} = 0,5 \cdot \rho \cdot C_w \cdot A \cdot V_{\text{вет}}^2 = 0,5 \cdot 1,202 \cdot 0,1 \cdot 3,07 \cdot 15^2 = 42 \text{ Н}$ — сила сопротивления встречного ветра

Результаты расчета см.:

- таблицу 15 для варианта 1;
- таблицу 16 для варианта 2.

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

Приращение времени в каждом интервале скорости:

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

где:

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

Результаты расчета см.:

- таблицу 15 для варианта 1;
- таблицу 16 для варианта 2.

Приращение пути разгона в каждом интервале:

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

где:

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

Результаты расчета см.:

- таблицу 15 для варианта 1;
- таблицу 16 для варианта 2.

Динамические показатели разгона для варианта 1 (безветрие)

V, км/час	V, м/с	P, Н	R, Н	a ср, м/с	ΔT, сек	Vср, м/с	ΔS, м	Тр, сек	Sp, м
0									
2	0,556	63936,000	0,058	0,600	0,926	0,278	0,257	0,926	0,257
4	1,111	31968,000	0,232	0,600	0,926	0,833	0,772	1,852	1,029
6	1,667	21312,000	0,523	0,600	0,926	1,389	1,286	2,778	2,315
8	2,222	15984,000	0,929	0,600	0,926	1,944	1,800	3,704	4,115
10	2,778	12787,200	1,451	0,600	0,926	2,500	2,315	4,630	6,430
12	3,333	10656,000	2,090	0,600	0,926	3,056	2,829	5,556	9,259
14	3,889	9133,714	2,845	0,600	0,926	3,611	3,344	6,481	12,603
16	4,444	7992,000	3,716	0,600	0,926	4,167	3,858	7,407	16,461
18	5,000	7104,000	4,703	0,600	0,926	4,722	4,372	8,333	20,833
20	5,556	6393,600	5,806	0,600	0,926	5,278	4,887	9,259	25,720
22	6,111	5812,364	7,025	0,600	0,926	5,833	5,401	10,185	31,121
24	6,667	5328,000	8,361	0,600	0,926	6,389	5,916	11,111	37,037
26	7,222	4918,154	9,812	0,600	0,926	6,944	6,430	12,037	43,467
28	7,778	4566,857	11,380	0,600	0,926	7,500	6,944	12,963	50,412
30	8,333	4262,400	13,063	0,600	0,926	8,056	7,459	13,889	57,870
32	8,889	3996,000	14,863	0,600	0,926	8,611	7,973	14,815	65,844
34	9,444	3760,941	16,779	0,600	0,926	9,167	8,488	15,741	74,331
36	10,000	3552,000	18,811	0,600	0,926	9,722	9,002	16,667	83,333
38	10,556	3365,053	20,960	0,600	0,926	10,278	9,516	17,593	92,850
40	11,111	3196,800	23,224	0,600	0,926	10,833	10,031	18,519	102,881
42	11,667	3044,571	25,604	0,600	0,926	11,389	10,545	19,444	113,426
44	12,222	2906,182	28,101	0,600	0,926	11,944	11,060	20,370	124,486
46	12,778	2779,826	30,714	0,600	0,926	12,500	11,574	21,296	136,060
48	13,333	2664,000	33,442	0,600	0,926	13,056	12,088	22,222	148,148
50	13,889	2557,440	36,287	0,600	0,926	13,611	12,603	23,148	160,751
52	14,444	2459,077	39,248	0,600	0,926	14,167	13,117	24,074	173,868
54	15,000	2368,000	42,325	0,600	0,926	14,722	13,632	25,000	187,500
56	15,556	2283,429	45,519	0,600	0,926	15,278	14,146	25,926	201,646
58	16,111	2204,690	48,828	0,600	0,926	15,833	14,660	26,852	216,307
60	16,667	2131,200	52,254	0,600	0,926	16,389	15,175	27,778	231,481
62	17,222	2062,452	55,795	0,600	0,926	16,944	15,689	28,704	247,171
64	17,778	1998,000	59,453	0,600	0,926	17,500	16,204	29,630	263,374
66	18,333	1937,455	63,227	0,600	0,926	18,056	16,718	30,556	280,093
68	18,889	1880,471	67,117	0,600	0,926	18,611	17,233	31,481	297,325
70	19,444	1826,743	71,123	0,600	0,926	19,167	17,747	32,407	315,072
72	20,000	1776,000	75,245	0,600	0,926	19,722	18,261	33,333	333,333
74	20,556	1728,000	79,484	0,600	0,926	20,278	18,776	34,259	352,109
76	21,111	1682,526	83,838	0,600	0,926	20,833	19,290	35,185	371,399
78	21,667	1639,385	88,309	0,600	0,926	21,389	19,805	36,111	391,204
80	22,222	1598,400	92,895	0,600	0,926	21,944	20,319	37,037	411,523
82	22,778	1559,415	97,598	0,600	0,926	22,500	20,833	37,963	432,356
84	23,333	1522,286	102,417	0,598	0,929	23,056	21,423	38,892	453,779
86	23,889	1486,884	107,352	0,587	0,946	23,611	22,346	39,839	476,125
88	24,444	1453,091	112,403	0,570	0,975	24,167	23,563	40,814	499,688
90	25,000	1420,800	117,571	0,553	1,004	24,722	24,827	41,818	524,515
92	25,556	1389,913	122,854	0,537	1,034	25,278	26,142	42,852	550,657
94	26,111	1360,340	128,254	0,522	1,065	25,833	27,508	43,917	578,165
96	26,667	1332,000	133,769	0,507	1,096	26,389	28,929	45,013	607,094
98	27,222	1304,816	139,401	0,492	1,129	26,944	30,408	46,142	637,502
100	27,778	1278,720	145,149	0,478	1,162	27,500	31,947	47,303	669,450

V, км/час	V, м/с	P, Н	R, Н	a ср, м/с	ΔT, сек	Vср, м/с	ΔS, м	Тр, сек	Sp, м
102	28,333	1253,647	151,013	0,465	1,196	28,056	33,550	48,499	703,000
104	28,889	1229,538	156,993	0,451	1,231	28,611	35,220	49,730	738,220
106	29,444	1206,340	163,089	0,438	1,267	29,167	36,961	50,997	775,181
108	30,000	1184,000	169,302	0,426	1,305	29,722	38,778	52,302	813,959
110	30,556	1162,473	175,630	0,414	1,343	30,278	40,674	53,645	854,633
112	31,111	1141,714	182,075	0,402	1,383	30,833	42,655	55,029	897,288
114	31,667	1121,684	188,636	0,390	1,425	31,389	44,726	56,454	942,013
116	32,222	1102,345	195,312	0,378	1,468	31,944	46,893	57,922	988,906
118	32,778	1083,661	202,105	0,367	1,513	32,500	49,162	59,434	1038,068
120	33,333	1065,600	209,014	0,356	1,559	33,056	51,542	60,994	1089,610
122	33,889	1048,131	216,040	0,346	1,608	33,611	54,039	62,601	1143,649
124	34,444	1031,226	223,181	0,335	1,658	34,167	56,663	64,260	1200,312
126	35,000	1014,857	230,438	0,325	1,711	34,722	59,422	65,971	1259,734
128	35,556	999,000	237,812	0,314	1,767	35,278	62,329	67,738	1322,063
130	36,111	983,631	245,302	0,304	1,825	35,833	65,394	69,563	1387,457
132	36,667	968,727	252,907	0,295	1,886	36,389	68,632	71,449	1456,089
134	37,222	954,269	260,629	0,285	1,950	36,944	72,056	73,399	1528,144
136	37,778	940,235	268,467	0,275	2,018	37,500	75,684	75,418	1603,828
138	38,333	926,609	276,422	0,266	2,090	38,056	79,534	77,508	1683,363
140	38,889	913,371	284,492	0,256	2,166	38,611	83,629	79,674	1766,992
142	39,444	900,507	292,678	0,247	2,247	39,167	87,991	81,920	1854,983
144	40,000	888,000	300,981	0,238	2,332	39,722	92,648	84,253	1947,631
146	40,556	875,836	309,399	0,229	2,424	40,278	97,633	86,677	2045,264
148	41,111	864,000	317,934	0,220	2,522	40,833	102,980	89,198	2148,243
150	41,667	852,480	326,585	0,211	2,627	41,389	108,731	91,826	2256,974
152	42,222	841,263	335,352	0,203	2,740	41,944	114,934	94,566	2371,909
154	42,778	830,338	344,235	0,194	2,862	42,500	121,647	97,428	2493,556
156	43,333	819,692	353,234	0,186	2,995	43,056	128,935	100,423	2622,490
158	43,889	809,316	362,350	0,177	3,139	43,611	136,875	103,561	2759,366
160	44,444	799,200	371,581	0,169	3,296	44,167	145,562	106,857	2904,928
162	45,000	789,333	380,929	0,160	3,468	44,722	155,107	110,325	3060,035
164	45,556	779,707	390,393	0,152	3,658	45,278	165,645	113,983	3225,680
166	46,111	770,313	399,972	0,144	3,869	45,833	177,340	117,853	3403,020
168	46,667	761,143	409,668	0,135	4,104	46,389	190,398	121,957	3593,418
170	47,222	752,188	419,480	0,127	4,368	46,944	205,073	126,326	3798,491
172	47,778	743,442	429,409	0,119	4,667	47,500	221,688	130,993	4020,180
174	48,333	734,897	439,453	0,111	5,008	48,056	240,659	136,001	4260,839
176	48,889	726,545	449,613	0,103	5,401	48,611	262,528	141,401	4523,367
178	49,444	718,382	459,890	0,095	5,858	49,167	288,020	147,259	4811,387
180	50,000	710,400	470,283	0,087	6,398	49,722	318,120	153,657	5129,507
182	50,556	702,593	480,791	0,079	7,045	50,278	354,211	160,702	5483,718
184	51,111	694,957	491,416	0,071	7,835	50,833	398,286	168,537	5882,003
186	51,667	687,484	502,157	0,063	8,822	51,389	453,335	177,359	6335,339
188	52,222	680,170	513,014	0,055	10,089	51,944	524,056	187,448	6859,395
190	52,778	673,011	523,988	0,047	11,777	52,500	618,272	199,224	7477,667
192	53,333	666,000	535,077	0,039	14,137	53,056	750,050	213,361	8227,716
194	53,889	659,134	546,282	0,031	17,673	53,611	947,493	231,035	9175,210
196	54,444	652,408	557,604	0,024	23,558	54,167	1276,055	254,593	10451,264
198	55,000	645,818	569,042	0,016	35,296	54,722	1931,452	289,888	12382,716
200	55,556	639,360	580,596	0,008	70,276	55,278	3884,688	360,164	16267,404

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

V, км/час	V, м/с	P, Н	R, Н	a ср, м/с	ΔT, сек	Vср, м/с	ΔS, м	Тр, сек	Sp, м
0									
2	0,556	63936,000	0,058	0,600	0,926	0,278	0,257	0,926	0,257
4	1,111	31968,000	0,232	0,600	0,926	0,833	0,772	1,852	1,029
6	1,667	21312,000	0,523	0,600	0,926	1,389	1,286	2,778	2,315
8	2,222	15984,000	0,929	0,600	0,926	1,944	1,800	3,704	4,115
10	2,778	12787,200	1,451	0,600	0,926	2,500	2,315	4,630	6,430
12	3,333	10656,000	2,090	0,600	0,926	3,056	2,829	5,556	9,259
14	3,889	9133,714	2,845	0,600	0,926	3,611	3,344	6,481	12,603
16	4,444	7992,000	3,716	0,600	0,926	4,167	3,858	7,407	16,461
18	5,000	7104,000	4,703	0,600	0,926	4,722	4,372	8,333	20,833
20	5,556	6393,600	5,806	0,600	0,926	5,278	4,887	9,259	25,720
22	6,111	5812,364	7,025	0,600	0,926	5,833	5,401	10,185	31,121
24	6,667	5328,000	8,361	0,600	0,926	6,389	5,916	11,111	37,037
26	7,222	4918,154	9,812	0,600	0,926	6,944	6,430	12,037	43,467
28	7,778	4566,857	11,380	0,600	0,926	7,500	6,944	12,963	50,412
30	8,333	4262,400	13,063	0,600	0,926	8,056	7,459	13,889	57,870
32	8,889	3996,000	14,863	0,600	0,926	8,611	7,973	14,815	65,844
34	9,444	3760,941	16,779	0,600	0,926	9,167	8,488	15,741	74,331
36	10,000	3552,000	18,811	0,600	0,926	9,722	9,002	16,667	83,333
38	10,556	3365,053	20,960	0,600	0,926	10,278	9,516	17,593	92,850
40	11,111	3196,800	23,224	0,600	0,926	10,833	10,031	18,519	102,881
42	11,667	3044,571	25,604	0,600	0,926	11,389	10,545	19,444	113,426
44	12,222	2906,182	28,101	0,600	0,926	11,944	11,060	20,370	124,486
46	12,778	2779,826	30,714	0,600	0,926	12,500	11,574	21,296	136,060
48	13,333	2664,000	33,442	0,600	0,926	13,056	12,088	22,222	148,148
50	13,889	2557,440	36,287	0,600	0,926	13,611	12,603	23,148	160,751
52	14,444	2459,077	39,248	0,600	0,926	14,167	13,117	24,074	173,868
54	15,000	2368,000	42,325	0,600	0,926	14,722	13,632	25,000	187,500
56	15,556	2283,429	45,519	0,600	0,926	15,278	14,146	25,926	201,646
58	16,111	2204,690	48,828	0,600	0,926	15,833	14,660	26,852	216,307
60	16,667	2131,200	52,254	0,600	0,926	16,389	15,175	27,778	231,481
62	17,222	2062,452	55,795	0,600	0,926	16,944	15,689	28,704	247,171
64	17,778	1998,000	59,453	0,600	0,926	17,500	16,204	29,630	263,374
66	18,333	1937,455	63,227	0,600	0,926	18,056	16,718	30,556	280,093
68	18,889	1880,471	67,117	0,600	0,926	18,611	17,233	31,481	297,325
70	19,444	1826,743	71,123	0,600	0,926	19,167	17,747	32,407	315,072
72	20,000	1776,000	75,245	0,600	0,926	19,722	18,261	33,333	333,333
74	20,556	1728,000	79,484	0,600	0,926	20,278	18,776	34,259	352,109
76	21,111	1682,526	83,838	0,600	0,926	20,833	19,290	35,185	371,399
78	21,667	1639,385	88,309	0,600	0,926	21,389	19,805	36,111	391,204
80	22,222	1598,400	92,895	0,600	0,926	21,944	20,319	37,037	411,523
82	22,778	1559,415	97,598	0,598	0,929	22,500	20,910	37,966	432,432
84	23,333	1522,286	102,417	0,586	0,947	23,056	21,839	38,914	454,272
86	23,889	1486,884	107,352	0,569	0,977	23,611	23,069	39,891	477,341
88	24,444	1453,091	112,403	0,551	1,008	24,167	24,349	40,898	501,690
90	25,000	1420,800	117,571	0,535	1,039	24,722	25,682	41,937	527,372
92	25,556	1389,913	122,854	0,519	1,071	25,278	27,069	43,008	554,441
94	26,111	1360,340	128,254	0,503	1,104	25,833	28,514	44,112	582,955
96	26,667	1332,000	133,769	0,488	1,138	26,389	30,019	45,249	612,974
98	27,222	1304,816	139,401	0,474	1,172	26,944	31,589	46,422	644,563

V, км/час	V, м/с	P, Н	R, Н	a ср, м/ с	ΔT, сек	Vср, м/ с	ΔS, м	Тр, сек	Sp, м
100	27,778	1278,720	145,149	0,460	1,208	27,500	33,226	47,630	677,789
102	28,333	1253,647	151,013	0,446	1,245	28,056	34,934	48,875	712,723
104	28,889	1229,538	156,993	0,433	1,283	28,611	36,717	50,158	749,440
106	29,444	1206,340	163,089	0,420	1,323	29,167	38,581	51,481	788,021
108	30,000	1184,000	169,302	0,407	1,364	29,722	40,529	52,845	828,550
110	30,556	1162,473	175,630	0,395	1,406	30,278	42,568	54,251	871,118
112	31,111	1141,714	182,075	0,383	1,450	30,833	44,703	55,700	915,821
114	31,667	1121,684	188,636	0,371	1,495	31,389	46,941	57,196	962,763
116	32,222	1102,345	195,312	0,360	1,543	31,944	49,289	58,739	1012,052
118	32,778	1083,661	202,105	0,349	1,592	32,500	51,756	60,331	1063,808
120	33,333	1065,600	209,014	0,338	1,644	33,056	54,349	61,976	1118,157
122	33,889	1048,131	216,040	0,327	1,698	33,611	57,079	63,674	1175,235
124	34,444	1031,226	223,181	0,317	1,755	34,167	59,956	65,429	1235,192
126	35,000	1014,857	230,438	0,306	1,814	34,722	62,993	67,243	1298,185
128	35,556	999,000	237,812	0,296	1,877	35,278	66,203	69,119	1364,388
130	36,111	983,631	245,302	0,286	1,942	35,833	69,602	71,062	1433,990
132	36,667	968,727	252,907	0,276	2,012	36,389	73,205	73,073	1507,195
134	37,222	954,269	260,629	0,266	2,085	36,944	77,033	75,159	1584,227
136	37,778	940,235	268,467	0,257	2,163	37,500	81,106	77,321	1665,333
138	38,333	926,609	276,422	0,247	2,245	38,056	85,450	79,567	1750,783
140	38,889	913,371	284,492	0,238	2,333	38,611	90,092	81,900	1840,876
142	39,444	900,507	292,678	0,229	2,427	39,167	95,065	84,327	1935,941
144	40,000	888,000	300,981	0,220	2,528	39,722	100,406	86,855	2036,347
146	40,556	875,836	309,399	0,211	2,636	40,278	106,156	89,491	2142,503
148	41,111	864,000	317,934	0,202	2,752	40,833	112,366	92,242	2254,870
150	41,667	852,480	326,585	0,193	2,877	41,389	119,094	95,120	2373,964
152	42,222	841,263	335,352	0,184	3,014	41,944	126,408	98,134	2500,372
154	42,778	830,338	344,235	0,176	3,162	42,500	134,389	101,296	2634,760
156	43,333	819,692	353,234	0,167	3,324	43,056	143,133	104,620	2777,893
158	43,889	809,316	362,350	0,159	3,503	43,611	152,756	108,123	2930,649
160	44,444	799,200	371,581	0,150	3,700	44,167	163,401	111,822	3094,050
162	45,000	789,333	380,929	0,142	3,918	44,722	175,239	115,741	3269,289
164	45,556	779,707	390,393	0,133	4,163	45,278	188,486	119,904	3457,774
166	46,111	770,313	399,972	0,125	4,438	45,833	203,411	124,342	3661,185
168	46,667	761,143	409,668	0,117	4,750	46,389	220,357	129,092	3881,541
170	47,222	752,188	419,480	0,109	5,107	46,944	239,768	134,199	4121,309
172	47,778	743,442	429,409	0,101	5,521	47,500	262,228	139,720	4383,537
174	48,333	734,897	439,453	0,093	6,004	48,056	288,520	145,724	4672,057
176	48,889	726,545	449,613	0,084	6,577	48,611	319,724	152,301	4991,781
178	49,444	718,382	459,890	0,076	7,268	49,167	357,364	159,569	5349,144
180	50,000	710,400	470,283	0,068	8,118	49,722	403,668	167,688	5752,813
182	50,556	702,593	480,791	0,060	9,190	50,278	462,032	176,877	6214,845
184	51,111	694,957	491,416	0,053	10,581	50,833	537,884	187,459	6752,729
186	51,667	687,484	502,157	0,045	12,464	51,389	640,495	199,923	7393,223
188	52,222	680,170	513,014	0,037	15,153	51,944	787,088	215,075	8180,312
190	52,778	673,011	523,988	0,029	19,309	52,500	1013,711	234,384	9194,023
192	53,333	666,000	535,077	0,021	26,587	53,056	1410,609	260,971	10604,632
194	53,889	659,134	546,282	0,013	42,630	53,611	2285,428	303,601	12890,059
196	54,444	652,408	557,604	0,005	107,247	54,167	5809,193	410,848	18699,252

Анализ результатов расчета максимальной скорости движения, приведенных в таблицах 15 и 16, показывает, что электродвигатели АИР160М2 суммарной мощностью 37 кВт позволяют разогнать юнибус колеей 1500 мм до скорости 200 км/час в условиях безветрия. При встречном ветре 15 м/с юнибус будет разогнаться до скорости 196 км/час. Для дальнейших расчетов принимается, что максимальная кинематическая скорость юнибуса при максимальной частоте вращения ротора тягового электродвигателя 3000 об/мин составляет $V_{\max} = 200$ км/час.

6. Определение максимального продольного уклона пути, преодолеваемого юнибусом

Определение наибольшего крутящего момента на валу тягового электродвигателя.

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

$$M_1 = N \cdot k / \omega = 18500 \cdot 2,7 / 314 = 159 \text{ Н м}$$

где:

$\omega = 314 \text{ сек}^{-1}$ — синхронная угловая скорость тягового электродвигателя;

$k = 2,7$ — допускаемый коэффициент перегрузки электродвигателей АИР160М2.

Определение наибольшего крутящего момента на тяговом колесе:

$$M_2 = M_1 \cdot i = 159 \cdot 1,13 = 179,7 \text{ Нм}$$

где:

$i = n_1 / n_2 = 3000 / 2652,5 = 1,13$ — передаточное число понижающего редуктора;

$n_1 = 3000 \text{ об/мин}$ — максимальная частота вращения тяговых электродвигателей;

$n_2 = V_{\max} / 0,377 \cdot r = 200 / 0,377 \cdot 0,2 = 2652,5 \text{ об/мин}$ — частота вращения тяговых колес при принятой максимальной скорости 200 км/час.

Максимальный продольный уклон пути, преодолеваемый юнибусом, можно определить из равенства:

$$2 \cdot M_2 / r = m \cdot g \cdot \sin \alpha_{\max} + F + F_{\text{вет}},$$

$$\sin \alpha_{\max} = (2 \cdot M_2 / r - F - F_{\text{вет}}) / m \cdot g = (2 \cdot 179,7 / 0,2 - 49,6 - 42,3) / 2300 \cdot 9,8 = 0,076$$

Отсюда, максимальный продольный уклон пути определяемый мощностью привода, будет равен $\alpha_{\max} = 4,3^\circ$ (при скорости движения 200 км/час).

Максимальный продольный уклон пути ограничивается также коэффициентом сцепления тяговых колес с рельсом. Так, для наименьшего коэффициента сцепления $\varphi = 0,12$, максимальный уклон пути можно определить из равенства:

$$\sin \alpha = (P_{\text{сц}} - F - F_{\text{вет}}) / m \cdot g = (1622,8 - 49,6 - 42,3) / 2300 \cdot 9,8 = 0,067$$

где:

$$P_{\text{сц}} = m_2 \cdot g \cdot \varphi = 1380 \cdot 9,8 \cdot 0,12 = 1622,8 \text{ Н} \text{ — сила тяги по сцеплению.}$$

Отсюда, $\alpha_{\max} = 3,86^\circ$

7. Динамические показатели торможения

$$T_{\text{торм}} = V_{\max} / a = 55,5 / 0,6 = 92,59 \text{ с} \text{ — время торможения;}$$

$$S_{\text{торм}} = a \cdot T_{\text{торм}}^2 / 2 = 0,6 \cdot 92,59^2 / 2 = 2572 \text{ м} \text{ — тормозной путь.}$$

При ускорении торможения $a=1,2 \text{ м/с}^2$ время торможения и тормозной путь юнибуса будут в 2 раза меньше.

8. Путь и время равномерного движения со скоростью 200 км/час

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

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

Результаты расчета — см. таблицу 17.

9. Общее время, необходимое для преодоления всего участка пути

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

Результаты расчета — см. таблицу 17.

Таблица 17

Время, необходимое для преодоления всего участка пути «Ханты-Мансийск — Сургут»(250 км)

$S_p, \text{ м}$	$T_p, \text{ с}$	$S_{\text{равн}}, \text{ м}$	$T_{\text{равн}}, \text{ с}$	$T, \text{ с (час)}$
16267	360	231161	4165	4618 (1,28)

10. Энергия на тяговых колесах, необходимая для разгона

$$W_1 = W_{11} + W_{12}, \text{ Дж}$$

где:

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

R_1 — усредненная аэродинамическая сила сопротивления на участке разгона с постоянным ускорением $0,6 \text{ м/с}^2$ (см. таблицу 15);

S_1 — протяженность участка разгона с постоянным ускорением $0,6 \text{ м/с}^2$ (см. таблицы 15 и 16);

$W_{12} = N_{\max} \cdot (t_2 - t_1)$ — энергия, необходимая для дальнейшего разгона до достижения скорости 200 км/ч , Дж;

t_2 — время разгона до скорости 200 км/ч (см. таблицу 15);

t_1 — время разгона с постоянным ускорением $0,6 \text{ м/с}^2$ (см. таблицу 15).

Результаты расчета — см. таблицу 18.

11. Энергия на тяговых колесах, необходимая для равномерного движения

Энергия на тяговых колесах, необходимая для равномерного движения со скоростью 200 км/час , определяется по формуле:

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

где:

$R_2 = 540 \text{ Н}$ — сила аэродинамического сопротивления движению юнибуса при скорости 200 км/ч (см. таблицу 15).

Результаты расчета — см. таблицу 18.

Таблица 18

Энергия на тяговых колесах, необходимая для разгона и равномерного движения

$W_{11}, \text{ МДж}$	$W_{12}, \text{ МДж}$	$W_1, \text{ МДж}$	$W_2, \text{ МДж}$
0,639	11,921	12,560	136,3

12. Определение энергии рекуперации на участке торможения

Мощность тормозного воздействия от сил аэродинамического сопротивления и сопротивления качению колес определяется по формуле:

$$N_T = (R + F) V_i, \text{ Вт}$$

Результаты расчета — см. таблицу 19.

Энергия, затрачиваемая на преодоление сил аэродинамического сопротивления и сопротивления качению колес, определяется как сумма приращений в интервалах скорости (ΔV): 200—199; 199—198; и т.д. до 1—0 км/ч. При расчете приращение энергии в интервале определяется по формуле:

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

где:

$$N_{T\text{ср}} = 0,5 \cdot (N_{T_i} + N_{T_{i+1}}), \text{ Вт}$$

$$\Delta T = \Delta V / a = 0,28 / 0,7 = 0,465 \text{ с}$$

Результаты расчета — см. таблицу 19.

Таблица 19

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

V, км/ч	V, м/с	R, Н	R+F	N _T , Вт	N _{Tср} , Вт	ΔW, Дж
200	55,56	580,596	630,184	35010,20439	34762,60986	16093,80
199	55,28	574,804	624,392	34515,01533	34269,82785	15865,66
198	55,00	569,042	618,630	34024,64038	33781,84785	15639,74
197	54,72	563,308	612,896	33539,05533	33298,64568	15416,04
196	54,44	557,604	607,192	33058,23602	32820,19712	15194,54
195	54,17	551,929	601,517	32582,15823	32346,47801	14975,22
194	53,89	546,282	595,870	32110,79779	31877,46414	14758,09
193	53,61	540,665	590,253	31644,13049	31413,13132	14543,12
192	53,33	535,077	584,665	31182,13215	30953,45536	14330,30
191	53,06	529,518	579,106	30724,77857	30498,41207	14119,64
190	52,78	523,988	573,576	30272,04557	30047,97726	13911,10
189	52,50	518,486	568,074	29823,90895	29602,12674	13704,69
188	52,22	513,014	562,602	29380,34453	29160,83631	13500,39
187	51,94	507,571	557,159	28941,3281	28724,08179	13298,19
186	51,67	502,157	551,745	28506,83548	28291,83897	13098,07
185	51,39	496,772	546,360	28076,84247	27864,08368	12900,04
184	51,11	491,416	541,004	27651,32489	27440,79172	12704,07
183	50,83	486,089	535,677	27230,25855	27021,9389	12510,16
182	50,56	480,791	530,379	26813,61925	26607,50102	12318,29
181	50,28	475,522	525,110	26401,38279	26197,4539	12128,45
180	50,00	470,283	519,871	25993,525	25791,77334	11940,64
179	49,72	465,072	514,660	25590,02167	25390,43515	11754,83
178	49,44	459,890	509,478	25190,84862	24993,41514	11571,03

V, км/ч	V, м/с	R, Н	R+F	Nт, Вт	Nтср, Вт	ΔW, Дж
177	49,17	454,737	504,325	24795,98166	24600,68912	11389,21
176	48,89	449,613	499,201	24405,39659	24212,2329	11209,37
175	48,61	444,519	494,107	24019,06922	23828,02229	11031,49
174	48,33	439,453	489,041	23636,97536	23448,03309	10855,57
173	48,06	434,416	484,004	23259,09081	23072,24111	10681,59
172	47,78	429,409	478,997	22885,3914	22700,62216	10509,55
171	47,50	424,430	474,018	22515,85292	22333,15205	10339,42
170	47,22	419,480	469,068	22150,45119	21969,8066	10171,21
169	46,94	414,560	464,148	21789,16201	21610,5616	10004,89
168	46,67	409,668	459,256	21431,96119	21255,39286	9840,46
167	46,39	404,806	454,394	21078,82453	20904,2762	9677,91
166	46,11	399,972	449,560	20729,72786	20557,18742	9517,22
165	45,83	395,168	444,756	20384,64698	20214,10233	9358,38
164	45,56	390,393	439,981	20043,55769	19874,99674	9201,39
163	45,28	385,646	435,234	19706,4358	19539,84646	9046,23
162	45,00	380,929	430,517	19373,25713	19208,6273	8892,88
161	44,72	376,241	425,829	19043,99747	18881,31506	8741,35
160	44,44	371,581	421,169	18718,63265	18557,88555	8591,61
159	44,17	366,951	416,539	18397,13846	18238,31459	8443,66
158	43,89	362,350	411,938	18079,49072	17922,57798	8297,49
157	43,61	357,778	407,366	17765,66524	17610,65153	8153,08
156	43,33	353,234	402,822	17455,63781	17302,51104	8010,42
155	43,06	348,720	398,308	17149,38427	16998,13233	7869,51
154	42,78	344,235	393,823	16846,8804	16697,49121	7730,32
153	42,50	339,779	389,367	16548,10202	16400,56347	7592,85
152	42,22	335,352	384,940	16253,02493	16107,32494	7457,09
151	41,94	330,954	380,542	15961,62496	15817,75142	7323,03
150	41,67	326,585	376,173	15673,87789	15531,81872	7190,66
149	41,39	322,245	371,833	15389,75955	15249,50265	7059,95
148	41,11	317,934	367,522	15109,24575	14970,77901	6930,92
147	40,83	313,652	363,240	14832,31228	14695,62362	6803,53
146	40,56	309,399	358,987	14558,93496	14424,01228	6677,78
145	40,28	305,176	354,764	14289,0896	14155,9208	6553,67
144	40,00	300,981	350,569	14022,752	13891,32499	6431,17
143	39,72	296,815	346,403	13759,89798	13630,20066	6310,28
142	39,44	292,678	342,266	13500,50334	13372,52361	6190,98
141	39,17	288,571	338,159	13244,54389	13118,26966	6073,27
140	38,89	284,492	334,080	12991,99544	12867,41462	5957,14
139	38,61	280,442	330,030	12742,8338	12619,93429	5842,56
138	38,33	276,422	326,010	12497,03477	12375,80447	5729,54
137	38,06	272,430	322,018	12254,57417	12135,00099	5618,06
136	37,78	268,467	318,055	12015,42781	11897,49965	5508,10
135	37,50	264,534	314,122	11779,57148	11663,27625	5399,66
134	37,22	260,629	310,217	11546,98101	11432,3066	5292,73
133	36,94	256,754	306,342	11317,6322	11204,56652	5187,30
132	36,67	252,907	302,495	11091,50085	10980,03182	5083,35
131	36,39	249,090	298,678	10868,56278	10758,67829	4980,87
130	36,11	245,302	294,890	10648,7938	10540,48175	4879,85
129	35,83	241,542	291,130	10432,16971	10325,41801	4780,29
128	35,56	237,812	287,400	10218,66632	10113,46288	4682,16
127	35,28	234,111	283,699	10008,25944	9904,592155	4585,46
126	35,00	230,438	280,026	9800,924875	9698,781658	4490,18
125	34,72	226,795	276,383	9596,638441	9496,007193	4396,30

V, км/ч	V, м/с	R, Н	R+F	Nт, Вт	Nтср, Вт	ΔW, Дж
124	34,44	223,181	272,769	9395,375944	9296,244567	4303,82
123	34,17	219,596	269,184	9197,11319	9099,46959	4212,72
122	33,89	216,040	265,628	9001,82599	8905,65807	4122,99
121	33,61	212,513	262,101	8809,490151	8714,785816	4034,62
120	33,33	209,014	258,602	8620,081481	8526,828636	3947,61
119	33,06	205,545	255,133	8433,575791	8341,762339	3861,93
118	32,78	202,105	251,693	8249,948887	8159,562732	3777,58
117	32,50	198,694	248,282	8069,176578	7980,205626	3694,54
116	32,22	195,312	244,900	7891,234674	7803,666827	3612,81
115	31,94	191,959	241,547	7716,098981	7629,922146	3532,37
114	31,67	188,636	238,224	7543,74531	7458,947389	3453,22
113	31,39	185,341	234,929	7374,149468	7290,718367	3375,33
112	31,11	182,075	231,663	7207,287265	7125,210886	3298,71
111	30,83	178,838	228,426	7043,134508	6962,400756	3223,33
110	30,56	175,630	225,218	6881,667005	6802,263786	3149,20
109	30,28	172,451	222,039	6722,860567	6644,775783	3076,29
108	30,00	169,302	218,890	6566,691	6489,912557	3004,59
107	29,72	166,181	215,769	6413,134114	6337,649915	2934,10
106	29,44	163,089	212,677	6262,165717	6187,963667	2864,80
105	29,17	160,027	209,615	6113,761617	6040,829621	2796,68
104	28,89	156,993	206,581	5967,897624	5896,223585	2729,73
103	28,61	153,988	203,576	5824,549545	5754,121368	2663,95
102	28,33	151,013	200,601	5683,69319	5614,498778	2599,30
101	28,06	148,066	197,654	5545,304366	5477,331624	2535,80
100	27,78	145,149	194,737	5409,358882	5342,595714	2473,42
99	27,50	142,260	191,848	5275,832547	5210,266858	2412,16
98	27,22	139,401	188,989	5144,701169	5080,320863	2352,00
97	26,94	136,571	186,159	5015,940557	4952,733538	2292,93
96	26,67	133,769	183,357	4889,526519	4827,480691	2234,94
95	26,39	130,997	180,585	4765,434863	4704,538131	2178,03
94	26,11	128,254	177,842	4643,641399	4583,881667	2122,17
93	25,83	125,539	175,127	4524,121935	4465,487107	2067,36
92	25,56	122,854	172,442	4406,852278	4349,330259	2013,58
91	25,28	120,198	169,786	4291,808239	4235,386932	1960,83
90	25,00	117,571	167,159	4178,965625	4123,632935	1909,09
89	24,72	114,972	164,560	4068,300245	4014,044076	1858,35
88	24,44	112,403	161,991	3959,787907	3906,596163	1808,61
87	24,17	109,863	159,451	3853,40442	3801,265006	1759,84
86	23,89	107,352	156,940	3749,125592	3698,026412	1712,05
85	23,61	104,870	154,458	3646,927232	3596,85619	1665,21
84	23,33	102,417	152,005	3546,785148	3497,730149	1619,32
83	23,06	99,993	149,581	3448,675149	3400,624097	1574,36
82	22,78	97,598	147,186	3352,573044	3305,513842	1530,33
81	22,50	95,232	144,820	3258,454641	3212,375194	1487,21
80	22,22	92,895	142,483	3166,295748	3121,183961	1444,99
79	21,94	90,587	140,175	3076,072174	3031,91595	1403,66
78	21,67	88,309	137,897	2987,759727	2944,546972	1363,22
77	21,39	86,059	135,647	2901,334216	2859,052833	1323,64
76	21,11	83,838	133,426	2816,77145	2775,409343	1284,91
75	20,83	81,646	131,234	2734,047237	2693,592311	1247,03
74	20,56	79,484	129,072	2653,137385	2613,577544	1209,99
73	20,28	77,350	126,938	2574,017703	2535,340852	1173,77
72	20,00	75,245	124,833	2496,664	2458,858042	1138,36

V, км/ч	V, м/с	R, Н	R+F	Nт, Вт	Nтср, Вт	ΔW, Дж
71	19,72	73,170	122,758	2421,052084	2384,104924	1103,75
70	19,44	71,123	120,711	2347,157763	2311,057305	1069,93
69	19,17	69,105	118,693	2274,956847	2239,690995	1036,89
68	18,89	67,117	116,705	2204,425143	2169,981801	1004,62
67	18,61	65,157	114,745	2135,53846	2101,905533	973,10
66	18,33	63,227	112,815	2068,272606	2035,437999	942,33
65	18,06	61,325	110,913	2002,603391	1970,555007	912,29
64	17,78	59,453	109,041	1938,506623	1907,232366	882,98
63	17,50	57,610	107,198	1875,958109	1845,445885	854,37
62	17,22	55,795	105,383	1814,93366	1785,171371	826,47
61	16,94	54,010	103,598	1755,409082	1726,384634	799,25
60	16,67	52,254	101,842	1697,360185	1669,061481	772,71
59	16,39	50,526	100,114	1640,762777	1613,177723	746,84
58	16,11	48,828	98,416	1585,592668	1558,709166	721,62
57	15,83	47,159	96,747	1531,825664	1505,631619	697,05
56	15,56	45,519	95,107	1479,437575	1453,920892	673,11
55	15,28	43,908	93,496	1428,404209	1403,552792	649,79
54	15,00	42,325	91,913	1378,701375	1354,503128	627,08
53	14,72	40,772	90,360	1330,304881	1306,747709	604,98
52	14,44	39,248	88,836	1283,190536	1260,262343	583,45
51	14,17	37,753	87,341	1237,334149	1215,022838	562,51
50	13,89	36,287	85,875	1192,711527	1171,005003	542,13
49	13,61	34,850	84,438	1149,298479	1128,184647	522,31
48	13,33	33,442	83,030	1107,070815	1086,537578	503,03
47	13,06	32,063	81,651	1066,004342	1046,039605	484,28
46	12,78	30,714	80,302	1026,074868	1006,666536	466,05
45	12,50	29,393	78,981	987,2582031	968,3941791	448,33
44	12,22	28,101	77,689	949,530155	931,1983437	431,11
43	11,94	26,838	76,426	912,8665323	895,0548379	414,38
42	11,67	25,604	75,192	877,2431435	859,9394703	398,12
41	11,39	24,400	73,988	842,6357972	825,8280495	382,33
40	11,11	23,224	72,812	809,0203018	792,6963838	366,99
39	10,83	22,077	71,665	776,3724659	760,5202819	352,09
38	10,56	20,960	70,548	744,6680979	729,2755522	337,63
37	10,28	19,871	69,459	713,8830065	698,9380032	323,58
36	10,00	18,811	68,399	683,993	669,4834435	309,95
35	9,72	17,781	67,369	654,9738871	640,8876816	296,71
34	9,44	16,779	66,367	626,8014762	613,126526	283,85
33	9,17	15,807	65,395	599,4515758	586,1757852	271,38
32	8,89	14,863	64,451	572,8999945	560,0112677	259,26
31	8,61	13,949	63,537	547,1225408	534,608782	247,50
30	8,33	13,063	62,651	522,0950231	509,9441366	236,09
29	8,06	12,207	61,795	497,7932501	485,9931401	225,00
28	7,78	11,380	60,968	474,1930302	462,731601	214,23
27	7,50	10,581	60,169	451,2701719	440,1353278	203,77
26	7,22	9,812	59,400	429,0004837	418,180129	193,60
25	6,94	9,072	58,660	407,3597742	396,841813	183,72
24	6,67	8,361	57,949	386,3238519	376,0961885	174,12
23	6,39	7,678	57,266	365,8685252	355,9190639	164,78
22	6,11	7,025	56,613	345,9696027	336,2862478	155,69
21	5,83	6,401	55,989	326,6028929	317,1735487	146,84
20	5,56	5,806	55,394	307,7442044	298,556775	138,22
19	5,28	5,240	54,828	289,3693456	280,4117353	129,82

V, км/ч	V, м/с	R, Н	R+F	Nт, Вт	Nтср, Вт	ΔW, Дж
18	5,00	4,703	54,291	271,454125	262,7142381	121,63
17	4,72	4,195	53,783	253,9743512	245,4400919	113,63
16	4,44	3,716	53,304	236,9058326	228,5651053	105,82
15	4,17	3,266	52,854	220,2243779	212,0650867	98,18
14	3,89	2,845	52,433	203,9057954	195,9158446	90,70
13	3,61	2,453	52,041	187,9258938	180,0931876	83,38
12	3,33	2,090	51,678	172,2604815	164,5729242	76,19
11	3,06	1,756	51,344	156,885367	149,3308629	69,13
10	2,78	1,451	51,039	141,7763589	134,3428123	62,20
9	2,50	1,176	50,764	126,9092656	119,5845807	55,36
8	2,22	0,929	50,517	112,2598957	105,0319768	48,63
7	1,94	0,711	50,299	97,80405776	90,66080897	41,97
6	1,67	0,523	50,111	83,51756019	76,44688586	35,39
5	1,39	0,363	49,951	69,37621153	62,36601591	28,87
4	1,11	0,232	49,820	55,3558203	48,39400766	22,40
3	0,83	0,131	49,719	41,43219502	34,50666961	15,98
2	0,56	0,058	49,646	27,5811442	20,67981028	9,57
1	0,28	0,015	49,603	13,77847636	6,889238179	3,19
0	0,00	0,000	49,588	0	0	0,00

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

$$W_{\text{п}} = 0,644 \text{ МДж}$$

Энергия рекуперации на участке торможения определяется по формуле:

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

где:

$W_{\text{к}} = m \cdot V^2 / 2 = 2300 \cdot 55,5^2 / 2 = 3,54 \text{ МДж}$ — кинетическая энергия юнибуса, движущегося со скоростью 200 км/ч.

Результаты расчета — см. таблицу 20.

13. Электроэнергия, затраченная на движение

Электроэнергия, затраченная на движение, определяется по формуле:

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

Результаты расчета — см. таблицу 20.

14. Электроэнергия, затраченная на кондиционирование воздуха в салоне

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

$$W_{ko} = N_{ko} \cdot T / \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 = 3000 \cdot 4618 / 0,96 \cdot 0,9 \cdot 0,94 = 17058215 \text{ Дж}$$

Примечание:

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

15. Электроэнергия, затраченная на обогрев салона

Электроэнергия, затраченная на обогрев салона определяется по формуле:

$$W_o = N_o \cdot T = 12000 \cdot 4618 = 55416000 \text{ Дж}$$

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

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

$$W_{\text{общ } 1} = W_d + W_{ko}, \text{ МДж}$$

Результаты расчета — см. таблицу 20.

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

Электроэнергия, затраченная на преодоление участка пути юнибусом и на обогрев салона, определяется как сумма:

$$W_{\text{общ } 2} = W_d + W_o, \text{ МДж}$$

Результаты расчета — см. таблицу 20.

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

$W_p,$ МДж (кВт×ч)	$W_d,$ МДж (кВт×ч)	$W_{ко},$ МДж (кВт×ч)	$W_o,$ МДж (кВт×ч)	$W_{общ 1},$ МДж (кВт×ч)	$W_{общ 2},$ МДж (кВт×ч)
2,352 (0,653)	173,6 (48,22)	17,06 (4,74)	55,4 (15,4)	188,3 (52,3)	229,0 (63,6)

18. Выводы

18.1. Использование двух электродвигателей типоразмера АИР160М2 с номинальной мощностью 18,5 кВт каждый позволяют разогнать юнибус до скорости 200 км /ч. В условиях сильного встречного ветра (15 м/с) юнибус будет разгоняться до 196 км/ч.

18.2. Время разгона полностью загруженного юнибуса до скорости 200 км/час в условиях безветрия на горизонтальном участке пути составит 6 мин, при этом путь разгона будет равен 16,3 км.

18.3. Общее время преодоления участка пути «Ханты-Мансийск — Сургут» протяженность 250 км составит 1 час 17 мин.

18.4. Величина максимального продольного уклона пути по силе тяги равно $\alpha_{max} = 4,3^\circ$ и ограничивается коэффициентом сцепления тяговых колес с рельсом. Так, для наименьшего коэффициентом сцепления $\varphi = 0,12$, уклон пути не должен быть более чем $\alpha_{max} = 3,86^\circ$.

18.5. Количество электроэнергии, затраченной на движение по участку пути «Ханты-Мансийск — Сургут» в условиях безветрия и нахождения обеих станций на одной высоте над уровнем моря, будет равно 48,22 кВт ч.

18.6. Электроэнергия, затраченная на кондиционирование воздуха в салоне при наружной температуре воздуха +40 °С составит 9,8% от электроэнергии, затраченной на движение.

18.7. Электроэнергия, затраченная на обогрев салона при наружной температуре воздуха минус 60°C составит примерно 32% от электроэнергии, затраченной на движение.

18.8. Наибольшее количество электроэнергии (63,6 кВт×ч) на маршруте потребуется при температуре наружного воздуха минус 60°C. При тарифе 0,2 USD за 1 кВт×ч стоимость этой электроэнергии составит примерно 12,7 USD, или в пересчете на одного пассажира: 1,41 USD/пасс. для 9-ти местного и 1,15 USD/пасс. для 11-ти местного юнибуса.

18.9. Количество электроэнергии, при движении юнибуса с включенным на полную мощность кондиционером в условиях безветрия, составит 52,3 кВт×ч. Стоимость электроэнергии в данном случае составит около 10,5 USD, или в пересчете на одного пассажира: 1,17 USD/пасс. для 9-ти местного и 0,95 USD/пасс. для 11-ти местного юнибуса.

18.10. Наименьшее количество электроэнергии (около 48,22 кВт×ч) потребуется при движении юнибуса в условиях безветрия и отключенной системе кондиционирования (и отопления). Стоимость электроэнергии в данном случае составит около 9,65 USD, или в пересчете на одного пассажира: 1,07 USD/пасс. для 9-ти местного и 0,88 USD/пасс. для 11-ти местного юнибуса.



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

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный конструктор
ООО «Струнный транспорт Юницкого»

_____ А.Э. Юницкий

«18» июня 2007 г.

Тепловой баланс
высокоскоростных пассажирских юнибусов
моделей Ю-321П и Ю-321ПЭ
(321П-0000010-01PP)

Содержание расчета теплового баланса

Введение	95
1. Цель расчёта	95
2. Исходные данные	95
3. Условия и допущения расчёта	97
4. Тепловой баланс салона юнибуса в зимний период года	99
5. Тепловой баланс салона юнибуса в летний период года	105
6. Выводы	109

Введение

Данный расчет производится для высокоскоростного пассажирского юнибуса Ю-321П/Ю-321ПЭ автоматической транспортной системы СТЮ «Ханты-Мансийск — Сургут». Эксплуатация, хранение и транспортировка юнибуса предусматривается в макроклиматическом районе с холодным климатом (ХЛ1 по ГОСТ 15150-69).

1. Цель расчёта

Целью настоящего расчёта является:

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

2. Исходные данные

Внешний вид юнибуса Ю-321П изображён на рисунке 45.

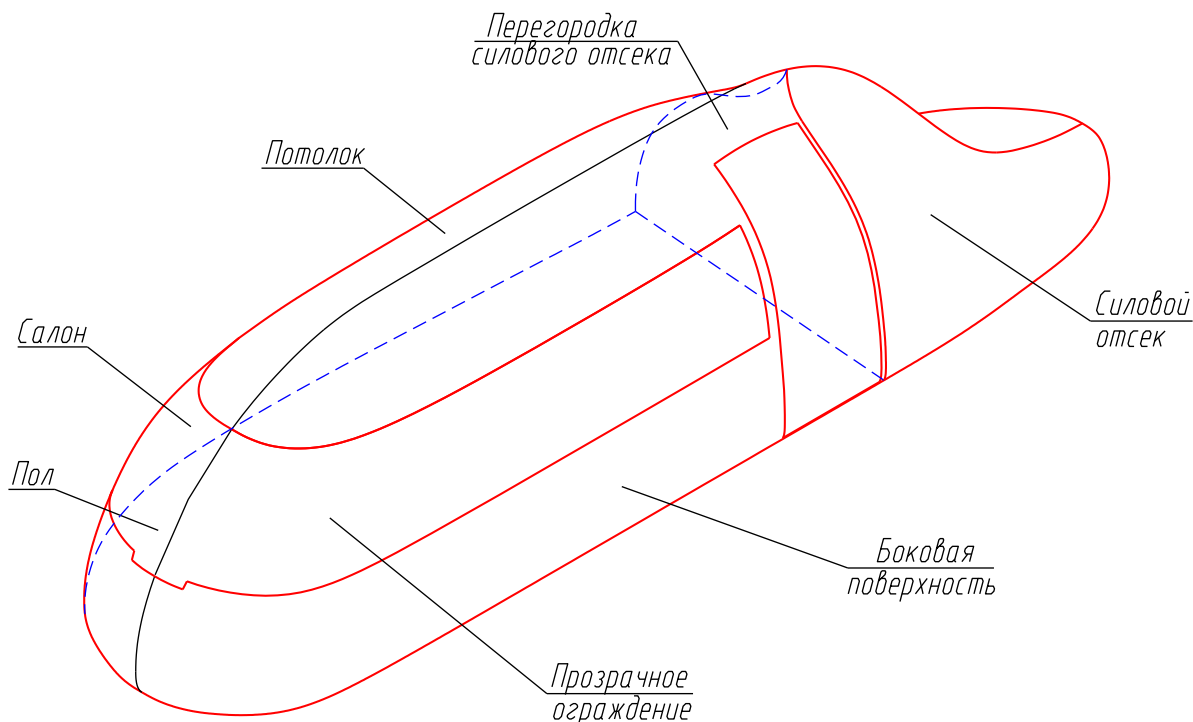


Рис. 45. Внешний вид юнибуса Ю-321П

Салон юнибуса ограничен четырьмя поверхностями:

- поверхностью прозрачного ограждения (остекления);
- поверхностью потолка и боковой поверхностью;
- поверхностью пола;
- поверхностью перегородки силового отсека.

Схема салона юнибуса изображена на рисунке 46.

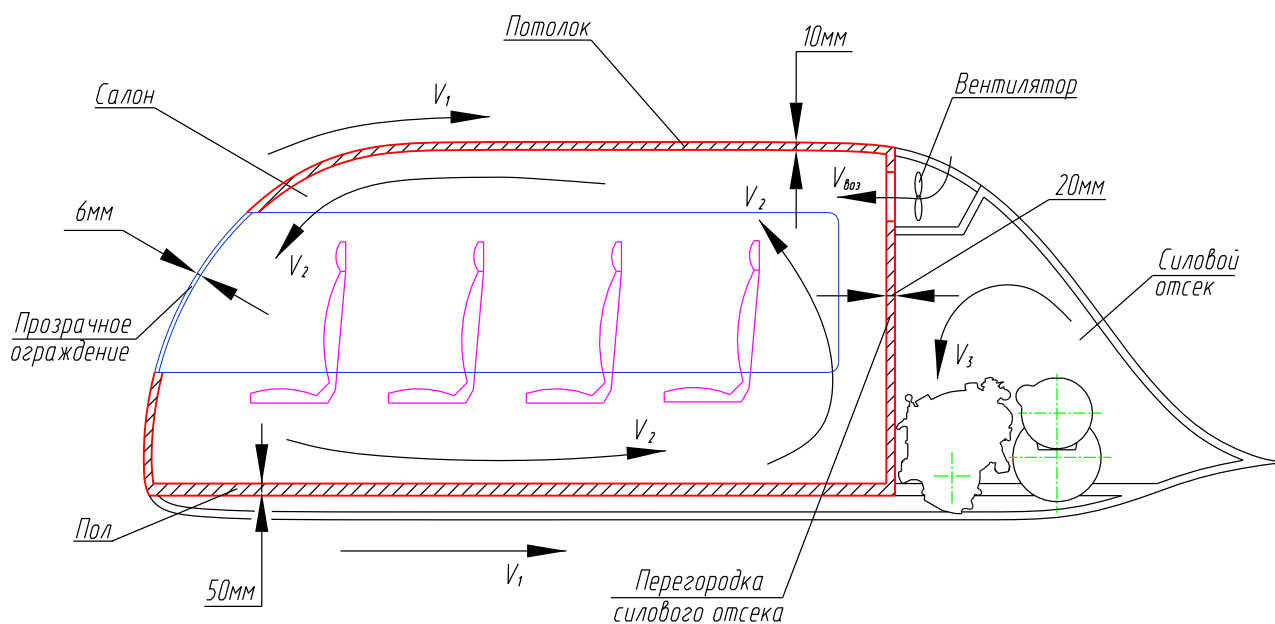


Рис. 46. Схема салона юнибуса Ю-321П

- V_1 — скорость движения наружного воздуха относительно наружной поверхности юнибуса,
 V_2 — скорость движения воздуха в салоне относительно внутренней поверхности салона,
 V_3 — скорость движения воздуха в силовом отсеке относительно перегородки силового отсека,
 $V_{воз}$ — объём свежего воздуха, подаваемого в салон.

Исходные данные представлены в таблице 21.

Таблица 21

Исходные данные

Наименование параметра	Размерность	Величина параметра	Примечание
Площадь прозрачных поверхностей	м ²	6,54	Рис. 45
Площадь поверхности потолка и боковых поверхностей	м ²	16,35	Рис. 45
Площадь поверхности пола	м ²	8,69	Рис. 45
Площадь поверхности перегородки силового отсека	м ²	2,68	Рис. 45
Толщина материала прозрачных поверхностей	м	0,006	Рис. 46

Толщина теплоизолятора потолка и боковых поверхностей	м	0,010	Рис. 46
Толщина теплоизолятора пола	м	0,050	Рис. 46
Толщина теплоизолятора перегородки силового отсека	м	0,020	Рис. 46
Коэффициент теплопроводности материала прозрачных поверхностей	Вт/(м·°С)	0,21	
Коэффициент теплопроводности теплоизолятора потолка, пола, боковых поверхностей и перегородки силового отсека	Вт/(м·°С)	0,04	
Минимальная температура наружного воздуха в зимний период	°С	-60	
Максимальная температура наружного воздуха в летний период	°С	+40	
Температура воздуха в салоне в зимний период	°С	15	
Температура воздуха в салоне в летний период	°С	20	
Количество свежего воздуха на одного пассажира	м ³ /ч	30	
Количество пассажиров	чел	9	
Скорость движения наружного воздуха относительно наружной поверхности юнибуса	км/ч	270	Рис. 46
Скорость движения воздуха в салоне относительно внутренней поверхности салона	км/ч	3,5	Рис. 46
Скорость движения воздуха в силовом отсеке относительно перегородки силового отсека	км/ч	10	Рис. 46

В качестве материала прозрачных поверхностей (остекления) выбран высокопрочный поликарбонат, используемый в авиа- и вертолетостроении, толщиной 6 мм.

В качестве материала теплоизолятора потолка, пола и перегородки силового отсека выбран негорючий пенопласт ПХВ.

3. Условия и допущения расчёта

3.1. Условия расчёта

Теплообмен салона юнибуса с внешней средой происходит через четыре поверхности: прозрачные поверхности, поверхность потолка с боковой поверхностью, поверхность пола и поверхность перегородки силового отсека (см. рис. 45 и 46). При расчёте теплового баланса салона юнибуса учитывались следующие виды переноса тепла через эти поверхности:

1) в зимний период эксплуатации:

- конвекция между наружным воздухом и наружными поверхностями прозрачных поверхностей, потолка, боковой поверхности и пола;
- конвекция между внутренней поверхностью салона (прозрачные поверхности, потолок, пол, боковая поверхность и перегородка силового отсека) и воздухом салона;
- конвекция между воздухом силового отсека и внутренней поверхностью перегородки силового отсека;
- теплопроводность через прозрачные поверхности, потолок, пол, боковую поверхность и перегородку силового отсека.

Также в расчёте учитывалось количество тепла, необходимое для прогрева наружного воздуха, поступающего в салон.

2) в летний период эксплуатации:

- конвекция между наружным воздухом и наружной поверхностью прозрачных поверхностей, потолка, боковой поверхностью и пола;
- конвекция между внутренней поверхностью салона (прозрачные поверхности, потолок, пол, боковая поверхность и перегородка силового отсека) и воздухом салона;
- конвекция между воздухом силового отсека и внутренней поверхностью перегородки силового отсека;
- теплопроводность через прозрачные поверхности, потолок, боковую поверхность, пол и перегородку силового отсека;
- солнечное излучение через прозрачные поверхности.

Также в расчёте учитывалось количество тепла, которое необходимо удалить из наружного воздуха, поступающего в салон.

3.2. Допущения при расчёте

Конструкция потолка, боковой поверхности, пола и перегородки силового отсека представляет собой многослойную конструкцию, состоящую из теплоизолятора и наружной и внутренней обшивок (лист алюминия, стеклопластик и др.). Толщина обшивки по сравнению с толщиной теплоизолятора незначительна и влияние её на процесс теплопередачи также незначителен. Поэтому в расчёте

учитывался только теплоизолятор.

4. Тепловой баланс салона юнибуса в зимний период года

4.1. Формула теплового баланса юнибуса в зимний период года

Тепловой баланс юнибуса в зимний период состоит из:

$$\Sigma Q_3 = - Q_{вз} - Q_{прз} - Q_{пт+бпз} - Q_{перз} - Q_{полз} + Q_{паспз},$$

где:

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

$Q_{прз}$ — потери тепла из салона в окружающую среду через прозрачные поверхности;

$Q_{пт+бпз}$ — потери тепла из салона в окружающую среду через поверхность потолка и боковую поверхность;

$Q_{перз}$ — потери тепла из салона через поверхность перегородки силового отсека;

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

$Q_{паспз}$ — тепловыделение пассажиров.

4.2. Расчёт количества тепла, необходимого для прогрева свежего воздуха, поступающего в салон

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

где:

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

$$V_{вз} = V_{п} \cdot n,$$

$V_{п} = 30$ м³/ч — минимальное количество свежего воздуха на одного пассажира,

n — количество пассажиров.

$$V_{вз} = 30 \cdot 9 = 270 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

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

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

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

Относительная влажность 30%.

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

$P_6 = 745 \text{ мм. рт. ст.}$ — барометрическое давление;

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

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

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

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

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

$$\Delta T_{вз} = t_{сз} - t_{нз},$$

Температуру воздуха зимой в салоне принимаем $t_{сз} = +15^{\circ}\text{C}$ и относительную влажность воздуха 40%.

$$\text{Отсюда, } \Delta T_{вз} = 15^{\circ}\text{C} - (-60^{\circ}\text{C}) = 75^{\circ}\text{C}.$$

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

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

$$Q_{вз} = 270 \cdot 1,62 \cdot 0,22 \cdot 75 = 7236,78 \text{ Вт.}$$

4.3. Расчёт потерь тепла из салона в окружающую среду через прозрачные поверхности

$$Q_{прз} = K_{пр} \cdot S_{пр} \cdot (t_{сз} - t_{нз}) = K_{пр} \cdot S_{пр} \cdot \Delta T_{вз};$$

где:

$K_{пр}$ — коэффициент теплопередачи прозрачных поверхностей, $\text{Вт} / (\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$,

$$K_{пр} = 1 \cdot (1 / \alpha_{н} + \delta_{пр} / \lambda_{пр} + 1 / \alpha_{в}),$$

где $\alpha_{н}$ и $\alpha_{в}$ — коэффициенты теплоотдачи от наружного воздуха к наружной поверхности корпуса и от внутренней поверхности салона к воздуху салона.

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

$V_1 = 270 \text{ км/час}$ — скорость движения наружного воздуха относительно наружной поверхности корпуса.

$$\alpha_{н} = 5 + 0,0945 \cdot 270 = 30,52 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}),$$

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

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

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

$\delta_{\text{пр}}$ — толщина прозрачных поверхностей;

$\lambda_{\text{пр}}$ — коэффициент теплопроводности материала прозрачных поверхностей.

$$K_{\text{пр}} = 1 / (1 / 30,52 + 0,006 / 0,21 + 1 / 7,16) = 4,98 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}).$$

$S_{\text{пр}}$ — площадь прозрачных поверхностей;

$$S_{\text{пр}} = 6,54 \text{ м}^2,$$

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

$$\Delta T_{\text{вз}} = 75 \text{ °C}.$$

$$Q_{\text{пр}} = 4,98 \cdot 6,54 \cdot 75 = 2440,92 \text{ Вт}$$

4.4. Расчёт потерь тепла из салона в окружающую среду через поверхность потолка и теплоизолированную (непрозрачную) боковую поверхность

$$Q_{\text{пт+бпз}} = K_{\text{пт+бпз}} \cdot S_{\text{пт+бп}} \cdot (t_{\text{вз}} - t_{\text{нз}}) = K_{\text{пт+бп}} \cdot S_{\text{пт+бп}} \cdot \Delta T_{\text{вз}};$$

где:

$K_{\text{пт+бп}}$ — коэффициент теплопередачи потолка, Вт / ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}$),

$$K_{\text{пт+бп}} = 1 \cdot (1 / \alpha_{\text{н}} + \delta_{\text{пт+бп}} / \lambda_{\text{пт+бп}} + 1 / \alpha_{\text{в}}),$$

где $\alpha_{\text{н}}$ и $\alpha_{\text{в}}$ — коэффициенты теплоотдачи от наружного воздуха к наружной поверхности корпуса и от поверхности салона к воздуху салона.

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

$V_1 = 270$ км/час — скорость движения наружного воздуха относительно наружной поверхности корпуса.

$$\alpha_{\text{н}} = 5 + 0,0945 \cdot 270 = 30,52 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}),$$

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

$V_2 = 5$ км/час — скорость движения воздуха в салоне относительно внутренней поверхности салона.

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

$\delta_{\text{пот}}$ — толщина потолка и боковых поверхностей;

$\lambda_{\text{пот}}$ — коэффициент теплопроводности материала потолка и боковой поверхности.

$$K_{\text{пт+бп}} = 1 / (1 / 30,52 + 0,01 / 0,04 + 1 / 7,16) = 2,37 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}).$$

$S_{\text{пт+бп}}$ — площадь поверхности теплоизолированного потолка и боковой

поверхности;

$$S_{\text{пт+бп}} = 16,35 \text{ м}^2,$$

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

$$\Delta T_{\text{вз}} = 15^\circ\text{C} - (-60^\circ\text{C}) = 75^\circ\text{C}.$$

$$Q_{\text{пт+бп}} = 2,37 \cdot 16,35 \cdot 75 = 2903,21 \text{ Вт}$$

4.5. Расчёт потерь тепла из салона через поверхность перегородки силового отсека

$$Q_{\text{перз}} = K_{\text{пер}} \cdot S_{\text{пер}} \cdot (t_{\text{вз}} - t_{\text{нз}}) = K_{\text{пер}} \cdot S_{\text{пер}} \cdot \Delta T_{\text{вз}};$$

где:

$K_{\text{пер}}$ — коэффициент теплопередачи перегородки силового отсека, Вт / (м² · °C),

$$K_{\text{пер}} = 1 \cdot (1 / \alpha_{\text{н}} + \delta_i / \lambda_i + 1 / \alpha_{\text{в}}),$$

где:

$\alpha_{\text{н}}$ и $\alpha_{\text{в}}$ — коэффициенты теплоотдачи от воздуха в силовом отсеке к внутренней поверхности перегородки силового отсека и от наружной поверхности перегородки силового отсека к воздуху салона соответственно.

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

$V_3 = 10$ км/час — скорость движения воздуха в силовом отсеке относительно внутренней поверхности перегородки силового отсека.

$$\alpha_{\text{н}} = 5 + 0,0945 \cdot 10 = 5,95 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}),$$

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

$V_2 = 5$ км/час — скорость движения воздуха в салоне относительно наружной поверхности перегородки силового отсека.

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

$\delta_{\text{пер}}$ — толщина перегородки;

$\lambda_{\text{пер}}$ — коэффициент теплопроводности материала перегородки.

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

$S_{\text{пер}}$ — площадь поверхности перегородки силового отсека;

$$S_{\text{пер}} = 2,68 \text{ м}^2,$$

$\Delta T_{\text{оз}}$ — разность между температурами воздуха в салоне и силовом отсеке, °C.

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

Температура воздуха в силовом отсеке $t_{о3} = 0^{\circ}\text{C}$.

Температура воздуха в салоне $t_{с3} = +15^{\circ}\text{C}$.

Отсюда, $\Delta T_{о3} = 15^{\circ}\text{C} - (- 0^{\circ}\text{C}) = 15^{\circ}\text{C}$.

$$Q_{\text{перз}} = 1,24 \cdot 2,68 \cdot 15 = 49,76 \text{ Вт.}$$

4.6. Расчёт потерь тепла из салона в окружающую среду через поверхность пола

$$Q_{\text{полз}} = K_{\text{пол}} \cdot S_{\text{пол}} \cdot (t_{\text{вз}} - t_{\text{нз}}) = K_{\text{пол}} \cdot S_{\text{пол}} \cdot \Delta T_{\text{вз}};$$

где:

$K_{\text{пол}}$ — коэффициент теплопередачи пола, $\text{Вт} / (\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$,

$$K_{\text{пол}} = 1 \cdot (1 / \alpha_{\text{н}} + \delta_{\text{пол}} / \lambda_{\text{пол}} + 1 / \alpha_{\text{в}}),$$

где:

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

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

$V_1 = 270 \text{ км/час}$ — скорость движения наружного воздуха относительно наружной поверхности пола.

$$\alpha_{\text{н}} = 5 + 0,0945 \cdot 270 = 30,52 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}),$$

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

$V_2 = 5 \text{ км/час}$ — скорость движения воздуха в салоне относительно внутренней поверхности салона.

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

$\delta_{\text{пол}}$ — толщина пола;

$\lambda_{\text{пол}}$ — коэффициент теплопроводности материала пола.

$$K_{\text{пол}} = 1 / (1 / 30,52 + 0,05 / 0,04 + 1 / 7,16) = 0,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}).$$

$S_{\text{пол}}$ — площадь поверхности пола;

$$S_{\text{пол}} = 8,69 \text{ м}^2,$$

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

$$\Delta T_{\text{о3}} = 15^{\circ}\text{C} - (-60^{\circ}\text{C}) = 75^{\circ}\text{C}.$$

$$Q_{\text{полз}} = 0,7 \cdot 8,69 \cdot 75 = 458,21 \text{ Вт.}$$

4.7. Расчёт тепловыделения пассажиров

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

$$Q_{пз} = Q_{яз} + Q_{скрз},$$

где:

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

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

Величины явного тепла влажного воздуха и скрытого тепла водяного пара в зависимости от температуры воздуха представлены в таблице 22.

Таблица 22

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

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

Для $t_{в}^{\circ} = 15^{\circ}\text{C}$ тепловыделение одного пассажира $Q_{пз} = 110 + 20 = 130$ Вт.

Для девяти пассажиров $Q_{пасспз} = 9 \cdot 130 = 1170$ Вт.

4.8. Результаты расчёта теплового баланса салона юнибуса в зимний период

$$\Sigma Q_3 = -Q_{вз} - Q_{прз} - Q_{пт+бпз} - Q_{перз} - Q_{полз} + Q_{пасспз},$$

$$\Sigma Q_3 = -7236,78 - 2440,92 - 2903,21 - 49,76 - 458,21 + 1170 = -11918,89 \text{ Вт}$$

Результаты расчёта представлены в таблице 23.

Таблица 23

Тепловой баланс юнибуса Ю-321П в зимний период

Количество тепла, необходимого для прогрева свежего воздуха, поступающего в салон		Потери тепла в окружающую среду через прозрачные поверхности (остекление)		Потери тепла в окружающую среду через поверхность потолка и боковую поверхность		Потери тепла в окружающую среду через поверхность перегородки силового отсека		Потери тепла в окружающую среду через поверхность пола		Тепловыделения пассажиров	Тепловой баланс салона в зимний период
$Q_{вз}$		$Q_{прз}$		$Q_{пт+бпз}$		$Q_{перз}$		$Q_{полз}$		$Q_{пспз}$	ΣQ_3
Вт	%	Вт	%	Вт	%	Вт	%	Вт	%	Вт	Вт
-7236,78	56,01	-2440,92	18,65	-2903,21	22,18	-49,76	0,38	-458,21	3,50	+1170	-11918,89

5. Тепловой баланс салона юнибуса в летний период года

5.1. Формула теплового баланса юнибуса в летний период

Тепловой баланс юнибуса в летний период состоит из:

$$\Sigma Q_{\text{л}} = Q_{\text{вл}} + Q_{\text{прл}} + Q_{\text{пт+бпл}} + Q_{\text{перл}} + Q_{\text{полл}} + Q_{\text{паспл}} + Q_{\text{изл}},$$

где:

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

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

$Q_{\text{пт+бпл}}$ — количество тепла, поступающего из окружающей среды в салон через теплоизолированные (непрозрачные) поверхности потолка и боковую поверхность;

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

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

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

$Q_{\text{изл}}$ — количество тепла солнечного излучения, поступающей в салон через прозрачные поверхности.

5.2. Расчёт количества тепла, поступающего в салон со свежим воздухом

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

где:

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

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

$V_{\text{п}} = 30 \text{ м}^3/\text{ч}$ — минимальное количество свежего воздуха на одного пассажира,

n — количество пассажиров.

$$V_{\text{вл}} = 30 \cdot 9 = 270 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

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

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

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

Относительная влажность 80%.

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

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

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

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

$\rho_{л} = 1,293 \cdot 273 / 313 \cdot (745 / 760 - 0,378 \cdot 11,79 / 760) = 1,1$ кг/м³.

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

$\Delta T_{вл} = t_{нл} - t_{сл}$,

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

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

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

$C_{Лл} = 0,34$ Вт · ч/(кг · °С).

$Q_{вл} = 270 \cdot 1,1 \cdot 0,34 \cdot 20 = 2017,56$ Вт.

5.3. Расчёт количества тепла, поступающего в салон из окружающей среды через прозрачные поверхности (остекление)

$$Q_{прл} = K_{пр} \cdot S_{пр} \cdot \Delta T_{вл};$$

$$Q_{прл} = 4,98 \cdot 6,54 \cdot 20 = 650,91 \text{ Вт.}$$

5.4. Расчёт количества тепла, поступающего из окружающей среды в салон через теплоизолированные (непрозрачные) поверхности потолка и боковую поверхность

$$Q_{пт+бпл} = K_{пт+бп} \cdot S_{пт+бп} \cdot \Delta T_{вл};$$

$$Q_{пт+бпл} = 2,37 \cdot 16,35 \cdot 20 = 774,19 \text{ Вт.}$$

5.5. Расчёт количества тепла, поступающего в салон через поверхность перегородки силового отсека

$$Q_{перл} = K_{пер} \cdot S_{пер} \cdot \Delta T_{ол};$$

где:

$\Delta T_{ол} = t_{ол} - t_{сл}$,

Температура воздуха в силовом отсеке $t_{о3} = + 75^\circ\text{C}$.

Температура воздуха в салоне $t_{сз} = +20^{\circ}\text{C}$.

Отсюда, $\Delta T_{ол} = 75 - 20 = 55^{\circ}\text{C}$.

$Q_{перл} = 1,24 \cdot 2,68 \cdot 55 = 182,47 \text{ Вт}$.

5.6. Расчёт количества тепла, поступающего из окружающей среды в салон через поверхность пола

$$Q_{полл} = K_{пол} \cdot S_{пол} \cdot \Delta T_{л};$$

$$Q_{полл} = 0,7 \cdot 8,69 \cdot 20 = 122,19 \text{ Вт}.$$

5.7. Расчёт тепловыделения пассажиров

$$Q_{л} = Q_{ял} + Q_{скрл}$$

где:

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

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

Из таблицы 22 для $t_{вл}^{\circ} = 20^{\circ}\text{C}$ $Q_{ч} = 90 + 25 = 115 \text{ Вт}$.

Для девяти пассажиров $Q_{плл} = 9 \cdot 115 = 1035 \text{ Вт}$.

5.8. Расчёт количество тепла солнечного излучения, поступающего в салон через прозрачные перекрытия (остекление)

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

где:

S_1 — площадь наружной поверхности юнибуса, облучённая прямым излучением солнца, м^2 ;

$S_1 = 3,0 \text{ м}^2$ — площадь прозрачной поверхности, облучённая прямым излучением солнца;

S — площадь прозрачных поверхностей, м^2 ;

I — интенсивность прямой и рассеянной солнечной радиации.

$$I = I_{пр} + I_{рас},$$

где:

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

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

поверхность;

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

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

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

a — корректировочный коэффициент для затемнённого стекла.

Принимаем $a = 0,5$;

v — коэффициент пропускания для различных конструкции стёкол.

Принимаем $v = 1$;

$$Q_{\text{изл}} = ((3,0 \cdot 361,5 \cdot 0,5 + (6,54 - 3,0) \cdot 158,2)) \cdot 1 = 1102,28 \text{ Вт}.$$

5.9. Результаты расчёта теплового баланса салона юнибуса в летний период

$$\Sigma Q_{\text{л}} = Q_{\text{вл}} + Q_{\text{прл}} + Q_{\text{пт+бпл}} + Q_{\text{перл}} + Q_{\text{полл}} + Q_{\text{паспл}} + Q_{\text{изл}},$$

$$\Sigma Q_{\text{л}} = 2017,56 + 650,91 + 774,19 + 182,47 + 122,19 + 1035 + 1102,28 = 5884,60 \text{ Вт}$$

Результаты расчёта представлены в таблице 24.

Таблица 24

Тепловой баланс юнибуса Ю-321П в летний период

Количество тепла, поступающего в салон со свежим воздухом		Количество тепла, поступающего в салон через прозрачные поверхности (остекление)		Количество тепла, поступающего через поверхность потолка и боковую поверхность		Количество тепла, поступающего в салон через поверхность перегородки силового отсека		Количество тепла, поступающего в салон через поверхность пола		Количество тепла солнечного излучения, поступающего в салон через прозрачные поверхности		Тепловыделения пассажиров		Тепловой баланс салона в летний период
$Q_{\text{вл}}$		$Q_{\text{прл}}$		$Q_{\text{пт+бпл}}$		$Q_{\text{перл}}$		$Q_{\text{полл}}$		$Q_{\text{изл}}$		$Q_{\text{паспл}}$		$\Sigma Q_{\text{л}}$
Вт	%	Вт	%	Вт	%	Вт	%	Вт	%	Вт	%	Вт	%	Вт
2017,56	34,29	650,91	11,06	774,19	13,71	182,47	3,10	122,19	2,08	1102,28	18,73	1035	17,59	5884,60

6. Выводы

6.1. Выводы по тепловому балансу в зимний период эксплуатации

Для поддержания в салоне юнибуса в зимний период температуры воздуха $+15^{\circ}\text{C}$, при температуре наружного воздуха -60°C , для девяти пассажиров и подаче в салон $270\text{ м}^3/\text{ч}$ свежего воздуха, необходимо затратить $11,9\text{ кВт}$ тепловой мощности (см. таблицу 24).

6.2. Выводы по тепловому балансу в летний период эксплуатации

Для поддержания в салоне юнибуса в летний период температуры воздуха $+20^{\circ}\text{C}$, при температуре наружного воздуха $+40^{\circ}\text{C}$, для девяти пассажиров и подаче в салон $270\text{ м}^3/\text{ч}$ свежего воздуха, необходимо удалить из салона $5,9\text{ кВт}$ тепловой мощности (см. таблицу 24).

6.3. Элементы конструкции юнибуса, наиболее влияющие на тепловой баланс юнибуса

Наибольшие теплопотери и теплопритоки в юнибусе связаны со свежим воздухом, поступающим в салон, с прозрачными поверхностями (остеклением) юнибуса и теплоизолированными (непрозрачными) поверхностями потолка и боковой поверхности (см. таблицы 23 и 24).

6.3.1. Зимний период

- для прогрева свежего воздуха (с исходной температурой -60°C), поступающего в салон юнибуса ($270\text{ м}^3/\text{ч}$), необходимо затратить $7236,78\text{ Вт}$ тепловой мощности, что составляет $55,29\%$ от всех затрат тепла на поддержание комфортных условий ($+15^{\circ}\text{C}$) в салоне юнибуса;
- для компенсации потерь тепла через непрозрачные поверхности потолка и боковую поверхность необходимо затратить $2903,21\text{ Вт}$ тепловой мощности, что составляет $22,18\%$ от всех затрат тепла на поддержание комфортных условий в салоне юнибуса;
- для компенсации потерь тепла через прозрачные поверхности салона юнибуса необходимо затратить $2440,92\text{ Вт}$ тепловой мощности, что

составляет 18,65% от всех затрат тепла на поддержание комфортных условий в салоне юнибуса.

6.3.2. Летний период

- для удаления тепла, поступающего со свежим воздухом (с исходной температурой $+40^{\circ}\text{C}$) в салон юнибуса ($270 \text{ м}^3/\text{ч}$), необходимо затратить 2017,56 Вт мощности, что составляет 34,29%, от всех затрат на поддержание комфортных условий ($+20^{\circ}\text{C}$) в салоне юнибуса;
- для удаления тепла, поступающего в салон через прозрачные поверхности юнибуса, необходимо затратить 1725,08 Вт мощности (количество тепла, поступающего теплопередачей, 650,91 Вт, плюс количество тепла, поступающего с солнечным излучением, 1102,28 Вт), что составляет 29,79% от всех затрат на поддержание комфортных условий ($+20^{\circ}\text{C}$) в салоне юнибуса;
- для компенсации потерь тепла через теплоизолированные (непрозрачные) поверхности потолка и боковую поверхность, необходимо затратить 774,19 Вт мощности, что составляет 13,16% от всех затрат тепла на поддержание комфортных условий ($+20^{\circ}\text{C}$) в салоне юнибуса.



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

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный конструктор
ООО «Струнный транспорт Юницкого»

_____ А.Э. Юницкий

«18» июня 2007 г.

**Расчет на статическую и динамическую устойчивость
пассажирских высокоскоростных юнибусов
моделей Ю-321П и Ю-321ПЭ**

(321П-0000010-02PP)

Содержание расчета на устойчивость

Введение	113
1. Исходные данные	113
2. Допущения	115
3. Определение предельно допустимой скорости бокового ветра	115
4. Определение предельно допустимой скорости прохождения юнибусом криволинейного участка пути радиусом 10 км	116
5. Определение допустимой скорости бокового ветра при прохождении юнибусом криволинейного участка пути радиусом 10 км с максимальной эксплуатационной скоростью 300 км/ч (направления векторов сил ветра и сил инерции совпадают)	118
6. Величина допустимого поперечного опрокидывающего крутящего момента, определяемого из условия среза страховочных буртов противосходных роликов	119
7. Величина допустимого поперечного опрокидывающего крутящего момента, определяемого из условия смятия головки рельса	120
8. Определение предельно допустимой скорости бокового ветра для юнибуса, снабженного противосходными роликами со страховочными буртами, при его прохождении криволинейного участка пути радиусом 10 км (направления векторов сил ветра и сил инерции совпадают)	120
9. Выводы	121

Введение

Высокоскоростной юнибус моделей Ю-321П и Ю-321ПЭ (колея 1500 мм) должен иметь высокую устойчивость движения по рельсо-струнной путевой структуре даже в случае вынужденной эксплуатации при боковом ураганном ветре. Для обеспечения данного требования безопасности юнибус снабжен специальными противосходными роликами, которые в исходном положении подпружинены к боковым поверхностям рельсов с определенным усилием (около 10 кгс). При возникновении значительной боковой возмущающей силы юнибус получит небольшое поперечное смещение (около 5 мм). Дальнейшее перемещение юнибуса ограничивают жесткие упоры боковых роликов. Для исключения любой вероятности опрокидывания, противосходные ролики снабжены страховочными буртами, заходящими за низ расширения верхней части рельса, которые исключают подъем роликов и, соответственно, юнибуса над рельсом.

Целью настоящего расчета является:

- определение предельно допустимой скорости ветра (скорости, при которой теоретически возможен отрыв колес юнибуса от рельс) и оценка воздействия силы бокового ветра на юнибус;
- определение предельно допустимой скорости прохождения высокоскоростным юнибусом криволинейного участка пути радиусом 10 км и оценка воздействия центробежных сил инерции на юнибус;
- определение предельно допустимой скорости бокового ветра при прохождении юнибусом криволинейного участка пути радиусом 10 км с максимальной эксплуатационной скоростью 300 км/ч;
- определение величины поперечного опрокидывающего (крутящего) момента, действующего на юнибус и определяемого из условия среза страховочных буртов противосходных роликов, а также — из условия смятия головки рельса.

1. Исходные данные

Масса юнибуса, т, кг:

- полная

2300

- снаряженная	1600
Коэффициент бокового аэродинамического сопротивления, C_w	0,8
Площадь продольного (бокового) сечения юнибуса, $S_{бок}, м^2$	11,8
Плотность воздуха, ρ , $кг/м^3$	1,202
Размер колеи (по осям рельс), A , м	1,5
Расстояние от центра парусности боковой поверхности юнибуса до головки рельса, H , м	0,89
Расстояние от центра масс юнибуса до головки рельса, B , м	0,75
Радиус криволинейного участка, R , м	10000
Максимальная скорость, V , км/ч	300

Геометрические параметры противосходных роликов (см. рис. 47):

Наружный диаметр страховочного бурта (далее бурта), D , мм,	262
Диаметр рабочей поверхности качения ролика, d , мм	250
Толщина бурта, b , мм	7
Высота заходящего под головку рельса сегмента бурта, h , мм	6
Центральный угол сегмента бурта, α , °	35

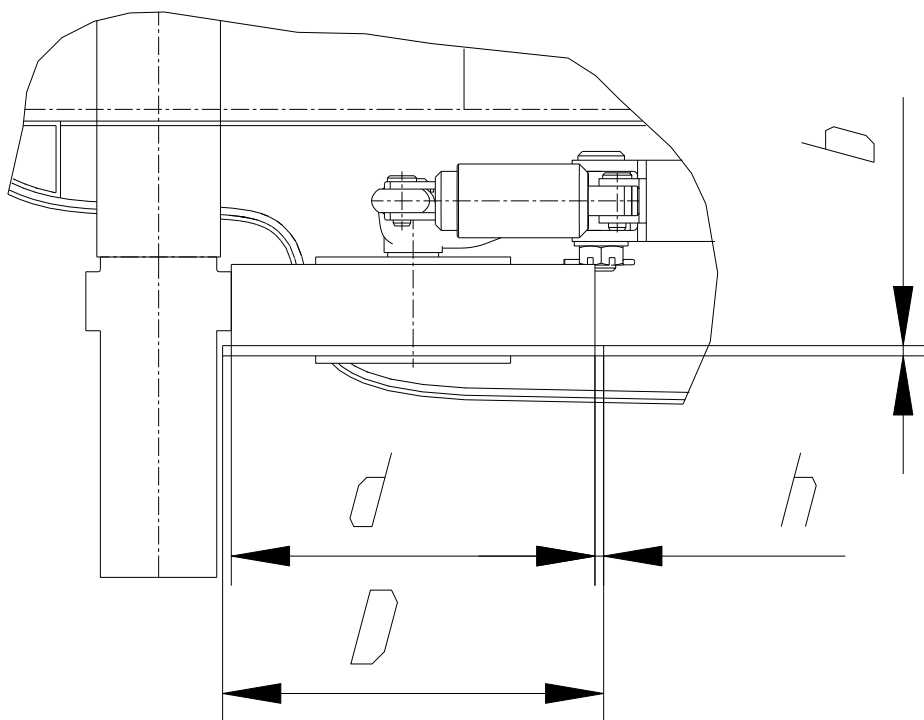


Рис. 47. Геометрические параметры противосходных роликов

2. Допущения

Приняты следующие допущения:

- пренебрегается незначительное поперечное смещение центра масс юнибуса, которое будет вызвано податливостью упругих элементов подвески колес;
- центр масс юнибуса расположен в продольной плоскости симметрии и равноудален от осей колес;
- центры масс снаряженного и полного юнибуса совпадают;
- ось опрокидывания лежит на головке рельса (в плоскости ее симметрии).

3. Определение предельно допустимой скорости бокового ветра

Предельно допустимая сила бокового ветра определяется из уравнения поперечного равновесия юнибуса (см. рис. 48).

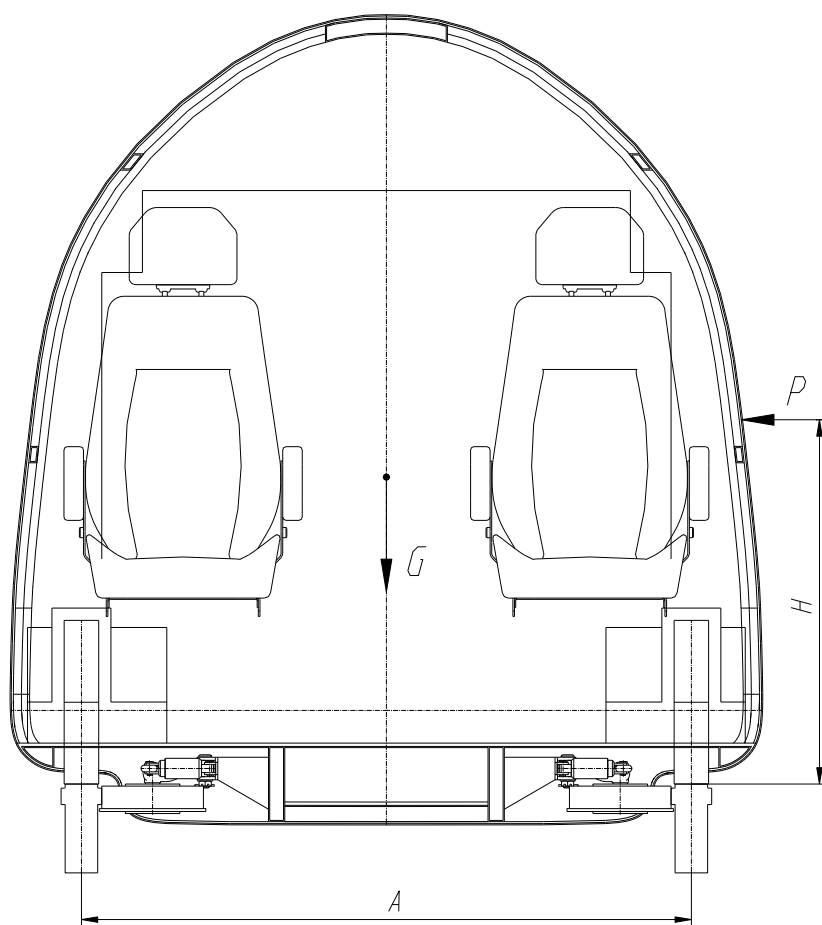


Рис. 48. Расчетная схема определения предельно допустимой скорости бокового ветра

Уравнение поперечного равновесия юнибуса может быть записано в следующем виде:

$$G \cdot A / 2 - P \cdot H = 0$$

где:

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

m — масса юнибуса (снаряженная или полная), кг;

H — расстояние от центра парусности боковой поверхности юнибуса до головки рельса, м.

Откуда,

$$P = G \cdot A / 2 \cdot H, \quad H$$

Граничная скорость ветра определяется по формуле:

$$V = (P / 0,5 \cdot \rho \cdot C_w \cdot S_{бок})^{0,5}, \text{ м/с}$$

Результаты расчета — см. таблицу 25.

Таблица 25

Предельно допустимая скорость ветра,
при которой наступает момент отрыва колес от рельса с одной стороны юнибуса

m , кг	G , Н	P , Н	V , м/с (км/ч)
1600	15680	13214	48,26 (173,7)
2300	22540	18994	57,86 (208,3)

4. Определение предельно допустимой скорости прохождения юнибусом криволинейного участка пути радиусом 10 км

Предельно допустимая центробежная сила инерции юнибуса на криволинейном участке пути определяется из уравнения его поперечного равновесия (см. рис. 49).

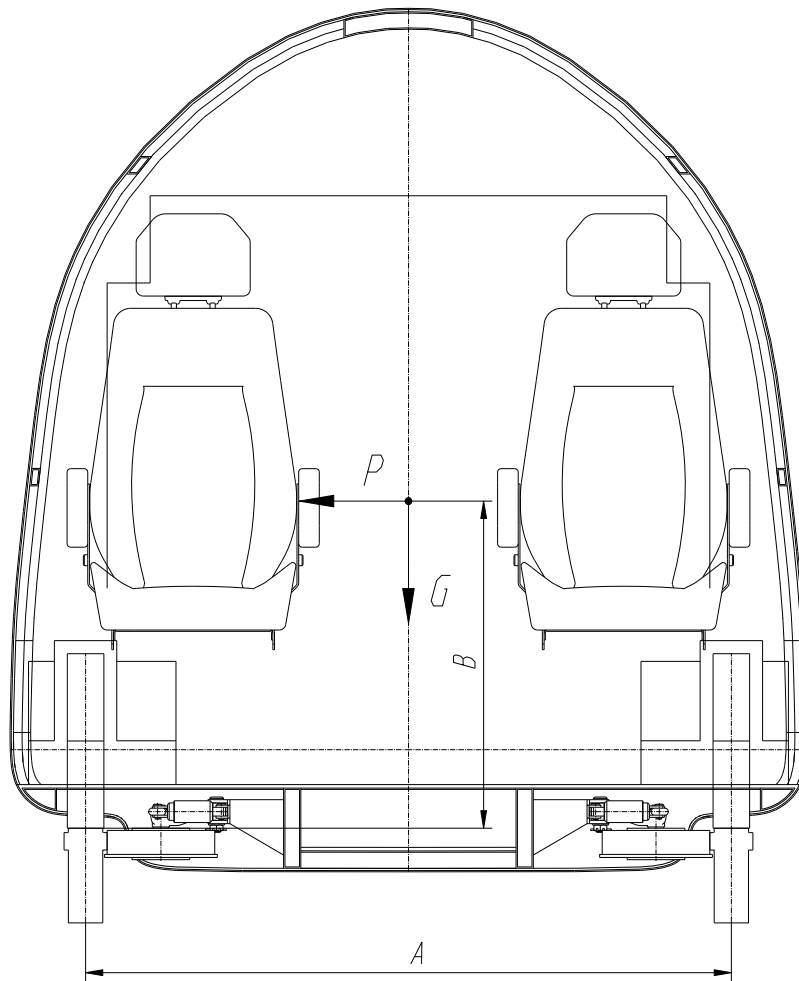


Рис. 49. Расчетная схема определения предельно допустимой скорости прохождения юнибусом криволинейного участка пути

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

$$G \cdot A / 2 - T \cdot B = 0$$

где:

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

B — расстояние от центра масс до головки рельса, м;

Откуда,

$T = G \cdot A / 2 \cdot B$, Н — центробежная сила инерции

Результаты расчета — см. таблицу 26.

Предельно допустимая скорость прохождения криволинейного участка пути (радиус 10 км) определяется из выражения:

$$V = (T \cdot R / m)^{0,5}, \text{ м/с,}$$

где:

R — радиус криволинейного участка пути, м.

Результаты расчета — см. таблицу 26.

Таблица 26

Предельно допустимая скорость прохождения юнибусом криволинейного участка пути
(радиус 10 км)

m, кг	G, Н	T, Н	V, м/с (км/ч)
1600	15680	15680	313 (1127)
2300	22540	22540	313 (1127)

5. Определение допустимой скорости бокового ветра при прохождении юнибусом криволинейного участка пути радиусом 10 км с максимальной эксплуатационной скоростью 300 км/ч (направления векторов сил ветра и сил инерции совпадают)

Допустимая сила ветра (из условий отрыва колес от рельса для юнибуса, не снабженного противосходными боковыми роликами) определяется из уравнения равновесия юнибуса:

$$G \cdot A / 2 - T \cdot B - P \cdot H = 0,$$

где:

$T = 83,3^2 \cdot m / R$, Н — центробежная сила при скорости 300 км/ч.

Откуда,

$$P = (G \cdot A / 2 - T \cdot B) / H, \text{ Н,}$$

Результаты расчета — см. таблицу 27.

Допустимая скорость ветра определяется по формуле:

$$V = (P / 0,5 \cdot \rho \cdot C_w \cdot S_{\text{бок}})^{0,5}, \text{ м/с.}$$

Результаты расчета — см. таблицу 27.

Допустимая скорость бокового ветра
при прохождении юнибусом модели Ю-321П или Ю-321ПЭ криволинейного участка пути
радиусом 10 км с максимальной эксплуатационной скоростью 300 км/ч

m, кг	G, Н	T, Н	P, Н	V, м/с (км/час)
1600	15680	1110,2	10927	43,9 (158)
2300	22540	1596	15708	52,6 (189,4)

6. Величина допустимого поперечного опрокидывающего крутящего момента, определяемого из условия среза страховочных буртов противосходных роликов

Усилие среза бурта определяется по формуле:

$$F_{\text{ср}} = \tau_{\text{ср}} \cdot S = 80 \cdot 549 = 43920 \text{ Н},$$

где:

$\tau_{\text{ср}} = 0,2 \cdot \sigma_{0,2} = 0,2 \cdot 400 \text{ МПа} = 80 \text{ МПа}$ — допустимое напряжение на срез для алюминиевого сплава марки В95;

$S = 2 \cdot (D \cdot h - h^2)^{0,5} \cdot b = 2 \cdot (262 \cdot 6 - 6^2)^{0,5} \cdot 7 = 549 \text{ мм}^2$ — площадь рабочего (срезаемого) сечения бурта.

Допустимый поперечный (боковой) опрокидывающий момент определяется по формуле:

$$M_{\text{опр 1}} = n \cdot F_{\text{ср}} \cdot A \cdot k = 2 \cdot 43920 \cdot 1,5 \cdot 0,75 = 98820 \text{ Н} \times \text{м},$$

где:

$n = 2$ — количество противосходных роликов, бурты которых работают на срез;
 $k = 0,75$ — коэффициент неравномерности восприятия опрокидывающей нагрузки.

Для бокового опрокидывания юнибуса, из условий среза алюминиевых буртов противосходных роликов, необходимо боковое воздействие на него: ветровая нагрузка — 111.000 Н (11.300 кгс); механическое усилие (например, центробежная сила), приложенное на уровне центра масс — 131.800 Н (13.400 кгс).

7. Величина допустимого поперечного опрокидывающего крутящего момента, определяемого из условия смятия головки рельса

Усилие смятия стальной головки рельса определяется по формуле:

$$F_{\text{см}} = \sigma_{\text{см}} \cdot S = 400 \cdot 317,3 = 126.920 \text{ Н},$$

где:

$\sigma_{\text{см}}$ — допустимое напряжение смятия головки рельса

По рекомендациям справочника «Справочник конструктора-машиностроителя», аналогично подвижным шпоночным соединениям, принимается:

$$\sigma_{\text{см}} = \sigma_{0,2} = 400 \text{ МПа}$$

Площадь смятия $S = ((D/2)^2 / 2) \cdot (3,14 \cdot \alpha / 180^\circ - \text{Sin } \alpha) = ((262/2)^2 / 2) \cdot (3,14 \cdot 35^\circ / 180^\circ - \text{Sin } 35^\circ) = 317,3 \text{ мм}^2$.

Допустимый поперечный (боковой) опрокидывающий момент определяется по формуле:

$$M_{\text{опр}2} = n \cdot F_{\text{см}} \cdot A \cdot 0,75 = 2 \cdot 126.920 \cdot 1,5 \cdot 0,75 = 285.570 \text{ Н} \times \text{м}.$$

Для бокового опрокидывания юнибуса, из условий смятия стальной головки рельса стальным колесом юнибуса, необходимо боковое воздействие на него: ветровая нагрузка — 321.000 Н (32.700 кгс); механическое усилие (например, центробежная сила), приложенное на уровне центра масс — 381.000 Н (38.800 кгс).

8. Определение предельно допустимой скорости бокового ветра для юнибуса, снабженного противосходными роликами со страховочными буртами, при его прохождении криволинейного участка пути радиусом 10 км (направления векторов сил ветра и сил инерции совпадают)

В расчеты заложены неблагоприятно совпадающие параметры, а именно:

- масса юнибуса наименьшая и соответствует его снаряженной массе $m = 1600 \text{ кг}$;

- скорость юнибуса соответствует максимальной эксплуатационной и равна 300 км/ч.

В качестве стабилизирующего крутящего момента, противодействующего опрокидыванию юнибуса, принят крутящий момент, определенный из условий среза страховочных буртов противосходных роликов $M_{\text{опр}1} = 98.820 \text{ Н}\cdot\text{м}$, т.к. противодействующий крутящий момент, определенный из условия смятия головки рельса $M_{\text{опр}2}$, превышает $M_{\text{опр}1}$.

Предельно допустимая сила ветра определяется из равенства:

$$M_{\text{опр}2} = P \cdot H + T \cdot B - G \cdot A / 2$$

где:

$T = 83,3^2 \cdot m / R = 1110,2 \text{ Н}$ — центробежная сила при скорости юнибуса 300 км/ч.

Откуда,

$$P = (M_{\text{опр}2} - T \cdot B + G \cdot A / 2) / H = (98.820 - 1.110,2 \cdot 0,75 + 15.680 \cdot 1,5 / 2) / 0,89 = 123.190 \text{ Н}.$$

Предельно допустимая скорость ветра определяется по формуле:

$$V = (P / 0,5 \cdot \rho \cdot C_w \cdot S_{\text{бок}})^{0,5} = (123.190 / 0,5 \cdot 1,202 \cdot 0,8 \cdot 11,8)^{0,5} = 147,4 \text{ м/с},$$

что соответствует скорости бокового ветра 530 км/ч.

9. Выводы

9.1. Допустимая скорость бокового ветра на прямолинейных участках пути (скорость, при которой у юнибуса модели Ю-321П или Ю-321ПЭ может произойти отрыв колес от рельса) составляет 173,7 км/ч при снаряженной массе и 208,3 км/ч при полной массе (при этом сила давления бокового ветра достигает соответственно значений 13214 Н и 18994 Н). Это означает, что юнибус Ю-321П или Ю-321ПЭ в состоянии полностью сохранить штатный режим движения на прямолинейных участках путевой структуры в условиях урагана 1-ой, 2-ой и частично 3-ей категории по шкале Саффира-Симпсона. При этом юнибус будет удерживаться от схода при больших скоростях ветра буртиками противосходных роликов.

9.2. Предельно допустимая расчетная скорость прохождения юнибусом модели Ю-321П или Ю-321ПЭ криволинейного участка пути радиусом 10 км, из условия поперечного (бокового) опрокидывания центробежными силами, составляет 1127 км/ч. Учитывая, что максимальная эксплуатационная скорость юнибуса на перегоне не превышает 300 км/ч, можно с уверенностью утверждать о наличии большого запаса его устойчивости на криволинейных участках пути.

9.3. В случае прохождения юнибусом криволинейного участка пути радиусом 10 км с максимальной эксплуатационной скоростью 300 км/ч, поперечная устойчивость юнибуса (без отрыва колес от рельса) сохранится при скорости бокового ветра:

- при снаряженной массе — 158 км/ч;
- при полной массе — 189,4 км/ч.

9.4. Величины опрокидывающих крутящих моментов, которые необходимо приложить к корпусу юнибуса, чтобы срезать страховочные бурты противосходных роликов или смять головку рельса, составляют соответственно: 98.820 Н×м и 285.570 Н×м.

9.5. Расчеты показывают, что при прохождении юнибусом, снабженным противосходными роликами со страховочными буртами, криволинейного участка пути радиусом 10 км при наиболее неблагоприятных условиях, когда масса юнибуса наименьшая ($m = 1600$ кг), а скорость движения наибольшая ($V = 300$ км/ч), поперечная устойчивость юнибуса на путевой структуре будет сохраняться даже при боковом ветре, имеющим скорость 530 км/ч, что соответствует 5-ой категории по шкале ураганов Саффира-Симпсона.