

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ЭНЕРГОУСТАНОВКИ АВТОМОБИЛЕЙ

Методические указания
к выполнению практических работ
для обучающихся направления
23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических
машин и комплексов
всех форм обучения

Севастополь
СевГУ
2020

УДК 620.9
А58

Р е ц е н з е н т:
А.О. Харченко – кандидат технических наук

Составители: А.Г. Остренко, Л.А. Кияшко

А58 Альтернативные энергоустановки автомобилей : методические указания к выполнению практических работ по дисциплине «Альтернативные энергоустановки автомобилей» / Сост. А.Г. Остренко, Л.А. Кияшко ; Министерство науки и высшего образования РФ, Севастопольский государственный университет, Политехнический институт. – Севастополь: СевГУ, 2020. – 30 с. – Текст : электронный.

Настоящие методические указания предназначены для оказания помощи обучающимся при выполнении практических работ по дисциплине «Альтернативные энергоустановки автомобилей». Излагаются основные теоретические сведения и порядок проведения расчетов при проектировании электромобилей и агрегатов автотранспортных средств на газовых видах топлива.

Рекомендовано в качестве методических указаний для обучающихся направления 23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов.

УДК 620.9

Методические рекомендации рассмотрены и утверждены на заседании кафедры «Автомобильный транспорт», протокол № 14 от 02 июля 2020 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Практическое занятие № 1. Подбор силовой установки и аккумуляторных батарей.....	4
Практическое занятие № 2. Определение центра тяжести и нагрузки на оси электромобиля	8
Практическое занятие № 3. Определение передаточных чисел трансмиссии электромобиля и построение динамического фактора.....	12
Практическое занятие № 4. Проектирование и расчёт автомобильных газовых баллонов для сопутствующего нефтяного газа	21
Практическое занятие № 5. Проектирование и расчёт автомобильных газовых баллонов для сжатого природного газа.....	26
Библиографический список.....	30

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 1. ПОДБОР СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ И АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ

Цель работы: получить практические навыки подбора силовых установок и аккумуляторных батарей для электромобиля.

1.1. Теоретический раздел

Необходимую эффективную мощность двигателя N_v , кВт, проектируемого электромобиля определяют из уравнения мощностного баланса при движении электромобиля с максимальной скоростью $V_{\max}$:

$$N_v = \frac{\psi_v \cdot G_a \cdot V_{\max} + W \cdot V_{\max}^3}{1000 \cdot \eta_{TP}}, \quad (1.1)$$

где ψ_v – коэффициент сопротивления дороги при максимальной скорости электромобиля;

G_a – сила тяжести от полной массы электромобиля, Н;

$V_{\max}$ – максимальная скорость электромобиля, м/с;

W – фактор сопротивления воздуха, Н·с²/м²;

η_{TP} – механический КПД трансмиссии.

Мощность необходимая для разгона электромобиля:

$$N_{\max} = 1,12 N_v. \quad (1.2)$$

КПД трансмиссии определяется ориентировочно в зависимости от состава трансмиссии (рисунок 2.1):

$$\eta_{TP} = 0,98^k \cdot 0,97^l \cdot 0,995^m, \quad (1.3)$$

где k – количество пар цилиндрических шестерен, через которые передаётся в трансмиссии крутящий момент, когда автомобиль движется на одной передаче;

l – количество пар конических (гипоидных) шестерён в трансмиссии;

m – количество карданных шарниров в трансмиссии.

Фактор сопротивления воздуха W , Н·с²/м², равен:

$$W = k_B \cdot F_a, \quad (1.4)$$

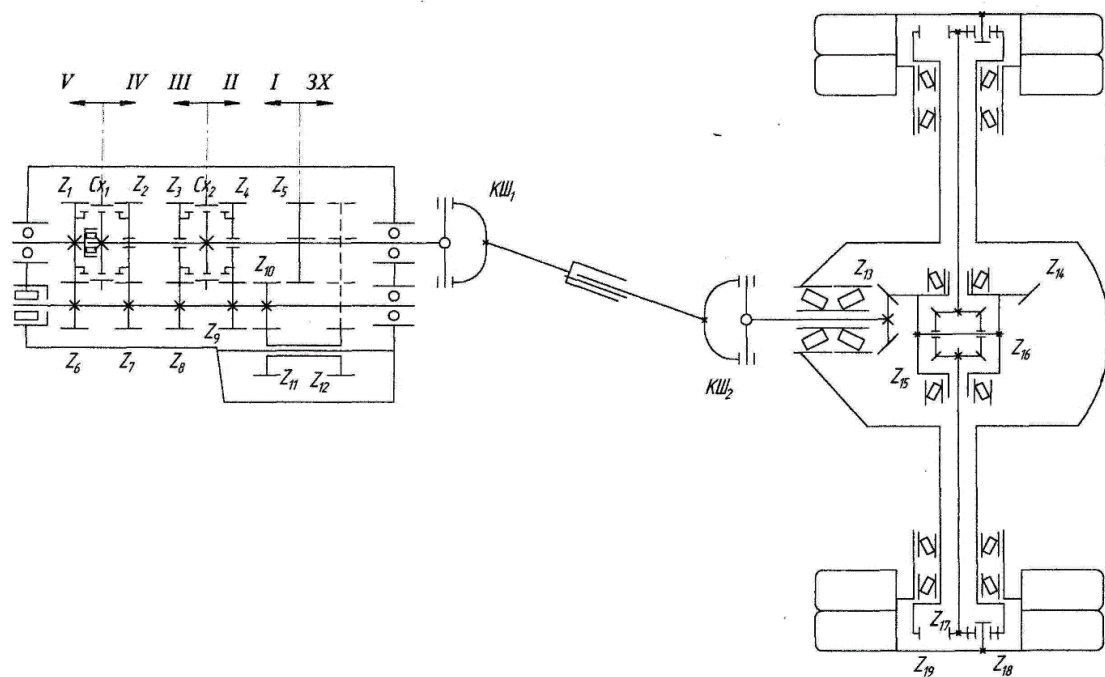
где k_B – коэффициент обтекаемости автомобиля, Н·с²/м⁴ (таблица 1.1);

F_a – лобовая площадь – площадь проекции электромобиля в сечении, перпендикулярном его продольной оси (площадь лобового сечения может быть

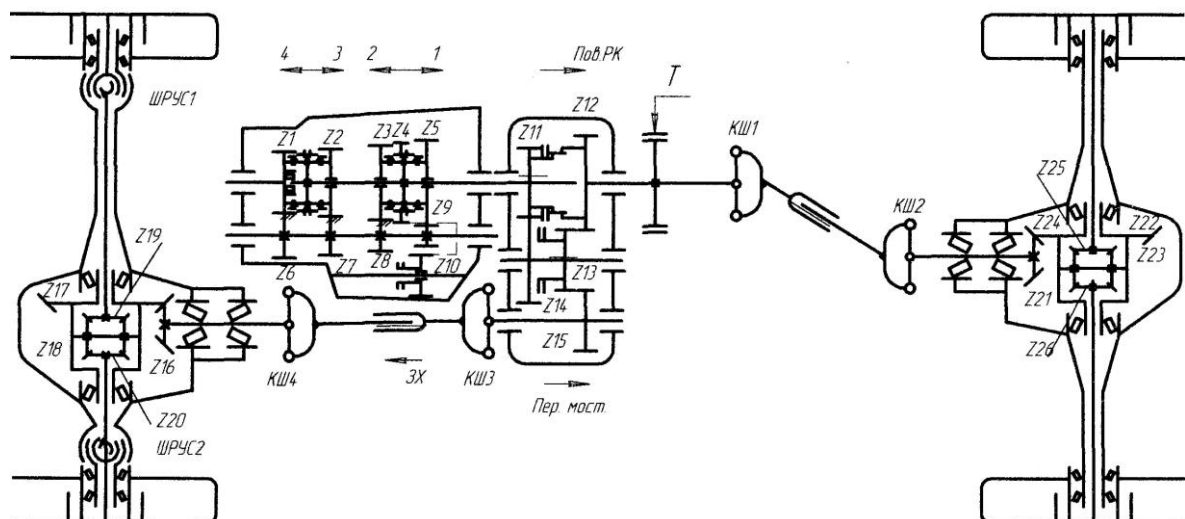
определена при помощи программы КОМПАС-3D по чертежу проектируемого электромобиля), m^2 .

Таблица 1.1 – Коэффициенты обтекаемости автомобилей

Тип автомобиля	$k_B, Hc^2/m^4$
Гоночные автомобили	0,13...0,15
Легковые автомобили	0,15...0,35



а)



б)

Рисунок 1.1 – Примеры выполнения кинематических схем трансмиссии:
а – заднеприводный автомобиль; б – автомобиль с колесной формулой 4×4

Ориентировочно лобовую площадь, F_a , м², для легковых автомобилей можно рассчитать:

$$F_a \approx 0,78 \cdot B_a \cdot H, \quad (1.5)$$

где B_a – габаритная ширина автомобиля, м;

H – габаритная высота автомобиля, м.

Определив по формуле (1.1) необходимую эффективную мощность двигателя N_v , подбирается мощность тяговых электродвигателей (ТЭД). При подборе суммарной мощности ТЭД необходимо соблюдать условие:

$$P_{\text{двиг.}} \geq N_{\text{max}}. \quad (1.6)$$

где $P_{\text{двиг.}}$ – мощность электродвигателя, кВт.

Для подбора ТЭД можно воспользоваться электронным ресурсом [2].

Приблизительный пробег без подзарядки определяется по формуле

$$L = V_{\text{max}} \cdot t = \frac{\mathcal{E} \cdot V_{\text{max}}}{P_{\text{двиг.}} \cdot \eta_{\text{двиг.}}}, \quad (1.7)$$

где $\mathcal{E}$ – энергоёмкость аккумуляторной батареи (АКБ), Вт/ч;

$\eta_{\text{двиг.}}$ – КПД электродвигателя.

В свою очередь, энергоёмкость определяется по формуле

$$\mathcal{E} = U_B \cdot C, \quad (1.8)$$

где U_B – напряжение АКБ (номинальное), В;

C – ёмкость АКБ, Ач.

Подставив формулу (1.8) в (1.7) и выразив C , получим:

$$C = \frac{L \cdot P_{\text{двиг.}} \cdot \eta_{\text{двиг.}}}{V_{\text{max}} \cdot U_B}. \quad (1.9)$$

Зная суммарную необходимую ёмкость АКБ необходимо из справочной литературы выбрать тяговые АКБ для проектируемого автомобиля.

1.2. Порядок выполнения работы

- 1) Изучить теоретический раздел.
- 2) В соответствии с последними тремя цифрами зачётной книжки, руководствуясь таблицей 1.2, выбрать исходные данные к расчёту

(автомобиль – прототип, коэффициент сопротивления дороги, ψ , максимальную скорость движения, $V_{\max}$).

- 3) Произвести подбор ТЭД и АКБ, пользуясь изложенной в теоретическом разделе методикой.
- 4) Оформить отчет по практической работе [1].

Таблица 1.2 – Исходные данные к расчёту

$N_{\text{ПРЕДПРЕДПОСЛ}}^{3K}$	$V_{\max}$, км/ч	$N_{\text{ПРЕДПОСЛ}}^{3K}$	ψ_v	$N_{\text{ПОСЛ}}^{3K}$	Автомобиль-прототип
0	130	0	0,020	0	BA3-2190
1	120	1	0,021	1	BA3-2170
2	150	2	0,022	2	BA3-2121
3	140	3	0,023	3	УАЗ Патриот
4	160	4	0,024	4	УАЗ Хантер
5	170	5	0,025	5	LADA Largus
6	180	6	0,026	6	LADA Vesta
7	130	7	0,027	7	CHEVROLET Lanos
8	120	8	0,028	8	BA3-2190
9	140	9	0,029	9	BA3-2170

1.3. Содержание отчета

- 1) Тема и цель работы.
- 2) Подбор силовых установок и аккумуляторных батарей для проектируемого электромобиля.
- 3) Выводы по работе.

1.4. Контрольные вопросы

- 1) Опишите уравнение силового баланса.
- 2) Какие типы АКБ используются в качестве тяговых и почему?

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕНТРА ТЯЖЕСТИ И НАГРУЗКИ НА ОСИ ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ

Цель работы: получить практические навыки анализа компоновочной схемы электромобиля и определения его параметров массы.

2.1. Теоретический раздел

1) Анализ компоновочной схемы электромобиля и определения параметров массы

После подбора ТЭД и тяговых АКБ электромобиля ориентировочно назначить массы основных узлов электромобиля на основании технической характеристики прототипа и заполнить таблицу 2.1.

Таблица 2.1 – Массы узлов и агрегатов

Узлы	Масса узла прототипа M_i^{np} , кг	Масса узла расчетная $M_i^{расч.}$, кг
Двигатель с оборудованием и сцеплением		
ТЭД		
Тяговые АКБ		
Радиатор		
Коробка передач		
Раздаточная коробка		
Карданные валы		
Передний мост		
Средний мост		
Задний мост		
Колесо в сборе		
Топливный бак с топливом		
Кабина		
Водитель (пассажиры)		
Кузов		
Груз		
Рама		
Неучтенные детали		
Полная масса автомобиля		

Массу неучтенных деталей необходимо принять таким образом, чтобы полная масса автомобиля была равна табличным или расчетным данным.

Предположив, что неучтенные детали равномерно распределены вдоль рамы, необходимо добить их массу к массе рамы.

Разработать чертеж общего вида электромобиля. На виде сбоку пунктирными линиями нанести очертания основных узлов и ориентировочно указать их координаты центров тяжести, а также координаты центров тяжести водителя (пассажира), перевозимого груза.

При нанесении координат центров тяжести, за начало оси "X" принимается передняя ось автомобиля, оси "Y" – уровень дорожного покрытия (рисунок).

Зная координаты центров тяжести отдельных узлов рассчитать координаты центров тяжести порожнего и груженого автомобиля.

Координаты a и h рассчитывают по формулам

$$a = \frac{\sum m_i \cdot l_i}{m_a};$$

$$h = \frac{\sum m_i \cdot h_i}{m_a}$$
(2.1)

Расчет необходимо свести в таблицу 2.2.

Таблица 2.2 – Расчет координат центра тяжести

Узел	$m_i, \text{ кг}$	$l_i, \text{ мм}$	$m_i \cdot l_i, \text{ кг} \cdot \text{мм}$	$h_i, \text{ мм}$	$m_i \cdot h_i, \text{ кг} \cdot \text{мм}$
	m_1	l_1			
	m_2	l_2			
	m_n	l_n			
		$\sum m_i \cdot l_i$		$\sum m_i \cdot h_i$	
$m_a = \sum m_i =$		$a = \frac{\sum m_i \cdot l_i}{m_a}$		$h = \frac{\sum m_i \cdot h_i}{m_a}$	

Пример расчета таблицы в пакете Excel приведен на рис. 2.1.

	A	B	C
1	mi, кг	li, м	mi*li, ru*m
2	100	20	=B2*A2
3	150	230	=B3*A3
4	300	540	=B4*A4
5	500	3200	=B5*A5
6	=СУММ(A2:A5)		=СУММ(C2:C5)
7			=C6/A6
8			
9			
10			
11			
12			
13			

Рисунок 2.1 – Пример расчета координаты центра тяжести

Координата h рассчитывается аналогично.

Полученные координаты центра тяжести автомобиля полной массы и порожнего (снаряженной массы, с учетом водителя) обозначить на чертеже общего вида.

Центр тяжести обозначается значком .

Пример определения координат центра тяжести представлен на рисунке 2.2.

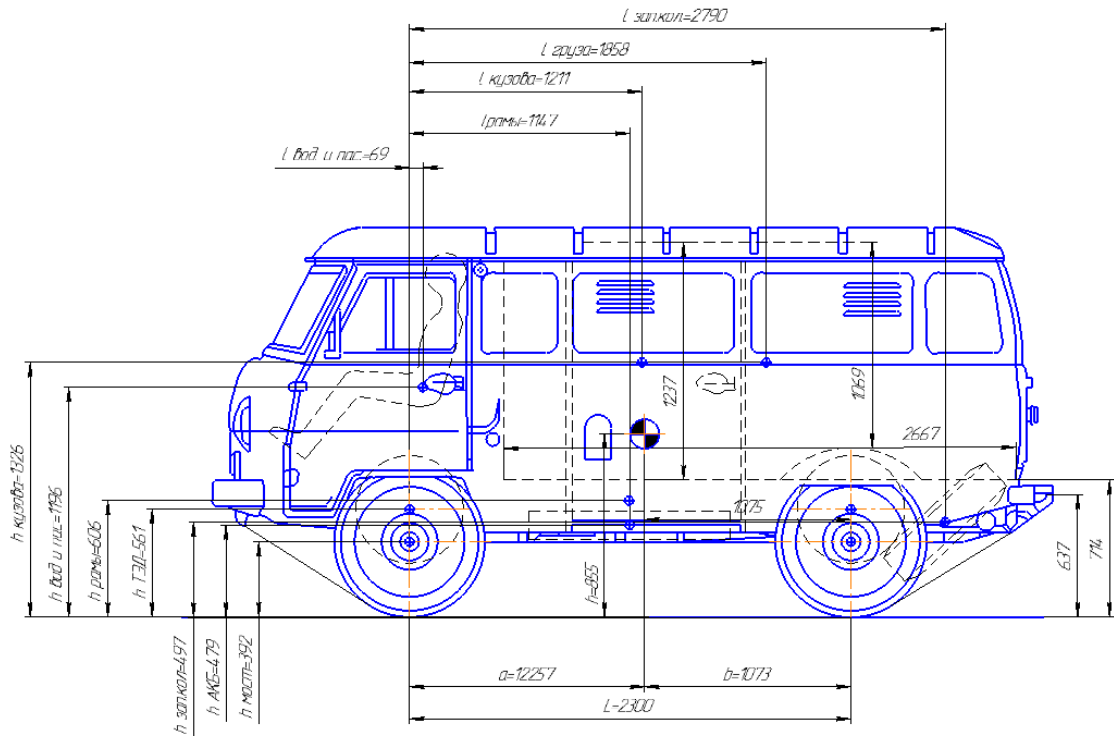


Рисунок 2.2 – Пример обозначения координат центра тяжести на чертеже общего вида электромобиля

Зная положение центра тяжести, необходимо найти нагрузки на оси автомобиля в загруженном состоянии и порожнем.

Нагрузка на переднюю ось, G_1 , H определяется из выражения:

$$G_1 = \frac{G_a \cdot (L - a)}{L}, \quad (2.2)$$

где G_a – вес от полной массы автомобиля, H ;

L – база автомобиля, мм;

a – координата центра тяжести, определенная в таблице 2.2, мм;

Нагрузка на заднюю ось, G_2 , H , или на тележку:

$$G_2 = G_a - G_1. \quad (2.3)$$

Сравнить полученные нагрузки на оси с допустимыми нагрузками, которые обусловлены качеством дорожных покрытий.

2) Подбор шин

Выбор шин осуществляется по следующим условиям:

- 1) максимальной нагрузки на колесо;
- 2) максимальной скорости движения электромобиля;
- 3) размера обода автомобиля прототипа.

Нагрузку на одно колесо необходимо рассчитать для каждой оси в зависимости от приходящейся на нее нагрузки:

$$G_{K_i} = \frac{G_i}{n_i}, \quad (2.4)$$

где G_i – нагрузка приходящаяся на i -ю ось;

n_i – количество колес на i -й оси;

По справочной литературе [3] подобрать типоразмер шин, привести техническую характеристику шину, дать расшифровку обозначения шины. Если невозможно выполнить условие 2, указать какие изменения необходимо внести в конструкцию шины, если не выполняется условие 3 – указать необходимый размер обода колеса.

Если в технической характеристике не приводится динамический радиус качения колеса, то рассчитать его по формуле

$$R_k = \lambda_{ш} \cdot R_{ст} \quad (2.5)$$

где $\lambda_{ш} = 0,95 \dots 0,97$ – коэффициент деформации шины, меньшие значения относятся к более эластичным шинам;

$R_{ст}$ – статический радиус качения, определяемый по технической характеристике, мм.

2.2. Порядок выполнения работы

- 1) Изучить теоретический раздел.
- 2) Произвести анализ компоновочной схемы электромобиля и определения параметров массы и подбор шин по исходным данным ПЗ №1 по изложенной в теоретическом разделе методике.
- 3) Оформить отчет по практической работе [1].

2.3. Содержание отчета

- 1) Тема и цель работы.

- 2) Анализ компоновочной схемы электромотоцикла и определения параметров массы.
- 3) Подбор шин.
- 4) Чертёж общего вида заданного автомобиля с определением координаты центра тяжести.
- 5) Вывод по работе.

2.4. Контрольные вопросы

- 1) Назовите критерии подборки колёс для проектируемого электромобиля.
- 2) Обоснуйте выбор компоновочной схемы.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРЕДАТОЧНЫХ ЧИСЕЛ ТРАНСМИССИИ ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ И ПОСТРОЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ФАКТОРА

Цель работы: получить практические навыки определения передаточных чисел трансмиссии и построения динамического фактора для электромобиля.

1) Определение передаточных чисел и динамического фактора

Исходя из номинальной суммарной мощности ТЭД номинальный крутящий момент при соответствующей частоте вращения вала определяется по формуле

$$M_H = \frac{9550P_{\delta u\epsilon}}{\omega}, \quad (3.1)$$

где ω – частота оборотов вала электродвигателя, с^{-1} .

По соотношениям, представленным в технической характеристики электродвигателя, определяются пусковой момент M_n и максимальный момент M_{max} .

Результаты расчетов для построения внешней скоростной характеристики двигателя сводятся в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 – Параметры внешней скоростной характеристики двигателя

[illegible]

В результате расчета необходимо определить, при какой частоте ω_M крутящий момент будет иметь максимальное значение. Максимум функции $M_k(\omega)$ можно определить также с помощью среды математических таблиц Microsoft Excel, используя функцию «поиск решения» (рис. 3.1 – 3.4).

На рисунке 3.1 приведён пример внешней скоростной характеристики ТЭД.

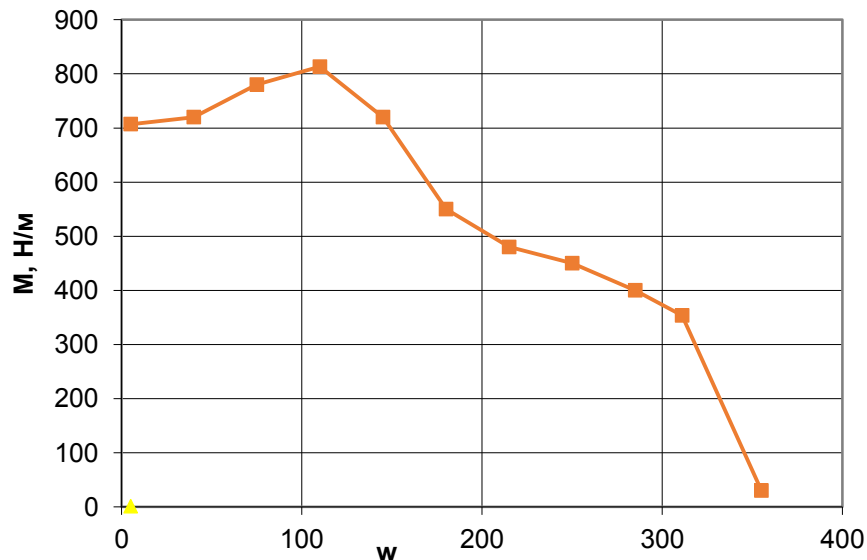


Рисунок 3.1 – Зависимость крутящего момента от частоты вращения

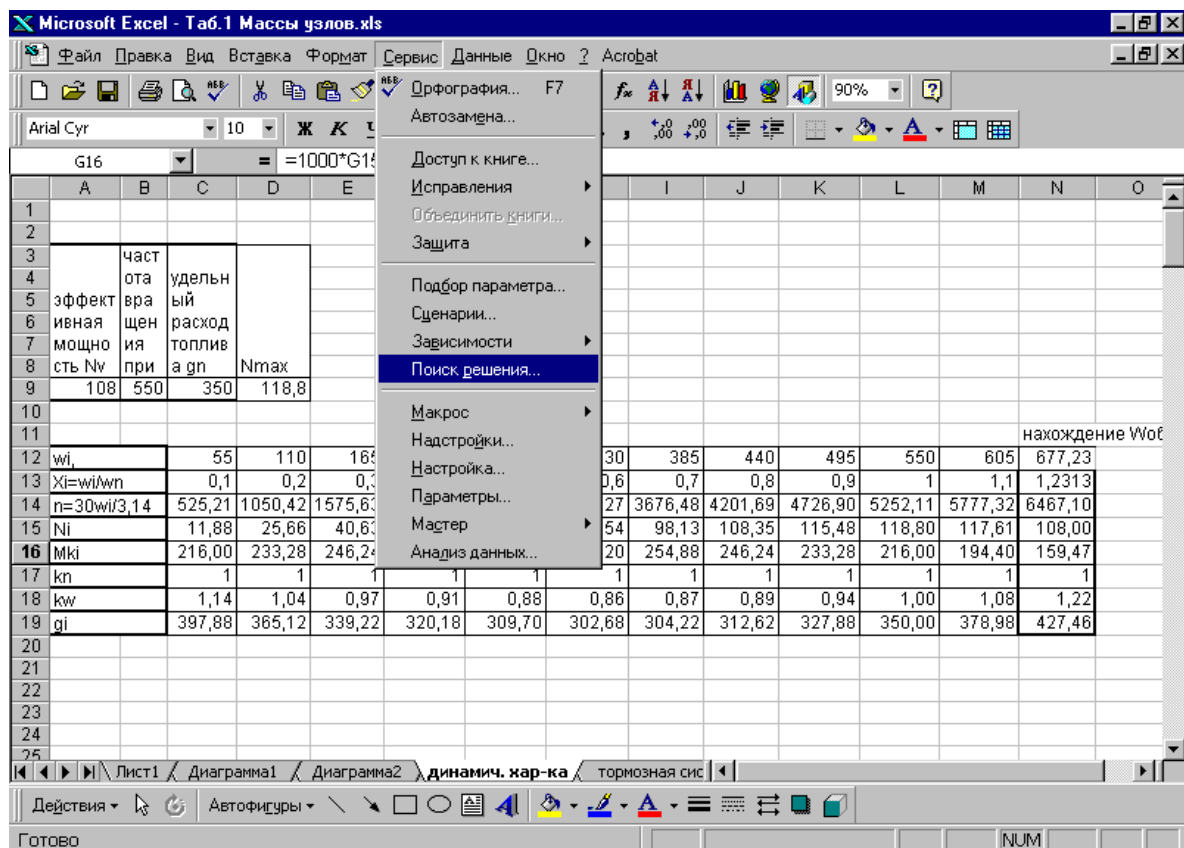


Рисунок 3.2 – Выбор функции «поиск решения»

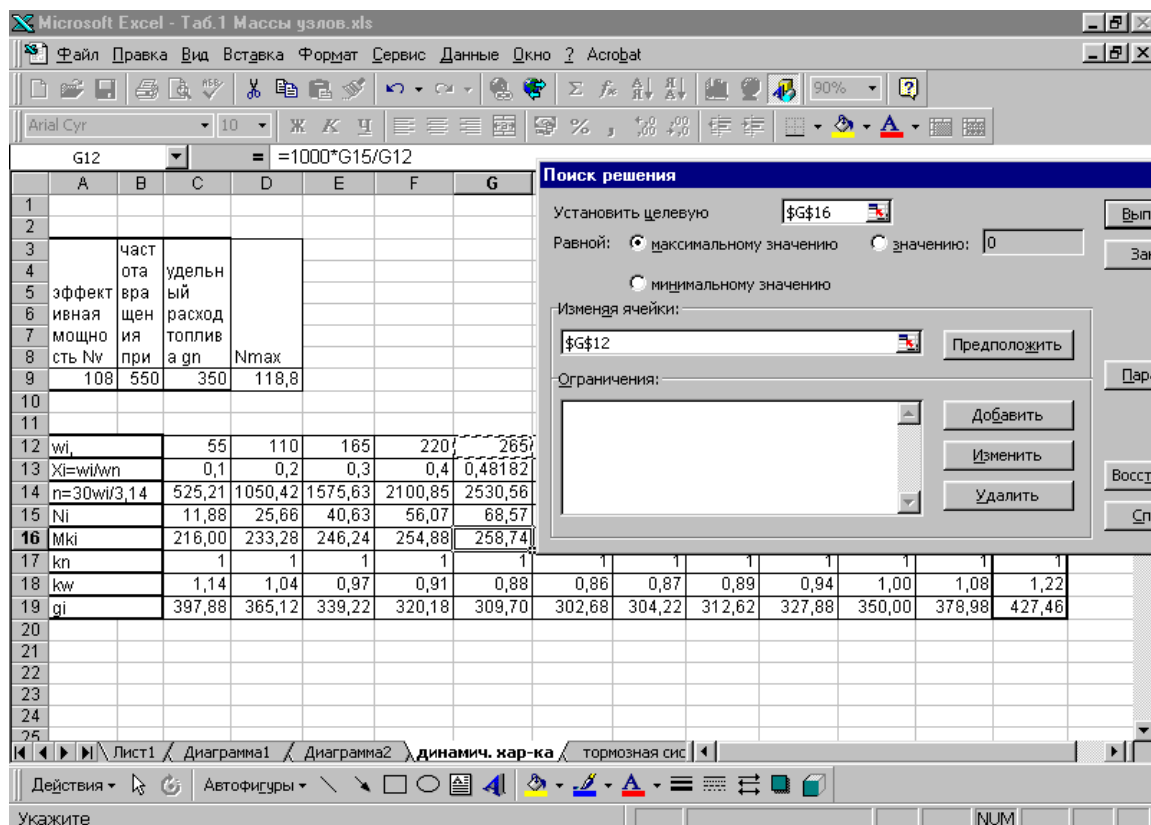


Рисунок 3.3 – Последовательность определения максимального значения крутящего момента и соответствующей ему частоты вращения коленчатого вала

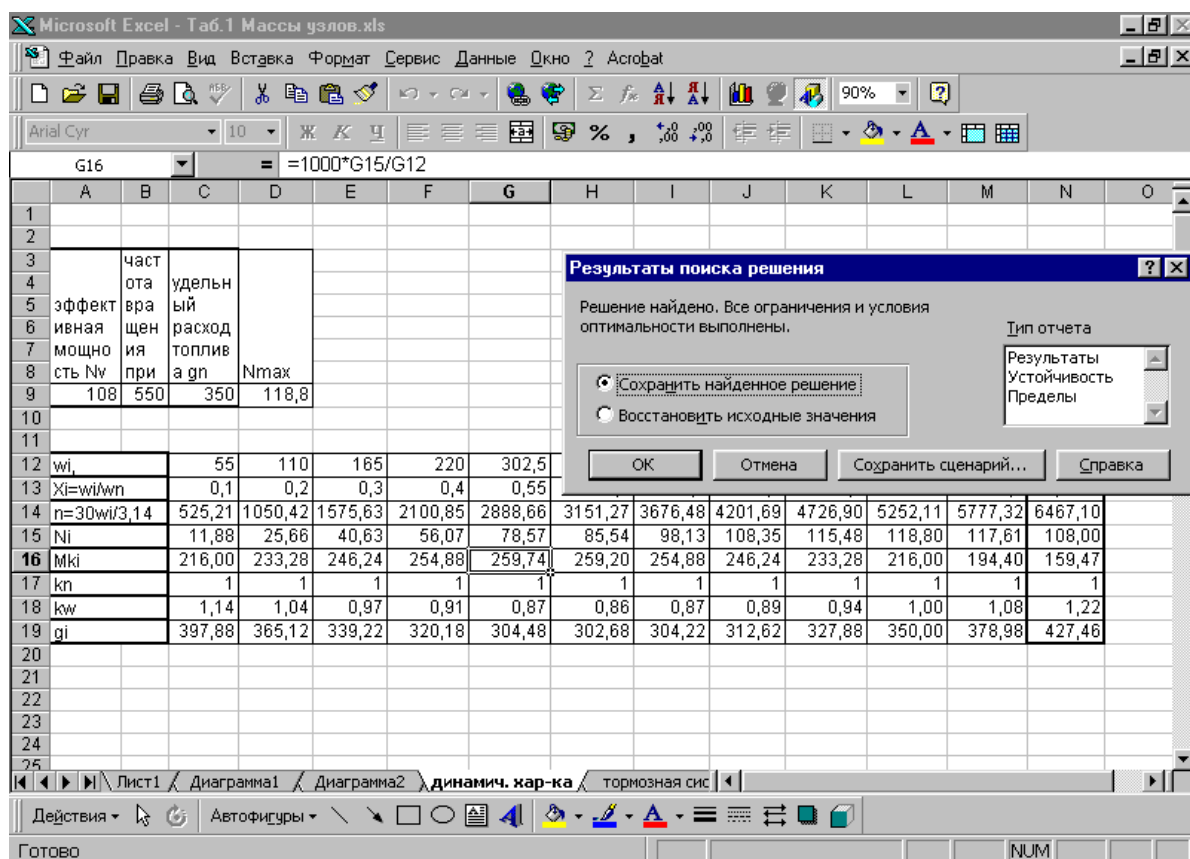


Рисунок 3.4 – Результаты поиска решения

Минимальное передаточное число назначаем из условия обеспечения заданной максимальной скорости движения автомобиля:

$$U_{TP\min} = \frac{\omega_{\max} r_k}{V_{\max}}, \quad (3.2)$$

где $\omega_{\max}$ – частота оборотов коленчатого вала двигателя при движении с максимальной скоростью, c^{-1} ;

R_k – динамический радиус качения колеса, м;

$V_{\max}$ – максимальная скорость автомобиля, м/с.

одновременно

$$U_{TP\min} = U_{K\min} \cdot U_0, \quad (3.3)$$

где $U_{K\min}$ – минимальное передаточное число коробки передач;

U_0 – передаточное число главной передачи.

Минимальное передаточное число коробки передач коробки принимают по базовому автомобилю.

Таким образом:

$$U_0 = \frac{U_{TP\min}}{U_{K1}}, \quad (3.4)$$

Максимальное передаточное число трансмиссии определяется из необходимости соблюдения двух условий.

1) Условие преодоления максимального дорожного сопротивления:

$$U_{TP\max}^1 = \frac{\psi_{\max} \cdot G_a \cdot R_k}{M_{k\max} \cdot \eta_{TP}}, \quad (3.5)$$

где $\psi_{\max}$ – максимальное значение коэффициента сопротивления дороги. Принимают в зависимости от типа электромобиля: $\psi_{\max} = 0,35...0,5$ – для легковых электромобилей; $\psi_{\max} = 0,45...0,55$ – для электромобилей повышенной проходимости;

$M_{k\max}$ – максимальное значение крутящего момента ТЭД по внешней скоростной характеристике двигателя, Н·м.

3) Условие полного использования сцепной массы

$$U_{TP\max}^2 = \frac{\varphi \cdot G_{CI} \cdot R_K}{M_{k\max} \cdot \eta_{TP}}, \quad (3.6)$$

где $\varphi = 0,7 \dots 0,9$ – коэффициент сцепления колес с полотном дороги, (принимается для сухого шоссе);

G_{CI} – сцепной вес электромобиля, вес от полной массы электромобиля, приходящийся на ведущие колеса, кг.

Если $U_{TP\max}^1 > U_{TP\max}^2$, то целесообразно увеличить сцепную массу. Если сцепную массу увеличить невозможно, то принимается передаточное число, вычисленное по второму условию. При этом электромобиль не сможет преодолевать заданное дорожное сопротивление.

Максимальное передаточное число трансмиссии равно:

$$U_{TP\max} = U_{K1} \cdot U_0. \quad (3.7)$$

Если передаточные числа в коробке передач подбирать по закону геометрической прогрессии, то количество передач находят из выражения:

$$n = \frac{\log U_{K\min} - \log U_{K1}}{\log q} + 1, \quad (3.8)$$

где q – знаменатель геометрической прогрессии.

$$q = \frac{\omega_M}{\omega_{\max}}.$$

Передаточные числа промежуточных передач находятся из выражения:

$$U_{Kj} = \sqrt[n-1]{U_{K1}^{n-j} \cdot U_{K\min}^{j-1}}, \quad (3.9)$$

где j – порядковый номер промежуточной передачи;

n – число передач в коробке.

Передаточное число задней передачи обычно принимают по прототипу или из соотношения:

$$U_{3X} = (0,9 \dots 1,3) \cdot U_{K1} \quad (3.10)$$

При расчете числа зубьев зубчатых колес передаточные числа трансмиссии уточняются.

2) Нахождение тягово-скоростных характеристик электромобиля

В данном разделе необходимо рассчитать следующие показатели:

1) динамический фактор электромобиля на каждой передаче;

2) ускорение электромобиля на каждой передаче;

3) на основании графика динамического фактора построить динамический паспорт электромобиля.

Далее строятся графики ускорений электромобиля, времени и величины разгона. Динамический паспорт электромобиля выносится на лист формата А3.

Используя передаточные отношения трансмиссии, необходимо построить динамическую характеристику в координатах $V_a - D$, где D – динамический фактор.

Величину динамического фактора определяют из выражения:

$$D = \frac{F_K - F_w}{G_a} \quad (3.11)$$

где F_K – сила тяги на ведущих колесах, H ;

$$F_K = \frac{M_K \cdot U_{Ti} \cdot \eta_M}{R_K}, \quad (3.12)$$

где M_K – крутящий момент ТЭД, $H \cdot м$;

$U_{Ti} = U_{Ki} \cdot U_0$ – передаточное число трансмиссии на i -й передаче.

F_w – сила сопротивления воздуха, H .

$$F_w = W \cdot V_a^2. \quad (3.13)$$

Скорость движения электромобиля, м/с можно рассчитать по формуле

$$V_a = \frac{\omega}{U_{Ti}} R_K. \quad (3.14)$$

Ускорение электромобиля равно

$$j_a = \frac{(D - \psi) \cdot g}{\delta} = \frac{(D - \psi) \cdot g}{1,04 + 0,04 \cdot U_{Ki}^2}, \quad (3.15)$$

где $\delta = 1,04 + 0,04 \cdot U_{Ki}^2$ – коэффициент, учитывающий влияние инерции вращающихся деталей электромобиля.

Значения, полученные при расчетах по формулам (3.11)...(3.15) необходимо свести в таблицу 3.2.

Таблица 3.2 – Расчет динамических характеристик

$\omega, 1/c$										
$M_K, H \cdot m$										
Передача 1										
U_{T1}										
$V_a, м/с$										
F_K, H										
F_W, H										
D_1										
$j_{a1}, м/с^2$										

Методика построения динамического паспорта подробно изложена в работах [4-9].

3) Расчет показателей разгона электромобиля

Ускорения, которые электромобиль способен развивать при разгоне, – важная характеристика его тягово-скоростных качеств. Чем они больше, тем меньшее время требуется для достижения электромобилем возможной или допустимой в данных условиях максимальной скорости движения и, следовательно, тем большей будет средняя скорость его движения, определяющая транспортную производительность электромобиля.

Для оценки динамики разгона электромобиля наиболее часто используют следующие зависимости:

$$\frac{dv}{dt} = f(v_a) \quad \text{– ускорения от скорости движения электромобиля по}$$

передачам;

$$v_a = f(t) \quad \text{– скорости движения электромобиля при разгоне от времени;}$$

$$v_a = f(S) \quad \text{– скорости движения электромобиля при разгоне от пройденного пути.}$$

Графики этих зависимостей принято называть соответственно графиками ускорений, времени и пути разгона электромобиля. График ускорений – основной, по нему строят два других.

Используя графики ускорений, строят графики пути и времени разгона электромобиля.

Для небольших интервалов скоростей $(v_{a_i} - v_{a_{i-1}})$ движение электромобиля можно считать равноускоренным при среднем ускорении j_{icp} ,

определяемом как среднее арифметическое величин j_{i-1} и j_i . Исходя из этого предположения время t_i для разгона электромобиля от скорости v_{ai-1} до скорости v_{ai} определяется по закону равноускоренного движения:

$$t_i = \frac{v_{ai} - v_{ai-1}}{j_{iCP}} = \frac{2(v_{ai} - v_{ai-1})}{(j_{i-1} + j_i)}. \quad (3.16)$$

Суммарное время разгона электромобиля от скорости $v_a = 0$ до $v_{a\max}$

$$t = \sum_{i=1}^n t_i = \sum_{i=1}^n \frac{2(v_{ai} - v_{ai-1})}{(j_{i-1} + j_i)}. \quad (3.17)$$

Время разгона электромобиля с места до некоторого промежуточного значения скорости v_{ai} определяется выражением:

$$t_{vai} = \sum_{i=1}^i t_i = \sum_{i=1}^i \frac{2(v_{ai} - v_{ai-1})}{(j_{i-1} + j_i)}. \quad (3.18)$$

Величины t_{vai} и v_{ai} являются соответственно абсциссой и ординатой i -й точки при построении графика времени разгона электромобиля.

Величина пути S_i , на котором происходит увеличение скорости движения электромобиля от v_{ai-1} до скорости v_{ai} , на основании принятого предположения определяется выражением

$$S_i = v_{ai-1} \cdot t_i + \frac{j_{i-1} + j_i}{4} t_i^2, \quad (3.19)$$

или

$$S_i = \frac{v_{ai-1} + v_{ai}}{2} \cdot t_i. \quad (3.20)$$

Путь разгона электромобиля с места до скорости v_{ai}

$$S_{vai} = \sum_{i=1}^i S_i = \sum_{i=1}^i \frac{v_{ai-1} + v_{ai}}{2} \cdot t_i. \quad (3.21)$$

Величины S_{vai} и v_{ai} – соответственно абсцисса и ордината i -й точки при построении графика пути разгона электромобиля.

Суммарный путь разгона электромобиля с места до максимальной скорости $v_{a\max}$:

$$S = \sum_{i=1}^n S_i = \sum_{i=1}^n \frac{v_{ai-1} + v_{ai}}{2} \cdot t_i. \quad (3.22)$$

Рассчитанные величины по формулам (3.16) ... (3.22) сводят в таблицу 3.3.

Исходными данными являются значения скоростей и соответствующих им ускорений на всех передачах, от $v_{a\min}$ до $v_{a\max}$.

Таблица 3.3 – Построение графиков пути и времени разгона автомобиля

$v_{ai}, \text{ м/с}$								
$j_i, \text{ м/с}^2$								
$j_{iCP}, \text{ м/с}^2$								
$v_{ai} - v_{ai-1}, \text{ м/с}$								
$t_i, \text{ с}$	(3.16)							
$t_{vai}, \text{ с}$	(3.18)							
$\frac{v_{ai-1} + v_{ai}}{2}, \text{ м/с}$								
$S_i, \text{ м}$	(3.20)							
$S_{vai}, \text{ м}$	(2.21)							

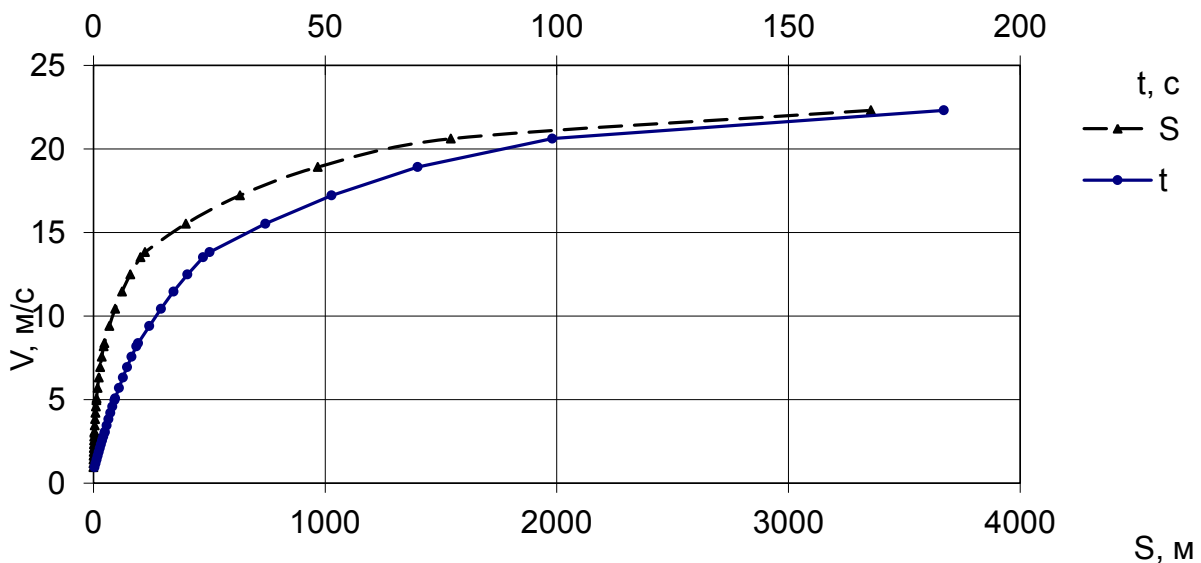


Рисунок 3.5 – График пути и времени разгона (пример)

3.2. Порядок выполнения работы

- 1) Изучить теоретический раздел.
- 2) Определить передаточные числа и динамический фактор по исходным данным ПЗ №1, 2 по изложенной в теоретическом разделе методике.
- 3) Рассчитать динамические характеристики по изложенной в теоретическом разделе методике. Построить графики ускорений электроавтомобиля, времени и величины разгона. Динамический паспорт электроавтомобиля.

- 4) Рассчитать показатели разгона электромобиля. Построить графики пути и времени разгона автомобиля
- 5) Оформить отчет по практической работе [1].

3.3. Содержание отчета

- 1) Тема и цель работы
- 2) Определение передаточных чисел и динамического фактора.
- 3) Нахождение тягово-скоростных характеристик электромобиля
- 4) Расчет показателей разгона электромобиля.
- 5) Графики «Динамический паспорт автомобиля».
- 3) Выводы по работе.

3.4. Контрольные вопросы

- 1) Назовите три основных критерия подбора максимального передаточного числа трансмиссии электромобиля.
- 2) По динамическому фактору определить тяговые показатели при движении с разной степенью загрузки.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЁТ АВТОМОБИЛЬНЫХ ГАЗОВЫХ БАЛЛОНОВ ДЛЯ СОПУТСТВУЮЩЕГО НЕФТЯНОГО ГАЗА

Цель работы: получить практические навыки расчёта автомобильных газовых баллонов для СНГ.

4.1. Теоретический раздел

Выпускаемые в настоящее время газовые баллоны для СНГ автомобилей и автобусов рассчитаны на рабочее давление $P_{\text{раб}} = 1,6 \text{ МПа}$ и предназначены для хранения газового топлива при температуре $40...+40^\circ\text{C}$. Баллоны оборудованы унифицированной расходно-наполнительной и контрольно-предохранительной арматурой.

Газовый баллон (рис. 4.1) представляет собой сосуд с цилиндрической средней частью и сферическими днищами, цилиндрическая часть из листовой углеродистой стали сварная с продольным швом. На переднем днище газового баллона грузовых автомобилей установлена унифицированная арматура: наполнительный вентиль 3, расходные вентили 8 и 2 соответственно для газообразной и жидкой фаз, предохранительный клапан 4, вентиль максимального уровня 7 и датчик 6 указателя уровня СНГ.

Унифицированная арматура газовых баллонов автобусов размещена на их боковой поверхности (рис. 4.2).

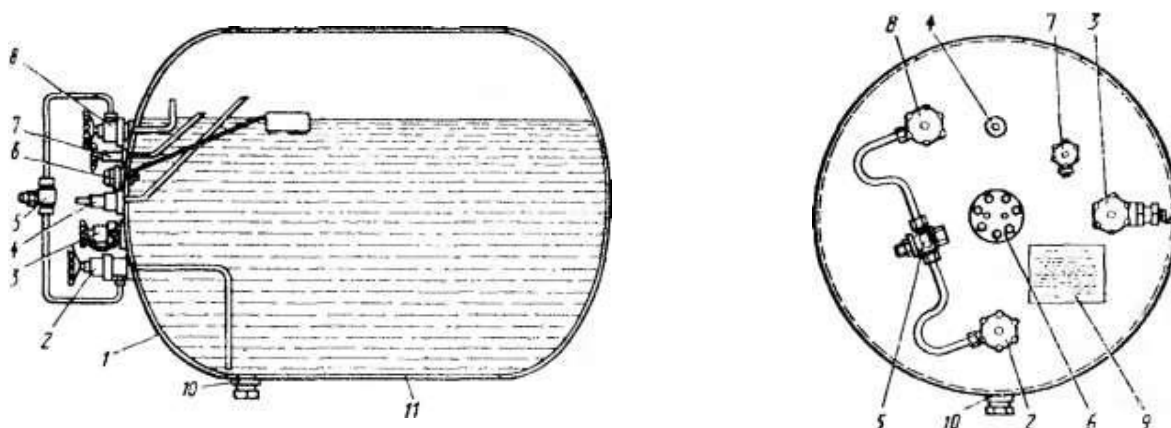


Рисунок 4.1 – Газовый баллон с арматурой для СНГ грузовых автомобилей:

- 1 – днище баллона; 2 – расходный вентиль жидкой фазы; 3 – наполнительный вентиль;
 4 – предохранительный клапан; 5 – крестовина; 6 – датчик указателя СНГ;
 7 – контрольный вентиль; 8 – расходный вентиль газообразной фазы;
 9 – маркировочная табличка; 10 – пробка; 11 – обечайка

Основные технические данные баллонов для автомобилей и автобусов приведены в таблице 4.1.

Для обеспечения работы подвижного состава на СНГ в стране разработан типоразмерный ряд газовых баллонов, в основу которого положены объем, наружный диаметр D и длина L газового баллона. Типоразмерный ряд включает семь модификаций газовых баллонов, объемом 90...250 л. Наружный диаметр газовых баллонов изменяется в пределах 360...575 мм, а их длина – в пределах 800...1300 мм.

Таблица 4.1 – Характеристики газовых баллонов

Параметр	$\frac{N_{\text{пол}}^{\text{ЗК}}}{2} = 0 \text{ или } 1$	$\frac{N_{\text{пол}}^{\text{ЗК}}}{2} = 2$	$\frac{N_{\text{пол}}^{\text{ЗК}}}{2} = 3$	$\frac{N_{\text{пол}}^{\text{ЗК}}}{2} = 4$	$\frac{N_{\text{пол}}^{\text{ЗК}}}{2} = 5$
Длина баллона, мм:					
без арматуры	830	900	1300	1200	1010
с арматурой	1232	1140	1312	1252	1056
Наружный диаметр баллона, мм	490	490	490	440	360
Толщина стенки сосуда, мм	4,5	4,5	4,5	4,0	3,5
Вместимость баллона, л:					
полная	190,4	150,0	215,0	163,5	93,5
90%-ная	171,3	142,0	193,0	147,1	83,9
Масса баллона, кг:					
без газа	75,5	60,5	85,0	67,0	45,0
с газом	164,0	135,0	184,0	135,5	97,0

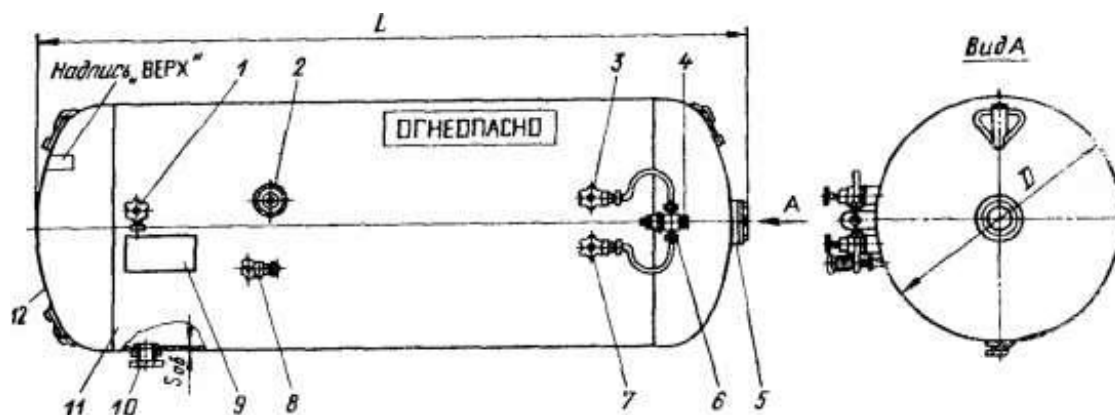


Рисунок 4.2 – Газовый баллон с арматурой для СНГ автобусов:

- 1 – контрольный вентиль; 2 – предохранительный клапан;
 3 – расходный вентиль газообразной фазы; 4 – заглушка; 5 – датчик указателя СНГ;
 6 – крестовина; 7 – расходный вентиль жидкой фазы;
 8 – наполнительный вентиль; 9 – маркировочная табличка; 10 – пробка;
 11 – обечайка; 12 – днище

Аналогичные технические решения приняты за рубежом. Например, типоразмерный ряд газовых баллонов для СНГ, выпускаемых в Италии, включает девять модификаций газовых баллонов объемом 36...120 л. Наружный диаметр газовых баллонов изменяется в пределах 200...360 мм, а длина – в пределах 800...1300 мм.

Особенностью конструкции газовых баллонов фирмы «Ловато аутогаз» (Италия) является наличие унифицированного арматурного блока, заправочной горловины с автоматическим обратным клапаном, предотвращающим утечку СНГ при обрыве заправочного шланга. В наполнительном блоке применены две системы контроля 80%-го заполнения баллона СНГ. Одна из систем снабжена ручным вентилем контроля заполнения, а другая – отсечным клапаном, связанным при помощи рычажного механизма с поплавком указателя уровня СНГ.

Механическая система с отсечным клапаном работает следующим образом. При заполнении баллона до заданного уровня поплавок поднимается и рычажная система перекрывает подачу газа в баллон. В канале отбора жидкой фазы размещен скоростной клапан плунжерного типа. При аварийном обрыве наружного трубопровода плунжер под действием перепада давлений перекрывает сечение, снижая расход газа на 80 % максимального значения.

Некоторые зарубежные фирмы, например «Виалле» (Нидерланды), используют электронную систему контроля 80%-го уровня заполнения баллона, снабженную емкостным датчиком и электромагнитным запорным клапаном, размещенным на заправочной горловине. При заполнении баллона до заданного уровня поплавок поднимается, с помощью электромеханической системы его перемещения преобразуются в электрические сигналы, регистрируемые указателем уровня топлива, находящимся в кабине (салоне) автомобиля.

Газовые баллоны рассчитывают и изготавливают в полном соответствии с правилами устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под

давлением. Баллоны для хранения СНГ рассчитывают прежде всего на прочность. Нормы и методы расчета баллонов регламентированы ГОСТ 33752-2017 [10]. На первом этапе расчет сосуда сводится к определению толщины стенки обечайки и днища.

Расчетное давление СНГ в баллоне может быть определено по формуле:

$$P_{\text{с}} = P_{\text{раб}} + P_{\text{д}}, \quad (4.1)$$

где $P_{\text{раб}}$ – рабочее давление, МПа;

$P_{\text{д}}$ – давление СНГ при гидравлическом ударе в результате резкого торможения автомобиля, МПа.

$$P_{\text{д}} = \frac{10N_{\text{иб}}}{\pi D_{\text{вн}}^2} \cdot 4, \quad (4.2)$$

где $N_{\text{иб}}$ – сила инерции жидкости в баллоне, Н;

$D_{\text{вн}}$ – внутренний диаметр газового баллона, см.

Для режима резкого торможения в расчетах можно принять максимальное ускорение (замедление)

$$a = 3g, \quad (4.3)$$

где g – ускорение свободного падения.

Масса СНГ, находящегося в газовом баллоне:

$$M = V_{\text{и}} \rho, \quad (4.4)$$

где $V_{\text{и}}$ – полезный объем баллона с учетом степени его заполнения, м³;

ρ – плотность пропан-бутановых смесей, $\rho = 0,55 \text{ кг/м}^3$.

Основные конструктивные данные баллона, необходимые для расчета, приведены на рисунке 4.3.

Обечайка и днища должны быть изготовлены согласно техническим условиям из листовых сталей: стали 20 или низколегированных сталей, ГОСТ 5520–79. Сортомент листовой стали должен соответствовать ГОСТ 19904–74 с учетом допускаемых отклонений по толщине.

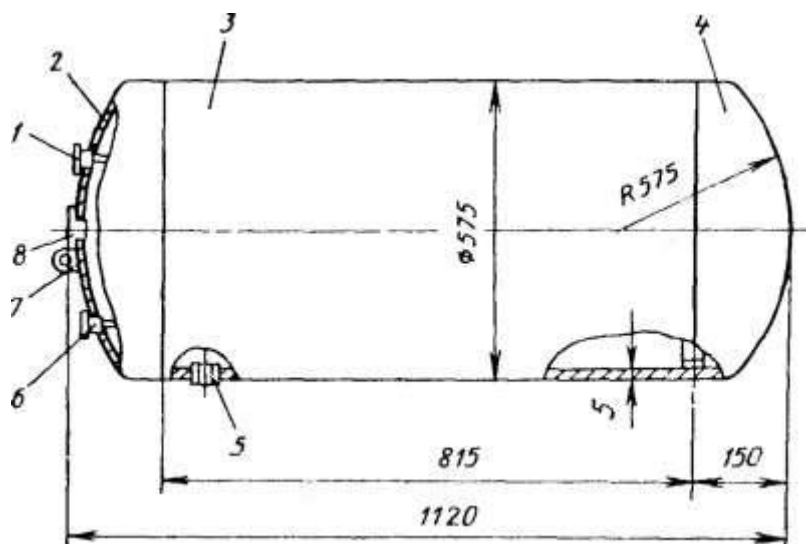


Рисунок 4.3 – Основные конструктивные данные газового баллона для СНГ:

- 1 и 6 – муфты расходных вентилей соответственно газообразной и жидкой фаз;
 2 – переднее днище; 3 – обечайка; 4 – заднее днище;
 5 – бобышка; 7 – муфта наполнительного вентиля; 8 – фланец указателя уровня СНГ

Муфты, фланцы, привариваемые к газовым баллонам, должны изготавливаться из углеродистой стали (ГОСТ 1051–73). Расчет газового баллона для грузового автомобиля сводится к следующему.

Толщина стенки (в см) обечайки

$$S_{об} = \frac{p_o D_{вн}}{2\varphi[\sigma] - p_o} + C_1 + C_2, \quad (4.5)$$

где φ – коэффициент прочности сварного шва при автоматической сварке в продольном направлении, учитывающий качество шва или наличие отверстий в обечайке (для линейного шва $\varphi=0,85$; для радиального шва $\varphi=1$);

$[\sigma]$ – допускаемое напряжение при температуре $+40^\circ\text{C}$, для стали 20 $[\sigma] = 131,4 \text{ МПа}$;

C_1 – поправка расчетной толщины материала, учитывающая коррозию металла, $C_1=0,01 \text{ см}$;

C_2 – поправка расчетной толщины материала, учитывающая допуск на технологию изготовления, $C_2=0,05 \text{ см}$.

Допускаемое напряжение в стенке баллона определяют, исходя из условий обеспечения запаса прочности не менее 3,75:

$$[\sigma] = \frac{\sigma_s}{3,76}, \quad (4.6)$$

где σ_s – временное сопротивление разрыву, МПа.

Толщина стенки днища

$$S_{\text{дн}} = \frac{p_{\text{г}} R}{2\varphi[\sigma] - p_{\text{г}}} + C_1 + C_2, \quad (4.7)$$

где R – радиус сферы днища, см.

4.2. Порядок выполнения работы

- 1) Изучить теоретический раздел.
- 2) В соответствии с последней цифрой зачётной книжки, руководствуясь таблицей 4.1, выбрать исходные данные к расчёту.
- 3) Произвести расчеты согласно методике, изложенной в теоретическом разделе.
- 4) Оформить отчет по практической работе [1].

4.3. Содержание отчета

- 1) Тема и цель работы.
- 2) Расчёт автомобильных газовых баллонов для сопутствующего нефтяного газа по методике, изложенной в теоретическом разделе.
- 3) Выводы по работе.

4.4. Контрольные вопросы

- 1) Основные исходные данные для расчёта.
- 2) Перечислите марки материала для баллонов.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 5. ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЁТ АВТОМОБИЛЬНЫХ ГАЗОВЫХ БАЛЛОНОВ ДЛЯ СЖАТОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА

Цель работы: получить практические навыки расчёта автомобильных газовых баллонов для СПГ.

5.1. Теоретический раздел

Автомобильные газовые баллоны рассчитаны на максимальное рабочее давление $P_{\text{раб}} = 20 \text{ МПа}$ и предназначены для длительного хранения СПГ в сжатом состоянии. Баллоны для хранения СПГ являются наиболее ответственным элементом газобаллонной установки. Их изготавливают из труб, а также из круглых горячекатаных или листовых заготовок глубокой вытяжки с последующей раскаткой. При изготовлении баллоны подвергают термообработке. Поэтому в аварийной ситуации при разрушении баллона

осколков не образуется. Газовый баллон с арматурой для хранения СПГ показан на рисунке 5.1.

Техническая характеристика газовых баллонов для хранения СПГ приведена в таблице 5.1.

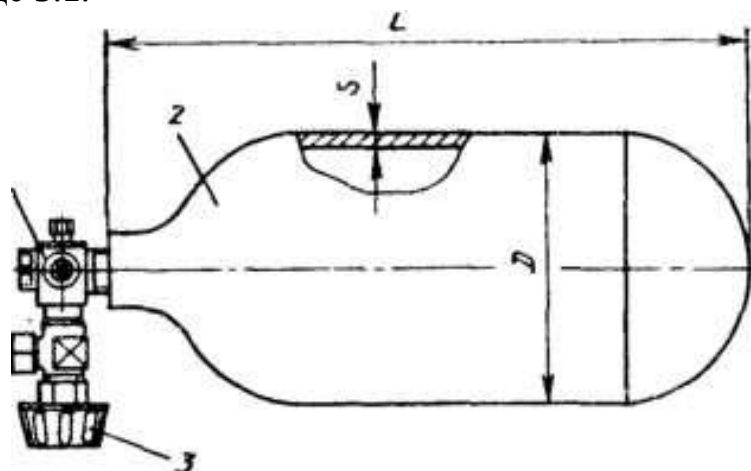


Рисунок 5.1 – Газовый баллон с арматурой для СПГ:
1 – переходный штуцер; 2 – баллон; 3 – наполнительный вентиль

Таблица 5.1 – Характеристика баллонов для СПГ

Параметр	Баллоны из стали	
	Легированной: Сталь 40ХНМА	Углеродистой: Сталь 45
Максимальное рабочее давление, МПа	20	20
Давление при испытаниях, МПа:		
гидравлических	30	30
пневматических	20	20
Продолжительность испытаний, мин	1	1
Объем баллона (нормальный), л	50	50
Длина баллона (номинальная), мм	1660	1750
Наружный диаметр баллона, мм	219	219
Толщина стенки, мм	6,5	9,3
Масса баллона (номинальная), кг	62,5	93
Коэффициент тары (отношение массы баллона к его объему)	1,25	1,85

Газовые баллоны для СПГ имеют цилиндрическую форму со сферическим днищем, в горловине баллона расположено одно отверстие для подключения арматуры.

Для баллонов из легированной стали установлен срок переосвидетельствования один раз в 5 лет, а из углеродистой – один раз в 3 года.

К газовым баллонам предъявляют следующие требования: наружная их поверхность не должна иметь раковин, вмятин, трещин и глубоких рисок.

В процессе эксплуатации баллоны для СПГ должны быть защищены от ударов. Стенки баллонов не должны корродировать; баллоны должны быть окрашены краской красного цвета и иметь надпись «Метан»; на верхней сферической части каждого баллона должны быть указаны товарный знак

(марка) завода-изготовителя, порядковый номер баллона, масса баллона (в кг с точностью 0,2 кг), дата (месяц и год) изготовления и последующего испытания (например, 9–86–89), рабочее P и пробное Π гидравлическое давление, объем баллона в л (с точностью $\pm 0,2$ л), клеймо ОТК завода-изготовителя, обозначение стандарта на баллон.

Объем газового баллона выпуска до 01.09.87 номинальный (50 л), на баллонах более позднего выпуска указан фактический объем.

Газовые баллоны, устанавливаемые на грузовых автомобилях и автопоездах, полностью унифицированы.

Обязательным условием безопасной эксплуатации баллонов высокого давления является внимательный уход за ними, очистка их и газовой арматуры от пыли и грязи и своевременная окраска.

Ниже приведены основные данные автомобильных баллонов объемом 50 л и рабочим давлением 20 МПа, выпускаемых из бесшовных труб.

Таблица 5.2 – Характеристики сталей для автомобильных баллонов

Сталь	45	38ХНМ
Диаметр, мм	219	219
Длина, мм	1755	1700
Масса, кг	93	62,5
Толщина стенок, мм	8,9	5,7

Цилиндрические баллоны рассчитывают по пределу прочности материала.

Минимально допустимая толщина стенки баллона:

$$S_{\min} = \frac{0,1p_{\text{раб}}D}{200 \left(\frac{\sigma_{\sigma}}{\varphi_{\sigma\sigma}} + \frac{0,1p_{\text{раб}}}{100} \right)}, \quad (5.1)$$

где $\varphi_{\sigma\sigma}$ – запас прочности по временному сопротивлению разрыву.

Механические свойства материала газовых баллонов высокого давления приведены ниже.

Таблица 5.3 – Механические свойства сталей

Сталь	Углеродистая	Легированная
Временное сопротивление разрыву, σ_B , МПа, не менее	650	1000
Предел текучести, σ_s , МПа, не менее	380	850
Относительное удлинение, %, не менее	15	10

Газовые баллоны высокого давления рассчитывают таким образом, чтобы напряжение в их стенках не превышало 90 % предела текучести для данной марки стали. Поскольку гидравлические испытания проводят при давлении, в 1,5 раза превосходящем расчетное, запас прочности по пределу текучести:

$$\varphi_{\sigma_s} = 1,67.$$

При этом минимально допустимые значения запасов прочности

$$\varphi_{\sigma_s} = \frac{\varphi_{\sigma_s} \sigma_s}{\sigma_s}.$$

Исходя из требований безопасной эксплуатации сосудов высокого давления принимают запас прочности газовых баллонов из углеродистой стали $\varphi_{\sigma_s} = 2,85$, а из легированной стали $\varphi_{\sigma_s} = 2,6$.

После изготовления газовые баллоны подвергают термообработке (закалке и отпуску), обеспечивающей однородную сорбитную структуру металла и безосколочность при их разрушении.

5.2. Порядок выполнения работы

- 1) Изучить теоретический раздел.
- 2) Произвести расчёт автомобильных газовых баллонов для сжатого природного газа, пользуясь изложенной в теоретическом разделе методикой.
- 3) Оформить отчет по практической работе.

5.3. Содержание отчета

- 1) Тема и цель работы.
- 2) Расчёт автомобильных газовых баллонов для СПГ.
- 3) Выводы по работе.

5.4. Контрольные вопросы

- 1) Основные исходные данные для расчёта.
- 2) Перечислите марки материала для баллонов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 7.32-2001. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления (с Изменением N 1, с Поправкой) / Официальное издание. – М.: Стандартинформ. – 2008. – 34 с.
2. Электродвигатели АИР – технические характеристики // Официальный сайт ГК «Электромотор» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://electronpo.ru/production/>
3. Краткий автомобильный справочник / А.Н. Понизовкин, Ю.М. Власко, М. Б. Ляликов и др. – М.: АО "Трансконсалтинг", НИИАТ, 1994. – 779 с.
4. Иларионов В.А. Теория автомобиля.– М.: Машиностроение, 1982. – 344 с.
5. Понизовкин А.Н. Краткий автомобильный справочник НИИАТ / А.Н. Понизовкин –М.: АО Трансконсалтинг, 1994. – 779 с.
6. Стуканов В.А. Основы теории автомобильных двигателей и автомобиля: Учебное пособие / В.А. Стуканов. – М.: Форум: ИНФРА-М, 2004. – 368 с.
7. Солтус А.П. Теория эксплуатационных свойств автомобиля: Учебное пособие для вузов / А.П. Солтус. – К.: Аристей, 2004. – 188 с.
8. Осепчугов В. В. Автомобиль: анализ конструкций, элементы расчета / В.В. Осепчугов, А.К. Фрумкин. – М.: Машиностроение, 1989. – 304 с.
9. Лукин П.П. Конструирование и расчет автомобиля / П.П. Лукин, Г.А. Гаспарянц, В. Ф. Радионов. – М.:Машиностроение, 1984. – 376 с.
10. ГОСТ 33752-2017/ Баллоны стальные сварные для сжиженных углеводородных газов, используемых в качестве моторного топлива на механических транспортных средствах. Технические условия / Официальное издание. М.: Стандартинформ, 2017. – 50 с.

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ЭНЕРГОУСТАНОВКИ АВТОМОБИЛЕЙ

*Методические указания
к выполнению практических работ*

Составители: **Остренко** Алексей Геннадьевич,
Княшко Лариса Александровна

В авторской редакции

Изд. № 218/2020. Объем 2 п.л.
РИИЦМ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»