



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

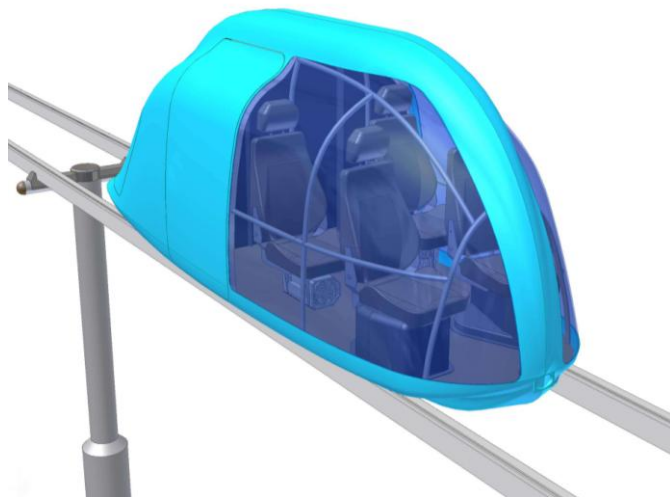
Аванпроект на экипажи СТЮ (юнибусы)

Том 2. Экипажи моделей Ю-314П и Ю-315П колесей 1000 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-314П и Ю-315П колеей 1000 мм (314П-0000010ПЗ)	4
2. Тягово-динамический расчет высокоскоростного пассажирского юнибуса Ю-314П (314П-0000010РР)	59
3. Тягово-динамический расчет высокоскоростного пассажирского юнибуса Ю-315П (315П-0000010РР)	77
4. Тепловой баланс высокоскоростных пассажирских юнибусов моделей Ю-314П и Ю-315П (314П-0000010-01РР)	103
5. Расчет на статическую и динамическую устойчивость пассажирских высокоскоростных юнибусов моделей Ю-314П и Ю-315П (314П-0000010-02РР)	121



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-314П и Ю-315П колеей 1000 мм
(314П-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	54
6. Организация разработки и производства юнибуса	57

1. Введение

1.1. Основание для разработки

Основанием для разработки аванпроекта на экипажи СТЮ (юнибусы) моделей Ю-314П и Ю-315П колеей 1000 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-314П и Ю-315П (см. рис. 1) предназначен для высокоскоростной междугородной двухрельсовой струнной транспортной системы второго уровня с колеей 1000 мм. Наиболее целесообразно использовать этот юнибус для высокоскоростных пассажирских перевозок по маршруту «Ханты-Мансийск — Сургут», а также на других высокоскоростных трассах СТЮ колеей 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-314П и Ю-315П разрабатывается впервые, заменяемое изделие отсутствует.

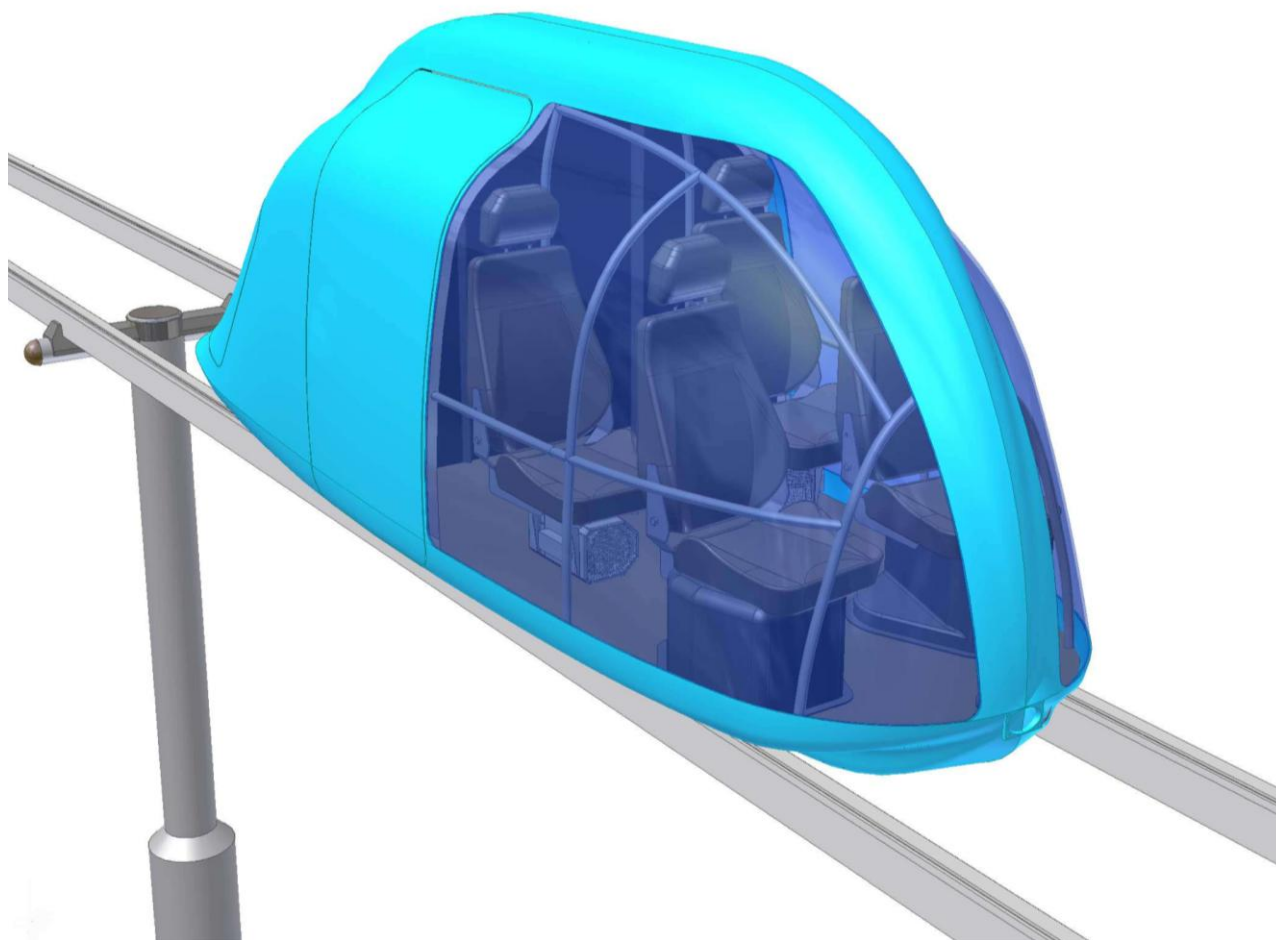


Рис. 1. Общий вид юнибуса моделей Ю-314П и Ю-315П для высокоскоростной междугородной струнной транспортной системы

3. Технические характеристики высокоскоростного пассажирского юнибуса

Высокоскоростной пассажирский рельсовый автомобиль (юнибус) для высокоскоростной междугородной струнной транспортной системы колеей 1000 мм по маршруту «Ханты-Мансийск — Сургут» представлен в нескольких вариантах исполнения:

- Ю-314П — четырехместный 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: AFD-1.9TDI + 5HP19, ГАЗ 5602 + RL608 и UM 612CDI + 5HP19;

- Ю-314П1 — шестиместный юнибус, оснащенный силовым агрегатом «Дизельный двигатель — автоматическая коробка передач» (габаритный чертеж — см. рис. 4; чертеж общего вида — см. рис. 5);
- Ю-315П — четырехместный юнибус повышенной комфортности, оснащенный электрическим приводом (габаритный чертеж — см. рис. 6; чертеж общего вида — см. рис. 7);
- Ю-315П1 — шестиместный юнибус, оснащенный электрическим приводом (габаритный чертеж — см. рис. 8; чертеж общего вида — см. рис. 9).

Юнибусы вариантов Ю-315П и Ю-315П1 предназначены для эксплуатации на электрифицированной струнной транспортной линии, Ю-314П и Ю-314П1 — для неэлектрифицированной линии.

Эксплуатация обоих вариантов предполагается в автоматическом режиме. Аванпроектом предусмотрен также вариант выполнения юнибуса с полуавтоматическим управлением (с оператором на борту).

Технические характеристики юнибусов приведены в таблице 1.

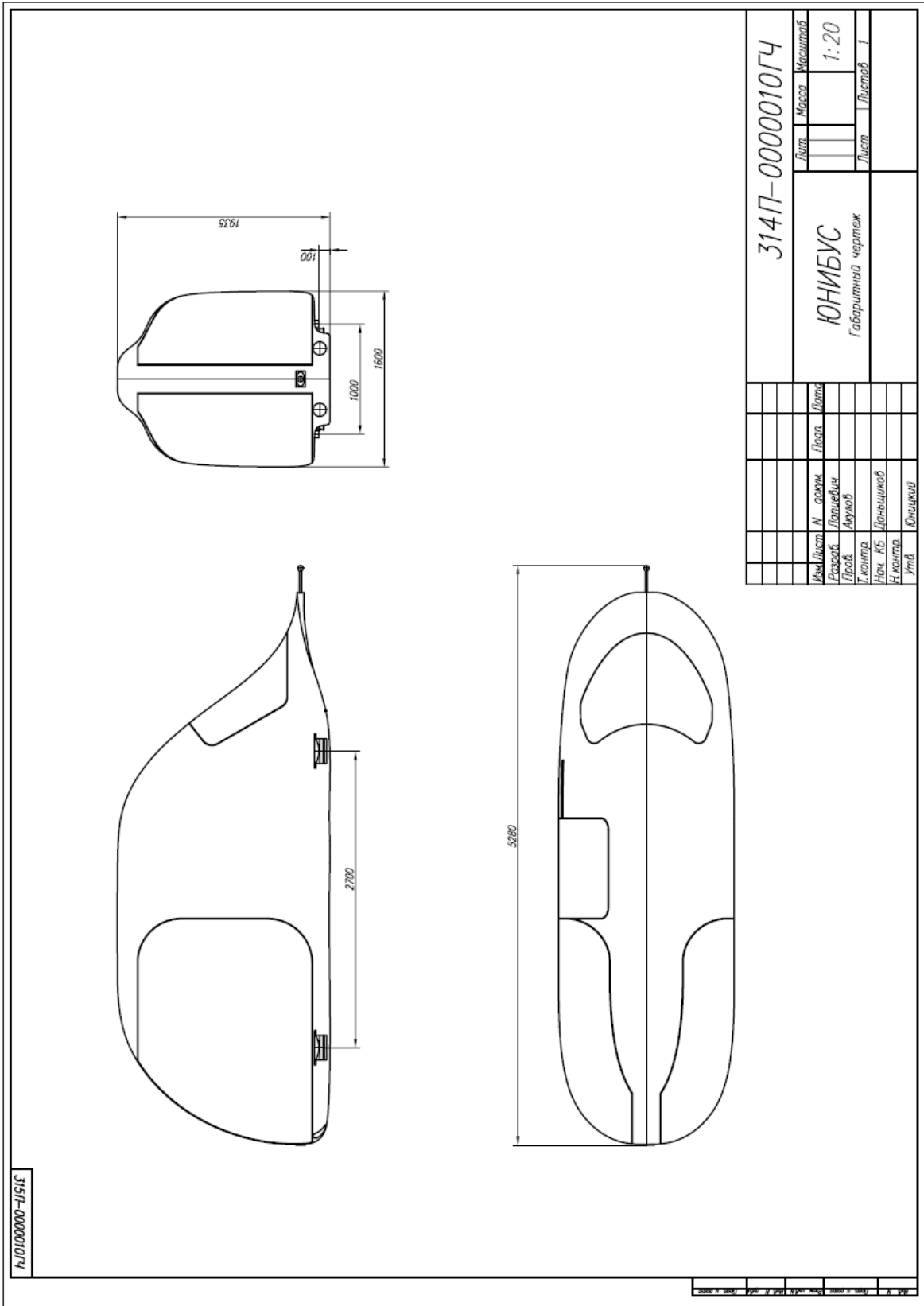


Рис. 2. Габаритный чертеж высокоскоростного пассажирского юнибуса Ю-314П

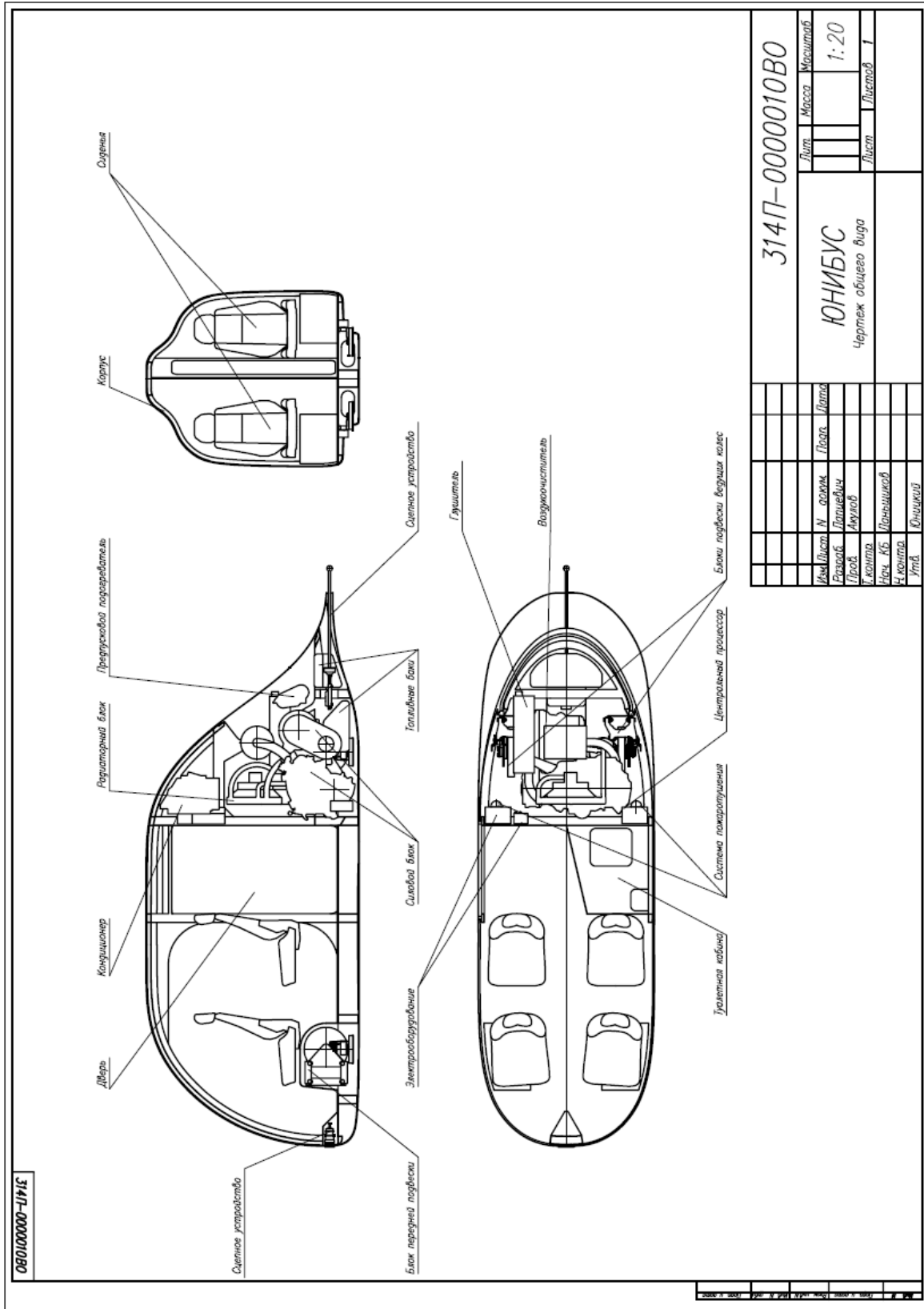


Рис. 3. Чертеж общего вида высокоскоростного пассажирского юнибуса Ю-314П

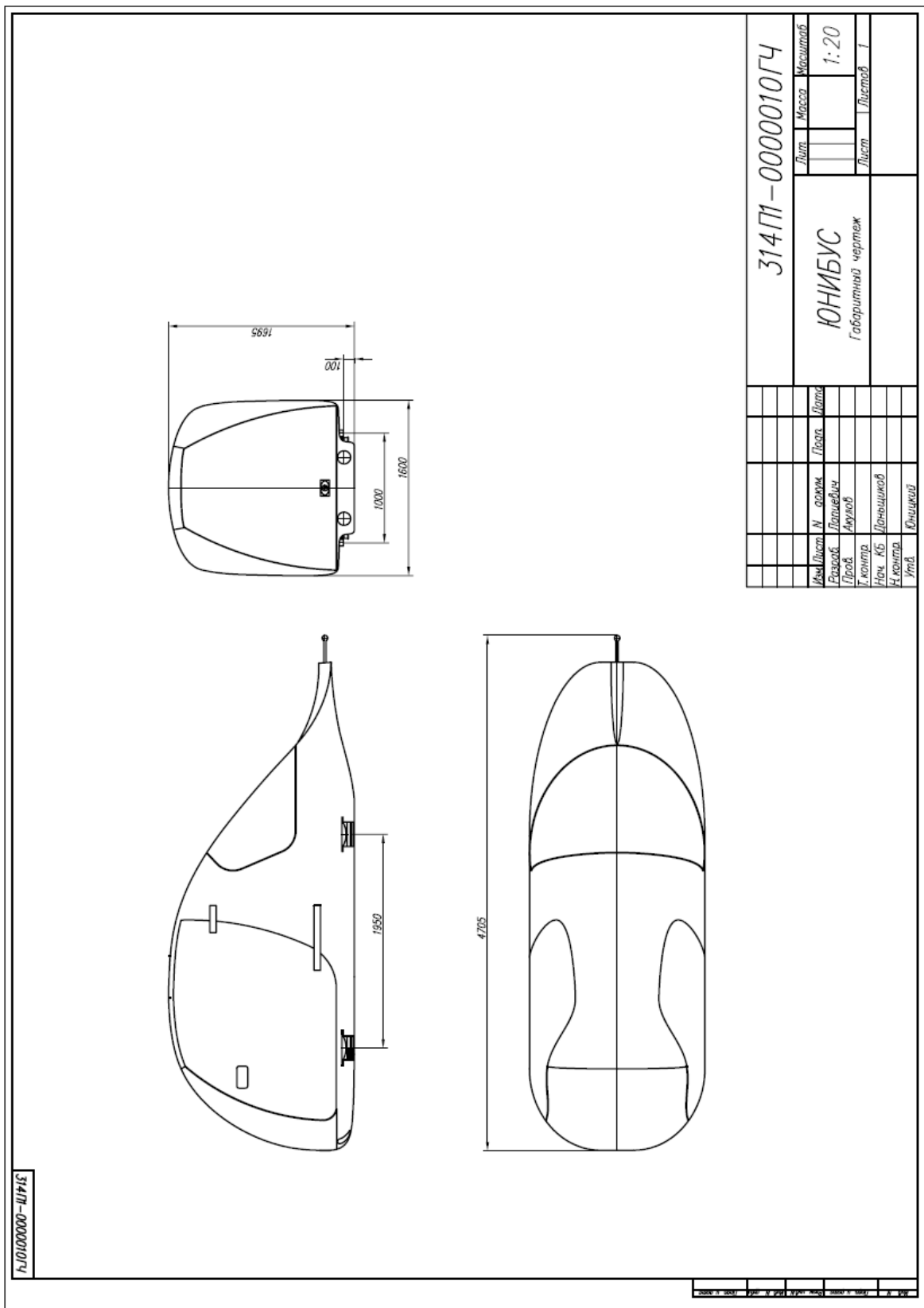


Рис. 4. Габаритный чертеж высокоскоростного пассажирского юнибуса Ю-314П1

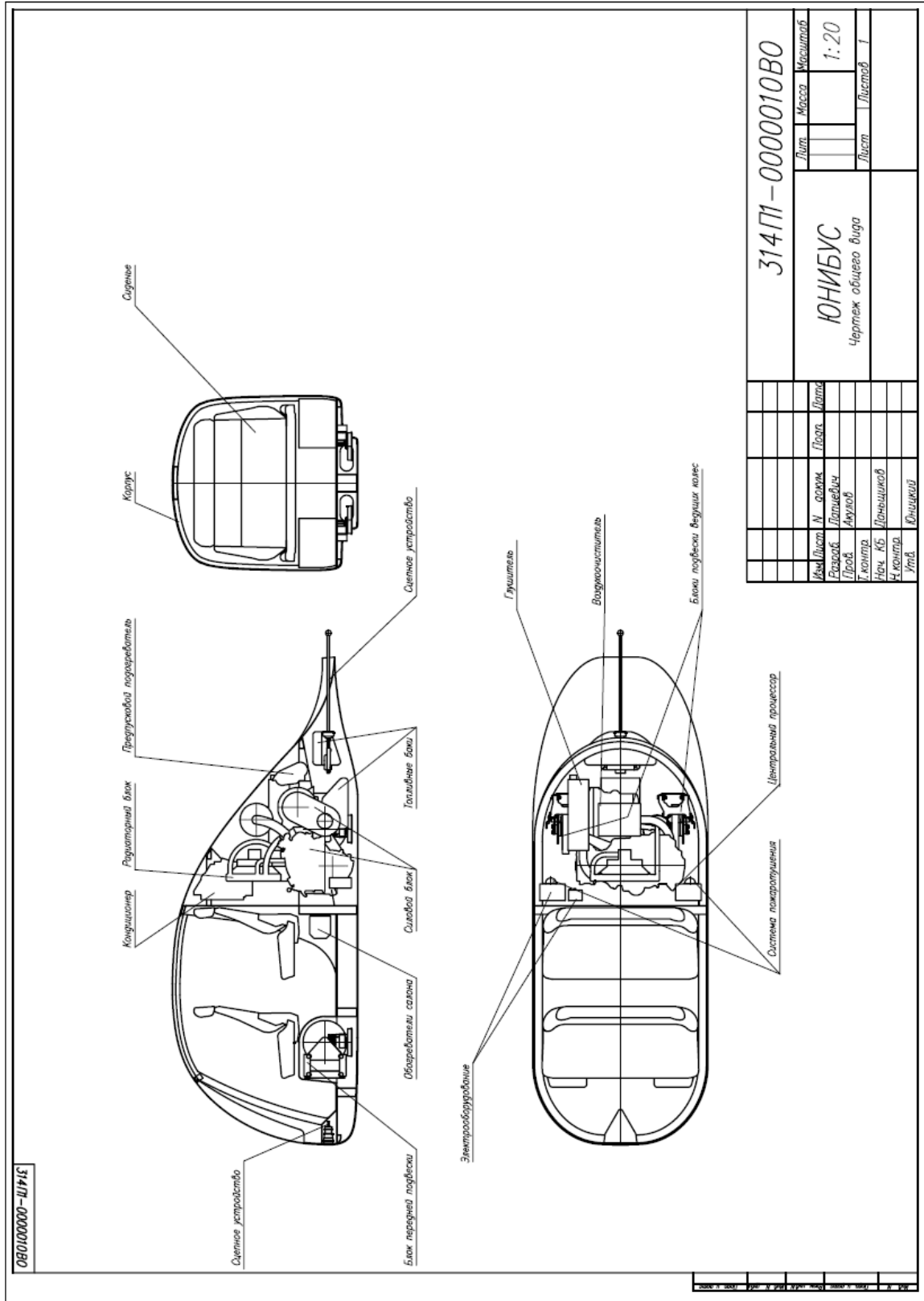


Рис. 5. Чертеж общего вида высокоскоростного пассажирского юнибуса Ю-314П1

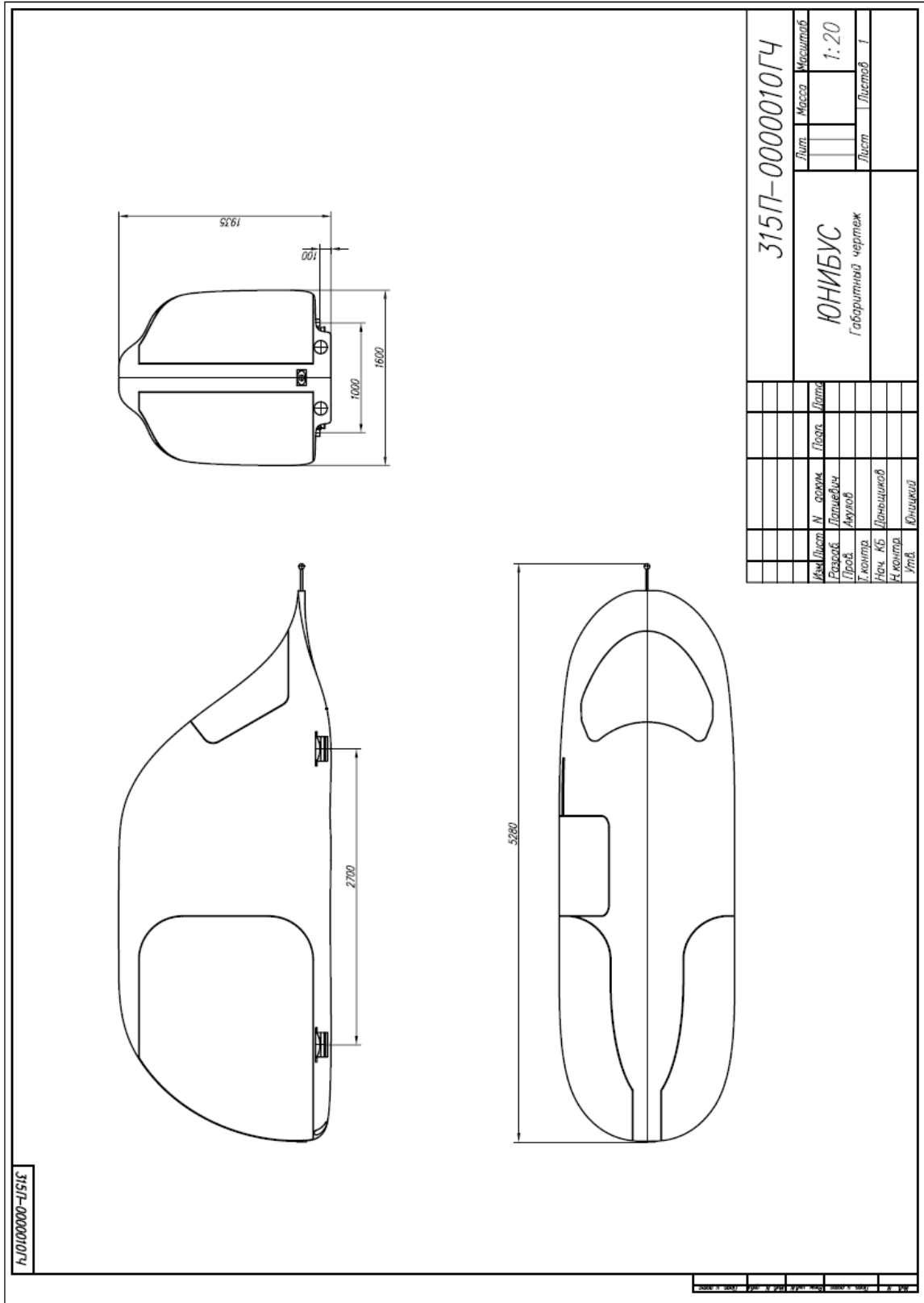


Рис. 6. Габаритный чертеж высокоскоростного пассажирского юнибуса Ю-315П

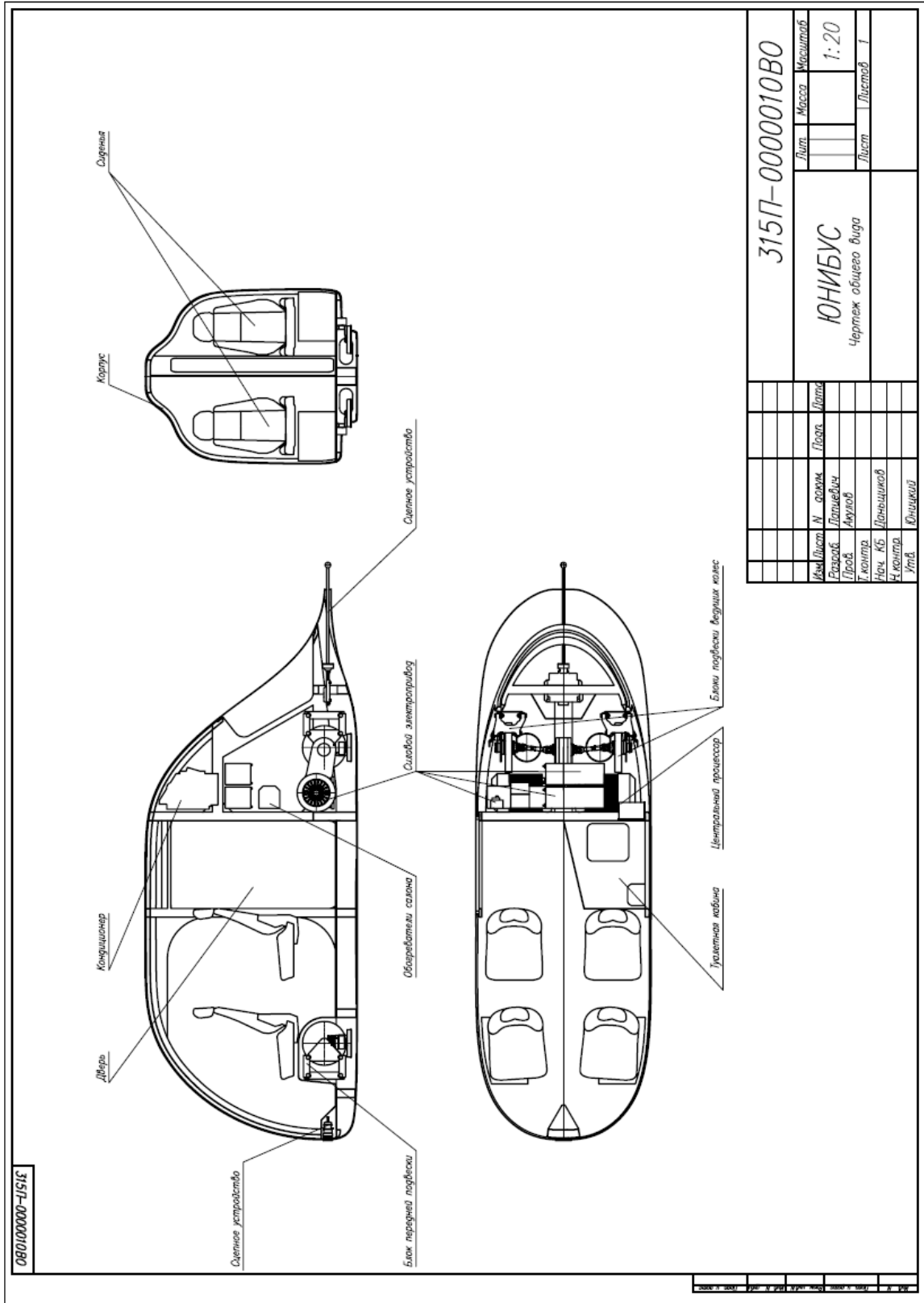


Рис. 7. Чертеж общего вида высокоскоростного пассажирского юнибуса Ю-315П

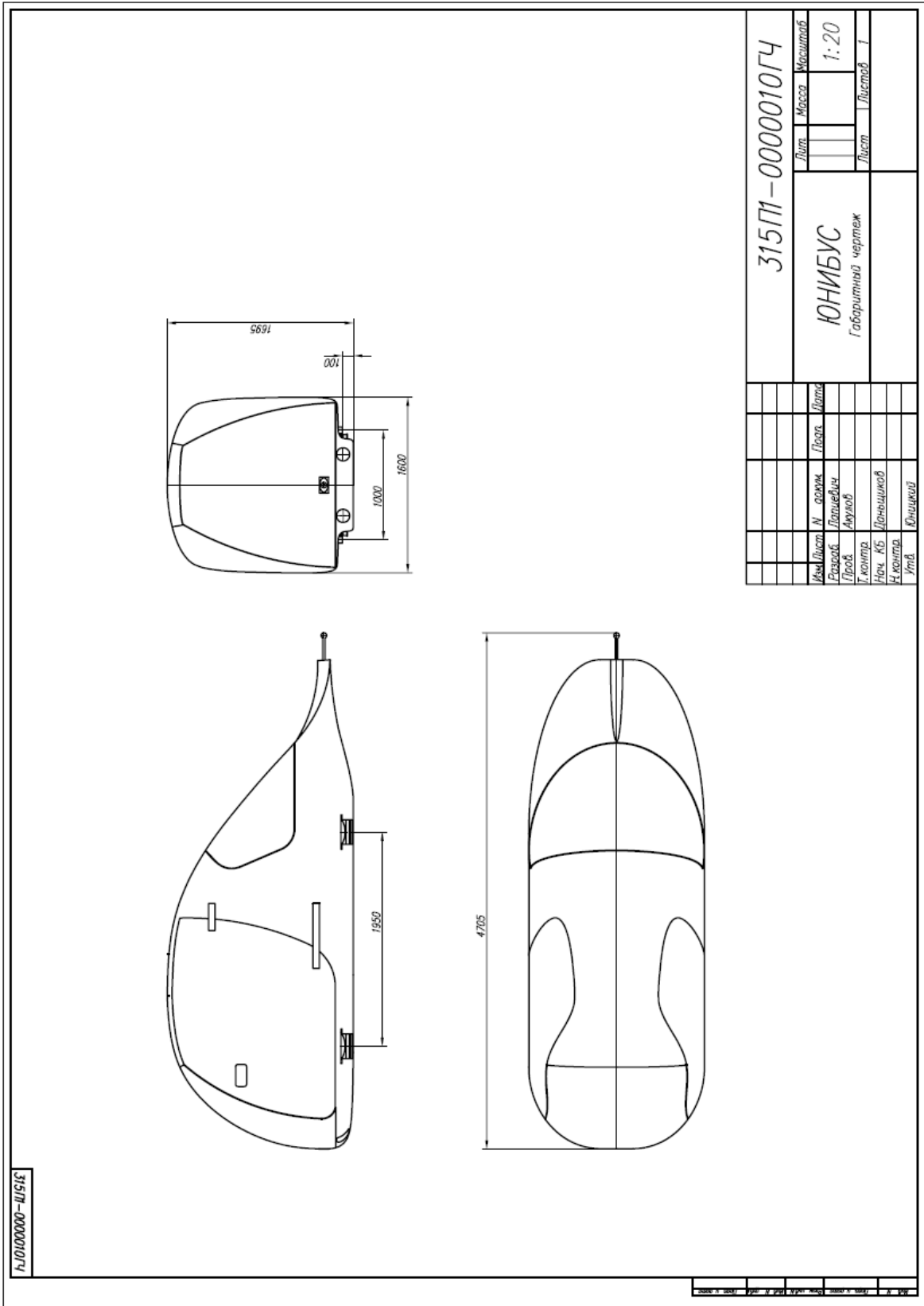


Рис. 8. Габаритный чертеж высокоскоростного пассажирского юнибуса Ю-315П1

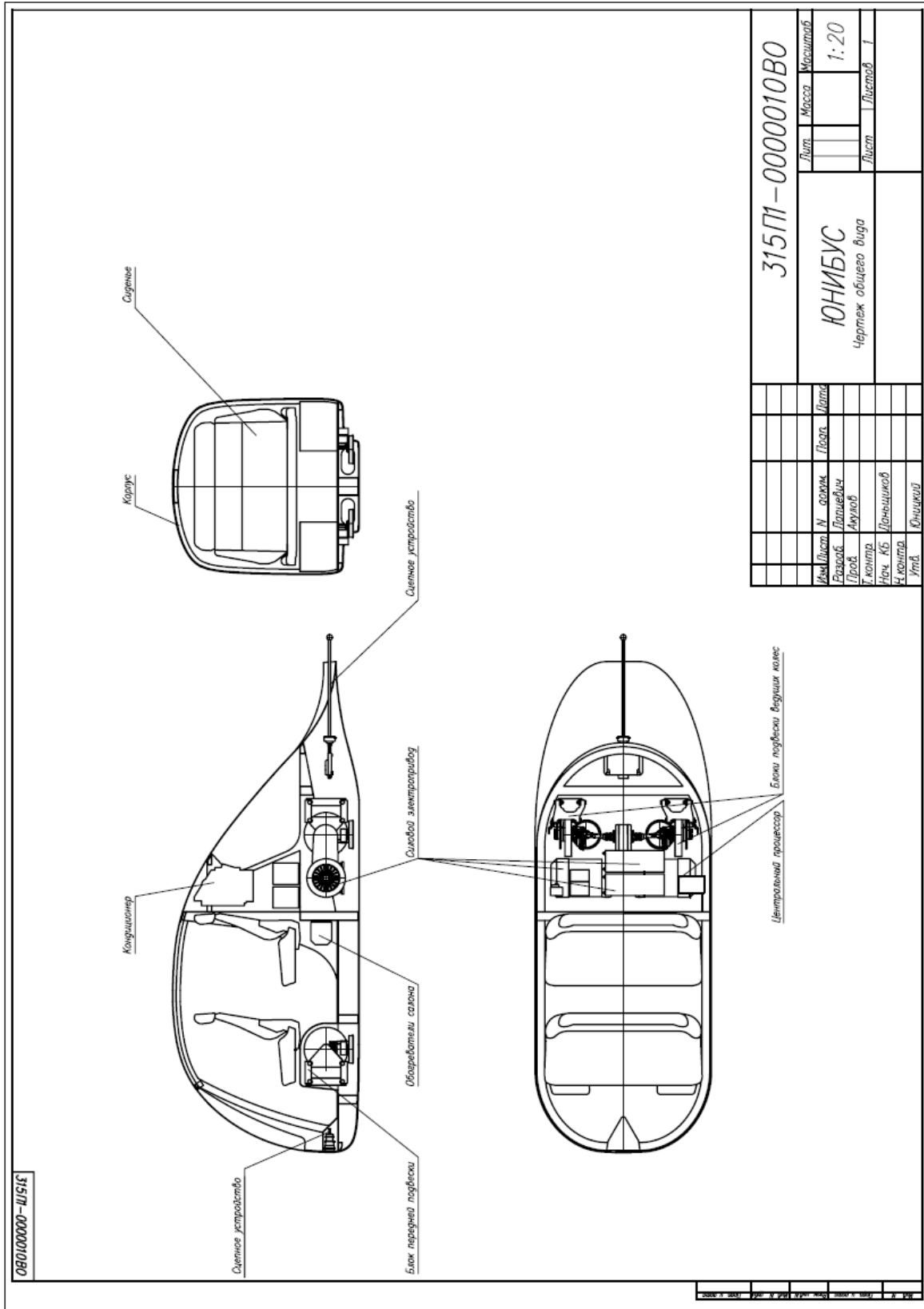


Рис. 9. Чертеж общего вида высокоскоростного пассажирского юнибуса Ю-315П1

Таблица 1

Технические характеристики высокоскоростного пассажирского юнибуса колеей 1000 мм

№	Параметр	Ю-314П			Ю-315П (электро- привод)
		Силовой агрегат			
		AFD-1.9TDI + 5HP19 (дизель)	ГАЗ 5602 + RL608 (дизель)	UM 612CDI + 5HP19 (дизель)	
1	Число пассажирских мест	4			4
2	Снаряженная масса, кг	840	870	900	840
3	Максимальная масса, кг	1300			1300
4	Распределение максимальной массы по осям пар колес, кг: - передняя - задняя	520 780			
5	Габаритные размеры, мм: - длина - ширина - высота - высота над головкой рельса - база - колея - клиренс	5280 1600 1935 1835 2750 1000 минус 100			
6	Точность позиционирования юнибуса на станции, мм	±90			±30
7	Максимальная скорость, км /час	250	270	306	200
8	Время разгона до максимальной скорости, мин	4,3	4,4	4,7	2,6
9	Длина тормозного пути при начальной скорости, равной максимальной, м	4014	4688	6021	2572
10	Максимальное ускорение при разгоне и торможении, м/с ²	0,6			
11	Среднее потребление электроэнергии, кВт×ч/100 км	—			19,5
12	Средний расход дизельного топлива, л/100 км	7,3	10,0	11,0	—

№	Параметр	Ю-314П			Ю-315П (электро- привод)
		Силовой агрегат			
		AFD-1.9TDI + 5HP19 (дизель)	ГАЗ 5602 + RL608 (дизель)	UM 612CDI + 5HP19 (дизель)	
13	Емкость топливных баков, л	60			—
14	Количество дверей	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	Входная дверь, четыре сидения. Освещение салона, туалетной комнаты 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 AFD-1.9TDI дизельный 65 224 150 электронная жидкостная, закрытая с принудительной циркуляцией жидкости	1 ГАЗ 5602 дизельный 81 265 185 электронная жидкостная, закрытая с принудительной циркуляцией жидкости	1 UM 612CDI дизельный 115 235 240 электронная жидкостная, закрытая с принудительной циркуляцией жидкости	2 AIP160S2 электрическ., асинхронный 15 — 103 электронная воздушная, с самовентилиацией
16.4	Силовая передача	согласующий редуктор, коробка передач, раздаточный редуктор с дифференциальным механизмом, карданные валы			раздаточный редуктор, карданные валы

№	Параметр	Ю-314П			Ю-315П (электро- привод)
		Силовой агрегат			
		AFD-1.9TDI + 5HP19 (дизель)	ГАЗ 5602 + RL608 (дизель)	UM 612CDI + 5HP19 (дизель)	
16.5	Коробка передач: - модель - тип - количество передач переднего хода - масса, кг	5HP19 автоматическ. 5 79	RL608 автоматическ. 6 80	5HP19 автоматическ. 5 79	—
16.6	Ходовая система: - подвеска колес - 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)			
16.11	Электрооборудование	АКБ, генератор 12В, двухпроводное			внешняя сеть, 600 В постоян- ного тока
16.12	Силовой электропривод	—			трехфазные асинхрон- ные элект- родвигатели, тяговые пре- образователи
16.13	Система отопления	от системы охлаждения двигателя, подогреватель			отопитель электрическ.
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			

№	Параметр	Ю-314П			Ю-315П (электро- привод)
		Силовой агрегат			
		AFD-1.9TDI + 5HP19 (дизель)	ГАЗ 5602 + RL608 (дизель)	UM 612CDI + 5HP19 (дизель)	
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 колеей 1000 мм конструктивно разделен на три отсека (компоновка варианта Ю-315П показана на рис. 10 и рис. 11):

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

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.

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

- в Ю-314П — 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-315П — тяговые электродвигатели, заблокированные с раздаточным редуктором, карданные валы, блоки подвески ведущих колес (см. рис. 12), центральный процессор, комплект тягового электрооборудования, отопитель, кондиционер, система пожаротушения.

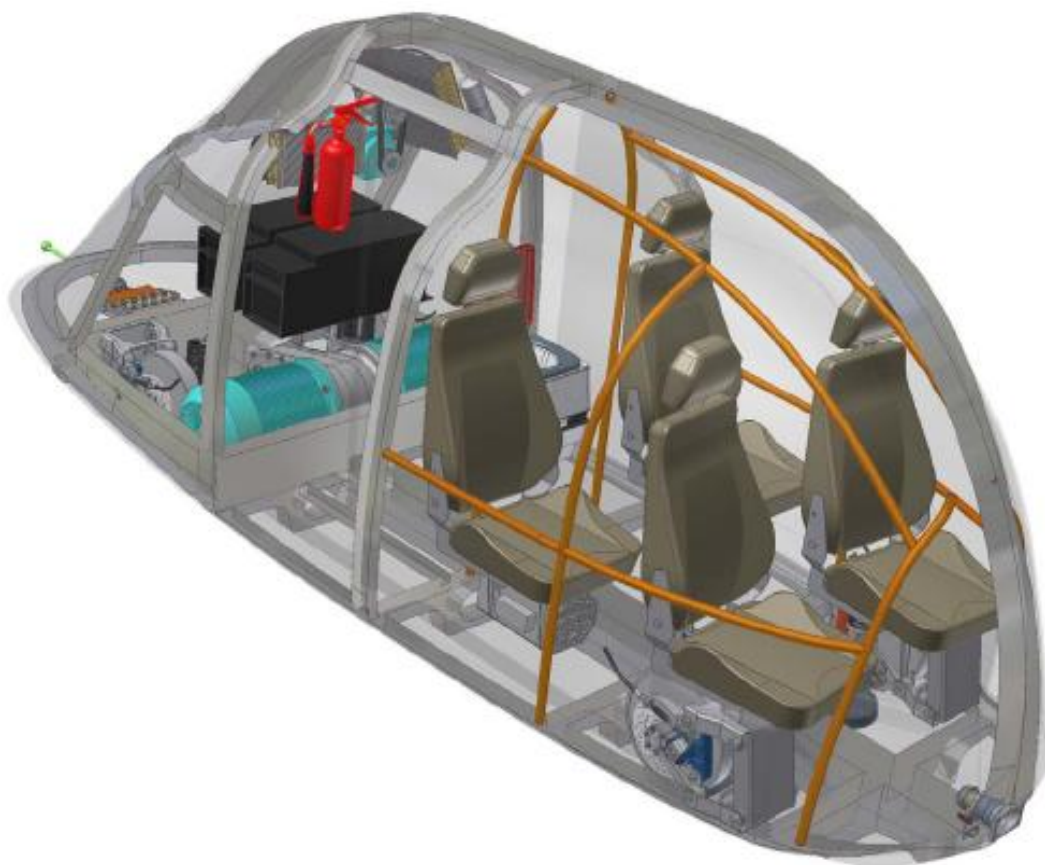


Рис. 10. Компоновка юнибуса Ю-315П (вид на носовую часть)

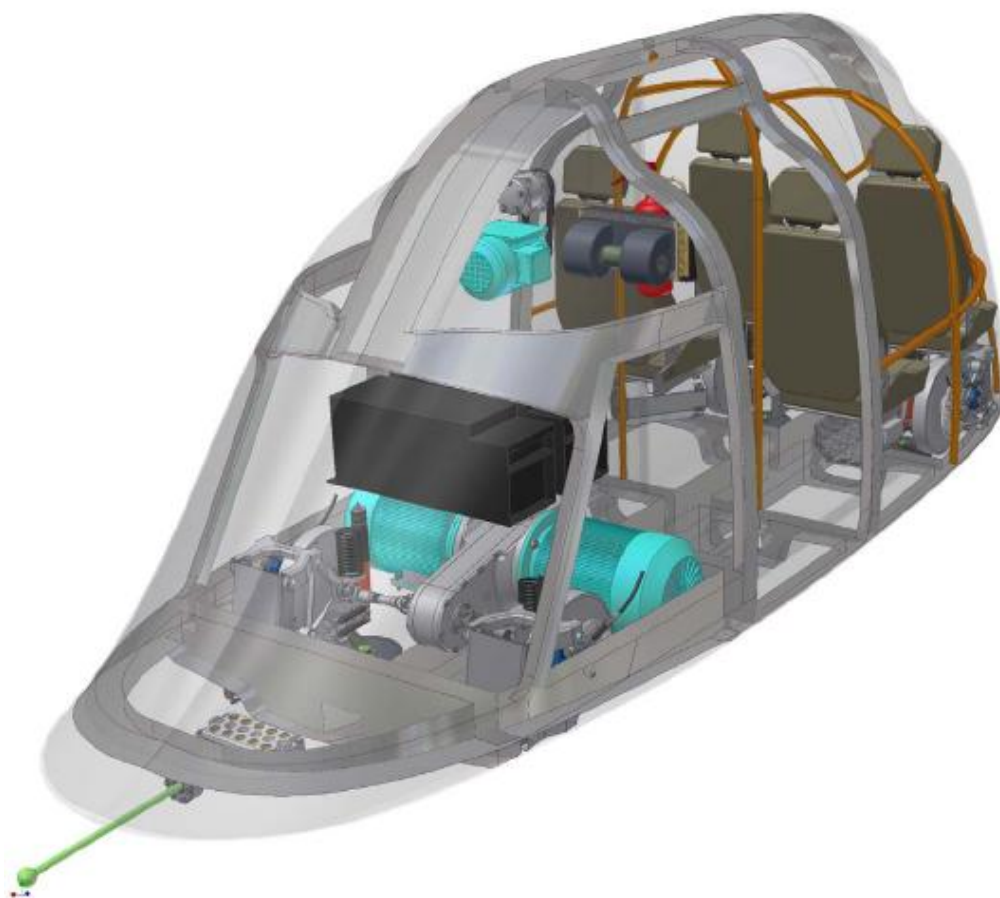


Рис. 11. Компоновка юнибуса Ю-315П (вид на корму)

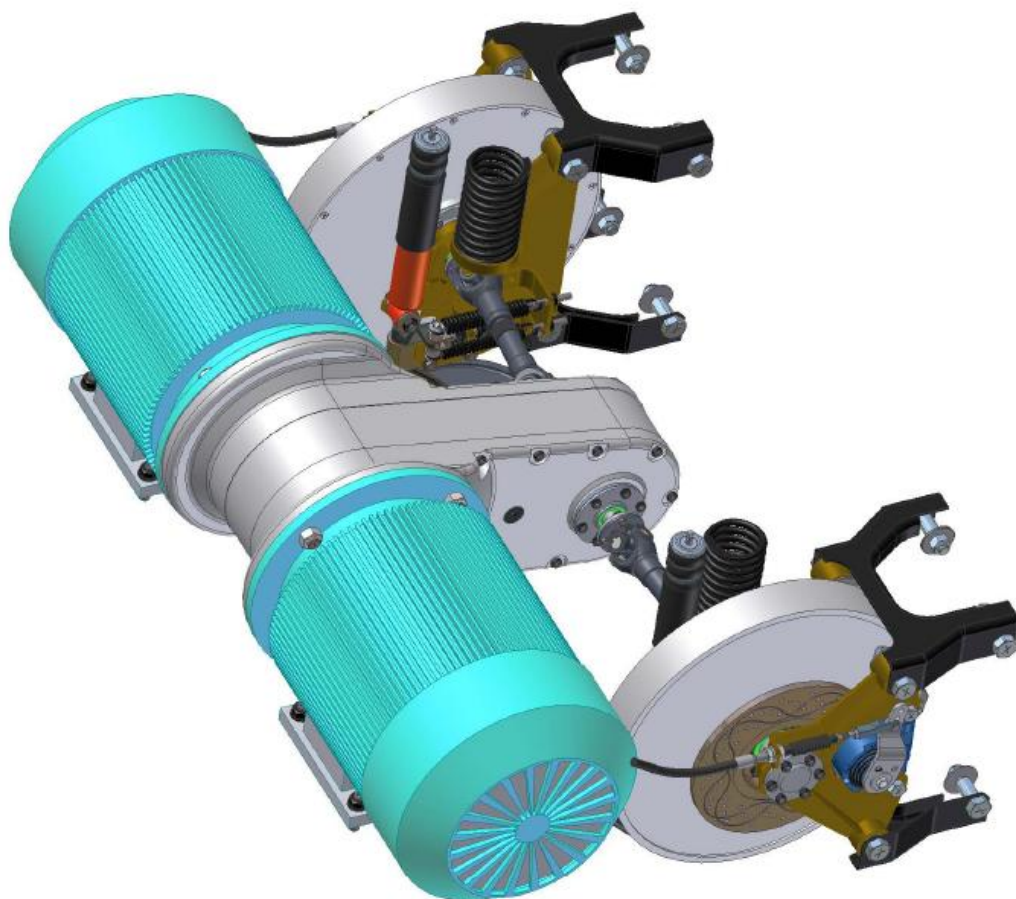


Рис. 12. Тяговые электродвигатели, сблокированные с раздаточным редуктором, карданные валы, блоки подвески ведущих колес юнибуса Ю-315П

4.2. Корпус

Корпус юнибуса (рис. 13) каркасный, несущий, металлический, с термошумо-изоляцией, однодверный, с окнами, с наружной и внутренней облицовкой.



Рис. 13. Корпус юнибуса

Корпус состоит из сварного каркаса, 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 хребтовой продольной балки, поперечных балок, окантовки и днища.

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

Все детали каркаса изготовлены из высокопрочных алюминиевых сплавов.

Остекление состоит из правого и левого окон, расположенных в передней части корпуса. 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 термошумоизоляции пассажирского салона, туалетной комнаты и силового отсека применён негорючий пенопласт ПХВ.

Важнейшей отличительной особенностью высокоскоростного пассажирского междугородного юнибуса колеей 1000 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 одного и того же двигателя, т.е. без изменения мощности привода — 115 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	306	196	36
Время на маршруте, мин	51,5	78,5	52
Расход топлива на маршруте, л	27,6	42,1	52,5

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-314П или Ю-315П коэффициент аэродинамического сопротивления был не 0,1, а 0,38, как у легкового автомобиля, то мощность его аэродинамического сопротивления при скорости 306 км/час составила бы 322 кВт. Юнибусу потребовался бы привод мощностью около 380 кВт, который при 20-ти часовой работе в сутки за срок службы юнибуса (20 лет) пережег бы лишнего топлива в количестве около 9 тысяч тонн (на один юнибус) стоимостью более 7 миллионов долларов. При использовании даже небольшого парка юнибусов

на трассе, например, в количестве 100 шт., аналогичная экономия топлива высокоскоростной транспортной системой колеёй 1000 мм составит почти 900 тыс. тонн стоимостью около 700 миллионов долларов (это превышает стоимость всей высокоскоростной транспортной системы СТЮ «Ханты-Мансийск — Сургут»: высокоскоростной транспортной линии второго уровня колеёй 1000 мм, станций, вокзалов, депо и всего подвижного состава).

4.3. Силовая установка

В качестве силовой установки на юнибусе Ю-314П используется дизельный двигатель для привода на задние колеса. При разработке аванпроекта рассмотрены три возможных варианта оснащения юнибуса дизельными двигателями: AFD-1.9TDI (см. рис. 15), ГАЗ 5602 (см. рис. 16) и UM 612CDI (см. рис. 17), основные технические параметры которых приведены в таблице 1.

В качестве силовой установки на юнибусе Ю-315П используются два асинхронных трехфазных электродвигателя АИР160S2 (см. рис. 18), по одному двигателю на каждое заднее колесо.



Рис. 15. Дизельный двигатель AFD-1.9TDI мощностью 65 кВт

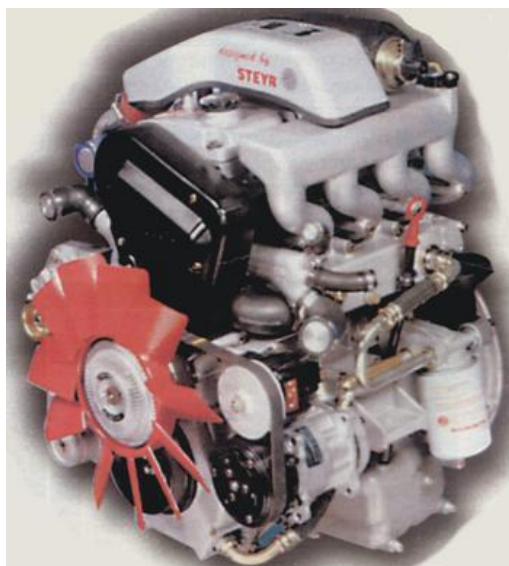


Рис. 16. Дизельный двигатель ГАЗ 5602 (лицензионный аналог STEYR M14TCA) мощностью 81 кВт

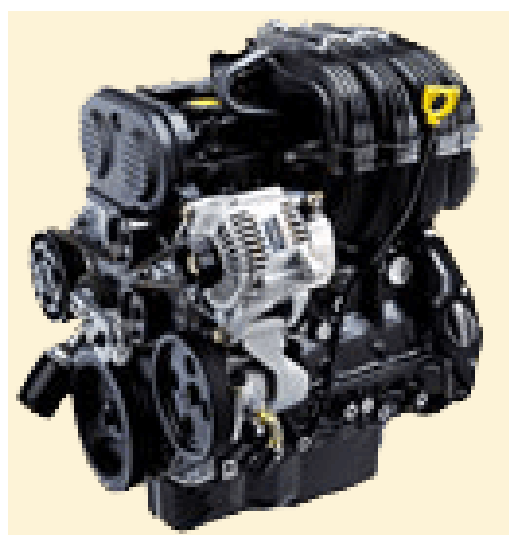


Рис. 17. Дизельный двигатель UM 612CDI мощностью 115 кВт

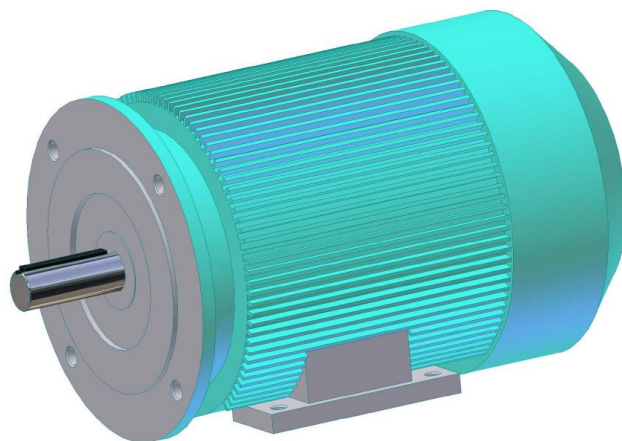


Рис. 18. Тяговый электрический асинхронный двигатель юнибуса Ю-315П мощностью 15 кВт

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 (кроме нормы массовой доли серы) дизельному топливу Евро-3, 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-1.9TDI и UM 612CDI пригодны для работы на биодизельном топливе.

4.4. Автоматическая коробка передач (АКП)

При разработке аванпроекта рассмотрены два возможных варианта оснащения юнибуса АКП: 5HP19 (см. рис. 19) и RL608 (см. рис. 20), основные технические параметры которых приведены в таблице 1.

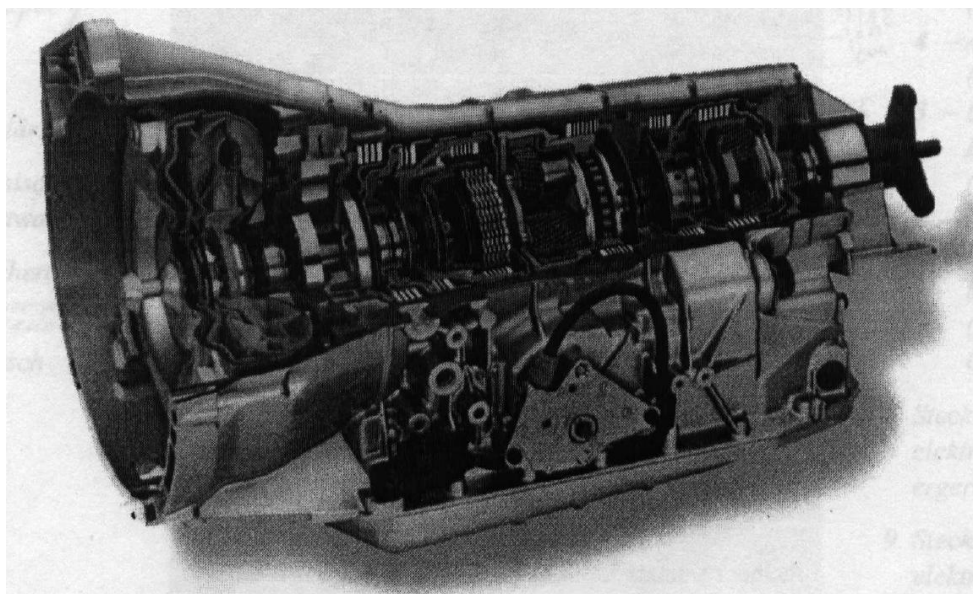


Рис. 19. Автоматическая коробка передач 5HP19

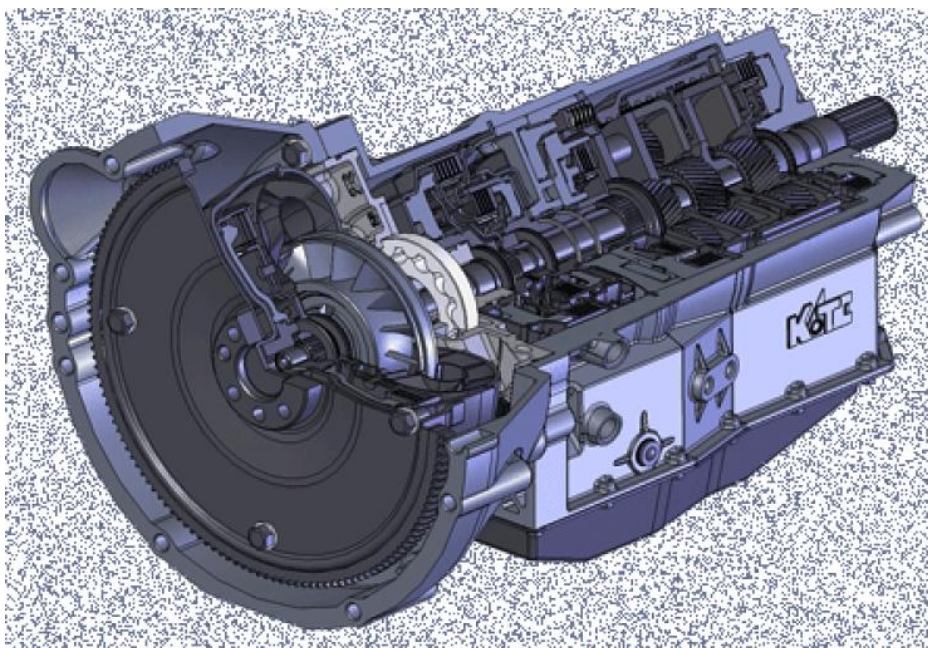


Рис.20. Автоматическая коробка передач RL608

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

4.5. Ходовая система

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

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

Шарниры рычагов — резинометаллические. Шарниры предназначены для обеспечения подвижной упругой связи между опорным блоком и корпусом юнибуса.

Передняя подвеска показана на рис. 21. Элементы задней подвески изображены на рис. 12.

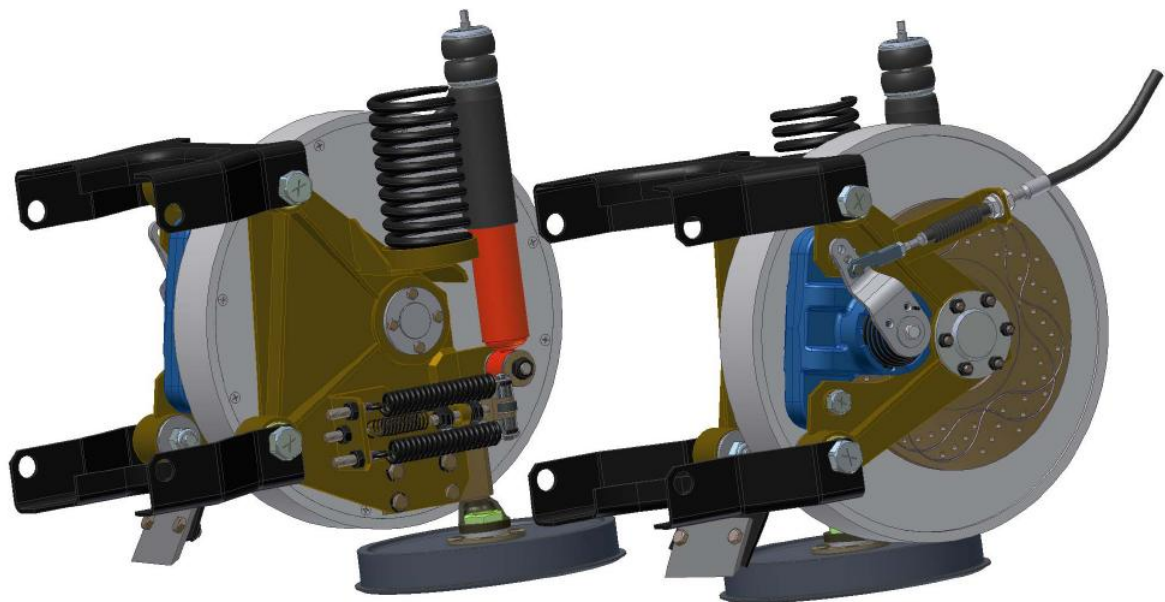


Рис. 21. Передняя подвеска

Колесо представляет собой стальной высокопрочный обод, закрепленный на диске из высокопрочного алюминиевого сплава. Для снижения аэродинамических потерь при высоких скоростях 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. 22). Ролики снабжены страховочными буртами, заходящими за низ уширения в верхней части рельса. 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 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.

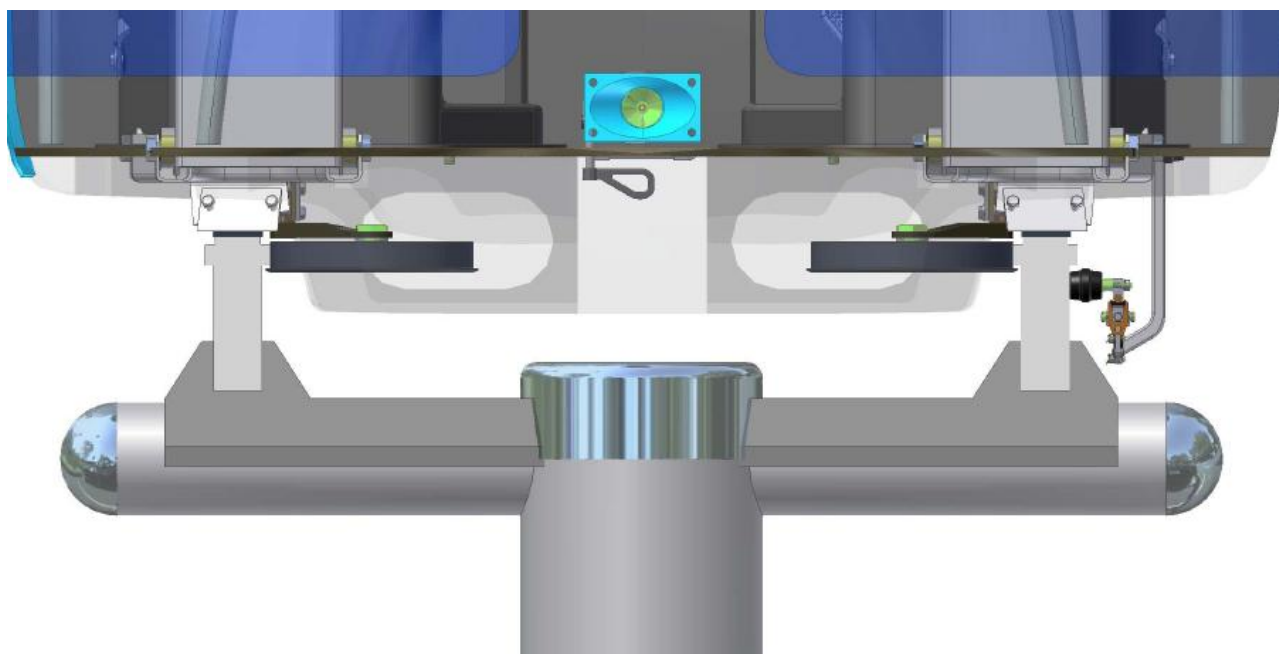


Рис. 22. Схема размещения направляющего и противосходного устройств юнибуса Ю-315ПЭ (справа показан токосъем)

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 306 км/час коэффициент сопротивления качению резинового колеса может возрасти в несколько раз, однако в технической литературе отсутствуют эти данные). В таблице 3 проведен 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	306	286	6,5
Время на маршруте, мин	51,5	55,0	6,8
Расход топлива, л	27,6	29,5	6,9

Применение стальных колес с цилиндрическим опиранием и боковыми упорными роликами в сравнении с резиновыми колесами даст экономию топлива за срок службы юнибуса (20 лет) при 20-ти часовой работе в сутки примерно 280 тонн (на один юнибус) стоимостью около 200 тысяч долларов. При использовании на трассе даже небольшого парка юнибусов, например, в количестве 100 шт., аналогичная экономия топлива высокоскоростной транспортной системой колеей 1000 мм составит 28 тысяч тонн стоимостью около 20 миллионов долларов.

4.6. Тормозная система

Тормозная система высокоскоростного юнибуса Ю-314П включает остановочную гидравлическую двухконтурную систему автомобильного типа, стояночную и запасную (на основе стояночной).

Колесные тормозные механизмы — дисковые, с механическим приводом.

Тормозная система юнибуса Ю-315П состоит из электродинамической тормозной системы, стояночной, запасной (на основе стояночной) и аварийной тормозных систем.

Стояночная тормозная система юнибуса Ю-314П состоит из электромеханизмов (см. рис. 23). Связь между задними тормозными суппортами (см. рис. 24) и электромеханизмами обеспечивается тросами дистанционного действия.

Стояночная тормозная система юнибуса Ю-315П состоит из 2-х электромеханизмов и 4-х механических суппортов (см. рис. 25). Связь между суппортами и электромеханизмами обеспечивается тросами дистанционного действия.

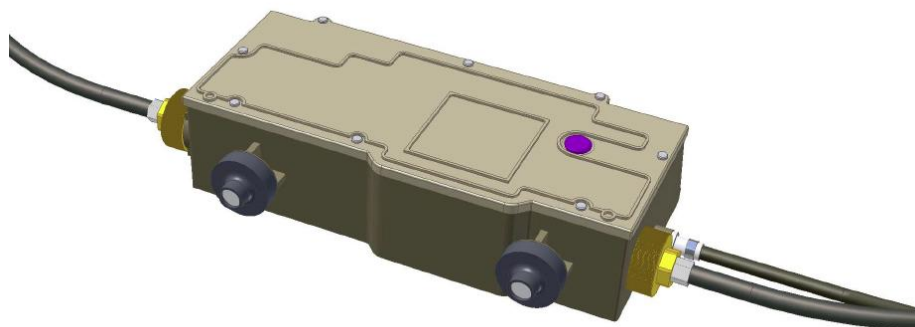


Рис. 23. Электромеханизм привода тормозов



Рис. 24. Задний тормозной суппорт с диском юнибуса Ю-314П



Рис. 25. Механический суппорт стояночной тормозной системы юнибуса Ю-315П

4.7. Электрооборудование

4.7.1. Электрооборудование юнибуса Ю-315П

В качестве силового привода юнибуса Ю-315П 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. 26) 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 токосъёмного 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 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.

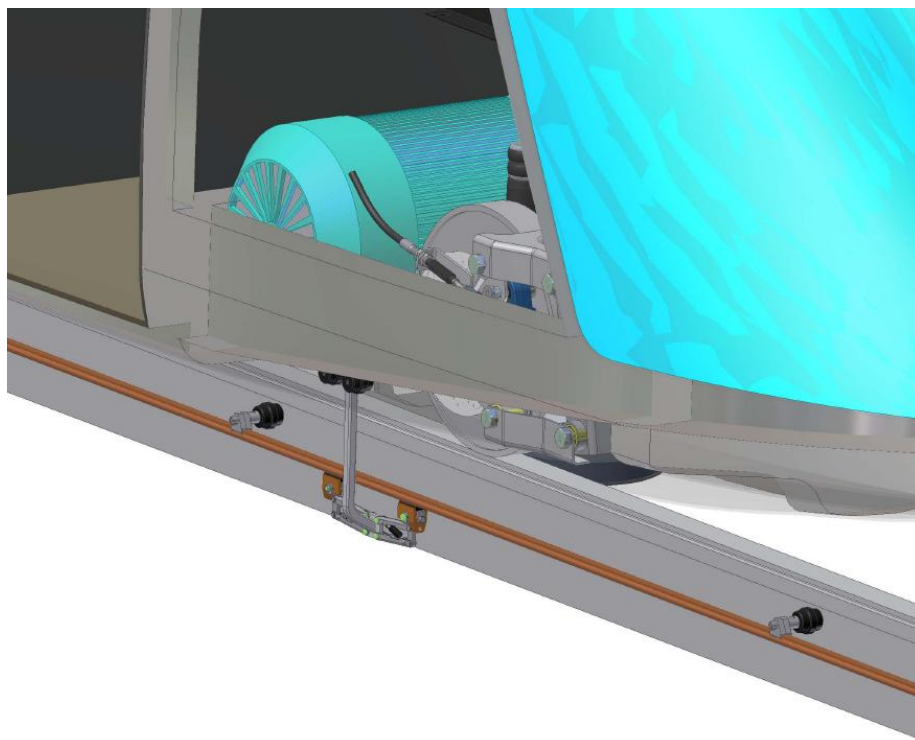


Рис. 26. Токосъемное устройство юнибуса Ю-315П

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. 27 изображена функциональная схема системы управления приводом юнибуса Ю-315П.

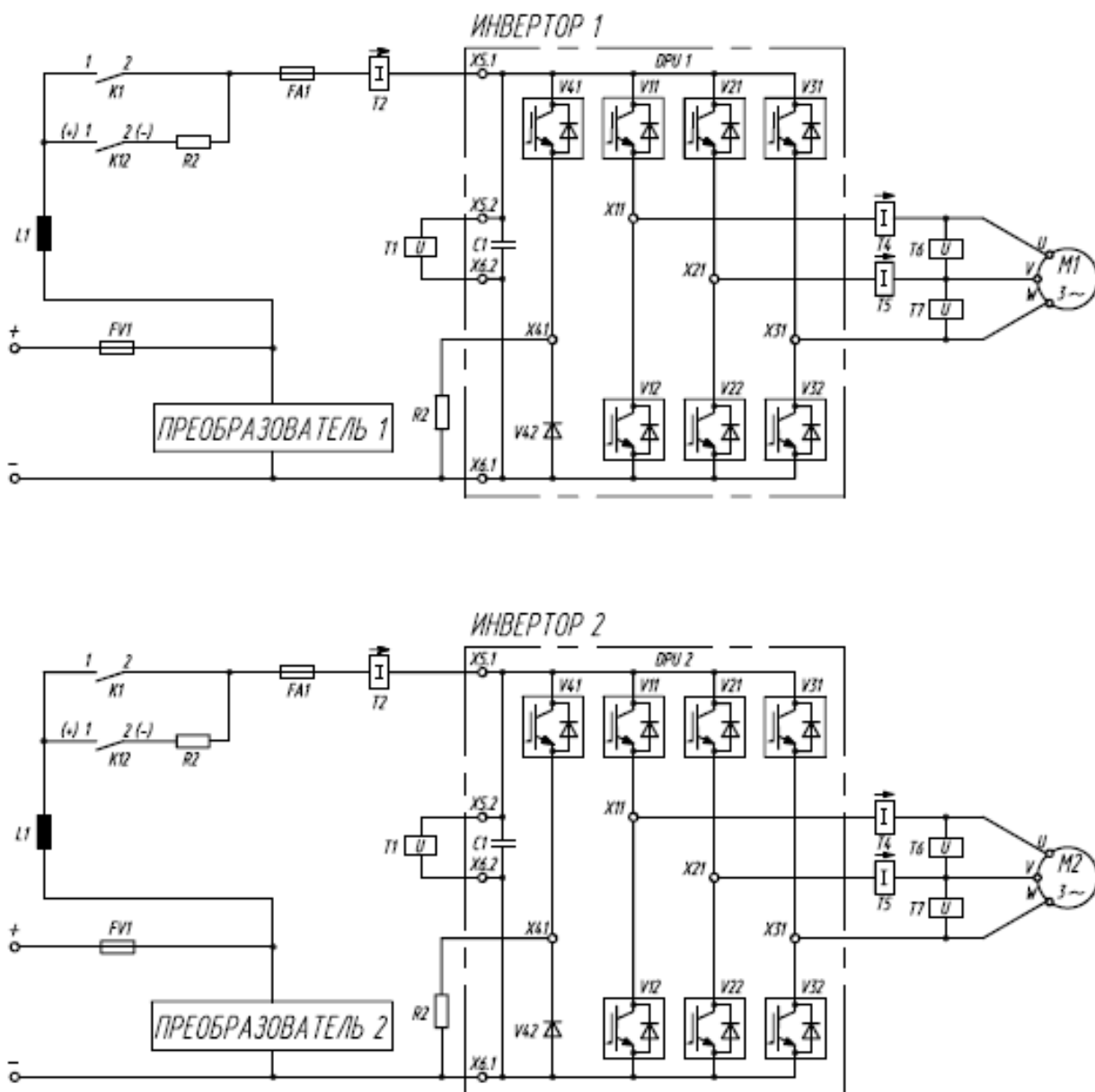


Рис. 27. Функциональная схема системы управления приводом Ю-315П.

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 изображена на рис. 28.

4.7.2. Электрооборудование юнибуса Ю-314П

В качестве силового привода высокоскоростного пассажирского юнибуса Ю-314П используется дизельный двигатель. Запуск двигателя осуществляется от аккумуляторной батареи.

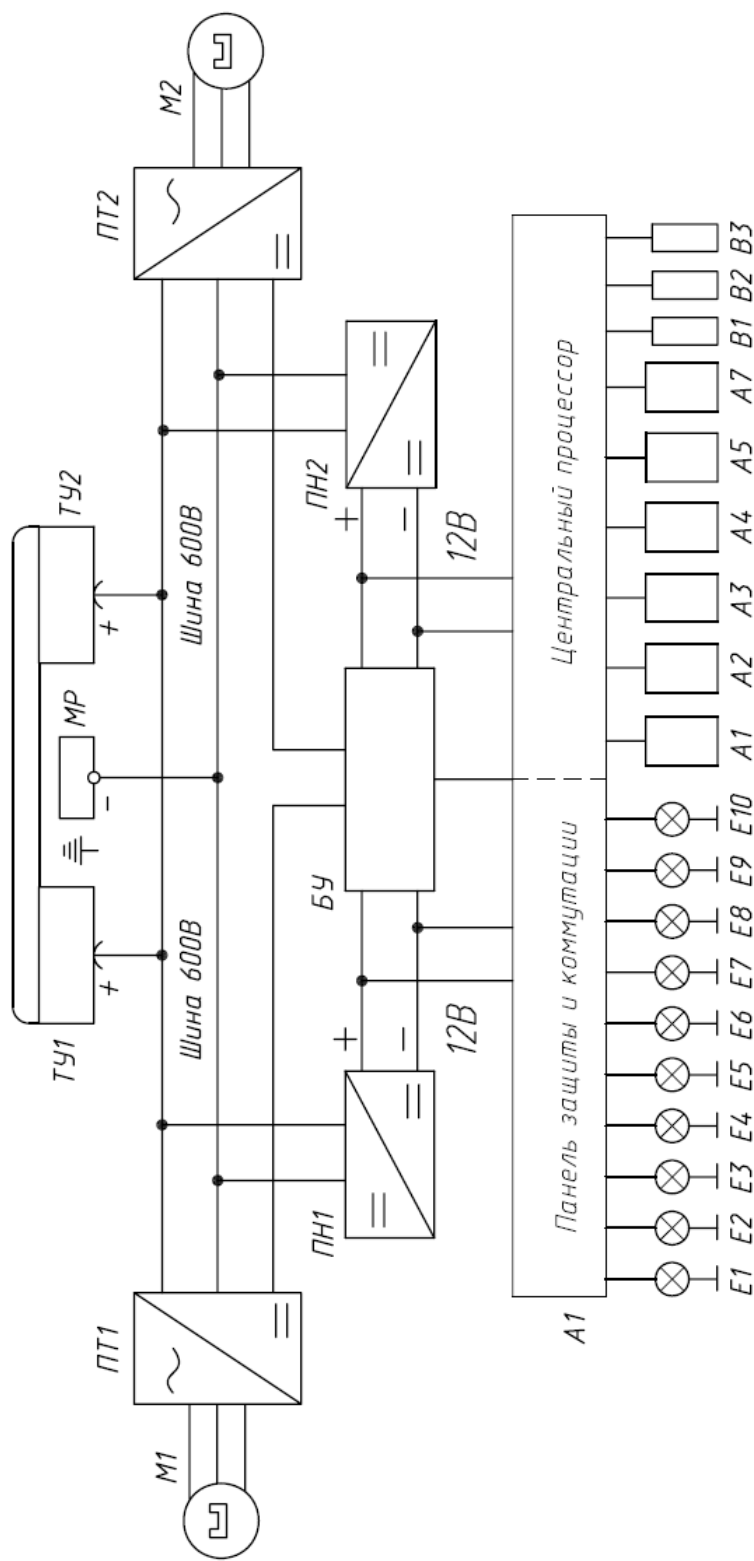
Источниками тока бортовой сети являются генератор и аккумуляторная батарея. Напряжение бортовой сети 12В. Бортовая сеть выполнена по двухпроводной схеме с использованием экранирующих оплётки и специальных разъёмных соединений.

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.

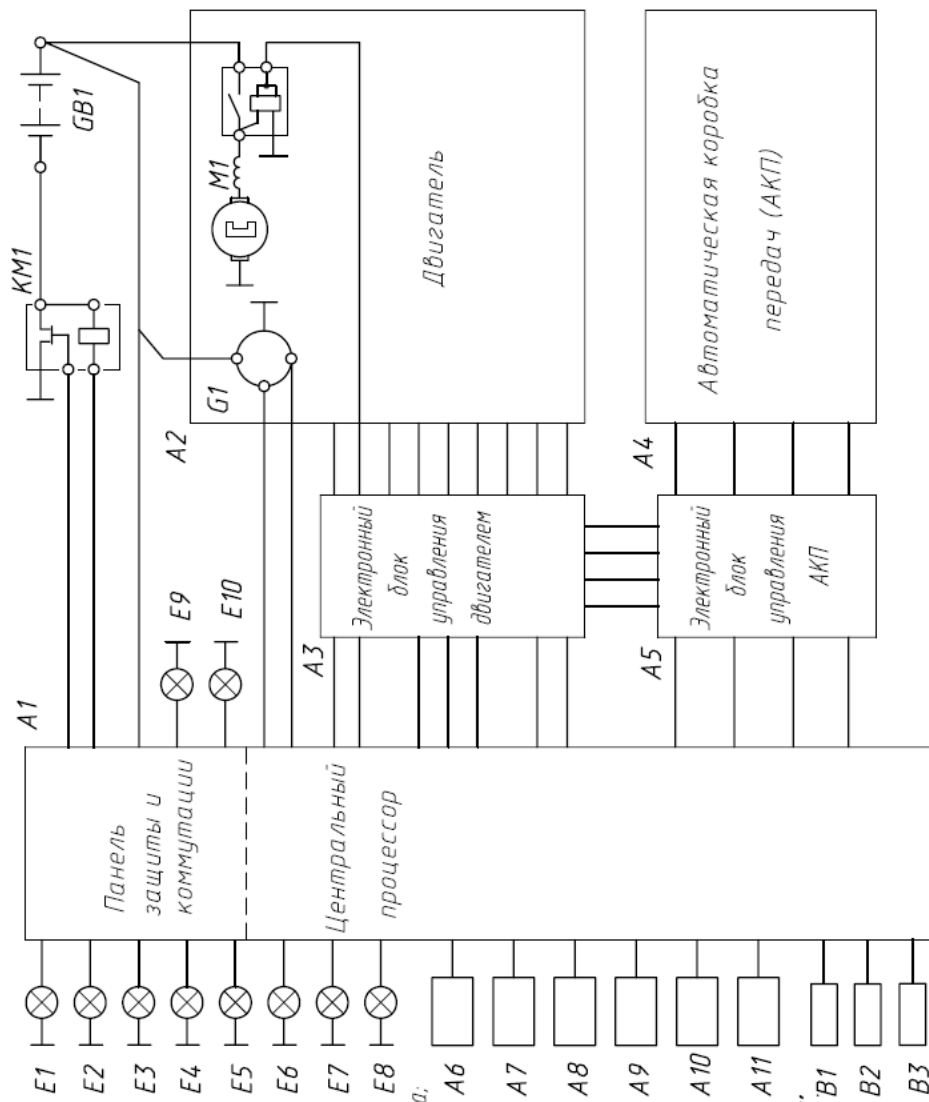
Центральный процессор осуществляет управление силовым приводом и всех систем юнибуса, а также осуществляет связь между юнибусом и диспетчерским пунктом.

Функциональная схема юнибуса Ю-314П показана на рис. 29.



- А1 - центральный процессор с панелью защиты и коммутации;
 А2 - бортовой системный контроллер АСУ;
 А3 - система стеклоочистки, стеклоомыва; А4 - система пожаротушения;
 А5 - телевизионная система обзора;
 А6 - информационная система;
 А7 - система кондиционирования;
- БУ - блок управления;
 В1...В3 - датчики остановки;
 Е1...Е2 - фары дальнего света;
 Е3...Е6 - габаритные огни;
 Е7...Е8 - светильники салона;
 Е9...Е10 - сигналы торможения;
- М1...М2 - электродвигатели;
 МР - минусовой рельс;
 ПН1...ПН2 - статический преобразователь;
 ПТ1...ПТ2 - преобразователь тяговый;
 ТУ1...ТУ2 - токосъемное устройство (трос).

Рис. 28. Функциональная схема тrolleyбуса Ю-315П



- 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; E8;
- A7 – система стеклоочистки, стеклоподъемы;
- 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. 29. Функциональная схема юнибуса Ю-314П

4.8. Автоматизированная система управления движением

В основу автоматизированной системы управления движением высокоскоростных пассажирских рельсовых автомобилей Ю-314П и Ю-315П 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 3.

Таблица 3

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 КЗ-232, что существенно расширяет функциональные возможности, в т.ч. позволяет обмениваться файлами данных с диспетчерской станцией на уровне ПЭВМ, что особенно удобно при проведении обслуживания юнибуса. По этому же стыку обеспечивается перезапись программы функционирования БСК.

Основные параметры БСК приведены в таблице 4.

Основные параметры БСК

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

- Ю-314П2 — четырехместный юнибус повышенной комфортности, оснащенный силовым агрегатом «Дизельный двигатель — автоматическая

коробка передач» (габаритный чертеж — см. рис. 30; чертеж общего вида — см. рис. 31);

- Ю-315П2 — четырехместный юнибус повышенной комфортности, оснащенный электрическим приводом (габаритный чертеж — см. рис. 32, чертеж общего вида — см. рис. 33).

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.

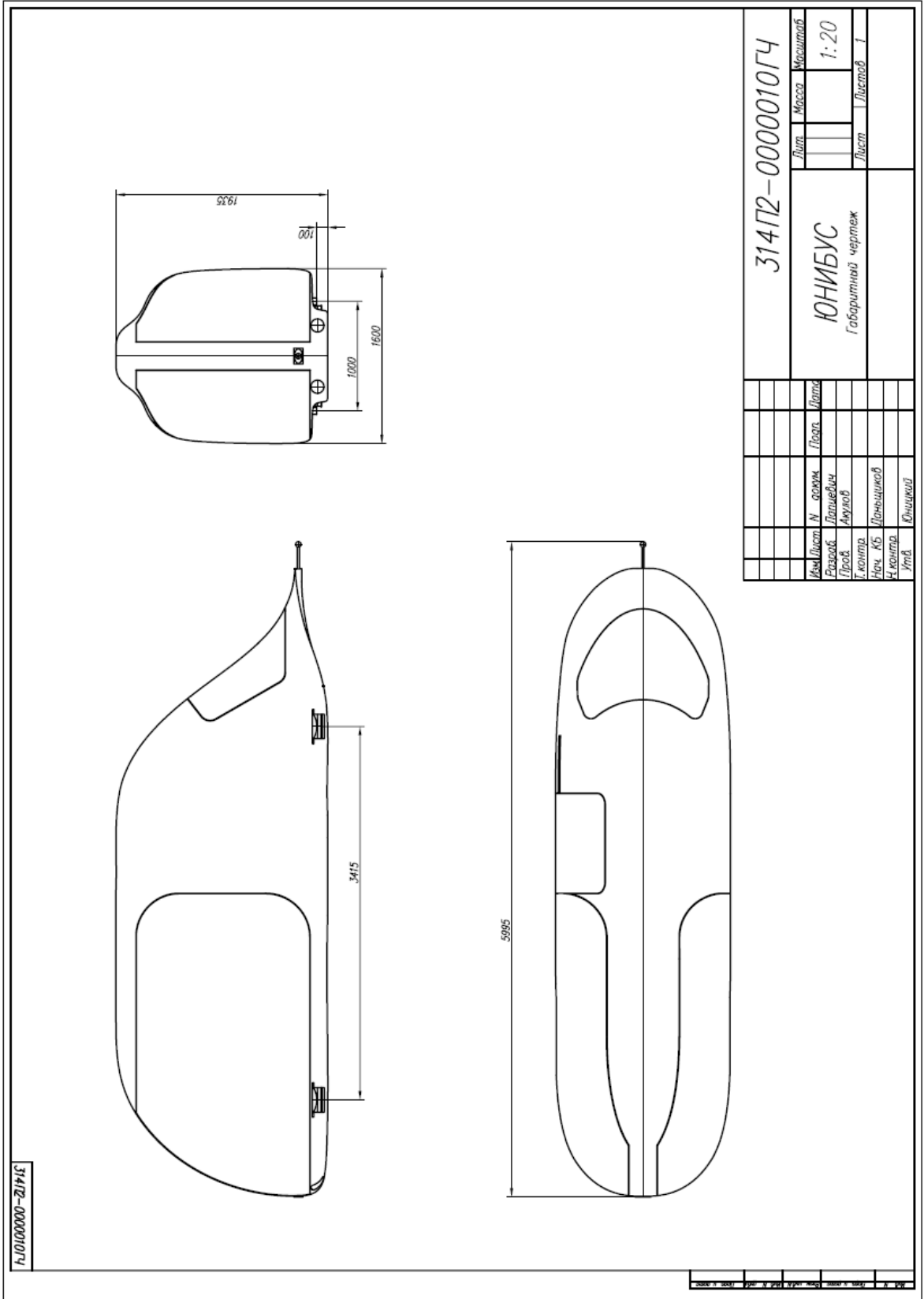


Рис. 30. Габаритный чертеж высокоскоростного пассажирского юнибуса Ю-314П2

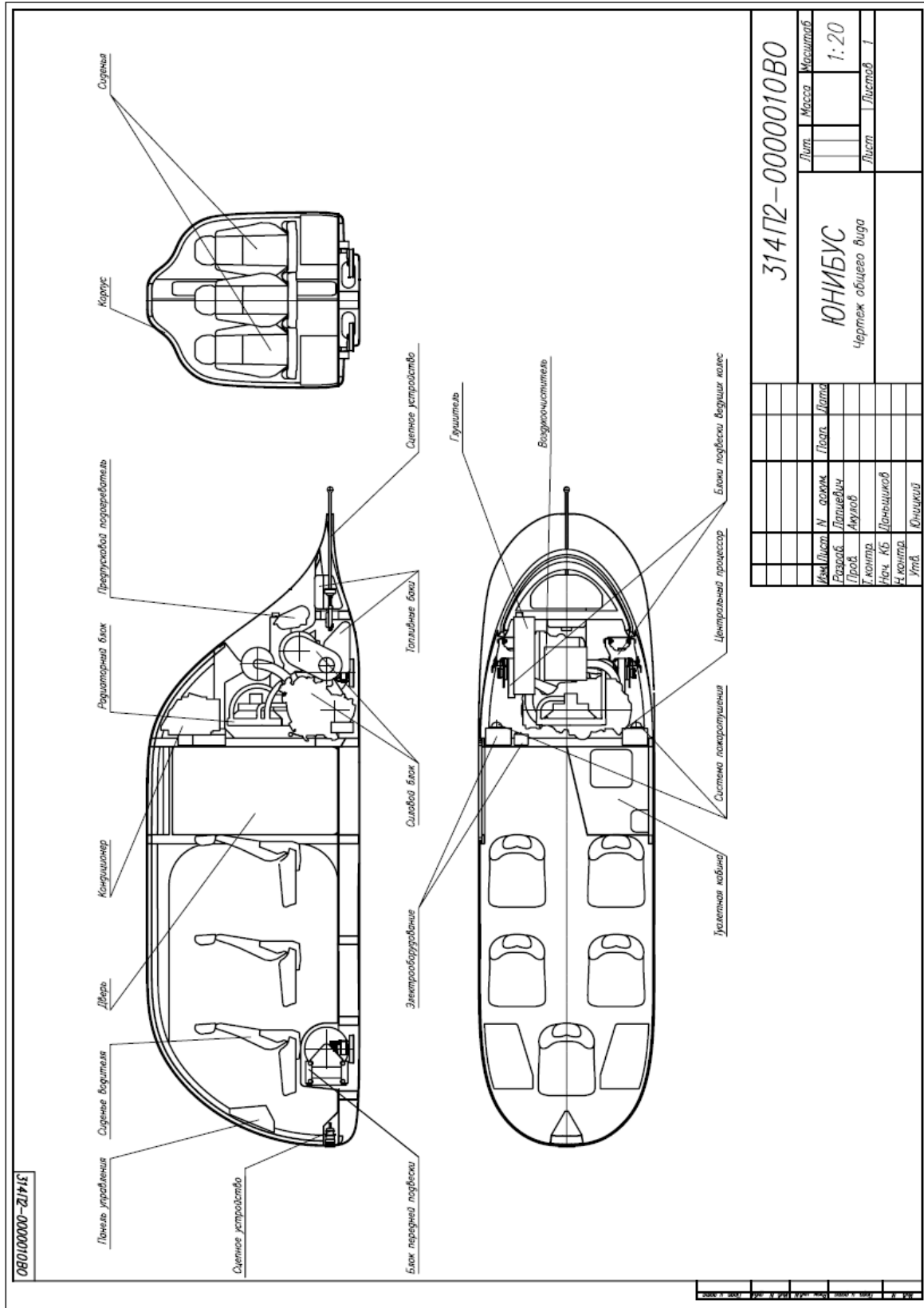


Рис. 31. Чертеж общего вида высокоскоростного пассажирского юнибуса Ю-314П2

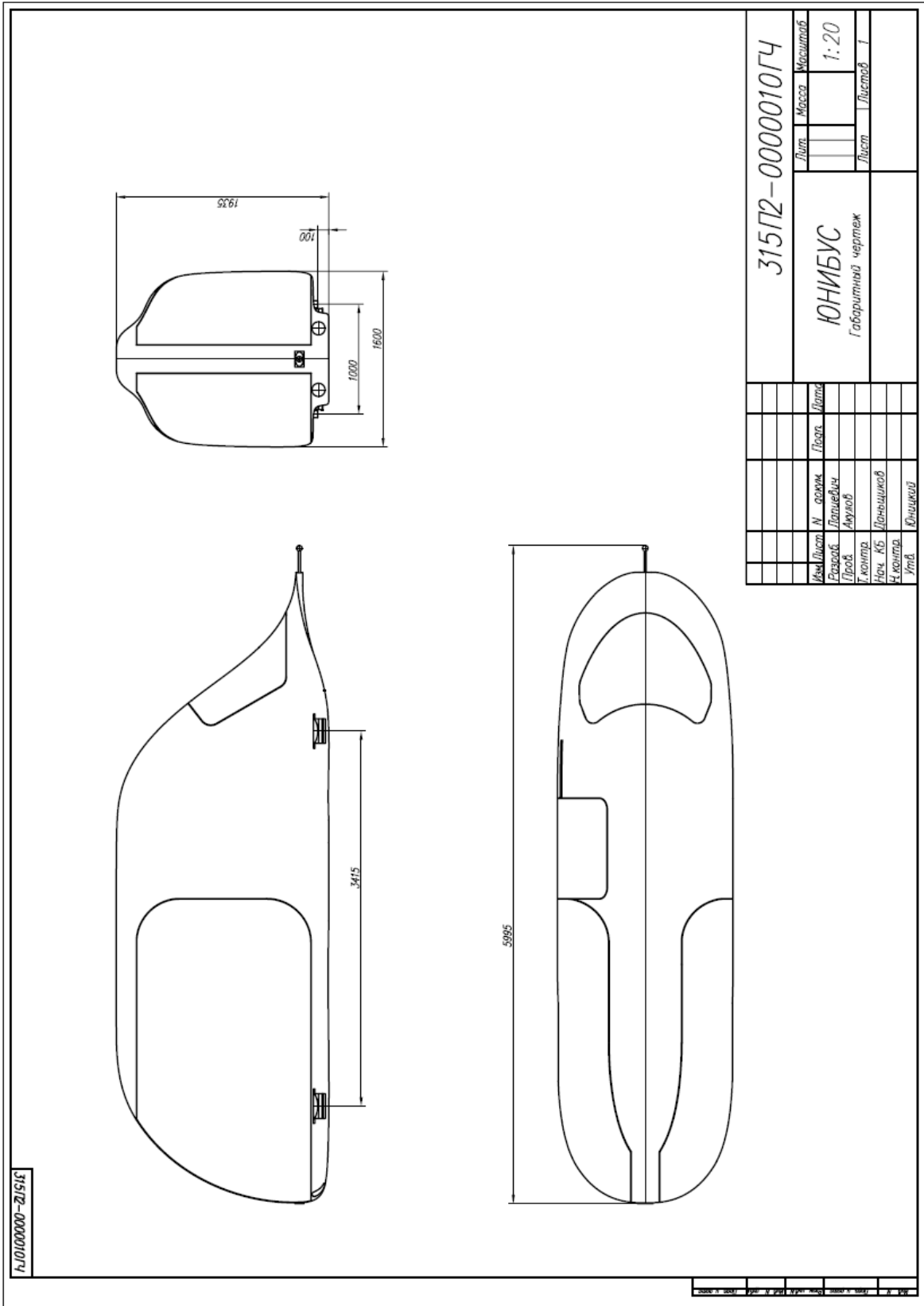
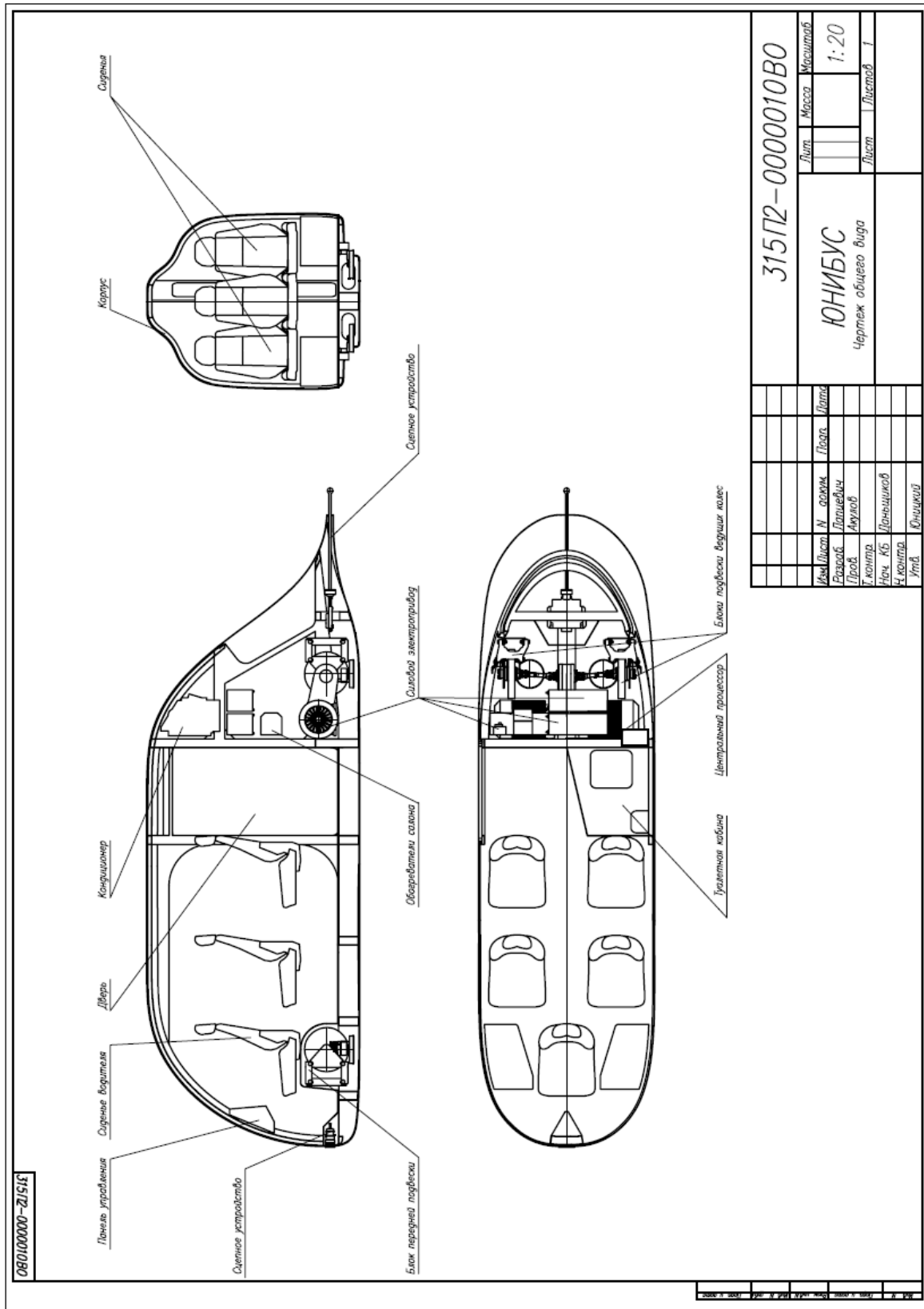


Рис. 32. Габаритный чертеж высокоскоростного пассажирского юнибуса Ю-315П2



315П2-0000010В0		Лит.	Масса	Масштаб
ЮНИБУС		Лист	Листов	1:20
Чертеж общего вида		Лист	Листов	1
Имя	Иванов И. Сергеевич	Дата		
Разработчик	Лавочкин			
Проектировщик	Андреев			
Утвержден	Иванов И. Сергеевич			
Число	1			
Итого	Иванов И. Сергеевич			

Рис. 33. Чертеж общего вида высокоскоростного пассажирского юнибуса Ю-315П2

4.9. Система отопления

Элементы системы отопления расположены в силовом отсеке.

На юнибусе Ю-315П установлены два электрических подогревателя (см. рис. 34).

Подогреватели работают в режиме рециркуляции.

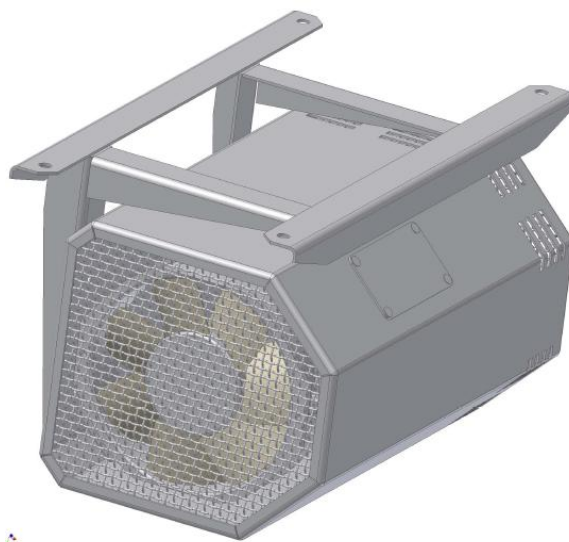


Рис.34. Электрический подогреватель

На юнибусе Ю-314П установлены два радиатора отопления, использующих тепло системы охлаждения двигателя. Радиаторы отопления работают в режиме рециркуляции.

Максимальная теплопроизводительность отопителей 6 кВт.

4.10. Система вентиляции и кондиционирования

Кондиционер расположен в силовом отсеке. Он состоит из компрессорного, конденсаторного и испарительного агрегатов (см. рис. 35). Для варианта Ю-314П компрессорный агрегат интегрирован в силовую установку. Кондиционер может работать как в режиме кондиционирования, так и в режиме вентиляции салона.

Максимальная холодопроизводительность кондиционера 3,6 кВт.

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

Производительность вентилятора испарительного агрегата 120 м³/ч.

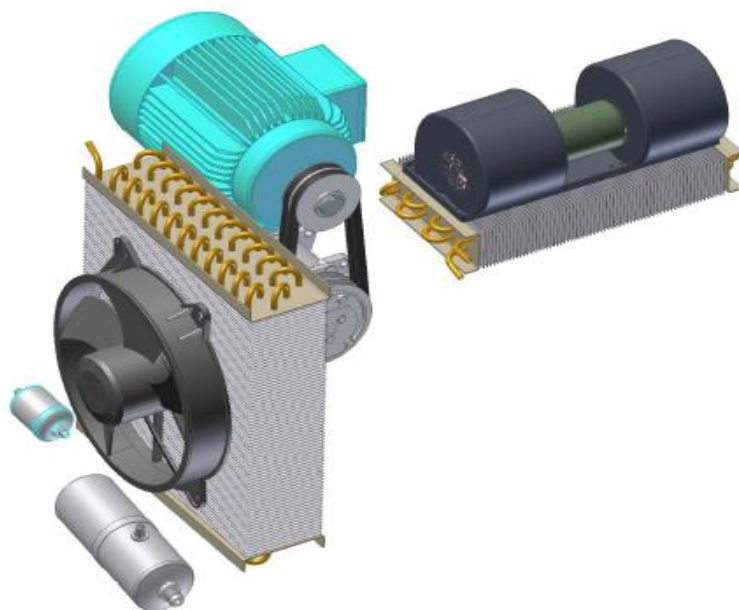


Рис. 35. Комплект системы кондиционирования и вентиляции юнибуса Ю-315П

4.11. Пассажирская дверь с механизмом открывания

Пассажирская дверь (см. рис. 36) расположена с левой стороны юнибуса в средней части корпуса.

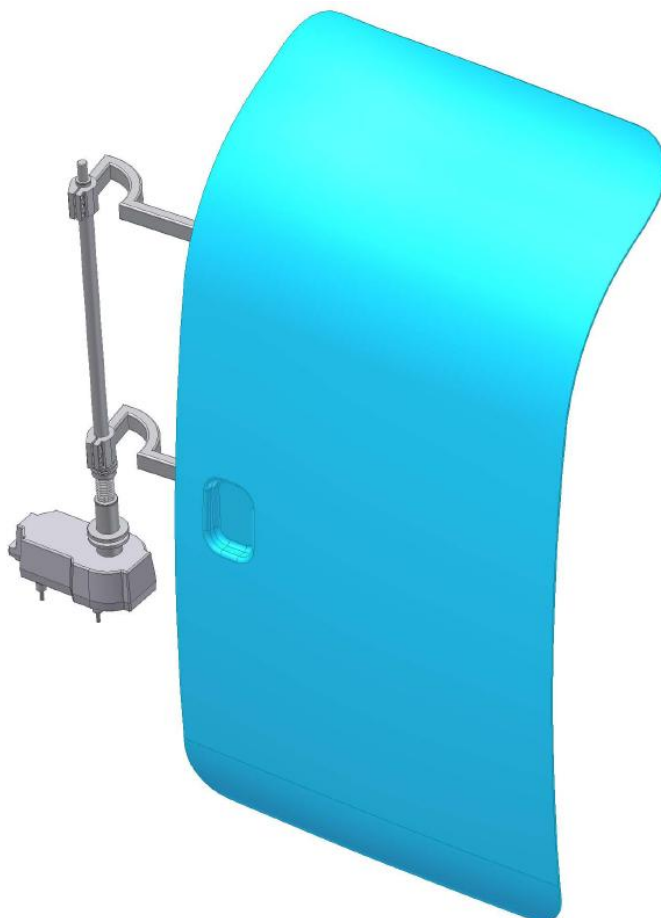


Рис. 36. Пассажирская дверь с механизмом открывания

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 проема 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.

4.12. Пассажирские сиденья и поручни

В салоне юнибуса установлены, в зависимости от варианта исполнения, от четырех до шести пассажирских сидений, по два с каждой стороны корпуса, а в варианте юнибуса без туалета — еще два сиденья по центру салона.

Пассажирские сиденья (см. рис. 37) имеют мягкие подушку и спинку, подлокотники и механизм регулировки положения спинки.



Рис. 37. Пассажирское сидение

Поручни расположены вдоль окон юнибуса. Поручни изготовлены из труб и соединены между собой муфтами и кронштейнами.

4.13. Система пожаротушения

Система пожаротушения расположена в силовом отсеке.

Система состоит из датчиков температуры и генераторов огнетушащего аэрозоля МАГ (см. рис. 38).



Рис. 38. 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. 39).



Рис. 39. Углекислотный огнетушитель ОУ-2

4.14. Устройство сцепное автоматическое

Для обеспечения возможности буксировки с любого места трассы юнибусы оснащаются автоматическими сцепными устройствами (см. рис.40). 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/с^2 .



Рис. 40. Сцепное устройство

4.15. Туалетная кабина

Туалетная кабина четырехместных юнибусов повышенной комфортности расположена слева в средней части модуля. Туалетная кабина изолирована от пассажирского салона перегородкой с дверью.

В туалетной комнате расположен портативный биотуалет модели Porta Potti-365 (см. рис. 41) и умывальник.



Рис. 41. 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 отказавшего юнибуса:

- если отказавший юнибус не может продолжить 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-315П) 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-314П и Ю-315П 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 на маршруте «Ханты-Мансийск — Сургут» колеей 1000 мм приведены в таблице 5.

Стоимостные показатели основных ценообразующих комплектующих систем юнибусов при одиночном производстве приведены в таблицах 6 и 7.

Таблица 5

Основные технико-экономические показатели высокоскоростных юнибусов Ю-314П и Ю-315П
на маршруте «Ханты-Мансийск — Сургут» колеей 1000 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-315П)	Стоимость затраченной энергии на маршруте, USD
Ю-314П с дизельной силовой установкой:					
- AFD-1.9TDI	250	62	до 6	7,3	12,6
- ГАЗ 5602	270	58,5	до 5	10,0	17,3
- UM612CDI	306	51,5	до 5	11,0	19,0
Ю-315ПЭ (электропривод)	200	77	до 6	19,5	9.73

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

Таблица 6

Основные показатели ценообразующих комплектов юнибуса Ю-314П

№	Комплект	Производитель	Ориентировочная стоимость комплекта, USD	Примечание
1	Силовая установка: - AFD-1.9TDI - ГАЗ 5602 - UM 612CDI	Volkswagen AG, Германия ОАО «ГАЗ», РФ Daimler Chrysler, Германия	4000 3500 4500	
2	АКП: - 5HP19 - RL608	ZF Getriebe GmbH, Германия ООО «КАТЕ», РФ	2000 1300	Намечен серийный выпуск с 2008 г.

3	Силовая передача	ООО «ЭТОН», Белоруссия	3000	
4	Ходовая система	Bonatrans a.S. Bohumin, Чехия Gummi-Metall-Technik GmbH, Германия	4800	
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	3000	
7	Каркас	ООО «ЭТОН», Белоруссия	14000	
8	Облицовка	Venture, США	10000	
9	Дверь с механизмом открывания	УЭТК «КАНОПУС», РФ	2500	
10	Комплект сидений	ОАО «РИАТ», РФ	2000	
11	Система кондиционирования	Webasto, Германия	2000	
12	Предпусковой подогреватель двигателя	Webasto, Германия	700	
	Всего:		51800	

Таблица 7

Основные показатели ценообразующих комплектов юнибуса Ю-315П

№	Комплект	Производитель	Ориентировочная стоимость комплекта, USD	Примечание
1	Силовая передача	ООО «ЭТОН», Белоруссия	2500	
2	Ходовая система	Bonatrans a.S. Bohumin, Чехия Gummi-Metall-Technik GmbH, Германия	4800	
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	3000	
5	Комплект силового электропривода	ООО «ЭТОН», Белоруссия	10000	
6	Каркас	ООО «ЭТОН», Белоруссия	14000	
7	Облицовка	Venture, США	10000	
8	Дверь с механизмом открывания	УЭТК «КАНОПУС», РФ	2500	
9	Комплект сидений	ОАО «РИАТ», РФ	2000	
10	Система кондиционирования	Webasto, Германия	2500	
	Всего:		53300	

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
- Daimler Chrysler, Германия
- 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-314П
(314П-0000010PP)

Содержание тягово-динамического расчета Ю-314П

1. Введение	61
2. Исходные данные	62
3. Условия и допущения	62
4. Наиболее подходящие варианты силового блока	63
5. Расчет динамических показателей разгона	63
6. Динамические показатели торможения юнибуса	73
7. Путь и время равномерного движения с максимальной скоростью	74
8. Общее время, необходимое для преодоления всего участка пути	74
9. Расход топлива	74
10. Выводы	75

1. Введение

Данный расчет-анализ производится для высокоскоростного пассажирского юнибуса Ю-314П транспортной системы СТЮ «Ханты-Мансийск — Сургут» (см. рис. 42), 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.

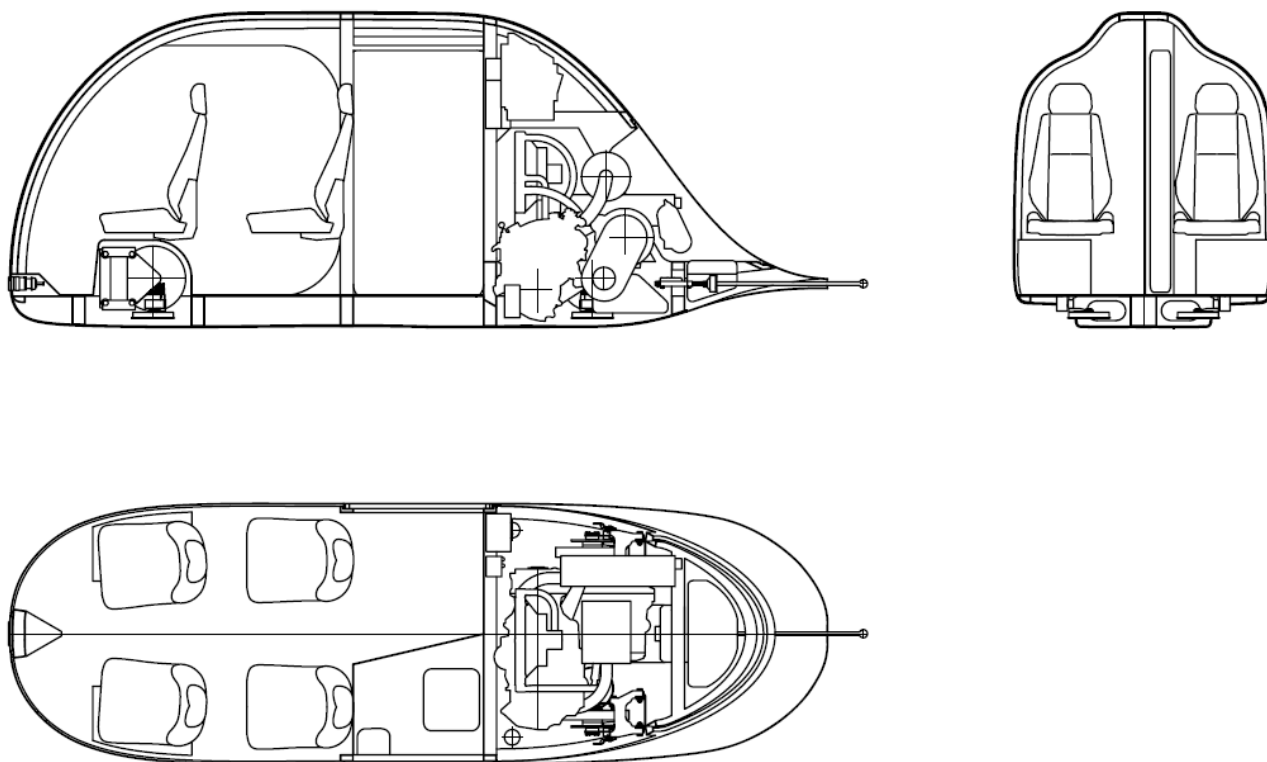


Рис. 42. Высокоскоростной пассажирский модуль Ю-314П

2. Исходные данные

Максимальная масса юнибуса, кг	$m = 1300$
Коэффициент сопротивления качению колес юнибуса	$f = 0,0022$
Коэффициент лобового аэродинамического сопротивления	$C_w = 0,1$
Размер лобовой площади (мидель), м ²	$A = 2,3$
Плотность воздуха, кг/м ³	$\rho = 1,202$
Ускорение свободного падения, м/с ²	$g = 9,8$
Радиус качения тягового колеса, м	$r = 0,225$
Максимальное ускорение (замедление), м/с ²	$a = 0,6$
Мощность генератора, Вт	$N_r = 1000$
Мощность компрессора кондиционера, Вт	$N_{ko} = 1700$
КПД трансмиссии (АКП, раздаточный редуктор, карданные валы)	$\eta = 0,87$
Колесная формула	4×2
Распределение максимальной массы по осям пар колес:	
передняя пара, кг	$m_1 = 520$
задняя пара, кг	$m_2 = 780$
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 $0,6 \text{ м/с}^2$);
- равномерное движение с максимальной скоростью без остановок на промежуточных станциях «Пойковский» и «Нефтеюганск»;

- торможение с постоянным замедлением $0,6 \text{ м/с}^2$ 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 не должна превышать 300 кг. Наиболее подходящими на сегодняшнее время по весогабаритным показателям, образующие силовой блок, сочетания дизельных двигателей и АКП приведены в таблице 8.

Таблица 8

Варианты сочетаний дизельного двигателя и АКП

Варианты сочетаний	Силовой блок (дизельный двигатель + АКП)	N_n , кВт	g , г / кВт час	Масса блока, кг
1	AFD-1.9TDI + 5HP19	65	224	229
2	ГАЗ 5602 + RL608	81	265	265
3	UM 612CDI + 5HP19	115	235	319

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 9 для варианта сочетаний 1 (см. табл. 8);
- таблицу 10 для варианта 2;
- таблицу 11 для варианта 3.

Ускорение определяется по формуле:

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

где:

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

$F = m \cdot g \cdot f = 1300 \cdot 9,8 \cdot 0,0022 = 28 \text{ Н}$ — сила сопротивления колес юнибуса

качению;

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

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

Результаты расчета см.:

- таблицу 9 для варианта сочетаний 1 (см. табл. 8);
- таблицу 10 для варианта 2;
- таблицу 11 для варианта 3.

Время (T_p) и путь разгона (S_p) определяются 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:

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

Результаты расчета см.:

- таблицу 9 для варианта сочетаний 1 (см. табл. 8);
- таблицу 10 для варианта 2;
- таблицу 11 для варианта 3.

Приращение пути разгона в каждом интервале:

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

где:

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

Результаты расчета см.:

- таблицу 9 для варианта 1;
- таблицу 10 для варианта 2;
- таблицу 11 для варианта 3.

Таблица 9

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	88165,800	0,043	0,600	0,278	0,257	0,926	0,257
4	1,111	44082,900	0,171	0,600	0,833	0,772	1,852	1,029
6	1,667	29388,600	0,384	0,600	1,389	1,286	2,778	2,315
8	2,222	22041,450	0,683	0,600	1,944	1,800	3,704	4,115
10	2,778	17633,160	1,067	0,600	2,500	2,315	4,630	6,430
12	3,333	14694,300	1,536	0,600	3,056	2,829	5,556	9,259
14	3,889	12595,114	2,091	0,600	3,611	3,344	6,481	12,603
16	4,444	11020,725	2,730	0,600	4,167	3,858	7,407	16,461
18	5,000	9796,200	3,456	0,600	4,722	4,372	8,333	20,833
20	5,556	8816,580	4,266	0,600	5,278	4,887	9,259	25,720
22	6,111	8015,073	5,162	0,600	5,833	5,401	10,185	31,121
24	6,667	7347,150	6,144	0,600	6,389	5,916	11,111	37,037
26	7,222	6781,985	7,210	0,600	6,944	6,430	12,037	43,467
28	7,778	6297,557	8,362	0,600	7,500	6,944	12,963	50,412
30	8,333	5877,720	9,599	0,600	8,056	7,459	13,889	57,870
32	8,889	5510,363	10,922	0,600	8,611	7,973	14,815	65,844
34	9,444	5186,224	12,330	0,600	9,167	8,488	15,741	74,331
36	10,000	4898,100	13,823	0,600	9,722	9,002	16,667	83,333
38	10,556	4640,305	15,402	0,600	10,278	9,516	17,593	92,850
40	11,111	4408,290	17,065	0,600	10,833	10,031	18,519	102,881
42	11,667	4198,371	18,815	0,600	11,389	10,545	19,444	113,426
44	12,222	4007,536	20,649	0,600	11,944	11,060	20,370	124,486
46	12,778	3833,296	22,569	0,600	12,500	11,574	21,296	136,060
48	13,333	3673,575	24,574	0,600	13,056	12,088	22,222	148,148
50	13,889	3526,632	26,665	0,600	13,611	12,603	23,148	160,751
52	14,444	3390,992	28,841	0,600	14,167	13,117	24,074	173,868
54	15,000	3265,400	31,102	0,600	14,722	13,632	25,000	187,500
56	15,556	3148,779	33,448	0,600	15,278	14,146	25,926	201,646
58	16,111	3040,200	35,880	0,600	15,833	14,660	26,852	216,307
60	16,667	2938,860	38,397	0,600	16,389	15,175	27,778	231,481
62	17,222	2844,058	41,000	0,600	16,944	15,689	28,704	247,171
64	17,778	2755,181	43,688	0,600	17,500	16,204	29,630	263,374
66	18,333	2671,691	46,461	0,600	18,056	16,718	30,556	280,093
68	18,889	2593,112	49,319	0,600	18,611	17,233	31,481	297,325
70	19,444	2519,023	52,263	0,600	19,167	17,747	32,407	315,072

V, км/час	V, м/с	P, Н	R, Н	a ср, м/с	Vср, м/с	ΔS, м	Тр, сек	Sp, м
72	20,000	2449,050	55,292	0,600	19,722	18,261	33,333	333,333
74	20,556	2382,859	58,406	0,600	20,278	18,776	34,259	352,109
76	21,111	2320,153	61,606	0,600	20,833	19,290	35,185	371,399
78	21,667	2260,662	64,891	0,600	21,389	19,805	36,111	391,204
80	22,222	2204,145	68,262	0,600	21,944	20,319	37,037	411,523
82	22,778	2150,385	71,717	0,600	22,500	20,833	37,963	432,356
84	23,333	2099,186	75,259	0,600	23,056	21,348	38,889	453,704
86	23,889	2050,367	78,885	0,600	23,611	21,862	39,815	475,566
88	24,444	2003,768	82,597	0,600	24,167	22,377	40,741	497,942
90	25,000	1959,240	86,394	0,600	24,722	22,891	41,667	520,833
92	25,556	1916,648	90,276	0,600	25,278	23,405	42,593	544,239
94	26,111	1875,868	94,244	0,600	25,833	23,920	43,519	568,158
96	26,667	1836,788	98,297	0,600	26,389	24,434	44,444	592,593
98	27,222	1799,302	102,435	0,600	26,944	24,949	45,370	617,541
100	27,778	1763,316	106,659	0,600	27,500	25,463	46,296	643,004
102	28,333	1728,741	110,968	0,600	28,056	25,977	47,222	668,981
104	28,889	1695,496	115,362	0,600	28,611	26,492	48,148	695,473
106	29,444	1663,506	119,842	0,600	29,167	27,006	49,074	722,479
108	30,000	1632,700	124,407	0,600	29,722	27,521	50,000	750,000
110	30,556	1603,015	129,057	0,600	30,278	28,035	50,926	778,035
112	31,111	1574,389	133,793	0,600	30,833	28,549	51,852	806,584
114	31,667	1546,768	138,614	0,600	31,389	29,064	52,778	835,648
116	32,222	1520,100	143,520	0,600	31,944	29,578	53,704	865,226
118	32,778	1494,336	148,512	0,600	32,500	30,093	54,630	895,319
120	33,333	1469,430	153,589	0,600	33,056	30,607	55,556	925,926
122	33,889	1445,341	158,751	0,600	33,611	31,121	56,481	957,047
124	34,444	1422,029	163,999	0,600	34,167	31,636	57,407	988,683
126	35,000	1399,457	169,332	0,600	34,722	32,150	58,333	1020,833
128	35,556	1377,591	174,750	0,600	35,278	32,665	59,259	1053,498
130	36,111	1356,397	180,254	0,600	35,833	33,179	60,185	1086,677
132	36,667	1335,845	185,843	0,600	36,389	33,693	61,111	1120,370
134	37,222	1315,907	191,517	0,600	36,944	34,208	62,037	1154,578
136	37,778	1296,556	197,276	0,600	37,500	34,722	62,963	1189,300
138	38,333	1277,765	203,121	0,600	38,056	35,237	63,889	1224,537
140	38,889	1259,511	209,052	0,600	38,611	35,751	64,815	1260,288
142	39,444	1241,772	215,067	0,600	39,167	36,265	65,741	1296,553
144	40,000	1224,525	221,168	0,600	39,722	36,780	66,667	1333,333
146	40,556	1207,751	227,354	0,600	40,278	37,294	67,593	1370,628
148	41,111	1191,430	233,626	0,600	40,833	37,809	68,519	1408,436
150	41,667	1175,544	239,983	0,600	41,389	38,323	69,444	1446,759
152	42,222	1160,076	246,425	0,600	41,944	38,837	70,370	1485,597
154	42,778	1145,010	252,952	0,600	42,500	39,352	71,296	1524,949
156	43,333	1130,331	259,565	0,600	43,056	39,866	72,222	1564,815
158	43,889	1116,023	266,263	0,600	43,611	40,381	73,148	1605,195
160	44,444	1102,073	273,047	0,600	44,167	40,895	74,074	1646,091
162	45,000	1088,467	279,916	0,600	44,722	41,409	75,000	1687,500
164	45,556	1075,193	286,870	0,592	45,278	42,460	75,938	1729,960
166	46,111	1062,239	293,909	0,577	45,833	44,118	76,900	1774,078
168	46,667	1049,593	301,034	0,562	46,389	45,869	77,889	1819,947
170	47,222	1037,245	308,244	0,547	46,944	47,702	78,905	1867,649
172	47,778	1025,184	315,540	0,532	47,500	49,625	79,950	1917,274
174	48,333	1013,400	322,921	0,517	48,056	51,644	81,025	1968,919
176	48,889	1001,884	330,387	0,502	48,611	53,767	82,131	2022,686

V, км/час	V, м/с	P, Н	R, Н	a ср, м/с	Vср, м/с	ΔS, м	Тр, сек	Sp, м
178	49,444	990,627	337,938	0,488	49,167	56,003	83,270	2078,689
180	50,000	979,620	345,575	0,473	49,722	58,359	84,444	2137,048
182	50,556	968,855	353,297	0,459	50,278	60,847	85,654	2197,894
184	51,111	958,324	361,105	0,445	50,833	63,478	86,902	2261,372
186	51,667	948,019	368,997	0,431	51,389	66,264	88,192	2327,636
188	52,222	937,934	376,975	0,417	51,944	69,221	89,525	2396,858
190	52,778	928,061	385,039	0,403	52,500	72,365	90,903	2469,223
192	53,333	918,394	393,188	0,389	53,056	75,714	92,330	2544,937
194	53,889	908,926	401,422	0,376	53,611	79,289	93,809	2624,227
196	54,444	899,651	409,741	0,362	54,167	83,115	95,343	2707,341
198	55,000	890,564	418,146	0,349	54,722	87,218	96,937	2794,559
200	55,556	881,658	426,636	0,335	55,278	91,631	98,595	2886,190
202	56,111	872,929	435,211	0,322	55,833	96,390	100,321	2982,580
204	56,667	864,371	443,872	0,309	56,389	101,539	102,122	3084,119
206	57,222	855,979	452,618	0,295	56,944	107,128	104,003	3191,247
208	57,778	847,748	461,449	0,282	57,500	113,216	105,972	3304,463
210	58,333	839,674	470,366	0,269	58,056	119,874	108,037	3424,337
212	58,889	831,753	479,368	0,256	58,611	127,187	110,207	3551,524
214	59,444	823,979	488,455	0,243	59,167	135,258	112,493	3686,782
216	60,000	816,350	497,628	0,230	59,722	144,211	114,908	3830,993
218	60,556	808,861	506,886	0,217	60,278	154,201	117,466	3985,193
220	61,111	801,507	516,229	0,204	60,833	165,420	120,185	4150,613
222	61,667	794,286	525,658	0,191	61,389	178,111	123,087	4328,724
224	62,222	787,195	535,172	0,179	61,944	192,588	126,196	4521,312
226	62,778	780,228	544,771	0,166	62,500	209,255	129,544	4730,568
228	63,333	773,384	554,456	0,153	63,056	228,656	133,170	4959,223
230	63,889	766,659	564,226	0,141	63,611	251,523	137,124	5210,746
232	64,444	760,050	574,081	0,128	64,167	278,881	141,470	5489,627
234	65,000	753,554	584,022	0,115	64,722	312,203	146,294	5801,831
236	65,556	747,168	594,048	0,103	65,278	353,681	151,712	6155,512
238	66,111	740,889	604,159	0,090	65,833	406,736	157,890	6562,248
240	66,667	734,715	614,356	0,077	66,389	477,010	165,075	7039,259
242	67,222	728,643	624,637	0,065	66,944	574,524	173,657	7613,783
244	67,778	722,670	635,005	0,052	67,500	718,946	184,309	8332,728
246	68,333	716,795	645,457	0,040	68,056	954,879	198,339	9287,607
248	68,889	711,015	655,995	0,027	68,611	1409,721	218,886	10697,328
250	69,444	705,326	666,618	0,014	69,167	2652,085	257,229	13349,413

Таблица 10

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	109933,200	0,043	0,600	0,278	0,257	0,926	0,257
4	1,111	54966,600	0,171	0,600	0,833	0,772	1,852	1,029
6	1,667	36644,400	0,384	0,600	1,389	1,286	2,778	2,315
8	2,222	27483,300	0,683	0,600	1,944	1,800	3,704	4,115
10	2,778	21986,640	1,067	0,600	2,500	2,315	4,630	6,430
12	3,333	18322,200	1,536	0,600	3,056	2,829	5,556	9,259
14	3,889	15704,743	2,091	0,600	3,611	3,344	6,481	12,603

V, км/час	V, м/с	P, Н	R, Н	a ср, м/с	Vср, м/с	ΔS, м	Тр, сек	Sp, м
16	4,444	13741,650	2,730	0,600	4,167	3,858	7,407	16,461
18	5,000	12214,800	3,456	0,600	4,722	4,372	8,333	20,833
20	5,556	10993,320	4,266	0,600	5,278	4,887	9,259	25,720
22	6,111	9993,927	5,162	0,600	5,833	5,401	10,185	31,121
24	6,667	9161,100	6,144	0,600	6,389	5,916	11,111	37,037
26	7,222	8456,400	7,210	0,600	6,944	6,430	12,037	43,467
28	7,778	7852,371	8,362	0,600	7,500	6,944	12,963	50,412
30	8,333	7328,880	9,599	0,600	8,056	7,459	13,889	57,870
32	8,889	6870,825	10,922	0,600	8,611	7,973	14,815	65,844
34	9,444	6466,659	12,330	0,600	9,167	8,488	15,741	74,331
36	10,000	6107,400	13,823	0,600	9,722	9,002	16,667	83,333
38	10,556	5785,958	15,402	0,600	10,278	9,516	17,593	92,850
40	11,111	5496,660	17,065	0,600	10,833	10,031	18,519	102,881
42	11,667	5234,914	18,815	0,600	11,389	10,545	19,444	113,426
44	12,222	4996,964	20,649	0,600	11,944	11,060	20,370	124,486
46	12,778	4779,704	22,569	0,600	12,500	11,574	21,296	136,060
48	13,333	4580,550	24,574	0,600	13,056	12,088	22,222	148,148
50	13,889	4397,328	26,665	0,600	13,611	12,603	23,148	160,751
52	14,444	4228,200	28,841	0,600	14,167	13,117	24,074	173,868
54	15,000	4071,600	31,102	0,600	14,722	13,632	25,000	187,500
56	15,556	3926,186	33,448	0,600	15,278	14,146	25,926	201,646
58	16,111	3790,800	35,880	0,600	15,833	14,660	26,852	216,307
60	16,667	3664,440	38,397	0,600	16,389	15,175	27,778	231,481
62	17,222	3546,232	41,000	0,600	16,944	15,689	28,704	247,171
64	17,778	3435,413	43,688	0,600	17,500	16,204	29,630	263,374
66	18,333	3331,309	46,461	0,600	18,056	16,718	30,556	280,093
68	18,889	3233,329	49,319	0,600	18,611	17,233	31,481	297,325
70	19,444	3140,949	52,263	0,600	19,167	17,747	32,407	315,072
72	20,000	3053,700	55,292	0,600	19,722	18,261	33,333	333,333
74	20,556	2971,168	58,406	0,600	20,278	18,776	34,259	352,109
76	21,111	2892,979	61,606	0,600	20,833	19,290	35,185	371,399
78	21,667	2818,800	64,891	0,600	21,389	19,805	36,111	391,204
80	22,222	2748,330	68,262	0,600	21,944	20,319	37,037	411,523
82	22,778	2681,298	71,717	0,600	22,500	20,833	37,963	432,356
84	23,333	2617,457	75,259	0,600	23,056	21,348	38,889	453,704
86	23,889	2556,586	78,885	0,600	23,611	21,862	39,815	475,566
88	24,444	2498,482	82,597	0,600	24,167	22,377	40,741	497,942
90	25,000	2442,960	86,394	0,600	24,722	22,891	41,667	520,833
92	25,556	2389,852	90,276	0,600	25,278	23,405	42,593	544,239
94	26,111	2339,004	94,244	0,600	25,833	23,920	43,519	568,158
96	26,667	2290,275	98,297	0,600	26,389	24,434	44,444	592,593
98	27,222	2243,535	102,435	0,600	26,944	24,949	45,370	617,541
100	27,778	2198,664	106,659	0,600	27,500	25,463	46,296	643,004
102	28,333	2155,553	110,968	0,600	28,056	25,977	47,222	668,981
104	28,889	2114,100	115,362	0,600	28,611	26,492	48,148	695,473
106	29,444	2074,211	119,842	0,600	29,167	27,006	49,074	722,479
108	30,000	2035,800	124,407	0,600	29,722	27,521	50,000	750,000
110	30,556	1998,785	129,057	0,600	30,278	28,035	50,926	778,035
112	31,111	1963,093	133,793	0,600	30,833	28,549	51,852	806,584
114	31,667	1928,653	138,614	0,600	31,389	29,064	52,778	835,648
116	32,222	1895,400	143,520	0,600	31,944	29,578	53,704	865,226
118	32,778	1863,275	148,512	0,600	32,500	30,093	54,630	895,319
120	33,333	1832,220	153,589	0,600	33,056	30,607	55,556	925,926

V, км/час	V, м/с	P, Н	R, Н	a ср, м/с	Vср, м/с	ΔS, м	Тр, сек	Sp, м
122	33,889	1802,184	158,751	0,600	33,611	31,121	56,481	957,047
124	34,444	1773,116	163,999	0,600	34,167	31,636	57,407	988,683
126	35,000	1744,971	169,332	0,600	34,722	32,150	58,333	1020,833
128	35,556	1717,706	174,750	0,600	35,278	32,665	59,259	1053,498
130	36,111	1691,280	180,254	0,600	35,833	33,179	60,185	1086,677
132	36,667	1665,655	185,843	0,600	36,389	33,693	61,111	1120,370
134	37,222	1640,794	191,517	0,600	36,944	34,208	62,037	1154,578
136	37,778	1616,665	197,276	0,600	37,500	34,722	62,963	1189,300
138	38,333	1593,235	203,121	0,600	38,056	35,237	63,889	1224,537
140	38,889	1570,474	209,052	0,600	38,611	35,751	64,815	1260,288
142	39,444	1548,355	215,067	0,600	39,167	36,265	65,741	1296,553
144	40,000	1526,850	221,168	0,600	39,722	36,780	66,667	1333,333
146	40,556	1505,934	227,354	0,600	40,278	37,294	67,593	1370,628
148	41,111	1485,584	233,626	0,600	40,833	37,809	68,519	1408,436
150	41,667	1465,776	239,983	0,600	41,389	38,323	69,444	1446,759
152	42,222	1446,489	246,425	0,600	41,944	38,837	70,370	1485,597
154	42,778	1427,704	252,952	0,600	42,500	39,352	71,296	1524,949
156	43,333	1409,400	259,565	0,600	43,056	39,866	72,222	1564,815
158	43,889	1391,559	266,263	0,600	43,611	40,381	73,148	1605,195
160	44,444	1374,165	273,047	0,600	44,167	40,895	74,074	1646,091
162	45,000	1357,200	279,916	0,600	44,722	41,409	75,000	1687,500
164	45,556	1340,649	286,870	0,600	45,278	41,924	75,926	1729,424
166	46,111	1324,496	293,909	0,600	45,833	42,438	76,852	1771,862
168	46,667	1308,729	301,034	0,600	46,389	42,953	77,778	1814,815
170	47,222	1293,332	308,244	0,600	46,944	43,467	78,704	1858,282
172	47,778	1278,293	315,540	0,600	47,500	43,981	79,630	1902,263
174	48,333	1263,600	322,921	0,600	48,056	44,496	80,556	1946,759
176	48,889	1249,241	330,387	0,600	48,611	45,010	81,481	1991,770
178	49,444	1235,204	337,938	0,600	49,167	45,525	82,407	2037,294
180	50,000	1221,480	345,575	0,600	49,722	46,039	83,333	2083,333
182	50,556	1208,057	353,297	0,600	50,278	46,553	84,259	2129,887
184	51,111	1194,926	361,105	0,600	50,833	47,068	85,185	2176,955
186	51,667	1182,077	368,997	0,600	51,389	47,582	86,111	2224,537
188	52,222	1169,502	376,975	0,594	51,944	48,097	87,037	2273,116
190	52,778	1157,192	385,039	0,580	52,500	48,611	88,000	2323,383
192	53,333	1145,138	393,188	0,565	53,056	49,125	88,988	2375,586
194	53,889	1133,332	401,422	0,549	53,611	49,639	89,999	2429,822
196	54,444	1121,767	409,741	0,534	54,167	50,153	91,040	2486,196
198	55,000	1110,436	418,146	0,519	54,722	50,667	92,111	2544,822
200	55,556	1099,332	426,636	0,503	55,278	51,181	93,215	2605,823
202	56,111	1088,448	435,211	0,488	55,833	51,695	94,352	2669,331
204	56,667	1077,776	443,872	0,473	56,389	52,209	95,526	2735,493
206	57,222	1067,313	452,618	0,459	56,944	52,723	96,737	2804,466
208	57,778	1057,050	461,449	0,444	57,500	53,237	97,988	2876,423
210	58,333	1046,983	470,366	0,429	58,056	53,751	99,283	2951,553
212	58,889	1037,106	479,368	0,415	58,611	54,265	100,622	3030,066
214	59,444	1027,413	488,455	0,400	59,167	54,779	102,010	3112,192
216	60,000	1017,900	497,628	0,386	59,722	55,293	103,450	3198,184
218	60,556	1008,561	506,886	0,371	60,278	55,807	104,945	3288,327
220	61,111	999,393	516,229	0,357	60,833	56,321	106,501	3382,935
222	61,667	990,389	525,658	0,343	61,389	56,835	108,120	3482,362
224	62,222	981,546	535,172	0,329	61,944	57,349	109,810	3587,005
226	62,778	972,860	544,771	0,315	62,500	57,863	111,575	3697,314

V, км/час	V, м/с	P, Н	R, Н	a ср, м/с	Vср, м/с	ΔS, м	Тр, сек	Sp, м
228	63,333	964,326	554,456	0,301	63,056	116,485	113,422	3813,800
230	63,889	955,941	564,226	0,287	63,611	123,245	115,359	3937,045
232	64,444	947,700	574,081	0,273	64,167	130,675	117,396	4067,720
234	65,000	939,600	584,022	0,259	64,722	138,883	119,542	4206,603
236	65,556	931,637	594,048	0,245	65,278	147,996	121,809	4354,599
238	66,111	923,808	604,159	0,231	65,833	158,176	124,212	4512,775
240	66,667	916,110	614,356	0,217	66,389	169,621	126,767	4682,396
242	67,222	908,539	624,637	0,204	66,944	182,586	129,494	4864,982
244	67,778	901,092	635,005	0,190	67,500	197,395	132,418	5062,378
246	68,333	893,766	645,457	0,176	68,056	214,475	135,570	5276,853
248	68,889	886,558	655,995	0,163	68,611	234,393	138,986	5511,246
250	69,444	879,466	666,618	0,149	69,167	257,923	142,715	5769,168
252	70,000	872,486	677,327	0,135	69,722	286,148	146,819	6055,317
254	70,556	865,616	688,121	0,122	70,278	320,635	151,382	6375,952
256	71,111	858,853	699,000	0,108	70,833	363,732	156,517	6739,684
258	71,667	852,195	709,965	0,095	71,389	419,129	162,388	7158,812
260	72,222	845,640	721,015	0,081	71,944	492,977	169,240	7651,790
262	72,778	839,185	732,150	0,068	72,500	596,353	177,465	8248,143
264	73,333	832,827	743,370	0,054	73,056	751,407	187,751	8999,550
266	73,889	826,565	754,676	0,040	73,611	1009,847	201,469	10009,397
268	74,444	820,397	766,067	0,027	74,167	1526,865	222,056	11536,262
270	75,000	814,320	777,544	0,013	74,722	3079,374	263,267	14615,636

Таблица 11

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	157852,800	0,043	0,600	0,278	0,257	0,926	0,257
4	1,111	78926,400	0,171	0,600	0,833	0,772	1,852	1,029
6	1,667	52617,600	0,384	0,600	1,389	1,286	2,778	2,315
8	2,222	39463,200	0,683	0,600	1,944	1,800	3,704	4,115
10	2,778	31570,560	1,067	0,600	2,500	2,315	4,630	6,430
12	3,333	26308,800	1,536	0,600	3,056	2,829	5,556	9,259
14	3,889	22550,400	2,091	0,600	3,611	3,344	6,481	12,603
16	4,444	19731,600	2,730	0,600	4,167	3,858	7,407	16,461
18	5,000	17539,200	3,456	0,600	4,722	4,372	8,333	20,833
20	5,556	15785,280	4,266	0,600	5,278	4,887	9,259	25,720
22	6,111	14350,255	5,162	0,600	5,833	5,401	10,185	31,121
24	6,667	13154,400	6,144	0,600	6,389	5,916	11,111	37,037
26	7,222	12142,523	7,210	0,600	6,944	6,430	12,037	43,467
28	7,778	11275,200	8,362	0,600	7,500	6,944	12,963	50,412
30	8,333	10523,520	9,599	0,600	8,056	7,459	13,889	57,870
32	8,889	9865,800	10,922	0,600	8,611	7,973	14,815	65,844
34	9,444	9285,459	12,330	0,600	9,167	8,488	15,741	74,331
36	10,000	8769,600	13,823	0,600	9,722	9,002	16,667	83,333
38	10,556	8308,042	15,402	0,600	10,278	9,516	17,593	92,850
40	11,111	7892,640	17,065	0,600	10,833	10,031	18,519	102,881
42	11,667	7516,800	18,815	0,600	11,389	10,545	19,444	113,426
44	12,222	7175,127	20,649	0,600	11,944	11,060	20,370	124,486

V, км/час	V, м/с	P, Н	R, Н	a ср, м/с	Vср, м/с	ΔS, м	Тр, сек	Sp, м
46	12,778	6863,165	22,569	0,600	12,500	11,574	21,296	136,060
48	13,333	6577,200	24,574	0,600	13,056	12,088	22,222	148,148
50	13,889	6314,112	26,665	0,600	13,611	12,603	23,148	160,751
52	14,444	6071,262	28,841	0,600	14,167	13,117	24,074	173,868
54	15,000	5846,400	31,102	0,600	14,722	13,632	25,000	187,500
56	15,556	5637,600	33,448	0,600	15,278	14,146	25,926	201,646
58	16,111	5443,200	35,880	0,600	15,833	14,660	26,852	216,307
60	16,667	5261,760	38,397	0,600	16,389	15,175	27,778	231,481
62	17,222	5092,026	41,000	0,600	16,944	15,689	28,704	247,171
64	17,778	4932,900	43,688	0,600	17,500	16,204	29,630	263,374
66	18,333	4783,418	46,461	0,600	18,056	16,718	30,556	280,093
68	18,889	4642,729	49,319	0,600	18,611	17,233	31,481	297,325
70	19,444	4510,080	52,263	0,600	19,167	17,747	32,407	315,072
72	20,000	4384,800	55,292	0,600	19,722	18,261	33,333	333,333
74	20,556	4266,292	58,406	0,600	20,278	18,776	34,259	352,109
76	21,111	4154,021	61,606	0,600	20,833	19,290	35,185	371,399
78	21,667	4047,508	64,891	0,600	21,389	19,805	36,111	391,204
80	22,222	3946,320	68,262	0,600	21,944	20,319	37,037	411,523
82	22,778	3850,068	71,717	0,600	22,500	20,833	37,963	432,356
84	23,333	3758,400	75,259	0,600	23,056	21,348	38,889	453,704
86	23,889	3670,995	78,885	0,600	23,611	21,862	39,815	475,566
88	24,444	3587,564	82,597	0,600	24,167	22,377	40,741	497,942
90	25,000	3507,840	86,394	0,600	24,722	22,891	41,667	520,833
92	25,556	3431,583	90,276	0,600	25,278	23,405	42,593	544,239
94	26,111	3358,570	94,244	0,600	25,833	23,920	43,519	568,158
96	26,667	3288,600	98,297	0,600	26,389	24,434	44,444	592,593
98	27,222	3221,486	102,435	0,600	26,944	24,949	45,370	617,541
100	27,778	3157,056	106,659	0,600	27,500	25,463	46,296	643,004
102	28,333	3095,153	110,968	0,600	28,056	25,977	47,222	668,981
104	28,889	3035,631	115,362	0,600	28,611	26,492	48,148	695,473
106	29,444	2978,355	119,842	0,600	29,167	27,006	49,074	722,479
108	30,000	2923,200	124,407	0,600	29,722	27,521	50,000	750,000
110	30,556	2870,051	129,057	0,600	30,278	28,035	50,926	778,035
112	31,111	2818,800	133,793	0,600	30,833	28,549	51,852	806,584
114	31,667	2769,347	138,614	0,600	31,389	29,064	52,778	835,648
116	32,222	2721,600	143,520	0,600	31,944	29,578	53,704	865,226
118	32,778	2675,471	148,512	0,600	32,500	30,093	54,630	895,319
120	33,333	2630,880	153,589	0,600	33,056	30,607	55,556	925,926
122	33,889	2587,751	158,751	0,600	33,611	31,121	56,481	957,047
124	34,444	2546,013	163,999	0,600	34,167	31,636	57,407	988,683
126	35,000	2505,600	169,332	0,600	34,722	32,150	58,333	1020,833
128	35,556	2466,450	174,750	0,600	35,278	32,665	59,259	1053,498
130	36,111	2428,505	180,254	0,600	35,833	33,179	60,185	1086,677
132	36,667	2391,709	185,843	0,600	36,389	33,693	61,111	1120,370
134	37,222	2356,012	191,517	0,600	36,944	34,208	62,037	1154,578
136	37,778	2321,365	197,276	0,600	37,500	34,722	62,963	1189,300
138	38,333	2287,722	203,121	0,600	38,056	35,237	63,889	1224,537
140	38,889	2255,040	209,052	0,600	38,611	35,751	64,815	1260,288
142	39,444	2223,279	215,067	0,600	39,167	36,265	65,741	1296,553
144	40,000	2192,400	221,168	0,600	39,722	36,780	66,667	1333,333
146	40,556	2162,367	227,354	0,600	40,278	37,294	67,593	1370,628
148	41,111	2133,146	233,626	0,600	40,833	37,809	68,519	1408,436
150	41,667	2104,704	239,983	0,600	41,389	38,323	69,444	1446,759

V, км/час	V, м/с	P, Н	R, Н	a ср, м/с	Vср, м/с	ΔS, м	Тр, сек	Sp, м
152	42,222	2077,011	246,425	0,600	41,944	38,837	70,370	1485,597
154	42,778	2050,036	252,952	0,600	42,500	39,352	71,296	1524,949
156	43,333	2023,754	259,565	0,600	43,056	39,866	72,222	1564,815
158	43,889	1998,137	266,263	0,600	43,611	40,381	73,148	1605,195
160	44,444	1973,160	273,047	0,600	44,167	40,895	74,074	1646,091
162	45,000	1948,800	279,916	0,600	44,722	41,409	75,000	1687,500
164	45,556	1925,034	286,870	0,600	45,278	41,924	75,926	1729,424
166	46,111	1901,841	293,909	0,600	45,833	42,438	76,852	1771,862
168	46,667	1879,200	301,034	0,600	46,389	42,953	77,778	1814,815
170	47,222	1857,092	308,244	0,600	46,944	43,467	78,704	1858,282
172	47,778	1835,498	315,540	0,600	47,500	43,981	79,630	1902,263
174	48,333	1814,400	322,921	0,600	48,056	44,496	80,556	1946,759
176	48,889	1793,782	330,387	0,600	48,611	45,010	81,481	1991,770
178	49,444	1773,627	337,938	0,600	49,167	45,525	82,407	2037,294
180	50,000	1753,920	345,575	0,600	49,722	46,039	83,333	2083,333
182	50,556	1734,646	353,297	0,600	50,278	46,553	84,259	2129,887
184	51,111	1715,791	361,105	0,600	50,833	47,068	85,185	2176,955
186	51,667	1697,342	368,997	0,600	51,389	47,582	86,111	2224,537
188	52,222	1679,285	376,975	0,600	51,944	48,097	87,037	2272,634
190	52,778	1661,608	385,039	0,600	52,500	48,611	87,963	2321,245
192	53,333	1644,300	393,188	0,600	53,056	49,126	88,889	2370,370
194	53,889	1627,348	401,422	0,600	53,611	49,640	89,815	2420,010
196	54,444	1610,743	409,741	0,600	54,167	50,154	90,741	2470,165
198	55,000	1594,473	418,146	0,600	54,722	50,669	91,667	2520,833
200	55,556	1578,528	426,636	0,600	55,278	51,183	92,593	2572,016
202	56,111	1562,899	435,211	0,600	55,833	51,698	93,519	2623,714
204	56,667	1547,576	443,872	0,600	56,389	52,212	94,444	2675,926
206	57,222	1532,551	452,618	0,600	56,944	52,726	95,370	2728,652
208	57,778	1517,815	461,449	0,600	57,500	53,241	96,296	2781,893
210	58,333	1503,360	470,366	0,600	58,056	53,755	97,222	2835,648
212	58,889	1489,177	479,368	0,600	58,611	54,270	98,148	2889,918
214	59,444	1475,260	488,455	0,600	59,167	54,784	99,074	2944,702
216	60,000	1461,600	497,628	0,600	59,722	55,298	100,000	3000,000
218	60,556	1448,191	506,886	0,600	60,278	55,813	100,926	3055,813
220	61,111	1435,025	516,229	0,600	60,833	56,327	101,852	3112,140
222	61,667	1422,097	525,658	0,600	61,389	56,842	102,778	3168,981
224	62,222	1409,400	535,172	0,600	61,944	57,356	103,704	3226,337
226	62,778	1396,927	544,771	0,600	62,500	57,870	104,630	3284,208
228	63,333	1384,674	554,456	0,600	63,056	58,385	105,556	3342,593
230	63,889	1372,633	564,226	0,600	63,611	58,899	106,481	3401,492
232	64,444	1360,800	574,081	0,592	64,167	60,236	107,420	3461,728
234	65,000	1349,169	584,022	0,575	64,722	62,500	108,386	3524,228
236	65,556	1337,736	594,048	0,559	65,278	64,903	109,380	3589,131
238	66,111	1326,494	604,159	0,542	65,833	67,443	110,405	3656,574
240	66,667	1315,440	614,356	0,526	66,389	70,131	111,461	3726,706
242	67,222	1304,569	624,637	0,510	66,944	72,981	112,551	3799,687
244	67,778	1293,875	635,005	0,493	67,500	76,009	113,677	3875,696
246	68,333	1283,356	645,457	0,477	68,056	79,231	114,841	3954,926
248	68,889	1273,006	655,995	0,461	68,611	82,666	116,046	4037,593
250	69,444	1262,822	666,618	0,445	69,167	86,339	117,295	4123,931
252	70,000	1252,800	677,327	0,429	69,722	90,272	118,589	4214,204
254	70,556	1242,935	688,121	0,413	70,278	94,498	119,934	4308,702
256	71,111	1233,225	699,000	0,397	70,833	99,048	121,332	4407,749

V, км/час	V, м/с	P, Н	R, Н	a ср, м/с	Vср, м/с	ΔS, м	Тр, сек	Sp, м
258	71,667	1223,665	709,965	0,381	71,389	103,963	122,789	4511,712
260	72,222	1214,252	721,015	0,366	71,944	109,288	124,308	4621,000
262	72,778	1204,983	732,150	0,350	72,500	115,077	125,895	4736,077
264	73,333	1195,855	743,370	0,334	73,056	121,396	127,557	4857,473
266	73,889	1186,863	754,676	0,319	73,611	128,319	129,300	4985,792
268	74,444	1178,006	766,067	0,303	74,167	135,939	131,133	5121,731
270	75,000	1169,280	777,544	0,288	74,722	144,368	133,065	5266,099
272	75,556	1160,682	789,106	0,272	75,278	153,741	135,107	5419,840
274	76,111	1152,210	800,753	0,257	75,833	164,229	137,273	5584,069
276	76,667	1143,861	812,485	0,241	76,389	176,043	139,577	5760,112
278	77,222	1135,632	824,303	0,226	76,944	189,452	142,039	5949,564
280	77,778	1127,520	836,206	0,210	77,500	204,806	144,682	6154,371
282	78,333	1119,523	848,195	0,195	78,056	222,562	147,533	6376,933
284	78,889	1111,639	860,268	0,179	78,611	243,332	150,629	6620,265
286	79,444	1103,866	872,428	0,164	79,167	267,958	154,014	6888,222
288	80,000	1096,200	884,672	0,149	79,722	297,625	157,747	7185,848
290	80,556	1088,640	897,002	0,134	80,278	334,063	161,908	7519,911
292	81,111	1081,184	909,417	0,118	80,833	379,892	166,608	7899,803
294	81,667	1073,829	921,917	0,103	81,389	439,283	172,005	8339,086
296	82,222	1066,573	934,503	0,088	81,944	519,312	178,343	8858,397
298	82,778	1059,415	947,174	0,072	82,500	633,008	186,015	9491,406
300	83,333	1052,352	959,931	0,057	83,056	807,296	195,735	10298,702
302	83,889	1045,383	972,772	0,042	83,611	1108,241	208,990	11406,943
304	84,444	1038,505	985,699	0,027	84,167	1752,788	229,815	13159,731
306	85,000	1031,718	998,712	0,011	84,722	4112,695	278,359	17272,426

Анализ результатов расчета максимальной скорости движения, приведенных в таблицах 9—11, показывает, что дизельный двигатель:

- AFD-1.9TDI — позволит разогнать юнибус до скорости $V_{\max} = 250$ км/час;
- ГАЗ 5602 — до скорости $V_{\max} = 270$ км/час;
- UM 612CDI — до скорости $V_{\max} = 306$ 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 $a = 0,6$ м/с² — см. таблицу 12.

При ускорении торможения, равном $1,2$ м/с², время торможения и тормозной путь уменьшаться в 2 раза.

Динамические показатели торможения

Вариант	$T_{\text{торм}}, \text{с}$	$S_{\text{торм}}, \text{м}$
1	115,6	4013,6
2	125,0	4687,5
3	141,6	6020,8

7. Путь и время равномерного движения с максимальной скоростью

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

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

Результаты расчета — см. таблицу 13.

8. Общее время, необходимое для преодоления всего участка пути

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

Результаты расчета — см. таблицу 13.

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 (75 с для варианта 1; 86 с для варианта 2 и 106 с для варианта 3), то можно пренебречь тем обстоятельством, что в пределах этого промежутка времени двигатель развивает мощность, несколько меньше номинальной мощности. Пониженный расход топлива будет также при торможении модуля, когда двигатель будет работать в режиме холостого хода.

Результаты расчета — см. таблицу 13.

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

Варианты	S_p , м	T_p , с(час)	$S_{равн}$, м	$T_{равн}$, с(час)	T , с(час)	G , кг
1	13349,4	257,3(0,0714)	232637	3352(0,931)	3725(1,034)	14,6
2	14615,6	263,3(0,0731)	230697	3076(0,854)	3464(0,962)	20,0
3	17272,4	278,4(0,0773)	226707	2667(0,740)	3087(0,857)	22,1

10. Выводы

10.1. Дизельный двигатель:

- AFD-1.9TDI (вариант 1) позволит разогнать юнибус до скорости 250 км/час;
- ГАЗ 5602 (вариант 2) — до скорости 270 км/час;
- UM 612CDI (вариант 3) — до скорости 306 км/час.

10.2. Юнибус, оснащенный силовым блоком:

- AFD-1.9TDI + 5HP19 (вариант 1) будет преодолевать весь участок пути «Ханты-Мансийск — Сургут» (250 км) за 1 час 2 мин;
- ГАЗ 5602 + RL608 (вариант 2) — за 57,6 мин;
- UM 612CDI + 5HP19 (вариант 3) — за 51,3 мин.

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

- AFD-1.9TDI (вариант 1) — 18,25 л, или в пересчете на одного пассажира — 3,65 л/пасс. (для 5-ти местного юнибуса);
- ГАЗ 5602 (вариант 2) — 25,0 л, или в пересчете на одного пассажира — 5,00 л/пасс. (для 5-ти местного юнибуса);
- UM 612CDI (вариант 3) — 27,63 л, или в пересчете на одного пассажира — 5,53 л/пасс. (для 5-ти местного юнибуса).

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

- AFD-1.9TDI (вариант 1) — 12,6 USD, или в пересчете на одного пассажира — 2,52 USD/пасс. (для 5-ти местного юнибуса);

- ГАЗ 5602 (вариант 2) — 17,3 USD, или в пересчете на одного пассажира — 3,46 USD/пасс. (для 5-ти местного юнибуса);
- UM 612CDI (вариант 3) — 19,0 USD, или в пересчете на одного пассажира — 3,80 USD/пасс. (для 5-ти местного юнибуса).

10.5. Юнибус, оснащенный по варианту 1, будет проходить весь участок пути на 10,7 мин медленнее, чем модуль, оснащенный по варианту 3. Однако, при этом он израсходует на 9,4 л меньше топлива. Стоимость такого количества топлива составит 6,5 USD, или в пересчете на одного пассажира — 1,3 USD/пасс. (для 5-ти местного юнибуса). Здесь нужно отметить, что силовой блок по варианту 1 легче силового блока по варианту 3 на 90 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 120 кг (или еще, как минимум, одного пассажира с полным багажом). В этом случае, расходы на каждого пассажира могут быть снижены на 2,2 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-315П
(315П-0000010PP)

Содержание тягово-динамического расчета Ю-315П

1. Введение	79
2. Исходные данные	80
3. Условия и допущения	80
4. Выбор тягового электродвигателя	81
5. Расчет динамических показателей разгона	81
6. Определение максимального продольного уклона пути, преодолеваемого юнибусом	87
7. Динамические показатели торможения	88
8. Путь и время равномерного движения со скоростью 200 км/час	88
9. Общее время, необходимое для преодоления всего участка пути	88
10. Энергия на тяговых колесах, потребная для разгона	89
11. Энергия на тяговых колесах, потребная для равномерного движения	89
12. Определение энергии рекуперации на участке торможения	90
13. Электроэнергия, затраченная на движение	99
14. Электроэнергия, затраченная на кондиционирование воздуха в салоне	99
15. Электроэнергия, затраченная на обогрев салона	99
16. Электроэнергия, затраченная на преодоление участка пути юнибусом и на кондиционирование воздуха в салоне	100
17. Электроэнергия, затраченная на преодоление участка пути юнибусом и на обогрев салона	100
18. Выводы	101

1. Введение

Данный расчет производится для высокоскоростного пассажирского юнибуса с электроприводом модели Ю-315П для высокоскоростной транспортной системы СТЮ «Ханты-Мансийск — Сургут» (см. рис. 43).

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.

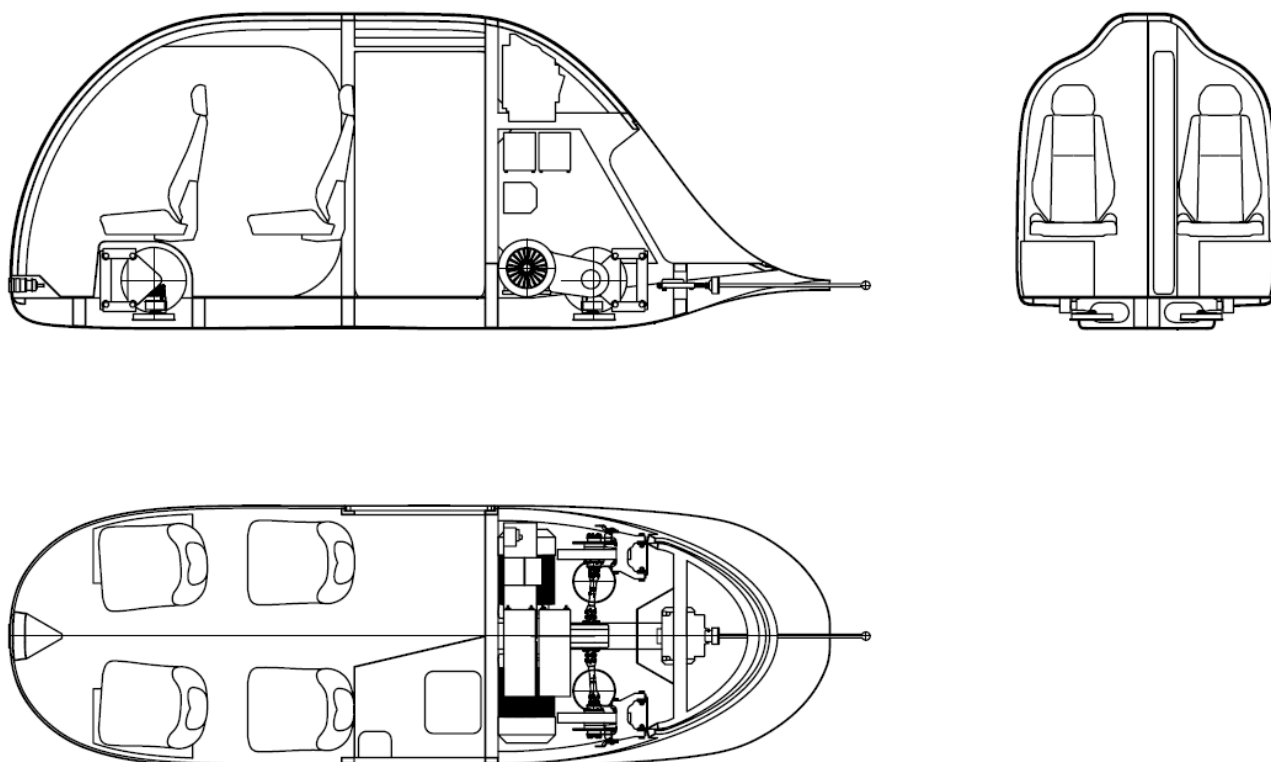


Рис. 43. Высокоскоростной юнибус Ю-315П

2. Исходные данные

Максимальная масса юнибуса, кг	$m = 1300$
Коэффициент сопротивления качению колес юнибуса	$f = 0,0022$
Коэффициент лобового аэродинамического сопротивления	$C_w = 0,1$
Размер лобовой площади (мидель), м ²	$A = 2,3$
Плотность воздуха, кг/м ³	$\rho = 1,202$
Ускорение свободного падения, м/с ²	$g = 9,8$
Радиус качения тягового колеса, м	$r = 0,225$
Максимальное ускорение (замедление), м/с ²	$a = 0,6$
Мощность компрессора кондиционера, Вт	$N_{ko} = 1700$
Мощность воздушного отопителя, Вт	$N_o = 6240$
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	$m_1 = 520$
задняя ось, кг	$m_2 = 780$
Коэффициент сцепления колеса с рельсом (наименьший)	$\varphi = 0,12$
Протяженность участка, м	$S = 250000$

3. Условия и допущения

По условиям рассматриваются два варианта:

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

Цикл движения принят следующий:

- разгон со станции «Ханты-Мансийск» до скорости 200 км/час (начальное

ускорение $0,6 \text{ м / с}^2$);

- равномерное движение с максимальной скоростью без остановок на промежуточных станциях «Пойковский» и «Нефтеюганск»;
- рекуперативное торможение с постоянным замедлением $0,6 \text{ м/с}^2$ 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 300 кг. Исходя из вышесказанного, наиболее подходящим типоразмером тягового электродвигателя будет АИР160S2: масса 103 кг, номинальная мощность $N = 15000 \text{ Вт}$, 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 14 для варианта 1 (безветрие);
- таблицу 15 для варианта 2 (встречный ветер).

Ускорение определяется по формуле:

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

где:

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

$F = m \cdot g \cdot f = 1300 \cdot 9,8 \cdot 0,0022 = 28 \text{ Н}$ — сила сопротивления качению колес юнибуса;

$F_{\text{вет}} = 0,5 \cdot \rho \cdot C_w \cdot A \cdot V_{\text{вет}}^2 = 0,5 \cdot 1,202 \cdot 0,1 \cdot 2,3 \cdot 15^2 = 31 \text{ Н}$ — сила сопротивления встречного ветра

Результаты расчета см.:

- таблицу 14 для варианта 1;
- таблицу 15 для варианта 2.

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

Приращение времени в каждом интервале скорости:

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

где:

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

Результаты расчета см.:

- таблицу 14 для варианта 1;
- таблицу 15 для варианта 2.

Приращение пути разгона в каждом интервале:

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

где:

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

Результаты расчета см.:

- таблицу 14 для варианта 1;
- таблицу 15 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	54000,000	0,043	0,600	0,926	0,278	0,257	0,926	0,257
4	1,111	27000,000	0,171	0,600	0,926	0,833	0,772	1,852	1,029
6	1,667	18000,000	0,384	0,600	0,926	1,389	1,286	2,778	2,315
8	2,222	13500,000	0,683	0,600	0,926	1,944	1,800	3,704	4,115
10	2,778	10800,000	1,067	0,600	0,926	2,500	2,315	4,630	6,430
12	3,333	9000,000	1,536	0,600	0,926	3,056	2,829	5,556	9,259
14	3,889	7714,286	2,091	0,600	0,926	3,611	3,344	6,481	12,603
16	4,444	6750,000	2,730	0,600	0,926	4,167	3,858	7,407	16,461
18	5,000	6000,000	3,456	0,600	0,926	4,722	4,372	8,333	20,833
20	5,556	5400,000	4,266	0,600	0,926	5,278	4,887	9,259	25,720
22	6,111	4909,091	5,162	0,600	0,926	5,833	5,401	10,185	31,121
24	6,667	4500,000	6,144	0,600	0,926	6,389	5,916	11,111	37,037
26	7,222	4153,846	7,210	0,600	0,926	6,944	6,430	12,037	43,467
28	7,778	3857,143	8,362	0,600	0,926	7,500	6,944	12,963	50,412
30	8,333	3600,000	9,599	0,600	0,926	8,056	7,459	13,889	57,870
32	8,889	3375,000	10,922	0,600	0,926	8,611	7,973	14,815	65,844
34	9,444	3176,471	12,330	0,600	0,926	9,167	8,488	15,741	74,331
36	10,000	3000,000	13,823	0,600	0,926	9,722	9,002	16,667	83,333
38	10,556	2842,105	15,402	0,600	0,926	10,278	9,516	17,593	92,850
40	11,111	2700,000	17,065	0,600	0,926	10,833	10,031	18,519	102,881
42	11,667	2571,429	18,815	0,600	0,926	11,389	10,545	19,444	113,426
44	12,222	2454,545	20,649	0,600	0,926	11,944	11,060	20,370	124,486
46	12,778	2347,826	22,569	0,600	0,926	12,500	11,574	21,296	136,060
48	13,333	2250,000	24,574	0,600	0,926	13,056	12,088	22,222	148,148
50	13,889	2160,000	26,665	0,600	0,926	13,611	12,603	23,148	160,751
52	14,444	2076,923	28,841	0,600	0,926	14,167	13,117	24,074	173,868
54	15,000	2000,000	31,102	0,600	0,926	14,722	13,632	25,000	187,500
56	15,556	1928,571	33,448	0,600	0,926	15,278	14,146	25,926	201,646
58	16,111	1862,069	35,880	0,600	0,926	15,833	14,660	26,852	216,307
60	16,667	1800,000	38,397	0,600	0,926	16,389	15,175	27,778	231,481
62	17,222	1741,935	41,000	0,600	0,926	16,944	15,689	28,704	247,171
64	17,778	1687,500	43,688	0,600	0,926	17,500	16,204	29,630	263,374
66	18,333	1636,364	46,461	0,600	0,926	18,056	16,718	30,556	280,093
68	18,889	1588,235	49,319	0,600	0,926	18,611	17,233	31,481	297,325
70	19,444	1542,857	52,263	0,600	0,926	19,167	17,747	32,407	315,072
72	20,000	1500,000	55,292	0,600	0,926	19,722	18,261	33,333	333,333
74	20,556	1459,459	58,406	0,600	0,926	20,278	18,776	34,259	352,109
76	21,111	1421,053	61,606	0,600	0,926	20,833	19,290	35,185	371,399
78	21,667	1384,615	64,891	0,600	0,926	21,389	19,805	36,111	391,204
80	22,222	1350,000	68,262	0,600	0,926	21,944	20,319	37,037	411,523
82	22,778	1317,073	71,717	0,600	0,926	22,500	20,833	37,963	432,356
84	23,333	1285,714	75,259	0,600	0,926	23,056	21,348	38,889	453,704
86	23,889	1255,814	78,885	0,600	0,926	23,611	21,862	39,815	475,566
88	24,444	1227,273	82,597	0,600	0,926	24,167	22,377	40,741	497,942
90	25,000	1200,000	86,394	0,600	0,926	24,722	22,891	41,667	520,833
92	25,556	1173,913	90,276	0,600	0,926	25,278	23,405	42,593	544,239
94	26,111	1148,936	94,244	0,600	0,926	25,833	23,920	43,519	568,158
96	26,667	1125,000	98,297	0,600	0,926	26,389	24,434	44,444	592,593
98	27,222	1102,041	102,435	0,600	0,926	26,944	24,949	45,370	617,541
100	27,778	1080,000	106,659	0,600	0,926	27,500	25,463	46,296	643,004

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	1058,824	110,968	0,600	0,926	28,056	25,977	47,222	668,981
104	28,889	1038,462	115,362	0,600	0,926	28,611	26,492	48,148	695,473
106	29,444	1018,868	119,842	0,600	0,926	29,167	27,006	49,074	722,479
108	30,000	1000,000	124,407	0,600	0,926	29,722	27,521	50,000	750,000
110	30,556	981,818	129,057	0,600	0,926	30,278	28,035	50,926	778,035
112	31,111	964,286	133,793	0,600	0,926	30,833	28,549	51,852	806,584
114	31,667	947,368	138,614	0,600	0,926	31,389	29,064	52,778	835,648
116	32,222	931,034	143,520	0,592	0,938	31,944	29,972	53,716	865,620
118	32,778	915,254	148,512	0,576	0,964	32,500	31,334	54,680	896,954
120	33,333	900,000	153,589	0,560	0,991	33,056	32,769	55,671	929,723
122	33,889	885,246	158,751	0,545	1,019	33,611	34,266	56,691	963,989
124	34,444	870,968	163,999	0,530	1,049	34,167	35,830	57,740	999,818
126	35,000	857,143	169,332	0,515	1,079	34,722	37,464	58,819	1037,282
128	35,556	843,750	174,750	0,500	1,110	35,278	39,175	59,929	1076,457
130	36,111	830,769	180,254	0,486	1,143	35,833	40,966	61,072	1117,423
132	36,667	818,182	185,843	0,472	1,177	36,389	42,845	62,250	1160,268
134	37,222	805,970	191,517	0,458	1,213	36,944	44,816	63,463	1205,084
136	37,778	794,118	197,276	0,444	1,250	37,500	46,888	64,713	1251,972
138	38,333	782,609	203,121	0,431	1,289	38,056	49,068	66,002	1301,040
140	38,889	771,429	209,052	0,418	1,330	38,611	51,364	67,333	1352,404
142	39,444	760,563	215,067	0,405	1,373	39,167	53,787	68,706	1406,191
144	40,000	750,000	221,168	0,392	1,419	39,722	56,347	70,125	1462,538
146	40,556	739,726	227,354	0,379	1,466	40,278	59,056	71,591	1521,594
148	41,111	729,730	233,626	0,366	1,517	40,833	61,928	73,107	1583,522
150	41,667	720,000	239,983	0,354	1,570	41,389	64,978	74,677	1648,500
152	42,222	710,526	246,425	0,342	1,627	41,944	68,223	76,304	1716,723
154	42,778	701,299	252,952	0,329	1,687	42,500	71,683	77,991	1788,406
156	43,333	692,308	259,565	0,317	1,751	43,056	75,380	79,741	1863,787
158	43,889	683,544	266,263	0,305	1,819	43,611	79,341	81,561	1943,127
160	44,444	675,000	273,047	0,294	1,893	44,167	83,593	83,453	2026,720
162	45,000	666,667	279,916	0,282	1,972	44,722	88,172	85,425	2114,892
164	45,556	658,537	286,870	0,270	2,057	45,278	93,116	87,481	2208,008
166	46,111	650,602	293,909	0,259	2,148	45,833	98,473	89,630	2306,481
168	46,667	642,857	301,034	0,247	2,248	46,389	104,296	91,878	2410,777
170	47,222	635,294	308,244	0,236	2,357	46,944	110,651	94,235	2521,428
172	47,778	627,907	315,540	0,224	2,476	47,500	117,613	96,711	2639,041
174	48,333	620,690	322,921	0,213	2,607	48,056	125,277	99,318	2764,319
176	48,889	613,636	330,387	0,202	2,752	48,611	133,754	102,070	2898,073
178	49,444	606,742	337,938	0,191	2,912	49,167	143,183	104,982	3041,256
180	50,000	600,000	345,575	0,180	3,092	49,722	153,736	108,074	3194,992
182	50,556	593,407	353,297	0,169	3,294	50,278	165,626	111,368	3360,618
184	51,111	586,957	361,105	0,158	3,524	50,833	179,129	114,892	3539,747
186	51,667	580,645	368,997	0,147	3,787	51,389	194,598	118,679	3734,345
188	52,222	574,468	376,975	0,136	4,091	51,944	212,501	122,770	3946,846
190	52,778	568,421	385,039	0,125	4,447	52,500	233,463	127,217	4180,310
192	53,333	562,500	393,188	0,114	4,869	53,056	258,347	132,086	4438,657
194	53,889	556,701	401,422	0,103	5,379	53,611	288,372	137,465	4727,029
196	54,444	551,020	409,741	0,093	6,006	54,167	325,322	143,471	5052,351
198	55,000	545,455	418,146	0,082	6,796	54,722	371,912	150,267	5424,263
200	55,556	540,000	426,636	0,071	7,824	55,278	432,494	158,091	5856,756
202	56,111	534,653	435,211	0,060	9,215	55,833	514,500	167,306	6371,256
204	56,667	529,412	443,872	0,050	11,204	56,389	631,762	178,510	7003,018
206	57,222	524,272	452,618	0,039	14,282	56,944	813,277	192,792	7816,296

Таблица 15

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	54000,000	0,043	0,600	0,926	0,278	0,257	0,926	0,257
4	1,111	27000,000	0,171	0,600	0,926	0,833	0,772	1,852	1,029
6	1,667	18000,000	0,384	0,600	0,926	1,389	1,286	2,778	2,315
8	2,222	13500,000	0,683	0,600	0,926	1,944	1,800	3,704	4,115
10	2,778	10800,000	1,067	0,600	0,926	2,500	2,315	4,630	6,430
12	3,333	9000,000	1,536	0,600	0,926	3,056	2,829	5,556	9,259
14	3,889	7714,286	2,091	0,600	0,926	3,611	3,344	6,481	12,603
16	4,444	6750,000	2,730	0,600	0,926	4,167	3,858	7,407	16,461
18	5,000	6000,000	3,456	0,600	0,926	4,722	4,372	8,333	20,833
20	5,556	5400,000	4,266	0,600	0,926	5,278	4,887	9,259	25,720
22	6,111	4909,091	5,162	0,600	0,926	5,833	5,401	10,185	31,121
24	6,667	4500,000	6,144	0,600	0,926	6,389	5,916	11,111	37,037
26	7,222	4153,846	7,210	0,600	0,926	6,944	6,430	12,037	43,467
28	7,778	3857,143	8,362	0,600	0,926	7,500	6,944	12,963	50,412
30	8,333	3600,000	9,599	0,600	0,926	8,056	7,459	13,889	57,870
32	8,889	3375,000	10,922	0,600	0,926	8,611	7,973	14,815	65,844
34	9,444	3176,471	12,330	0,600	0,926	9,167	8,488	15,741	74,331
36	10,000	3000,000	13,823	0,600	0,926	9,722	9,002	16,667	83,333
38	10,556	2842,105	15,402	0,600	0,926	10,278	9,516	17,593	92,850
40	11,111	2700,000	17,065	0,600	0,926	10,833	10,031	18,519	102,881
42	11,667	2571,429	18,815	0,600	0,926	11,389	10,545	19,444	113,426
44	12,222	2454,545	20,649	0,600	0,926	11,944	11,060	20,370	124,486
46	12,778	2347,826	22,569	0,600	0,926	12,500	11,574	21,296	136,060
48	13,333	2250,000	24,574	0,600	0,926	13,056	12,088	22,222	148,148
50	13,889	2160,000	26,665	0,600	0,926	13,611	12,603	23,148	160,751
52	14,444	2076,923	28,841	0,600	0,926	14,167	13,117	24,074	173,868
54	15,000	2000,000	31,102	0,600	0,926	14,722	13,632	25,000	187,500
56	15,556	1928,571	33,448	0,600	0,926	15,278	14,146	25,926	201,646
58	16,111	1862,069	35,880	0,600	0,926	15,833	14,660	26,852	216,307
60	16,667	1800,000	38,397	0,600	0,926	16,389	15,175	27,778	231,481
62	17,222	1741,935	41,000	0,600	0,926	16,944	15,689	28,704	247,171
64	17,778	1687,500	43,688	0,600	0,926	17,500	16,204	29,630	263,374
66	18,333	1636,364	46,461	0,600	0,926	18,056	16,718	30,556	280,093
68	18,889	1588,235	49,319	0,600	0,926	18,611	17,233	31,481	297,325
70	19,444	1542,857	52,263	0,600	0,926	19,167	17,747	32,407	315,072
72	20,000	1500,000	55,292	0,600	0,926	19,722	18,261	33,333	333,333
74	20,556	1459,459	58,406	0,600	0,926	20,278	18,776	34,259	352,109
76	21,111	1421,053	61,606	0,600	0,926	20,833	19,290	35,185	371,399
78	21,667	1384,615	64,891	0,600	0,926	21,389	19,805	36,111	391,204
80	22,222	1350,000	68,262	0,600	0,926	21,944	20,319	37,037	411,523
82	22,778	1317,073	71,717	0,600	0,926	22,500	20,833	37,963	432,356
84	23,333	1285,714	75,259	0,600	0,926	23,056	21,348	38,889	453,704
86	23,889	1255,814	78,885	0,600	0,926	23,611	21,862	39,815	475,566
88	24,444	1227,273	82,597	0,600	0,926	24,167	22,377	40,741	497,942
90	25,000	1200,000	86,394	0,600	0,926	24,722	22,891	41,667	520,833
92	25,556	1173,913	90,276	0,600	0,926	25,278	23,405	42,593	544,239
94	26,111	1148,936	94,244	0,600	0,926	25,833	23,920	43,519	568,158
96	26,667	1125,000	98,297	0,600	0,926	26,389	24,434	44,444	592,593
98	27,222	1102,041	102,435	0,600	0,926	26,944	24,949	45,370	617,541
100	27,778	1080,000	106,659	0,600	0,926	27,500	25,463	46,296	643,004

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	1058,824	110,968	0,600	0,926	28,056	25,977	47,222	668,981
104	28,889	1038,462	115,362	0,600	0,926	28,611	26,492	48,148	695,473
106	29,444	1018,868	119,842	0,600	0,926	29,167	27,006	49,074	722,479
108	30,000	1000,000	124,407	0,600	0,926	29,722	27,521	50,000	750,000
110	30,556	981,818	129,057	0,600	0,926	30,278	28,035	50,926	778,035
112	31,111	964,286	133,793	0,597	0,931	30,833	28,708	51,857	806,743
114	31,667	947,368	138,614	0,585	0,950	31,389	29,809	52,807	836,553
116	32,222	931,034	143,520	0,568	0,977	31,944	31,219	53,784	867,772
118	32,778	915,254	148,512	0,552	1,006	32,500	32,691	54,790	900,463
120	33,333	900,000	153,589	0,536	1,036	33,056	34,230	55,825	934,693
122	33,889	885,246	158,751	0,521	1,066	33,611	35,839	56,892	970,532
124	34,444	870,968	163,999	0,506	1,098	34,167	37,524	57,990	1008,056
126	35,000	857,143	169,332	0,491	1,132	34,722	39,290	59,121	1047,346
128	35,556	843,750	174,750	0,476	1,166	35,278	41,142	60,288	1088,488
130	36,111	830,769	180,254	0,462	1,202	35,833	43,088	61,490	1131,576
132	36,667	818,182	185,843	0,448	1,240	36,389	45,133	62,730	1176,709
134	37,222	805,970	191,517	0,434	1,280	36,944	47,286	64,010	1223,995
136	37,778	794,118	197,276	0,420	1,321	37,500	49,556	65,332	1273,551
138	38,333	782,609	203,121	0,407	1,365	38,056	51,952	66,697	1325,503
140	38,889	771,429	209,052	0,394	1,411	38,611	54,485	68,108	1379,989
142	39,444	760,563	215,067	0,381	1,460	39,167	57,168	69,568	1437,157
144	40,000	750,000	221,168	0,368	1,511	39,722	60,013	71,079	1497,170
146	40,556	739,726	227,354	0,355	1,565	40,278	63,036	72,644	1560,206
148	41,111	729,730	233,626	0,342	1,623	40,833	66,255	74,266	1626,461
150	41,667	720,000	239,983	0,330	1,684	41,389	69,689	75,950	1696,151
152	42,222	710,526	246,425	0,318	1,749	41,944	73,362	77,699	1769,512
154	42,778	701,299	252,952	0,305	1,819	42,500	77,298	79,518	1846,810
156	43,333	692,308	259,565	0,293	1,894	43,056	81,527	81,411	1928,337
158	43,889	683,544	266,263	0,281	1,974	43,611	86,085	83,385	2014,422
160	44,444	675,000	273,047	0,270	2,061	44,167	91,011	85,446	2105,433
162	45,000	666,667	279,916	0,258	2,154	44,722	96,352	87,600	2201,785
164	45,556	658,537	286,870	0,246	2,256	45,278	102,164	89,857	2303,949
166	46,111	650,602	293,909	0,235	2,368	45,833	108,513	92,224	2412,462
168	46,667	642,857	301,034	0,223	2,489	46,389	115,477	94,714	2527,939
170	47,222	635,294	308,244	0,212	2,623	46,944	123,151	97,337	2651,090
172	47,778	627,907	315,540	0,200	2,772	47,500	131,651	100,109	2782,742
174	48,333	620,690	322,921	0,189	2,937	48,056	141,120	103,045	2923,862
176	48,889	613,636	330,387	0,178	3,121	48,611	151,733	106,167	3075,595
178	49,444	606,742	337,938	0,167	3,330	49,167	163,715	109,496	3239,310
180	50,000	600,000	345,575	0,156	3,567	49,722	177,349	113,063	3416,659
182	50,556	593,407	353,297	0,145	3,839	50,278	193,006	116,902	3609,666
184	51,111	586,957	361,105	0,134	4,154	50,833	211,175	121,056	3820,841
186	51,667	580,645	368,997	0,123	4,525	51,389	232,516	125,581	4053,356
188	52,222	574,468	376,975	0,112	4,966	51,944	257,943	130,547	4311,300
190	52,778	568,421	385,039	0,101	5,500	52,500	288,762	136,047	4600,062
192	53,333	562,500	393,188	0,090	6,161	53,056	326,895	142,208	4926,957
194	53,889	556,701	401,422	0,079	7,001	53,611	375,308	149,209	5302,266
196	54,444	551,020	409,741	0,069	8,101	54,167	438,817	157,310	5741,083
198	55,000	545,455	418,146	0,058	9,609	54,722	525,803	166,919	6266,885
200	55,556	540,000	426,636	0,047	11,800	55,278	652,262	178,718	6919,147
202	56,111	534,653	435,211	0,036	15,278	55,833	852,995	193,996	7772,143
204	56,667	529,412	443,872	0,026	21,648	56,389	1220,734	215,644	8992,877
206	57,222	524,272	452,618	0,015	37,100	56,944	2112,613	252,744	11105,489

Анализ результатов расчета максимальной скорости движения, приведенных в таблицах 14 и 15, показывает, что электродвигатели АИР160S2 суммарной мощностью 30 кВт позволяют уверенно разогнать юнибус колеей 1000 мм до скорости 200 км/час как в условиях безветрия, так и при встречном ветре 15 м/с. 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:

$$M_1 = N \cdot k / \omega = 15000 \cdot 2,7 / 314 = 129 \text{ Н м}$$

где:

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

$k = 2,7$ — допускаемый коэффициент перегрузки электродвигателей АИР160S2.

Определение наибольшего крутящего момента на тяговом колесе:

$$M_2 = M_1 \cdot i = 129 \cdot 1,27 = 163,8 \text{ Нм}$$

где:

$i = n_1 / n_2 = 3000 / 2358 = 1,27$ — передаточное число понижающего редуктора;

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

$n_2 = V_{\max} / 0,377 \cdot r = 200 / 0,377 \cdot 0,225 = 2358 \text{ об/мин}$ — частота вращения тяговых колес при принятой максимальной скорости 200 км/час.

Максимальный продольный уклон пути, преодолеваемого модулем, можно определить из равенства:

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

$$\sin \alpha_{\max} = (2 \cdot M_2 / r - F - F_{\text{вет}}) / m \cdot g = (2 \cdot 163,8 / 0,225 - 28 - 31) / 1300 \cdot 9,8 = 0,1$$

Отсюда, максимальный продольный уклон пути, определяемый мощностью привода, будет равен $\alpha_{\max} = 5,7^\circ$ (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:

$$\sin \alpha = P_{\text{сц}} - F - F_{\text{вет}} / m \cdot g = 917 - 28 - 31 / 1300 \cdot 9,8 = 0,067$$

где:

$$P_{\text{сц}} = m_2 \cdot g \cdot \varphi = 780 \cdot 9,8 \cdot 0,12 = 917 \text{ Н} \text{ — сила тяги по сцеплению.}$$

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 16.

9. Общее время, необходимое для преодоления всего участка пути

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

Результаты расчета — см. таблицу 16.

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

Варианты условий	S_p , м	T_p , с	$S_{равн}$, м	$T_{равн}$, с	T , с (час)
Вариант 1 (безветрие)	5856	158	241572	4348,7	4599,3 (1,27)
Вариант 2 (встречный ветер 15 м/с)	6919	178,7	240509	4329,6	4600,9 (1,27)

10. Энергия на тяговых колесах, необходимая для разгона

$$W_1 = W_{11} + W_{12}, \text{ Дж}$$

где:

$W_{11} = (m \cdot a + R_1 + F + F_{вет}) S_1$ — 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. таблицы 14 и 15);

S_1 — протяженность участка разгона с постоянным ускорением $0,6 \text{ м/с}^2$ (см. таблицы 14 и 15);

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

t_2 — время разгона до скорости 200 км/ч (см. таблицы 14 и 15);

t_1 — время разгона с постоянным ускорением $0,6 \text{ м/с}^2$ (см. таблицы 14 и 15).

Результаты расчета — см. таблицу 17.

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:

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

где:

$R_2 = 540 \text{ Н}$ — сила аэродинамического сопротивления движению юнибуса при скорости 200 км/ч (см. таблицы 14 и 15).

Результаты расчета — см. таблицу 17.

Таблица 17

Энергия на тяговых колесах, необходимая для разгона и равномерного движения

Вариант	W_{11} , МДж	W_{12} , МДж	W_1 , МДж	W_2 , МДж
1 (безветрие)	0,733	3,156	3,88	137,2
2 (встречный ветер)	0,706	3,834	4,54	144,1

12. Определение энергии рекуперации на участке торможения

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

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

Результаты расчета — см. таблицы 18 и 19.

Энергия, затрачиваемая на преодоление сил аэродинамического сопротивления, сопротивления качению колес и встречного ветра ($W_{\text{п}}$), 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. таблицы 18 и 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+Fвет	Nт, Вт	Nтср, Вт	ΔW, Дж
200	55,56	426,636	454,664	25259,10014	25078,32978	11610,34
199	55,28	422,380	450,408	24897,55943	24718,55784	11443,78
198	55,00	418,146	446,174	24539,55625	24362,31453	11278,85
197	54,72	413,933	441,961	24185,07281	24009,58208	11115,55
196	54,44	409,741	437,769	23834,09134	23660,34271	10953,86
195	54,17	405,571	433,599	23486,59407	23314,57864	10793,79
194	53,89	401,422	429,450	23142,56321	22972,2721	10635,31
193	53,61	397,294	425,322	22801,98099	22633,40531	10478,43
192	53,33	393,188	421,216	22464,82963	22297,96049	10323,13
191	53,06	389,103	417,131	22131,09136	21965,91988	10169,41
190	52,78	385,039	413,067	21800,7484	21637,26568	10017,25
189	52,50	380,996	409,024	21473,78297	21311,98013	9866,66
188	52,22	376,975	405,003	21150,1773	20990,04545	9717,61
187	51,94	372,976	401,004	20829,91361	20671,44386	9570,11
186	51,67	368,997	397,025	20512,97412	20356,15759	9424,15
185	51,39	365,040	393,068	20199,34106	20044,16886	9279,71
184	51,11	361,105	389,133	19888,99665	19735,45989	9136,79
183	50,83	357,190	385,218	19581,92312	19430,0129	8995,38
182	50,56	353,297	381,325	19278,10268	19127,81013	8855,47
181	50,28	349,425	377,453	18977,51757	18828,83378	8717,05
180	50,00	345,575	373,603	18680,15	18533,0661	8580,12
179	49,72	341,746	369,774	18385,9822	18240,48929	8444,67
178	49,44	337,938	365,966	18094,99639	17951,08559	8310,69
177	49,17	334,152	362,180	17807,1748	17664,83722	8178,17
176	48,89	330,387	358,415	17522,49964	17381,7264	8047,10
175	48,61	326,643	354,671	17240,95315	17101,73535	7917,47
174	48,33	322,921	350,949	16962,51755	16824,8463	7789,28
173	48,06	319,220	347,248	16687,17505	16551,04147	7662,52
172	47,78	315,540	343,568	16414,90789	16280,30308	7537,18
171	47,50	311,881	339,909	16145,69828	16012,61337	7413,25
170	47,22	308,244	336,272	15879,52846	15747,95454	7290,72
169	46,94	304,629	332,657	15616,38063	15486,30883	7169,59
168	46,67	301,034	329,062	15356,23704	15227,65846	7049,84
167	46,39	297,461	325,489	15099,07989	14971,98566	6931,47
166	46,11	293,909	321,937	14844,89142	14719,27263	6814,48
165	45,83	290,379	318,407	14593,65385	14469,50162	6698,84
164	45,56	286,870	314,898	14345,3494	14222,65484	6584,56
163	45,28	283,382	311,410	14099,96029	13978,71452	6471,63
162	45,00	279,916	307,944	13857,46875	13737,66288	6360,03
161	44,72	276,471	304,499	13617,857	13499,48214	6249,76
160	44,44	273,047	301,075	13381,10727	13264,15452	6140,81
159	44,17	269,644	297,672	13147,20178	13031,66226	6033,18
158	43,89	266,263	294,291	12916,12275	12801,98757	5926,85
157	43,61	262,904	290,932	12687,8524	12575,11268	5821,81
156	43,33	259,565	287,593	12462,37296	12351,01981	5718,06
155	43,06	256,248	284,276	12239,66666	12129,69119	5615,60
154	42,78	252,952	280,980	12019,71571	11911,10903	5514,40
153	42,50	249,678	277,706	11802,50234	11695,25556	5414,47
152	42,22	246,425	274,453	11588,00878	11482,11301	5315,79

V, км/ч	V, м/с	R, Н	R+F+Fвет	Nт, Вт	Nтср, Вт	ΔW, Дж
151	41,94	243,193	271,221	11376,21724	11271,6636	5218,36
150	41,67	239,983	268,011	11167,10995	11063,88955	5122,17
149	41,39	236,794	264,822	10960,66914	10858,77308	5027,21
148	41,11	233,626	261,654	10756,87702	10656,29643	4933,47
147	40,83	230,479	258,507	10555,71583	10456,4418	4840,95
146	40,56	227,354	255,382	10357,16778	10259,19143	4749,63
145	40,28	224,250	252,278	10161,21509	10064,52755	4659,50
144	40,00	221,168	249,196	9967,84	9872,432361	4570,57
143	39,72	218,107	246,135	9777,024722	9682,888103	4482,82
142	39,44	215,067	243,095	9588,751483	9495,876994	4396,24
141	39,17	212,049	240,077	9403,002506	9311,38126	4310,82
140	38,89	209,052	237,080	9219,760014	9129,383122	4226,57
139	38,61	206,076	234,104	9039,00623	8949,864805	4143,46
138	38,33	203,121	231,149	8860,72338	8772,808532	4061,49
137	38,06	200,188	228,216	8684,893685	8598,196527	3980,65
136	37,78	197,276	225,304	8511,499369	8426,011013	3900,93
135	37,50	194,386	222,414	8340,522656	8256,234213	3822,33
134	37,22	191,517	219,545	8171,94577	8088,848352	3744,84
133	36,94	188,669	216,697	8005,750933	7923,835652	3668,44
132	36,67	185,843	213,871	7841,92037	7761,178337	3593,14
131	36,39	183,037	211,065	7680,436304	7600,858631	3518,92
130	36,11	180,254	208,282	7521,280959	7442,858758	3445,77
129	35,83	177,491	205,519	7364,436557	7287,16094	3373,69
128	35,56	174,750	202,778	7209,885322	7133,747401	3302,66
127	35,28	172,030	200,058	7057,609479	6982,600364	3232,69
126	35,00	169,332	197,360	6907,59125	6833,702055	3163,75
125	34,72	166,655	194,683	6759,812859	6687,034694	3095,85
124	34,44	163,999	192,027	6614,256529	6542,580507	3028,97
123	34,17	161,364	189,392	6470,904485	6400,321717	2963,11
122	33,89	158,751	186,779	6329,738949	6260,240547	2898,26
121	33,61	156,159	184,187	6190,742145	6122,319221	2834,41
120	33,33	153,589	181,617	6053,896296	5986,539962	2771,55
119	33,06	151,040	179,068	5919,183627	5852,884993	2709,67
118	32,78	148,512	176,540	5786,58636	5721,336539	2648,77
117	32,50	146,005	174,033	5656,086719	5591,876823	2588,83
116	32,22	143,520	171,548	5527,666927	5464,488068	2529,86
115	31,94	141,056	169,084	5401,309209	5339,152498	2471,83
114	31,67	138,614	166,642	5276,995787	5215,852336	2414,75
113	31,39	136,193	164,221	5154,708885	5094,569806	2358,60
112	31,11	133,793	161,821	5034,430727	4975,287131	2303,37
111	30,83	131,414	159,442	4916,143536	4857,986536	2249,07
110	30,56	129,057	157,085	4799,829535	4742,650242	2195,67
109	30,28	126,721	154,749	4685,470949	4629,260474	2143,18
108	30,00	124,407	152,435	4573,05	4517,799456	2091,57
107	29,72	122,114	150,142	4462,548912	4408,249411	2040,86
106	29,44	119,842	147,870	4353,949909	4300,592562	1991,02
105	29,17	117,591	145,619	4247,235214	4194,811132	1942,04
104	28,89	115,362	143,390	4142,387051	4090,887347	1893,93
103	28,61	113,154	141,182	4039,387643	3988,803428	1846,67
102	28,33	110,968	138,996	3938,219213	3888,541599	1800,25
101	28,06	108,803	136,831	3838,863986	3790,084085	1754,67
100	27,78	106,659	134,687	3741,304184	3693,413108	1709,91
99	27,50	104,536	132,564	3645,522031	3598,510891	1665,98

V, км/ч	V, м/с	R, Н	R+F+Fвет	Nт, Вт	Nтср, Вт	ΔW, Дж
98	27,22	102,435	130,463	3551,499751	3505,35966	1622,85
97	26,94	100,355	128,383	3459,219568	3413,941636	1580,53
96	26,67	98,297	126,325	3368,663704	3324,239043	1539,00
95	26,39	96,260	124,288	3279,814383	3236,234106	1498,26
94	26,11	94,244	122,272	3192,653829	3149,909047	1458,29
93	25,83	92,249	120,277	3107,164265	3065,24609	1419,10
92	25,56	90,276	118,304	3023,327915	2982,227459	1380,66
91	25,28	88,324	116,352	2941,127002	2900,835376	1342,98
90	25,00	86,394	114,422	2860,54375	2821,052066	1306,04
89	24,72	84,485	112,513	2781,560382	2742,859752	1269,84
88	24,44	82,597	110,625	2704,159122	2666,240658	1234,37
87	24,17	80,730	108,758	2628,322193	2591,177006	1199,62
86	23,89	78,885	106,913	2554,031819	2517,651021	1165,58
85	23,61	77,061	105,089	2481,270224	2445,644927	1132,24
84	23,33	75,259	103,287	2410,01963	2375,140945	1099,60
83	23,06	73,477	101,505	2340,262261	2306,121301	1067,65
82	22,78	71,717	99,745	2271,980341	2238,568217	1036,37
81	22,50	69,979	98,007	2205,156094	2172,463918	1005,77
80	22,22	68,262	96,290	2139,771742	2107,790626	975,83
79	21,94	66,566	94,594	2075,80951	2044,530565	946,54
78	21,67	64,891	92,919	2013,25162	1982,665959	917,90
77	21,39	63,238	91,266	1952,080297	1922,179031	889,90
76	21,11	61,606	89,634	1892,277764	1863,052004	862,52
75	20,83	59,996	88,024	1833,826244	1805,267103	835,77
74	20,56	58,406	86,434	1776,707961	1748,80655	809,63
73	20,28	56,839	84,867	1720,905139	1693,652569	784,10
72	20,00	55,292	83,320	1666,4	1639,787384	759,16
71	19,72	53,767	81,795	1613,174769	1587,193219	734,81
70	19,44	52,263	80,291	1561,211668	1535,852295	711,04
69	19,17	50,780	78,808	1510,492922	1485,746838	687,85
68	18,89	49,319	77,347	1461,000754	1436,859071	665,21
67	18,61	47,879	75,907	1412,717388	1389,171217	643,13
66	18,33	46,461	74,489	1365,625046	1342,6655	621,60
65	18,06	45,063	73,091	1319,705953	1297,324143	600,61
64	17,78	43,688	71,716	1274,942332	1253,129369	580,15
63	17,50	42,333	70,361	1231,316406	1210,063403	560,21
62	17,22	41,000	69,028	1188,8104	1168,108467	540,79
61	16,94	39,688	67,716	1147,406535	1127,246786	521,87
60	16,67	38,397	66,425	1107,087037	1087,460583	503,45
59	16,39	37,128	65,156	1067,834128	1048,73208	485,52
58	16,11	35,880	63,908	1029,630033	1011,043503	468,08
57	15,83	34,653	62,681	992,4569734	974,3770738	451,10
56	15,56	33,448	61,476	956,2971742	938,7150164	434,59
55	15,28	32,264	60,292	921,1328586	904,0395543	418,54
54	15,00	31,102	59,130	886,94625	870,332911	402,93
53	14,72	29,960	57,988	853,719572	837,57731	387,77
52	14,44	28,841	56,869	821,435048	805,7549748	373,03
51	14,17	27,742	55,770	790,0749016	774,848129	358,73
50	13,89	26,665	54,693	759,6213563	744,8389959	344,83
49	13,61	25,609	53,637	730,0566356	715,7097993	331,35
48	13,33	24,574	52,602	701,362963	687,4427625	318,26
47	13,06	23,561	51,589	673,5225619	660,020109	305,56
46	12,78	22,569	50,597	646,517656	633,4240624	293,25

V, км/ч	V, м/с	R, Н	R+F+Fвет	Nт, Вт	Nтср, Вт	ΔW, Дж
45	12,50	21,598	49,626	620,3304688	607,6368462	281,31
44	12,22	20,649	48,677	594,9432236	582,6406838	269,74
43	11,94	19,721	47,749	570,3381441	558,4177989	258,53
42	11,67	18,815	46,843	546,4974537	534,9504148	247,66
41	11,39	17,929	45,957	523,403376	512,2207552	237,14
40	11,11	17,065	45,093	501,0381344	490,2110435	226,95
39	10,83	16,223	44,251	479,3839525	468,9035032	217,08
38	10,56	15,402	43,430	458,4230538	448,2803578	207,54
37	10,28	14,602	42,630	438,1376618	428,3238309	198,30
36	10,00	13,823	41,851	418,51	409,0161459	189,36
35	9,72	13,066	41,094	399,5222919	390,3395264	180,71
34	9,44	12,330	40,358	381,156761	372,2761959	172,35
33	9,17	11,615	39,643	363,3956308	354,8083778	164,26
32	8,89	10,922	38,950	346,2211248	337,9182957	156,44
31	8,61	10,250	38,278	329,6154666	321,5881731	148,88
30	8,33	9,599	37,627	313,5608796	305,8002335	141,57
29	8,06	8,970	36,998	298,0395874	290,5367004	134,51
28	7,78	8,362	36,390	283,0338134	275,7797973	127,68
27	7,50	7,775	35,803	268,5257813	261,5117478	121,07
26	7,22	7,210	35,238	254,4977143	247,7147753	114,68
25	6,94	6,666	34,694	240,9318362	234,3711033	108,51
24	6,67	6,144	34,172	227,8103704	221,4629554	102,53
23	6,39	5,642	33,670	215,1155403	208,972555	96,75
22	6,11	5,162	33,190	202,8295696	196,8821257	91,15
21	5,83	4,704	32,732	190,9346817	185,1738909	85,73
20	5,56	4,266	32,294	179,4131001	173,8300743	80,48
19	5,28	3,850	31,878	168,2470484	162,8328992	75,39
18	5,00	3,456	31,484	157,41875	152,1645892	70,45
17	4,72	3,082	31,110	146,9104285	141,8073679	65,65
16	4,44	2,730	30,758	136,7043073	131,7434586	60,99
15	4,17	2,400	30,428	126,78261	121,955085	56,46
14	3,89	2,091	30,119	117,12756	112,4244705	52,05
13	3,61	1,803	29,831	107,721381	103,1338386	47,75
12	3,33	1,536	29,564	98,5462963	94,06541292	43,55
11	3,06	1,291	29,319	89,58452954	85,20141686	39,45
10	2,78	1,067	29,095	80,81830418	76,52407397	35,43
9	2,50	0,864	28,892	72,22984375	68,01560775	31,49
8	2,22	0,683	28,711	63,80137174	59,65824171	27,62
7	1,94	0,523	28,551	55,51511167	51,43419935	23,81
6	1,67	0,384	28,412	47,35328704	43,3257042	20,06
5	1,39	0,267	28,295	39,29812136	35,31497975	16,35
4	1,11	0,171	28,199	31,33183813	27,38424951	12,68
3	0,83	0,096	28,124	23,43666088	19,51573699	9,04
2	0,56	0,043	28,071	15,5948131	11,6916657	5,41
1	0,28	0,011	28,039	7,788518304	3,894259152	1,80
0	0,00	0,000	28,028	0	0	0,00

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

V, км/ч	V, м/с	R, Н	R+F+Fвет, Н	Nт, Вт	Nтгр, Вт	ΔW, Дж
200	55,56	426,636	469,664	26092,43347	25909,57978	11995,18
199	55,28	422,380	465,408	25726,7261	25545,64117	11826,69
198	55,00	418,146	461,174	25364,55625	25185,2312	11659,83
197	54,72	413,933	456,961	25005,90615	24828,33208	11494,60
196	54,44	409,741	452,769	24650,75801	24474,92604	11330,98
195	54,17	405,571	448,599	24299,09407	24124,9953	11168,98
194	53,89	401,422	444,450	23950,89654	23778,5221	11008,58
193	53,61	397,294	440,322	23606,14765	23435,48864	10849,76
192	53,33	393,188	436,216	23264,82963	23095,87716	10692,54
191	53,06	389,103	432,131	22926,92469	22759,66988	10536,88
190	52,78	385,039	428,067	22592,41506	22426,84902	10382,80
189	52,50	380,996	424,024	22261,28297	22097,3968	10230,28
188	52,22	376,975	420,003	21933,51063	21771,29545	10079,30
187	51,94	372,976	416,004	21609,08027	21448,5272	9929,87
186	51,67	368,997	412,025	21287,97412	21129,07426	9781,98
185	51,39	365,040	408,068	20970,17439	20812,91886	9635,61
184	51,11	361,105	404,133	20655,66332	20500,04322	9490,76
183	50,83	357,190	400,218	20344,42312	20190,42957	9347,42
182	50,56	353,297	396,325	20036,43602	19884,06013	9205,58
181	50,28	349,425	392,453	19731,68424	19580,91712	9065,24
180	50,00	345,575	388,603	19430,15	19280,98277	8926,38
179	49,72	341,746	384,774	19131,81553	18984,23929	8789,00
178	49,44	337,938	380,966	18836,66306	18690,66893	8653,09
177	49,17	334,152	377,180	18544,6748	18400,25389	8518,64
176	48,89	330,387	373,415	18255,83298	18112,9764	8385,64
175	48,61	326,643	369,671	17970,11982	17828,81868	8254,08
174	48,33	322,921	365,949	17687,51755	17547,76296	8123,96
173	48,06	319,220	362,248	17408,00838	17269,79147	7995,27
172	47,78	315,540	358,568	17131,57455	16994,88642	7868,00
171	47,50	311,881	354,909	16858,19828	16723,03003	7742,14
170	47,22	308,244	351,272	16587,86179	16454,20454	7617,69
169	46,94	304,629	347,657	16320,5473	16188,39217	7494,63
168	46,67	301,034	344,062	16056,23704	15925,57513	7372,95
167	46,39	297,461	340,489	15794,91323	15665,73566	7252,66
166	46,11	293,909	336,937	15536,55809	15408,85597	7133,73
165	45,83	290,379	333,407	15281,15385	15154,91829	7016,17
164	45,56	286,870	329,898	15028,68273	14903,90484	6899,96
163	45,28	283,382	326,410	14779,12696	14655,79785	6785,09
162	45,00	279,916	322,944	14532,46875	14410,57954	6671,56
161	44,72	276,471	319,499	14288,69034	14168,23214	6559,37
160	44,44	273,047	316,075	14047,77394	13928,73786	6448,49
159	44,17	269,644	312,672	13809,70178	13692,07893	6338,93
158	43,89	266,263	309,291	13574,45608	13458,23757	6230,67
157	43,61	262,904	305,932	13342,01907	13227,19601	6123,70
156	43,33	259,565	302,593	13112,37296	12998,93648	6018,03
155	43,06	256,248	299,276	12885,49999	12773,44119	5913,63
154	42,78	252,952	295,980	12661,38238	12550,69236	5810,51
153	42,50	249,678	292,706	12440,00234	12330,67223	5708,64
152	42,22	246,425	289,453	12221,34211	12113,36301	5608,04

V, км/ч	V, м/с	R, Н	R+F+Fвет, Н	Nт, Вт	Nтср, Вт	ΔW, Дж
151	41,94	243,193	286,221	12005,38391	11898,74693	5508,68
150	41,67	239,983	283,011	11792,10995	11686,80621	5410,56
149	41,39	236,794	279,822	11581,50247	11477,52308	5313,67
148	41,11	233,626	276,654	11373,54369	11270,87976	5218,00
147	40,83	230,479	273,507	11168,21583	11066,85847	5123,55
146	40,56	227,354	270,382	10965,50111	10865,44143	5030,30
145	40,28	224,250	267,278	10765,38176	10666,61088	4938,25
144	40,00	221,168	264,196	10567,84	10470,34903	4847,38
143	39,72	218,107	261,135	10372,85806	10276,6381	4757,70
142	39,44	215,067	258,095	10180,41815	10085,46033	4669,19
141	39,17	212,049	255,077	9990,502506	9896,797926	4581,85
140	38,89	209,052	252,080	9803,093347	9710,633122	4495,66
139	38,61	206,076	249,104	9618,172897	9526,948138	4410,62
138	38,33	203,121	246,149	9435,72338	9345,725199	4326,72
137	38,06	200,188	243,216	9255,727018	9166,946527	4243,96
136	37,78	197,276	240,304	9078,166036	8990,594346	4162,31
135	37,50	194,386	237,414	8903,022656	8816,65088	4081,78
134	37,22	191,517	234,545	8730,279103	8645,098352	4002,36
133	36,94	188,669	231,697	8559,9176	8475,918985	3924,04
132	36,67	185,843	228,871	8391,92037	8309,095004	3846,80
131	36,39	183,037	226,065	8226,269638	8144,608631	3770,65
130	36,11	180,254	223,282	8062,947625	7982,442091	3695,58
129	35,83	177,491	220,519	7901,936557	7822,577606	3621,56
128	35,56	174,750	217,778	7743,218656	7664,997401	3548,61
127	35,28	172,030	215,058	7586,776146	7509,683698	3476,71
126	35,00	169,332	212,360	7432,59125	7356,618721	3405,84
125	34,72	166,655	209,683	7280,646192	7205,784694	3336,01
124	34,44	163,999	207,027	7130,923196	7057,163841	3267,21
123	34,17	161,364	204,392	6983,404485	6910,738384	3199,42
122	33,89	158,751	201,779	6838,072282	6766,490547	3132,63
121	33,61	156,159	199,187	6694,908812	6624,402554	3066,85
120	33,33	153,589	196,617	6553,896296	6484,456628	3002,06
119	33,06	151,040	194,068	6415,01696	6346,634993	2938,26
118	32,78	148,512	191,540	6278,253026	6210,919873	2875,43
117	32,50	146,005	189,033	6143,586719	6077,29349	2813,56
116	32,22	143,520	186,548	6011,000261	5945,738068	2752,66
115	31,94	141,056	184,084	5880,475876	5816,235831	2692,70
114	31,67	138,614	181,642	5751,995787	5688,769003	2633,69
113	31,39	136,193	179,221	5625,542219	5563,319806	2575,61
112	31,11	133,793	176,821	5501,097394	5439,870465	2518,46
111	30,83	131,414	174,442	5378,643536	5318,403202	2462,22
110	30,56	129,057	172,085	5258,162869	5198,900242	2406,90
109	30,28	126,721	169,749	5139,637616	5081,343808	2352,47
108	30,00	124,407	167,435	5023,05	4965,716123	2298,94
107	29,72	122,114	165,142	4908,382246	4851,999411	2246,30
106	29,44	119,842	162,870	4795,616576	4740,175895	2194,53
105	29,17	117,591	160,619	4684,735214	4630,227799	2143,62
104	28,89	115,362	158,390	4575,720384	4522,137347	2093,58
103	28,61	113,154	156,182	4468,554309	4415,886761	2044,39
102	28,33	110,968	153,996	4363,219213	4311,458266	1996,05
101	28,06	108,803	151,831	4259,697319	4208,834085	1948,53
100	27,78	106,659	149,687	4157,97085	4107,996441	1901,85
99	27,50	104,536	147,564	4058,022031	4008,927558	1855,98

V, км/ч	V, м/с	R, Н	R+F+Fвет, Н	Nт, Вт	Nтср, Вт	ΔW, Дж
98	27,22	102,435	145,463	3959,833085	3911,60966	1810,93
97	26,94	100,355	143,383	3863,386234	3816,024969	1766,68
96	26,67	98,297	141,325	3768,663704	3722,15571	1723,22
95	26,39	96,260	139,288	3675,647716	3629,984106	1680,55
94	26,11	94,244	137,272	3584,320496	3539,49238	1638,65
93	25,83	92,249	135,277	3494,664265	3450,662757	1597,53
92	25,56	90,276	133,304	3406,661248	3363,477459	1557,17
91	25,28	88,324	131,352	3320,293669	3277,918709	1517,55
90	25,00	86,394	129,422	3235,54375	3193,968733	1478,69
89	24,72	84,485	127,513	3152,393715	3111,609752	1440,56
88	24,44	82,597	125,625	3070,825789	3030,823991	1403,16
87	24,17	80,730	123,758	2990,822193	2951,593673	1366,48
86	23,89	78,885	121,913	2912,365153	2873,901021	1330,51
85	23,61	77,061	120,089	2835,43689	2797,72826	1295,24
84	23,33	75,259	118,287	2760,01963	2723,057612	1260,67
83	23,06	73,477	116,505	2686,095594	2649,871301	1226,79
82	22,78	71,717	114,745	2613,647008	2578,151551	1193,59
81	22,50	69,979	113,007	2542,656094	2507,880585	1161,06
80	22,22	68,262	111,290	2473,105075	2439,040626	1129,19
79	21,94	66,566	109,594	2404,976176	2371,613898	1097,97
78	21,67	64,891	107,919	2338,25162	2305,582625	1067,40
77	21,39	63,238	106,266	2272,913631	2240,929031	1037,47
76	21,11	61,606	104,634	2208,944431	2177,635337	1008,16
75	20,83	59,996	103,024	2146,326244	2115,683769	979,48
74	20,56	58,406	101,434	2085,041295	2055,05655	951,42
73	20,28	56,839	99,867	2025,071805	1995,735903	923,95
72	20,00	55,292	98,320	1966,4	1937,704051	897,09
71	19,72	53,767	96,795	1909,008102	1880,943219	870,81
70	19,44	52,263	95,291	1852,878335	1825,435629	845,11
69	19,17	50,780	93,808	1797,992922	1771,163505	819,98
68	18,89	49,319	92,347	1744,334088	1718,109071	795,42
67	18,61	47,879	90,907	1691,884055	1666,25455	771,41
66	18,33	46,461	89,489	1640,625046	1615,582166	747,95
65	18,06	45,063	88,091	1590,539286	1566,074143	725,03
64	17,78	43,688	86,716	1541,608999	1517,712702	702,64
63	17,50	42,333	85,361	1493,816406	1470,48007	680,78
62	17,22	41,000	84,028	1447,143733	1424,358467	659,43
61	16,94	39,688	82,716	1401,573202	1379,330119	638,58
60	16,67	38,397	81,425	1357,087037	1335,377249	618,23
59	16,39	37,128	80,156	1313,667462	1292,48208	598,37
58	16,11	35,880	78,908	1271,296699	1250,626836	578,99
57	15,83	34,653	77,681	1229,956973	1209,79374	560,09
56	15,56	33,448	76,476	1189,630508	1169,965016	541,65
55	15,28	32,264	75,292	1150,299525	1131,122888	523,67
54	15,00	31,102	74,130	1111,94625	1093,249578	506,13
53	14,72	29,960	72,988	1074,552905	1056,32731	489,04
52	14,44	28,841	71,869	1038,101715	1020,338308	472,38
51	14,17	27,742	70,770	1002,574902	985,2647956	456,14
50	13,89	26,665	69,693	967,9546896	951,0889959	440,32
49	13,61	25,609	68,637	934,2233023	917,7931326	424,90
48	13,33	24,574	67,602	901,362963	885,3594291	409,89
47	13,06	23,561	66,589	869,3558953	853,770109	395,26
46	12,78	22,569	65,597	838,1843227	823,0073957	381,02

V, км/ч	V, м/с	R, Н	R+F+Fвет, Н	Nт, Вт	Nтср, Вт	ΔW, Дж
45	12,50	21,598	64,626	807,8304688	793,0535128	367,15
44	12,22	20,649	63,677	778,2765569	763,8906838	353,65
43	11,94	19,721	62,749	749,5048107	735,5011322	340,51
42	11,67	18,815	61,843	721,4974537	707,8670815	327,72
41	11,39	17,929	60,957	694,2367093	680,9707552	315,26
40	11,11	17,065	60,093	667,7048011	654,7943768	303,15
39	10,83	16,223	59,251	641,8839525	629,3201699	291,35
38	10,56	15,402	58,430	616,7563872	604,5303578	279,88
37	10,28	14,602	57,630	592,3043285	580,4071642	268,71
36	10,00	13,823	56,851	568,51	556,9328126	257,84
35	9,72	13,066	56,094	545,3556252	534,0895264	247,26
34	9,44	12,330	55,358	522,8234276	511,8595292	236,97
33	9,17	11,615	54,643	500,8956308	490,2250445	226,96
32	8,89	10,922	53,950	479,5544582	469,1682957	217,21
31	8,61	10,250	53,278	458,7821333	448,6715065	207,72
30	8,33	9,599	52,627	438,5608796	428,7169002	198,48
29	8,06	8,970	51,998	418,8729207	409,2867004	189,48
28	7,78	8,362	51,390	399,7004801	390,3631307	180,72
27	7,50	7,775	50,803	381,0257813	371,9284145	172,19
26	7,22	7,210	50,238	362,8310477	353,9647753	163,87
25	6,94	6,666	49,694	345,0985029	336,4544366	155,77
24	6,67	6,144	49,172	327,8103704	319,379622	147,86
23	6,39	5,642	48,670	310,9488737	302,722555	140,15
22	6,11	5,162	48,190	294,4962363	286,465459	132,62
21	5,83	4,704	47,732	278,4346817	270,5905576	125,27
20	5,56	4,266	47,294	262,7464335	255,0800743	118,09
19	5,28	3,850	46,878	247,4137151	239,9162325	111,07
18	5,00	3,456	46,484	232,41875	225,0812559	104,20
17	4,72	3,082	46,110	217,7437618	210,5573679	97,48
16	4,44	2,730	45,758	203,3709739	196,3267919	90,89
15	4,17	2,400	45,428	189,28261	182,3717517	84,43
14	3,89	2,091	45,119	175,4608933	168,6744705	78,09
13	3,61	1,803	44,831	161,8880476	155,217172	71,86
12	3,33	1,536	44,564	148,5462963	141,9820796	65,73
11	3,06	1,291	44,319	135,4178629	128,9514169	59,70
10	2,78	1,067	44,095	122,4849709	116,1074073	53,75
9	2,50	0,864	43,892	109,7298438	103,4322744	47,89
8	2,22	0,683	43,711	97,13470508	90,90824171	42,09
7	1,94	0,523	43,551	84,68177834	78,51753269	36,35
6	1,67	0,384	43,412	72,35328704	66,24237086	30,67
5	1,39	0,267	43,295	60,13145469	54,06497975	25,03
4	1,11	0,171	43,199	47,9985048	41,96758284	19,43
3	0,83	0,096	43,124	35,93666088	29,93240366	13,86
2	0,56	0,043	43,071	23,92814643	17,9416657	8,31
1	0,28	0,011	43,039	11,95518497	5,977592485	2,77
0	0,00	0,000	43,028	0	0	0,00

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

- варианта 1 (без встречного ветра): $W_{\text{п}} = 0,462$ МДж;

- варианта 2 (встречный ветер 15 м/с): $W_{\text{п}} = 0,503 \text{ МДж}$.

Энергия рекуперации на участке торможения определяется по формуле:

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

где:

$W_{\text{к}} = m \cdot V^2 / 2 = 1300 \cdot 55,5^2 / 2 = 2,0 \text{ Дж}$ — 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:

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

Результаты расчета — см. таблицу 20.

14. Электроэнергия, затраченная на кондиционирование воздуха в салоне

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

$$W_{\text{ко}} = N_{\text{ко}} \cdot T / \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 = 1700 \cdot 4599,3 / 0,96 \cdot 0,9 \cdot 0,94 = 9627179,4 \text{ Дж}$$

Примечания:

1. Расчет произведен по варианту 1, т.к. расчетное время преодоления участка пути в обоих вариантах практически одинаковое (см. таблицу 16).

2. 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:

$$W_{\text{о}} = N_{\text{о}} \cdot T = 6240 \cdot 4599,3 = 28699632 \text{ Дж}$$

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:

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

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:

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

Результаты расчета — см. таблицу 20.

Таблица 20

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

Варианты	$W_{\text{р}},$ МДж (кВт×ч)	$W_{\text{д}},$ МДж (кВт×ч)	$W_{\text{ко}},$ МДж (кВт×ч)	$W_{\text{о}},$ МДж (кВт×ч)	$W_{\text{общ } 1},$ МДж (кВт×ч)	$W_{\text{общ } 2},$ МДж (кВт×ч)
1 (безветрие)	1,235 (0,343)	165,5 (45,972)	9,627 (2,674)	28,7 (7,970)	175,13 (48,646)	194,2 (53,94)
2 (встречный ветер)	1,219 (0,338)	174,4 (48,434)	9,627 (2,674)	28,7 (7,970)	184,03 (51,12)	203,1 (56,4)

18. Выводы

18.1. Использование двух электродвигателей типоразмера АИР160S2 с номинальной мощностью 15 кВт каждый позволяют уверенно разогнать юнибус до скорости 200 км /час, как в условиях безветрия, так и при встречном ветре 15 м /с.

18.2. Время разгона полностью загруженного юнибуса до скорости 200 км/час в условиях безветрия на горизонтальном участке пути составит 2,63 мин, при этом путь разгона будет равен 5,86 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 $\alpha_{\max} = 5,7^\circ$ 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 45,972 кВт ч. В условиях встречного ветра 15 м/с количество электроэнергии увеличится примерно на 2,46 кВт ч, т.е. на 5 %.

18.6. Электроэнергия, затраченная на кондиционирование воздуха в салоне при наружной температуре воздуха +40 °С составит 5,8% от электроэнергии, затраченной на движение.

18.7. Электроэнергия, затраченная на обогрев салона при наружной температуре воздуха минус 60°С составит 17,3 % от электроэнергии, затраченной на движение.

18.8. Наибольшее количество электроэнергии (около 56,4 кВт×ч) на маршруте потребуется при движении юнибуса в условиях встречного ветра и температуре наружного воздуха минус 60°C. При тарифе 0,2 USD за 1 кВт×ч стоимость электроэнергии составит около 11,3 USD, или в пересчете на одного пассажира — 2,3 USD/пасс. (для 5-ти местного юнибуса).

18.9. Количество электроэнергии при движении юнибуса с включенным на полную мощность кондиционером в условиях безветрия составит 48,65 кВт×ч. Стоимость электроэнергии в данном случае составит около 9,73 USD.

18.10. Наименьшее количество электроэнергии (около 46 кВт×ч) потребуется при движении юнибуса в условиях безветрия и отключенной системе кондиционирования (и отопления). Стоимость электроэнергии в данном случае составит около 9,2 USD, или в пересчете на одного пассажира — 1,8 USD/пасс. (для 5-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-314П и Ю-315П
(314П-0000010-01PP)

Содержание теплового баланса

Введение	105
1. Цель расчёта	105
2. Исходные данные	105
3. Условия и допущения расчёта	108
4. Тепловой баланс салона юнибуса в зимний период года	109
5. Тепловой баланс салона юнибуса в летний период года	115
6. Выводы	119

Введение

Данный расчет производится для высокоскоростного пассажирского юнибуса моделей Ю-314П и Ю-315П, предназначенного для 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 моделей Ю-314 и Ю-315П изображён на рисунке 44.

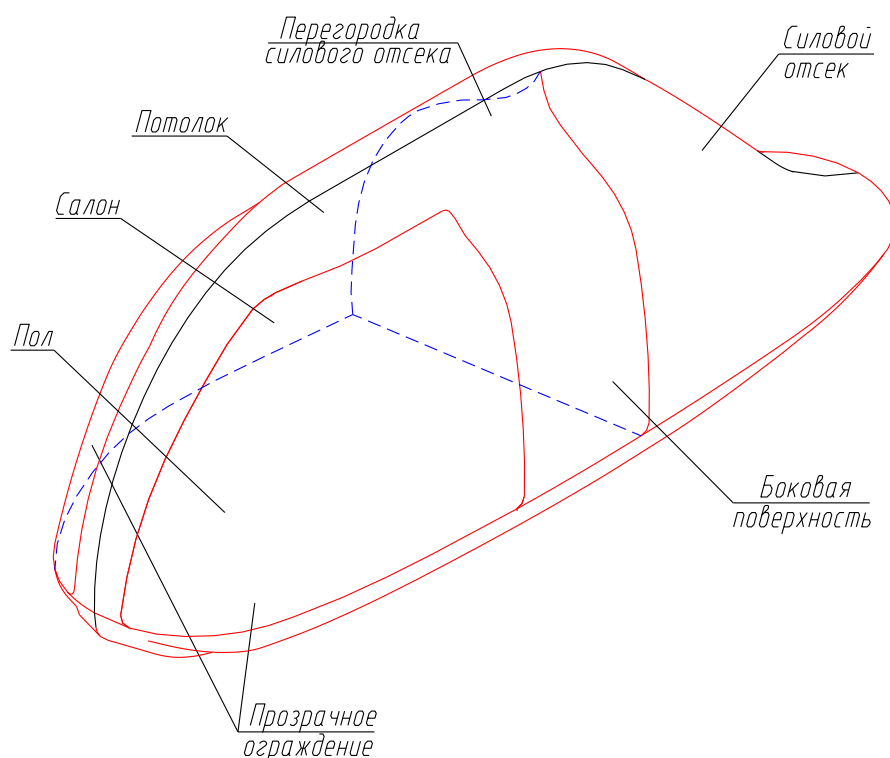


Рис. 44 Внешний вид юнибуса моделей Ю-314П и 315П

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 рис. 45.

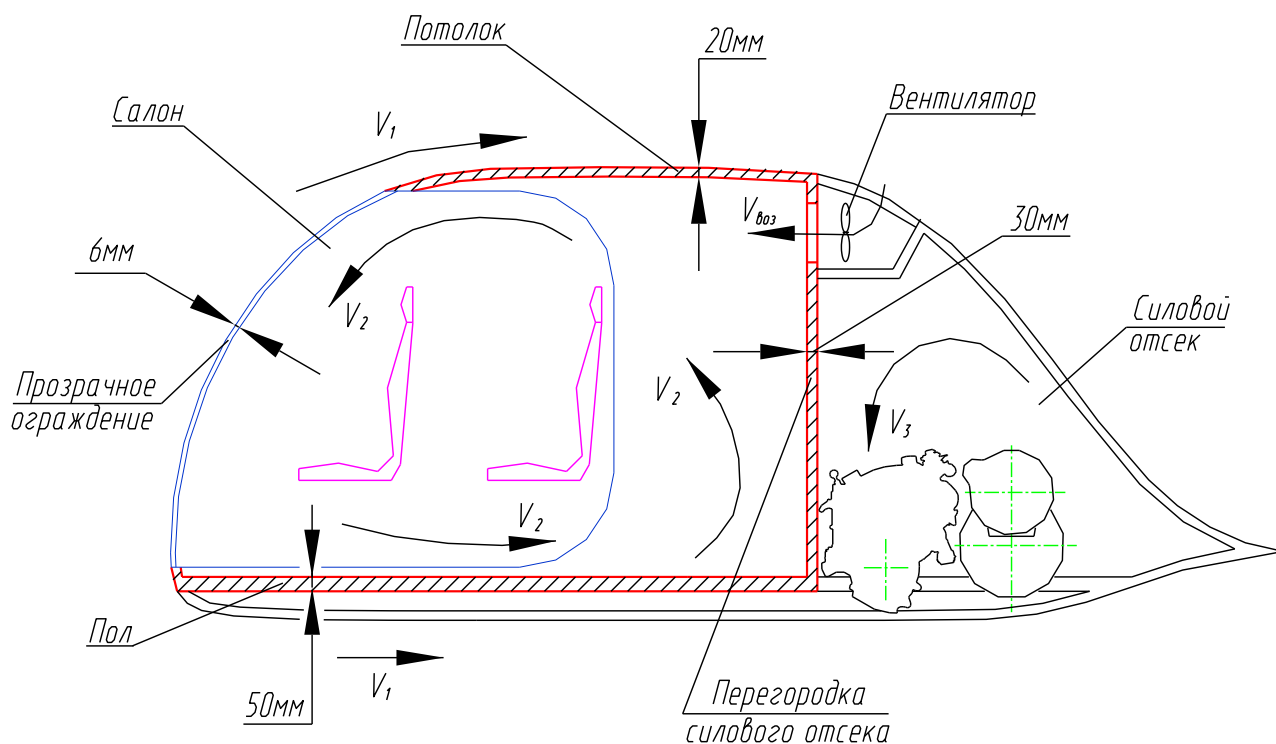


Рис. 45. Схема салона юнибуса моделей Ю-314П и 315П

- 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,
 $V_{\text{воз}}$ — объем 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	7,0	Рис. 44
Площадь поверхности потолка и боковых поверхностей	м ²	4,5	Рис. 44

Наименование параметра	Размерность	Величина параметра	Примечание
Площадь поверхности пола	м ²	4,2	Рис. 44
Площадь поверхности перегородки силового отсека	м ²	2,2	Рис. 44
Толщина материала прозрачных поверхностей	м	0,006	Рис. 45
Толщина теплоизолятора потолка и боковых поверхностей	м	0,01	Рис. 45
Толщина теплоизолятора пола	м	0,05	Рис. 45
Толщина теплоизолятора перегородки силового отсека	м	0,02	Рис. 45
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	4	
Скорость наружного воздуха относительно наружной поверхности юнибуса	км/ч	200	Рис. 45
Скорость воздуха в салоне относительно внутренней поверхности салона	км/ч	3,5	Рис. 45
Скорость воздуха в силовом отсеке относительно перегородки силового отсека	км/ч	10	Рис. 45

В качестве материала прозрачных поверхностей (остекления) юнибуса 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 и боковую поверхность, поверхность пола и поверхность перегородки силового отсека (см. рис. 44 и 45).

При расчёте теплового баланса салона юнибуса учитывались следующие виды переноса тепла через эти поверхности:

1) в зимний период эксплуатации:

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

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

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;
- излучение через прозрачные поверхности;

Также в расчёте учитывалось количество тепла, которое необходимо удалить

из наружного воздуха, поступающего в салон в летний период времени.

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,

$$V_{вз} = V_{п} \cdot n,$$

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

n — количество пассажиров,

$$V_{вз} = 30 \cdot 4 = 120 \text{ м}^3/\text{ч},$$

$\rho_{вз}$ — плотность воздуха, $\text{кг}/\text{м}^3$:

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

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

Относительная влажность воздуха 30%.

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

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

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

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

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

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

$\Delta T_{вз}$ — 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%.

Отсюда,

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

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

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

$$Q_{вз} = 120 \cdot 1,62 \cdot 0,22 \cdot 75 = 3216,35 \text{ Вт}.$$

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, $\text{Вт} / (\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$,

$$K_{пр} = 1 \cdot (1 / \alpha_n + \delta_{пр} / \lambda_{пр} + 1 / \alpha_v),$$

где:

α_n и α_b — коэффициенты теплоотдачи от наружного воздуха к наружной поверхности корпуса и от внутренней поверхности салона к воздуху салона.

$$\alpha_n = 5 + 0,0945 \cdot V_1,$$

$V_1 = 200$ км/час — скорость движения наружного воздуха относительно наружной поверхности корпуса.

$$\alpha_n = 5 + 0,0945 \cdot 200 = 23,9 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}),$$

$$\alpha_b = 7,1 + 0,018 \cdot V_2;$$

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

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

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

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

$$K_{\text{пр}} = 1 / (1 / 23,9 + 0,006 / 0,21 + 1 / 7,16) = 4,76 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}).$$

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

$$S_{\text{пр}} = 7 \text{ м}^2,$$

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

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

$$Q_{\text{пр}} = 4,76 \cdot 7 \cdot 75 = 2499,78 \text{ Вт}$$

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 / ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}$),

$$K_{\text{пт+бп}} = 1 \cdot (1 / \alpha_n + \delta_{\text{пт+бп}} / \lambda_{\text{пт+бп}} + 1 / \alpha_b),$$

где α_n и α_b — коэффициенты теплоотдачи от наружного воздуха к наружной поверхности корпуса и от поверхности салона к воздуху салона.

$$\alpha_n = 5 + 0,0945 \cdot V_1,$$

$V_1 = 200$ км/час — скорость движения наружного воздуха относительно

наружной поверхности корпуса.

$$\alpha_n = 5 + 0,0945 \cdot 200 = 23,9 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°С}),$$

$$\alpha_b = 7,1 + 0,018 \cdot V_2;$$

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

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

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

$\lambda_{\text{пот}}$ — коэффициент теплопроводности материала потолка и боковых поверхностей.

$$K_{\text{пт+бп}} = 1 / (1 / 23,9 + 0,01 / 0,04 + 1 / 7,16) = 2,32 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°С}).$$

$S_{\text{пт+бп}}$ — площадь поверхности теплоизолированных потолка и боковой поверхностью;

$$S_{\text{пт+бп}} = 4,5 \text{ м}^2,$$

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

$$\Delta T_{\text{вз}} = 15\text{°С} - (-60\text{°С}) = 75\text{°С}.$$

$$Q_{\text{пт+бп}} = 2,32 \cdot 4,5 \cdot 75 = 782,25 \text{ Вт}$$

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

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

где:

$K_{\text{пер}}$ — коэффициент теплопередачи перегородки силового отсека, Вт / ($\text{м}^2 \cdot \text{°С}$),

$$K_{\text{пер}} = 1 \cdot (1 / \alpha_n + \delta_i / \lambda_i + 1 / \alpha_b),$$

где α_n и α_b — коэффициенты теплоотдачи от воздуха в силовом отсеке к внутренней поверхности перегородки силового отсека и от наружной поверхности перегородки силового отсека к воздуху салона соответственно.

$$\alpha_n = 5 + 0,0945 \cdot V_3,$$

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

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

$$\alpha_B = 7,1 + 0,018 \cdot V_2;$$

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

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

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

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

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

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

$$S_{\text{пер}} = 2,2 \text{ м}^2,$$

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

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

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

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

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

$$Q_{\text{перз}} = 1,24 \cdot 2,2 \cdot 15 = 40,85 \text{ Вт}.$$

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, Вт / (м² · °С),

$$K_{\text{пол}} = 1 \cdot (1 / \alpha_H + \delta_{\text{пол}} / \lambda_{\text{пол}} + 1 / \alpha_B),$$

где α_H и α_B — коэффициенты теплоотдачи от воздуха к наружной поверхности пола и от внутренней поверхности пола к воздуху салона соответственно.

$$\alpha_H = 5 + 0,0945 \cdot V_1,$$

$V_1 = 200$ км/час — скорость движения наружного воздуха относительно наружной поверхности пола.

$$\alpha_H = 5 + 0,0945 \cdot 200 = 23,9 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°С}),$$

$$\alpha_B = 7,1 + 0,018 \cdot V_2;$$

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

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

$\delta_{\text{пол}}$ — толщина пола;

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

$$K_{\text{пол}} = 1 / (1 / 23,9 + 0,05 / 0,04 + 1 / 7,16) = 0,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°С}).$$

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

$$S_{\text{пол}} = 4,2 \text{ м}^2,$$

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

$$\Delta T_{\text{оз}} = 15\text{°С} - (-60\text{°С}) = 75\text{°С}.$$

$$Q_{\text{полз}} = 0,7 \cdot 4,2 \cdot 75 = 220,06 \text{ Вт}.$$

4.7. Расчёт тепловыделения пассажиров

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

$$Q_{\text{пз}} = Q_{\text{яз}} + Q_{\text{скрз}},$$

где:

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

$Q_{\text{скрз}}$ — 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

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

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

Для четырёх пассажиров $Q_{\text{паспз}} = 4 \cdot 130 = 520 \text{ Вт}$.

4.8. Результаты расчёта теплового баланса салона юнибуса в зимний период

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

$$\Sigma Q_3 = - 3216,35 - 2499,78 - 782,25 - 40,85 - 220,06 + 520 = - 6239,28 \text{ Вт}$$

Результаты расчёта представлены в таблице 23.

Таблица 23

Тепловой баланс юнибуса моделей Ю-314П и Ю-315П в зимний период

Количество тепла, необходимого для прогрева свежего воздуха, поступающего в салон		Потери тепла в окружающую среду через прозрачные поверхности (остекления)		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		Тепловыделение пассажиров	Тепловой баланс салона в зимний период
Q _{вз}		Q _{прз}		Q _{пт+бпз}		Q _{перз}		Q _{полз}		Q _{пспз}	ΣQ _з
Вт	%	Вт	%	Вт	%	Вт	%	Вт	%	Вт	Вт
-3216,35	47,58	-2499,78	36,98	-782,25	11,57	-40,85	0,6	-220,06	3,26	+ 520	-6239,28

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:

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

где:

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

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

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

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

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

$Q_{пспл}$ — тепловыделение пассажиров;

$Q_{изл}$ — количество тепла излучения, поступающего 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.

$$V_{\text{вл}} = 30 \cdot 4 = 120 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

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

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

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

Относительная влажность 80%.

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

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

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

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

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

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

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

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

Отсюда,

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

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

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

$$Q_{\text{вл}} = 120 \cdot 1,1 \cdot 0,34 \cdot 20 = 896,96 \text{ Вт}.$$

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

$$Q_{\text{прл}} = K_{\text{пр}} \cdot S_{\text{пр}} \cdot \Delta T_{\text{вл}};$$
$$Q_{\text{прл}} = 4,76 \cdot 7,0 \cdot 20 = 666,61 \text{ Вт.}$$

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

$$Q_{\text{пт+бпл}} = K_{\text{пт+бп}} \cdot S_{\text{пт+бп}} \cdot \Delta T_{\text{вл}};$$
$$Q_{\text{пт+бпл}} = 2,32 \cdot 4,5 \cdot 20 = 208,6 \text{ Вт.}$$

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

$$Q_{\text{перл}} = K_{\text{пер}} \cdot S_{\text{пер}} \cdot \Delta T_{\text{ол}};$$
$$\Delta T_{\text{ол}} = t_{\text{ол}} - t_{\text{сл}},$$

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

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

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

$$Q_{\text{перл}} = 1,24 \cdot 2,2 \cdot 55 = 149,79 \text{ Вт.}$$

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

$$Q_{\text{полл}} = K_{\text{пол}} \cdot S_{\text{пол}} \cdot \Delta T_{\text{л}};$$
$$Q_{\text{полл}} = 0,7 \cdot 4,2 \cdot 20 = 58,68 \text{ Вт.}$$

5.7. Расчёт тепловыделения пассажиров.

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

где:

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

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

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

Для четырех пассажиров $Q_{\text{плл}} = 4 \cdot 115 = 460 \text{ Вт}$.

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

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

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.

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

где:

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

$I_{\text{рас}}$ — 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 $a = 0,5$;

b — коэффициент пропускания для различных конструкции стёкол.

Принимаем $b = 1$;

$$Q_{\text{изл}} = ((3,0 \cdot 361,5 \cdot 0,5 + (7,0 - 3,0) \cdot 158,2)) \cdot 1 = 1175,05 \text{ Вт}.$$

5.9. Результаты расчёта теплового баланса салона юнибуса в летний период

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

$$\Sigma Q_{\text{л}} = 1497,45 + 1166,56 + 365,05 + 149,79 + 102,69 + 460 + 1175,05 = 4916,59 \text{ Вт}$$

Результаты расчёта представлены в таблице 24.

Тепловой баланс юнибуса моделей Ю-314П и 315П в летний период

Количество тепла, поступающего в салон со свежим воздухом		Количество тепла, поступающего в салон через прозрачные поверхности (остекление)		Количество тепла, поступающего в салон 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 излучения, поступающего в салон через прозрачные поверхности		Тепловыделение пассажиров		Тепловой баланс салона в летний период
$Q_{вл}$		$Q_{прл}$		$Q_{пт+бпл}$		$Q_{перл}$		$Q_{полл}$		$Q_{изл}$		$Q_{пспл}$		$\Sigma Q_{л}$
Вт	%	Вт	%	Вт	%	Вт	%	Вт	%	Вт	%	Вт	%	Вт
896,69	24,8	666,61	18,44	208,6	5,77	149,79	4,14	58,68	1,62	1175,05	32,5	460	12,72	3615,42

6. Выводы

6.1. Выводы по тепловому балансу в зимний период эксплуатации

Для поддержания в салоне юнибуса температуры воздуха $+15^{\circ}\text{C}$ в зимний период, при температуре наружного воздуха -60°C , для четырёх пассажиров и подаче в салон $120 \text{ м}^3/\text{ч}$ свежего воздуха, необходимо затратить $6,2 \text{ кВт}$ тепловой мощности (см. табл. 23).

6.2. Выводы по тепловому балансу в летний период эксплуатации

Для поддержания в салоне юнибуса температуры воздуха $+20^{\circ}\text{C}$ в летний период, при температуре наружного воздуха $+40^{\circ}\text{C}$, для четырёх пассажиров и подаче в салон $120 \text{ м}^3/\text{ч}$ свежего воздуха, необходимо удалить из салона $3,6 \text{ кВт}$ тепловой мощности (см. таблицу 24).

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

Наибольшие теплотери и теплопритоки в юнибусе связаны со свежим воздухом, поступающим в салон, а также с прозрачными поверхностями (остеклением) юнибуса (см. таблицы 23 и 24).

6.3.1. Зимний период

- для прогрева свежего воздуха (с исходной температурой -60°C), поступающего в салон юнибуса ($120 \text{ м}^3/\text{ч}$), необходимо затратить $3216,35 \text{ Вт}$ тепловой мощности, что составляет $47,58\%$ от всех затрат тепла на поддержание комфортных условий ($+15^{\circ}\text{C}$) в салоне юнибуса;
- для компенсации потерь тепла через прозрачные поверхности (остекление) салона юнибуса необходимо затратить $2499,78 \text{ Вт}$ тепловой мощности, что составляет $36,98\%$ от всех затрат тепла на поддержание комфортных условий в салоне юнибуса.

6.3.2. Летний период

- для удаления тепла, поступающего в салон через прозрачные поверхности (остекление) юнибуса, необходимо затратить мощность $1841,66 \text{ Вт}$ (количество тепла, поступающего теплопередачей, $666,61 \text{ Вт}$, плюс количество тепла, поступающего излучением, $1175,05 \text{ Вт}$), что составляет $50,94\%$ от всех затрат на поддержание комфортных условий ($+20^{\circ}\text{C}$) в салоне юнибуса;
- для удаления тепла, поступающего со свежим воздухом (с исходной температурой $+40^{\circ}\text{C}$) в салон юнибуса, необходимо затратить мощность $896,69 \text{ Вт}$, что составляет $24,8\%$, от всех затрат на поддержание комфортных условий в салоне юнибуса.



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

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный конструктор
ООО «Струнный транспорт Юницкого»

_____ А.Э. Юницкий

«18» июня 2007 г.

**Расчет на статическую и динамическую устойчивость
пассажирских высокоскоростных юнибусов**

моделей Ю-314П и Ю-315П

(314П-0000010-02PP)

Содержание расчета на устойчивость

Введение	123
1. Исходные данные	123
2. Допущения	125
3. Определение предельно допустимой скорости бокового ветра	125
4. Определение предельно допустимой скорости прохождения юнибусом криволинейного участка пути радиусом 10 км	126
5. Определение допустимой скорости бокового ветра при прохождении юнибусом криволинейного участка пути радиусом 10 км с максимальной эксплуатационной скоростью 306 км/час (направления векторов сил ветра и сил инерции совпадают)	128
6. Величина допустимого поперечного опрокидывающего крутящего момента, определяемого из условия среза страховочных буртов противосходных роликов	129
7. Величина допустимого поперечного опрокидывающего крутящего момента, определяемого из условия смятия головки рельса	130
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)	130
9. Выводы	131

Введение

Высокоскоростной юнибус моделей Ю-314П и Ю-315П (колея 1000 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 юнибусов от рельсов) и оценка воздействия сил 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 306 км/час;
- 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

1300

- снаряженная	900
Коэффициент бокового аэродинамического сопротивления, C_w	0,8
Площадь продольного (бокового) сечения юнибуса, $S_{бок}, м^2$	7,21
Плотность воздуха, ρ , $кг/м^3$	1,202
Размер колеи (по центрам рельсов), A , м	1,0
Расстояние от центра парусности боковой поверхности юнибуса до головки рельса, H , м	0,87
Расстояние от центра масс юнибуса до головки рельса, B , м	0,7
Радиус криволинейного участка, R , м	10000
Максимальная скорость, V , км/ч	306

Геометрические параметры противосходных роликов (см. рис.46):

Наружный диаметр страховочного бурта (далее бурта), D , мм,	262
Диаметр рабочей поверхности качения ролика, d , мм	250
Толщина бурта, b , мм	5
Высота заходящего под головку рельса сегмента бурта, h , мм	6
Центральный угол сегмента бурта, α , °	35

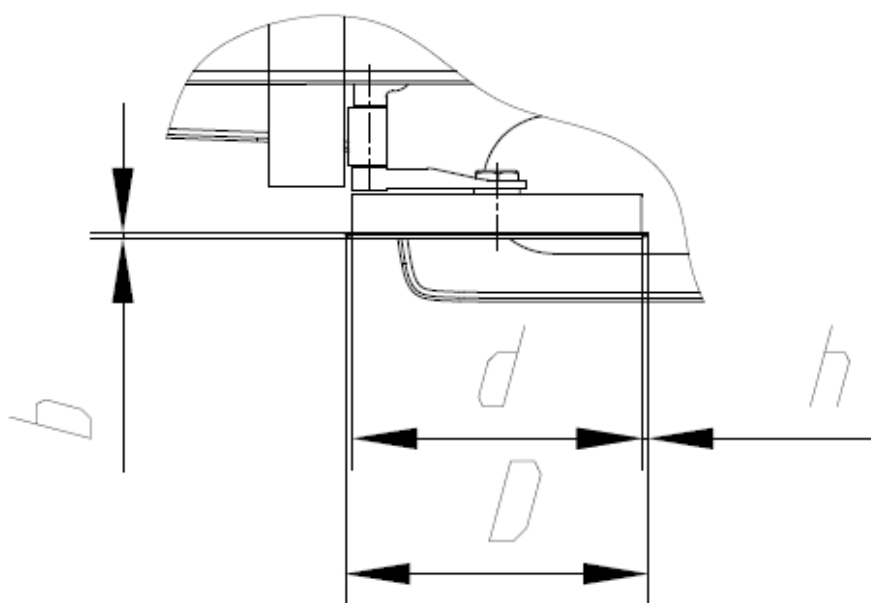


Рис. 46. Геометрические параметры противосходных роликов

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.47).

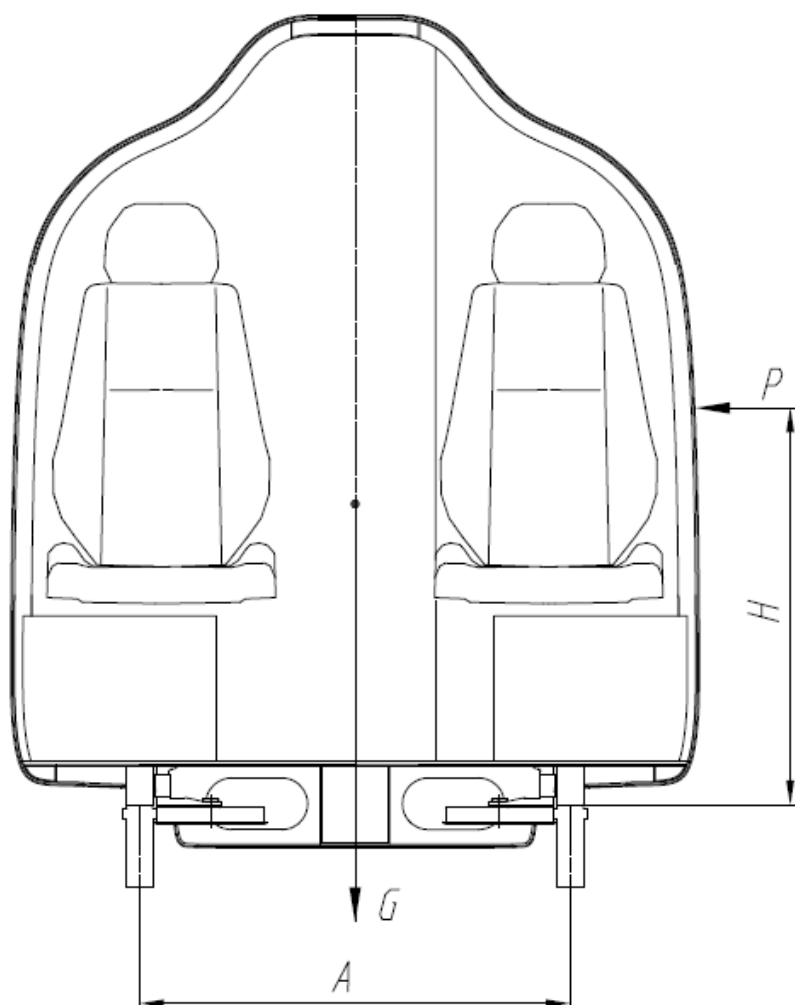


Рис. 47. Расчетная схема определения предельно допустимой скорости бокового ветра

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/час)
900	8820	5069	38,2 (137,7)
1300	12740	7321,8	46 (165,5)

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. 48).

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;

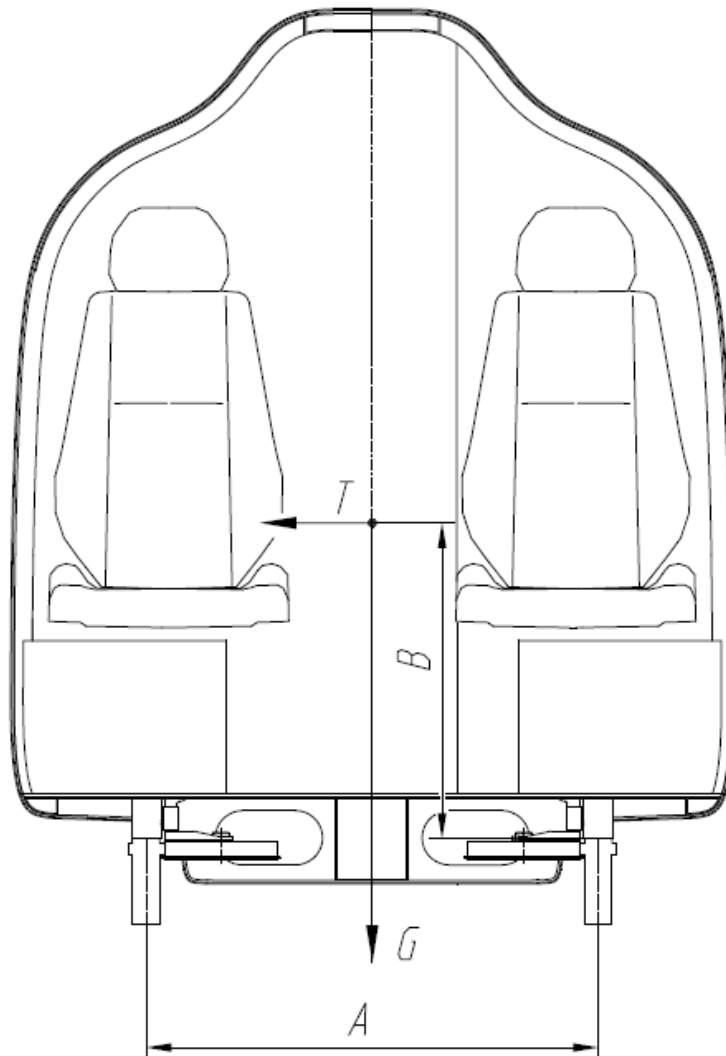


Рис. 48. Расчетная схема определения предельно допустимой скорости прохождения юнибусом криволинейного участка пути

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/час)
900	8820	6300	264,6 (952,6)
1300	12740	9100	264,6 (952,6)

5. Определение допустимой скорости бокового ветра при прохождении юнибусом криволинейного участка пути радиусом 10 км с максимальной эксплуатационной скоростью 306 км/час (направления векторов сил ветра и сил инерции совпадают)

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

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

где:

$T = 85^2 \cdot m / R$, H — центробежная сила при скорости 306 км/час.

Откуда,

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

Результаты расчета — см. таблицу 27.

Допустимая 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 27.

Допустимая скорость бокового ветра
при прохождении юнибусом модели Ю-314П или Ю-315П криволинейного участка пути
радиусом 10 км с максимальной эксплуатационной скоростью 306 км/час

m, кг	G, Н	T, Н	P, Н	V, м/с (км/час)
900	8820	650,25	3440,85	31,5 (113,4)
1300	12740	939,25	4969,9	37,9 (136,44)

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

Усилие среза бурта определяется по формуле:

$$F_{\text{ср}} = \tau_{\text{ср}} \cdot S = 80 \cdot 392 = 31360 \text{ Н},$$

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.

$S = 2 \cdot (D \cdot h - h^2)^{0,5} \cdot b = 2 \cdot (262 \cdot 6 - 6^2)^{0,5} \cdot 5 = 392 \text{ мм}^2$ — площадь рабочего (срезаемого) сечения бурта.

Допустимый поперечный (боковой) опрокидывающий момент определяется по формуле:

$$M_{\text{опр}1} = n \cdot F_{\text{ср}} \cdot A \cdot k = 2 \cdot 31360 \cdot 1,0 \cdot 0,75 = 47040 \text{ Н м},$$

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 — 54.100 Н (5.510 кгс); механическое усилие (например, центробежная сила), приложенное на уровне центра масс — 67.200 Н (6.850 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:

$$M_{\text{опр}2} = n \cdot F_{\text{см}} \cdot A \cdot 0,75 = 2 \cdot 126.920 \cdot 1,0 \cdot 0,75 = 190.380 \text{ Н} \times \text{м}.$$

Для бокового опрокидывания юнибуса, из условий смятия стальной головки рельса стальным колесом юнибуса, необходимо боковое воздействие на него: ветровая нагрузка — 219.000 Н (22.300 кгс); механическое усилие (например, центробежная сила), приложенное на уровне центра масс — 272.000 Н (27.700 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 $m = 900$ кг;

- скорость юнибуса соответствует максимальной эксплуатационной и равна 306 км/ч.

В качестве стабилизирующего поперечного крутящего момента, противодействующего опрокидыванию юнибуса, принят крутящий момент, определенный из условий среза страховочных буртов $M_{\text{опр } 1} = 47.040 \text{ Н}\cdot\text{м}$, 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:

$T = 85^2 \cdot m / R = 650,25 \text{ Н}$ — центробежная сила при скорости юнибуса 306 км/час.

Откуда,

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

$$(47.040 - 650,25 \cdot 0,7 + 8.820 \cdot 1,0 / 2) / 0,87 = 58.610 \text{ Н}.$$

Предельно допустимая скорость ветра определяется по формуле:

$V = (P / 0,5 \cdot \rho \cdot C_w \cdot S_{\text{бок}})^{0,5} = (58.610 / 0,5 \cdot 1,202 \cdot 0,8 \cdot 7,21)^{0,5} = 130,0 \text{ м/с}$,
что соответствует скорости бокового ветра 468 км/ч.

9. Выводы

9.1. Допустимая скорость ветра (скорость, при которой у юнибуса модели Ю-314П или Ю-315П может произойти отрыв колес от рельса) составляет 137,7 км/ч при снаряженной массе и 165,5 км/ч при полной массе (при этом сила давления ветра достигает соответственно значений 5069 Н и 7321,8 Н). Это означает, что юнибус Ю-314П или Ю-315П в состоянии полностью сохранить штатный режим движения на прямолинейных участках путевой структуры в условиях урагана 1-ой и частично 2-ой 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-314П или Ю-315П криволинейного участка пути радиусом 10 км, из условия поперечного (бокового) опрокидывания центробежными силами, составляет 952,6 км/ч. Учитывая, что максимальная эксплуатационная скорость юнибуса на перегоне не превышает 306 км/ч, можно с уверенностью утверждать о наличии большого запаса его устойчивости на кривых.

9.3. В случае прохождения юнибусом криволинейного участка пути радиусом 10 км с максимальной эксплуатационной скоростью 306 км/ч, поперечная устойчивость юнибуса (без отрыва колес от рельса) сохранится при скорости бокового ветра:

- при снаряженной массе — 113,4 км/час;
- при полной массе — 136,44 км/час.

9.4. Величины опрокидывающих крутящих моментов, которые необходимо приложить к корпусу юнибуса, чтобы срезать страховочные бурты противосходных роликов или смять головку рельса, составляют соответственно 47.040 Н×м и 190.380 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 ($m = 900$ кг), а скорость движения наибольшая ($V = 306$ км/ч), устойчивость юнибуса на путевой структуре будет сохраняться даже при боковом ветре, имеющим скорость 468 км/ч, что соответствует 5-ой категории по шкале ураганов Саффира-Симпсона.