

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 расчетно-графической работы
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, С.В. Огрызков, Л.А. Кияшко

А58 Альтернативные энергоустановки автомобилей : методические указания к выполнению расчетно-графической работы по дисциплине «Альтернативные энергоустановки автомобилей» / Сост. А.Г. Остренко, С.В. Огрызков, Л.А. Кияшко ; Министерство науки и высшего образования РФ, Севастопольский государственный университет, Политехнический институт. – Севастополь: СевГУ, 2020. – 31 с. – Текст : электронный.

Настоящие методические указания предназначены для оказания помощи обучающимся при выполнении расчетно-графической работы 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.

© ФГАОУ ВО «Севастопольский
государственный университет», 2020

СОДЕРЖАНИЕ

1. Общие положения по расчётно-графической работе	4
2. Указания по выполнению разделов РГР.....	6
Библиографический список	30
Приложение А. Бланк задания на РГР	31

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО РАСЧЁТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЕ

1.1. Цели расчетно-графической работы

Расчетно-графическая работа выполняется с целью:

- углубления теоретических знаний, полученных при изучении дисциплины «Альтернативные энергоустановки автомобилей»;
- приобретения практических навыков по подбору тяговых электродвигателей электромобилей и аккумуляторных батарей для них;
- расчёту тягово-динамических характеристик электромобилей, подбору и прочностному расчёту баллонов для газовых видов топлива.

1.2. Задание на РГР

РГР позволяет установить степень усвоения студентами теоретических знаний и способности применять их самостоятельно при решении конкретных практических задач.

Задачами выполнения РГР является

- подбор силовой установки и аккумуляторных батарей;
- анализ компоновочной схемы электромобиля и определения параметров массы;
- подбор шин;
- определение передаточных чисел и динамического фактора;
- определение передаточных чисел и динамического фактора;
- расчет показателей разгона электромобиля;
- расчёт баллонов для газового топлива.

1.3. Структура РГР

Работа состоит из расчётно-пояснительной записки.

Расчётно-пояснительная записка оформляется на листах формата А4 рукописным или машинным способом в соответствии с требованиями ГОСТ 7.32-2001 [1].

К расчётно-графической работе предъявляются следующие требования:

- работа выполняется на основе предварительного ознакомления с учебным курсом в целом;
- текст работы пишется самостоятельно, грамотно оформляются сноски, цитаты, перечень ссылок;
- объём РГР – 10 - 15 страниц.

1.4. Содержание расчётно-пояснительной записки

- 1) Титульный лист.
- 2) Бланк задания (см. приложение А).
- 3) Решение задач согласно заданным исходным данным.
- 4) Список использованной литературы.

1.5. Порядок сдачи РГР

Подготовленная расчётно-графическая работа подаётся на рецензию на кафедру «Автомобильный транспорт». Срок рецензирования работы – 1 неделя.

Если работа не зачтена, она должна быть переделана с учётом замечаний преподавателя. Ввиду того, что обычно проверяет расчётно-графические работы преподаватель, ведущий занятия по курсу, отдельная рецензия на работу не пишется. В конце работы рецензент делает общие выводы по качеству выполнения работы и замечания, на которые обучающемуся следует обратить внимание при подготовке к зачёту.

Подготовленная и подписанная предоставляется на кафедру не позднее 2-х недель до начала экзаменационной сессии.

2. УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ РАЗДЕЛОВ РГР

2.1. Подбор силовой установки и аккумуляторных батарей

В соответствии с последними тремя цифрами зачётной книжки, руководствуясь таблицей 2.1, выбрать исходные данные к расчёту (автомобиль – прототип, коэффициент сопротивления дороги, ψ , максимальную скорость движения, $V_{\max}$).

Таблица 2.1 – Исходные данные к расчёту

$N_{\text{ПРЕДПРЕДПОСЛ}}^{\text{ЗК}}$	$V_{\max}$, км/ч	$N_{\text{ПРЕДПОСЛ}}^{\text{ЗК}}$	ψ_v	$N_{\text{ПОСЛ}}^{\text{ЗК}}$	Автомобиль- прототип
0	130	0	0,020	0	ВАЗ-2190
1	120	1	0,021	1	ВАЗ-2170
2	150	2	0,022	2	ВАЗ-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	ВАЗ-2190
9	140	9	0,029	9	ВАЗ-2170

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

$$N_v = \frac{\psi_v \cdot G_a \cdot V_{\max} + W \cdot V_{\max}^3}{1000 \cdot \eta_{TP}}, \quad (2.1)$$

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, Нс²/м²;

η_{TP} – механический КПД трансмиссии.

Мощность необходимая для разгона электромобиля:

$$N_{\max} = 1,12 N_v. \quad (2.2)$$

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

$$\eta_{TP} = 0,98^k \cdot 0,97^l \cdot 0,995^m, \quad (2.3)$$

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.

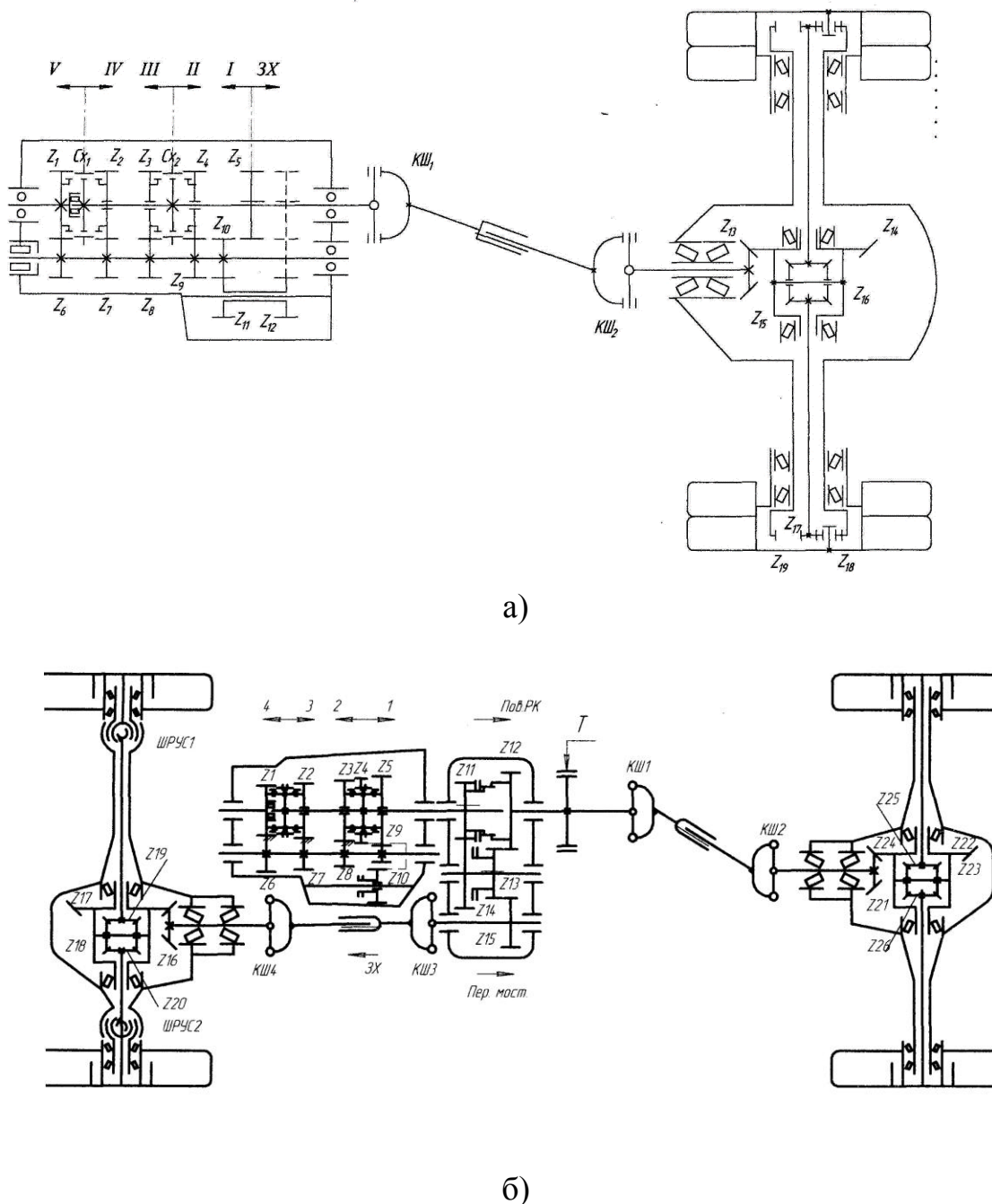


Рисунок 2.1 – Примеры выполнения кинематических схем трансмиссии:
а – заднеприводный автомобиль; б – автомобиль с колесной формулой 4x4

Фактор сопротивления воздуха W , $H \cdot c^2 / m^2$, равен

$$W = k_B \cdot F_a, \quad (2.4)$$

где k_B – коэффициент обтекаемости автомобиля, Hc^2/m^4 (табл. 2.2);

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 2.2 – Коэффициенты обтекаемости автомобилей

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

Ориентировочно лобовую площадь, F_a , m^2 , для легковых электромобилей можно рассчитать:

$$F_a \approx 0,78 \cdot B_a \cdot H, \quad (2.5)$$

где B_a – габаритная ширина электромобиля, m ;

H – габаритная высота электромобиля, m .

Определив по формуле (2.1) необходимую эффективную мощность двигателя N_v , подбирается мощность тяговых электродвигателей (ТЭД). При подборе суммарной мощности ТЭД необходимо соблюдать условие:

$$P_{\text{двиг.}} \geq N_{\text{max}}. \quad (2.6)$$

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

Для подбора ТЭД можно воспользоваться электронным ресурсом [2].

Приблизительный пробег без подзарядки определяется по формуле

$$L = V_{\text{max}} \cdot t = \frac{\mathcal{E} \cdot V_{\text{max}}}{P_{\text{двиг.}} \cdot \eta_{\text{двиг.}}}, \quad (2.7)$$

где $\mathcal{E}$ – энергоёмкость АКБ, $Bm/ч$;

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

В свою очередь, энергоёмкость определяется по формуле

$$\mathcal{E} = U_B \cdot C, \quad (2.8)$$

где U_B – напряжение АКБ (номинальное), В;

C – ёмкость АКБ, Ач.

Подставив формулу (2.8) в (2.7) и выразив C , получим

$$C = \frac{L \cdot P_{\text{двиг.}} \cdot \eta_{\text{двиг.}}}{V_{\text{max}} \cdot U_B}. \quad (2.9)$$

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

2.2. 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 табл. 2.3.

Таблица 2.3 – 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 "Х" принимается передняя ось автомобиля, оси "Y" – уровень дорожного покрытия (рис.).

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

Координаты a и h рассчитывают по формулам

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

$$h = \frac{\sum m_i \cdot h_i}{m_a}$$
(2.10)

Расчет необходимо свести в табл. 2.4.

Таблица 2.4 – Расчет координат центра тяжести

Узел	m_i , кг	l_i , мм	$m_i \cdot l_i$, кг•мм	h_i , мм	$m_i \cdot h_i$, кг•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. 2.2.

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 2.3.

Microsoft Excel - ЦТ.xls

Файл Правка Вид Вставка Формат Сервис Данные Окно ?

244%

Arial Cyr 10

	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			

Лист1 Лист2 Лист3

Действия Автофигуры

Готово

Рисунок 2.2 – Пример расчета координаты центра тяжести

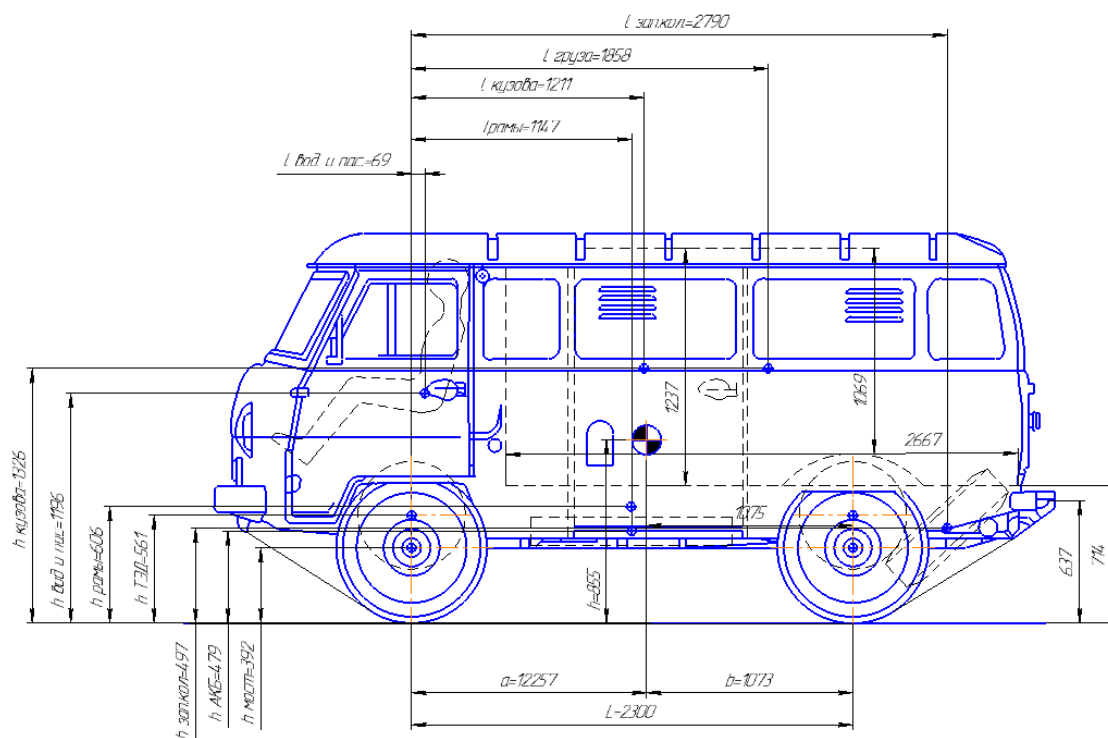


Рисунок 2.3 – Пример обозначения координат центра тяжести на чертеже общего вида электромобиля

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:

$$G_1 = \frac{G_a \cdot L - a}{L}, \quad (2.11)$$

где G_a – вес от полной массы автомобиля, H ;

L – база автомобиля, $мм$;

a – координата центра тяжести, определенная в табл/ 2.4, $мм$;

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

$$G_2 = G_a - G_1. \quad (2.12)$$

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

2.3. 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:

$$G_{K_i} = \frac{G_i}{n_i}, \quad (2.13)$$

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

$$R_k = \lambda_{ш} \cdot R_{ст}, \quad (2.14)$$

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

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

2.4. Определение передаточных чисел и динамического фактора

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

$$M_H = \frac{9550P_{двиг}}{\omega}, \quad (2.15)$$

где ω – частота оборотов вала электродвигателя, с⁻¹.

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

Результаты расчетов для построения внешней скоростной характеристики двигателя сводятся в табл. 2.5.

Таблица 2.5 – Параметры внешней скоростной характеристики двигателя

$\omega i, c^{-1}$											
$n=30 \cdot \omega i / \pi,$ $об/мин^{-1}$											
$M_k, Н \cdot м$											

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. 2.4 – 2.7).

На рис. 2.4 приведён пример внешней скоростной характеристики ТЭД.

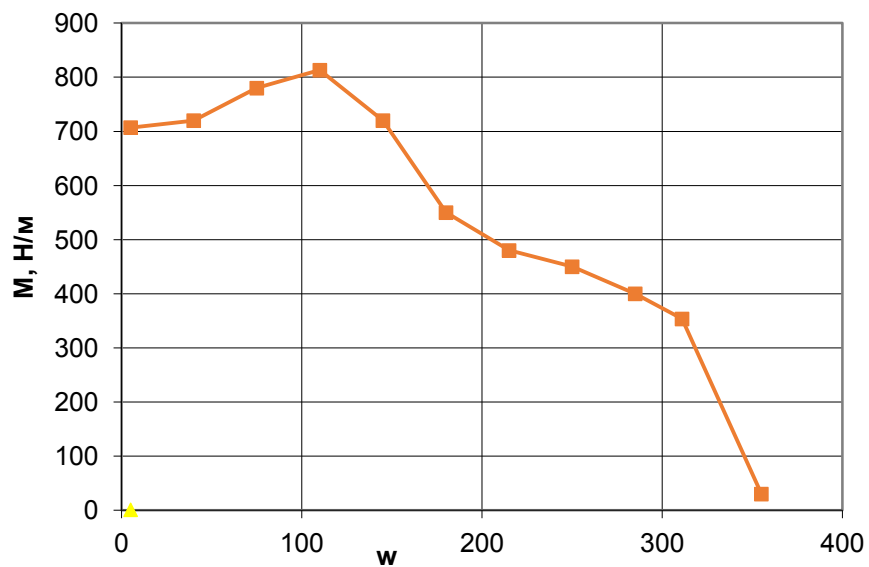


Рисунок 2.4 – Зависимость крутящего момента от частоты вращения

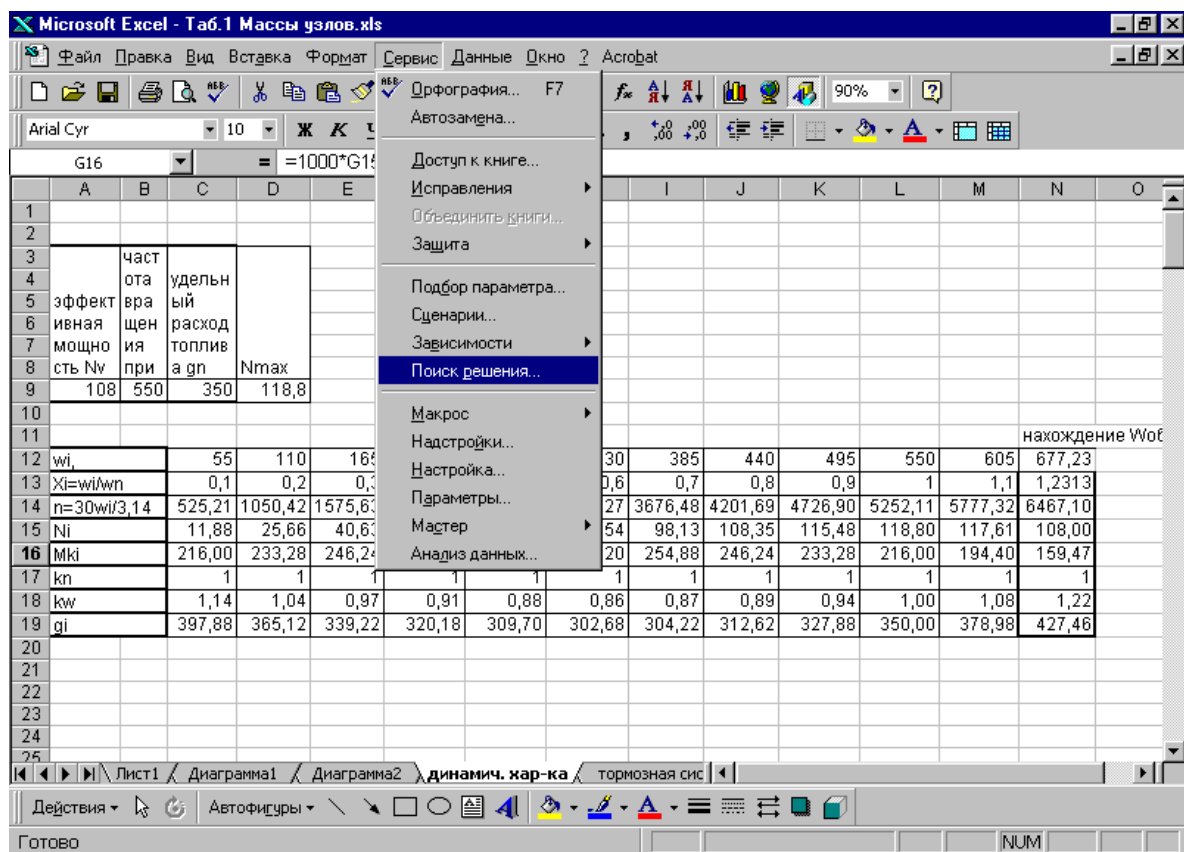


Рисунок 2.5 – Выбор функции «поиск решения»

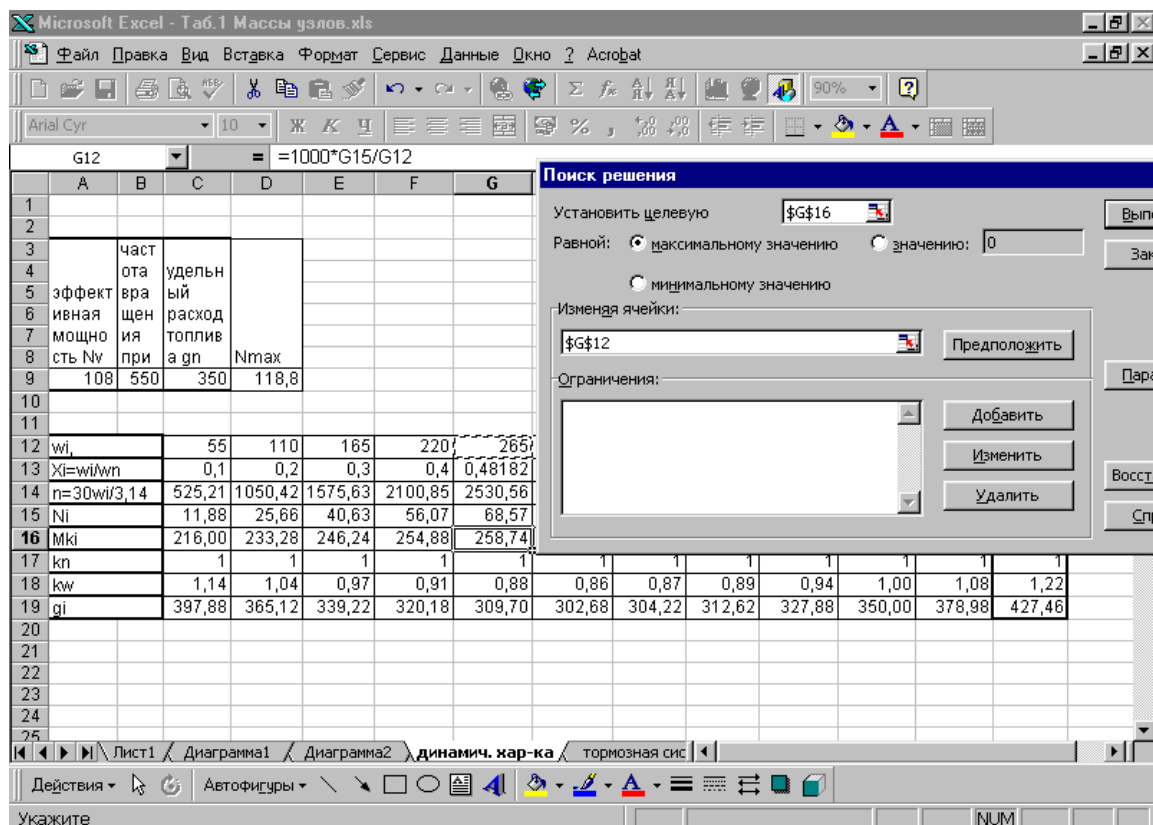


Рисунок 2.6 – Последовательность определения максимального значения крутящего момента и соответствующей ему частоты вращения коленчатого вала

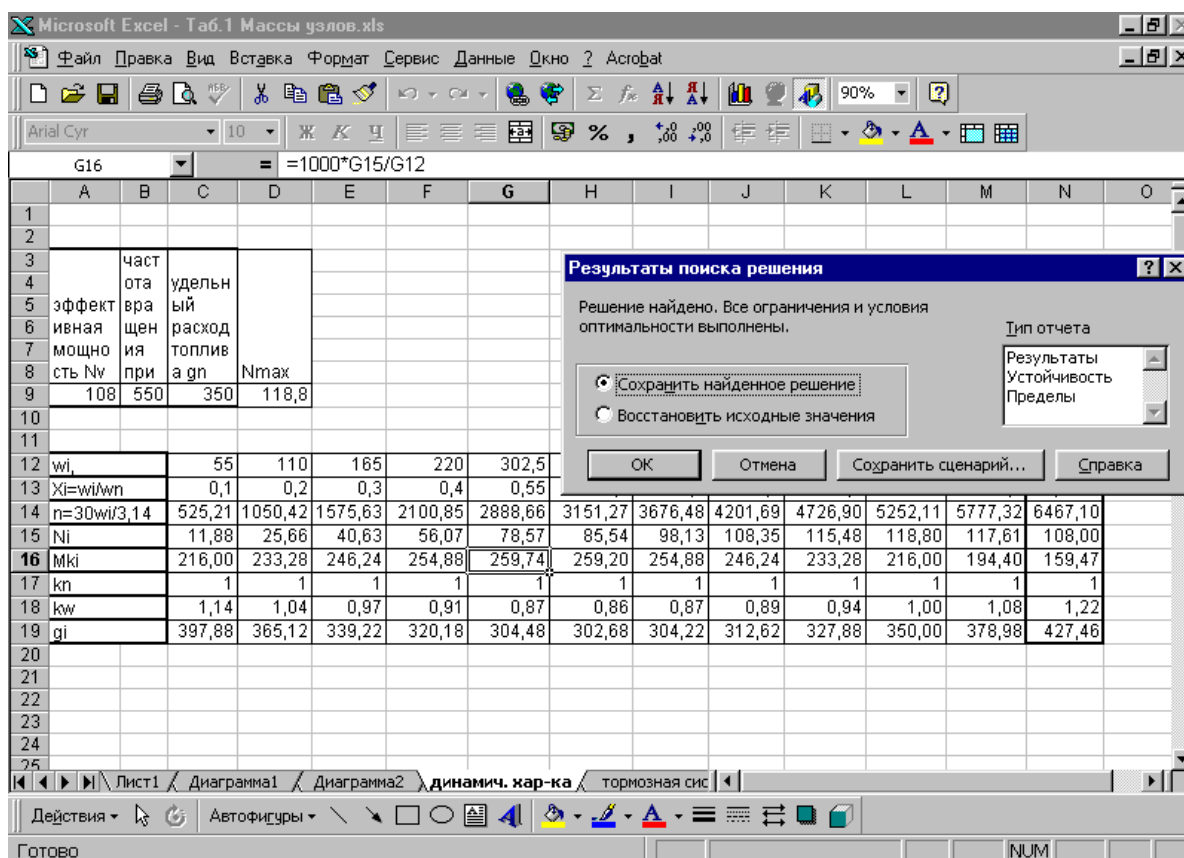


Рисунок 2.7 – Результаты поиска решения

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

$$U_{TP\min} = \frac{\omega_{\max} r_k}{V_{\max}}, \quad (2.16)$$

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

$$U_{TP\min} = U_{K\min} \cdot U_0, \quad (2.17)$$

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:

$$U_0 = \frac{U_{TP\min}}{U_{K1}}. \quad (2.18)$$

Максимальное передаточное число трансмиссии определяется из необходимости соблюдения двух условий.

1) Условие преодоления максимального дорожного сопротивления:

$$U_{TP\max}^1 = \frac{\psi_{\max} \cdot G_a \cdot R_k}{M_{k\max} \cdot \eta_{TP}}, \quad (2.19)$$

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.

2) Условие полного использования сцепной массы

$$U_{TP\max}^2 = \frac{\varphi \cdot G_{сц} \cdot R_K}{M_{k\max} \cdot \eta_{TP}}, \quad (2.20)$$

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

$G_{сц}$ – 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:

$$U_{TP\max} = U_{K1} \cdot U_0. \quad (2.21)$$

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

$$n = \frac{\log U_{K\min} - \log U_{K1}}{\log q} + 1, \quad (2.22)$$

где q – знаменатель геометрической прогрессии.

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

Передаточные числа промежуточных передач находятся из выражения:

$$U_{Kj} = \sqrt[n-1]{U_{K1}^{n-j} \cdot U_{K\min}^{j-1}}, \quad (2.23)$$

где j – порядковый номер промежуточной передачи;

n – число передач в коробке.

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

$$U_{3X} = 0,9 \dots 1,3 \cdot U_{K1}. \quad (2.24)$$

При расчете числа зубьев зубчатых колес передаточные числа трансмиссии уточняются.

2.5. 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.

В пояснительной записке строятся графики ускорений электромобиля, времени и величины разгона. Динамический паспорт электромобиля выносится в графическую часть работы на листе 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:

$$D = \frac{F_K - F_w}{G_a}, \quad (2.25)$$

где F_K – сила тяги на ведущих колесах, H ;

$$F_K = \frac{M_K \cdot U_{Ti} \cdot \eta_M}{R_K}, \quad (2.26)$$

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

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

F_w – сила сопротивления воздуха, H .

$$F_w = W \cdot V_a^2. \quad (2.27)$$

Скорость движения электромобиля, м/с можно рассчитать по формуле

$$V_a = \frac{\omega}{U_{Ti}} R_K. \quad (2.28)$$

Ускорение электромобиля равно

$$j_a = \frac{D - \psi \cdot g}{\delta} = \frac{D - \psi \cdot g}{1,04 + 0,04 \cdot U_{Ki}^2}, \quad (2.29)$$

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

Значения, полученные при расчетах по формулам (2.25) - (2.29) необходимо свести в табл. 2.6.

Таблица 2.6 – Расчет динамических характеристик

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

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

2.6. Расчет показателей разгона электромобиля

Ускорения, которые электромобель 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:

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

$v_a = f(t)$ – скорости движения электромобиля при разгоне от времени;

$v_a = f(S)$ – 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 $v_{a_{i-1}}$ до скорости v_{a_i} определяется по закону равноускоренного движения:

$$t_i = \frac{v_{ai} - v_{ai-1}}{j_{iCP}} = \frac{2}{j_{i-1} + j_i} \frac{v_{ai} - v_{ai-1}}{2}. \quad (2.30)$$

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

$$t = \sum_{i=1}^n t_i = \sum_{i=1}^n \frac{2}{j_{i-1} + j_i} \frac{v_{ai} - v_{ai-1}}{2}. \quad (2.31)$$

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

$$t_{vai} = \sum_{i=1}^i t_i = \sum_{i=1}^i \frac{2}{j_{i-1} + j_i} \frac{v_{ai} - v_{ai-1}}{2}. \quad (2.32)$$

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 $v_{a_{i-1}}$ до скорости v_{a_i} , на основании принятого предположения определяется выражением

$$S_i = v_{ai-1} \cdot t_i + \frac{j_{i-1} + j_i}{4} t_i^2, \quad (2.33)$$

или

$$S_i = \frac{v_{ai-1} + v_{ai}}{2} \cdot t_i. \quad (2.34)$$

Путь разгона электромобиля с места до скорости v_{a_i}

$$S_{vai} = \sum_{i=1}^i S_i = \sum_{i=1}^i \frac{v_{ai-1} + v_{ai}}{2} \cdot t_i. \quad (2.35)$$

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

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

$$S = \sum_{i=1}^n S_i = \sum_{i=1}^n \frac{v_{ai-1} + v_{ai}}{2} \cdot t_i. \quad (2.36)$$

Рассчитанные величины по формулам (2.30) ... (2.36) сводят в табл. 2.7.

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

Таблица 2.7 – Построение графиков пути и времени разгона автомобиля

$v_{ai}, \text{ м/с}$								
$j_i, \text{ м/с}^2$								
$j_{icp}, \text{ м/с}^2$								
$v_{ai} - v_{ai-1}, \text{ м/с}$								
$t_i, \text{ с}$	(2.30)							
$t_{vai}, \text{ с}$	(2.32)							
$\frac{v_{ai-1} + v_{ai}}{2}, \text{ м/с}$								
$S_i, \text{ м}$	(2.34)							
$S_{vai}, \text{ м}$	(2.35)							

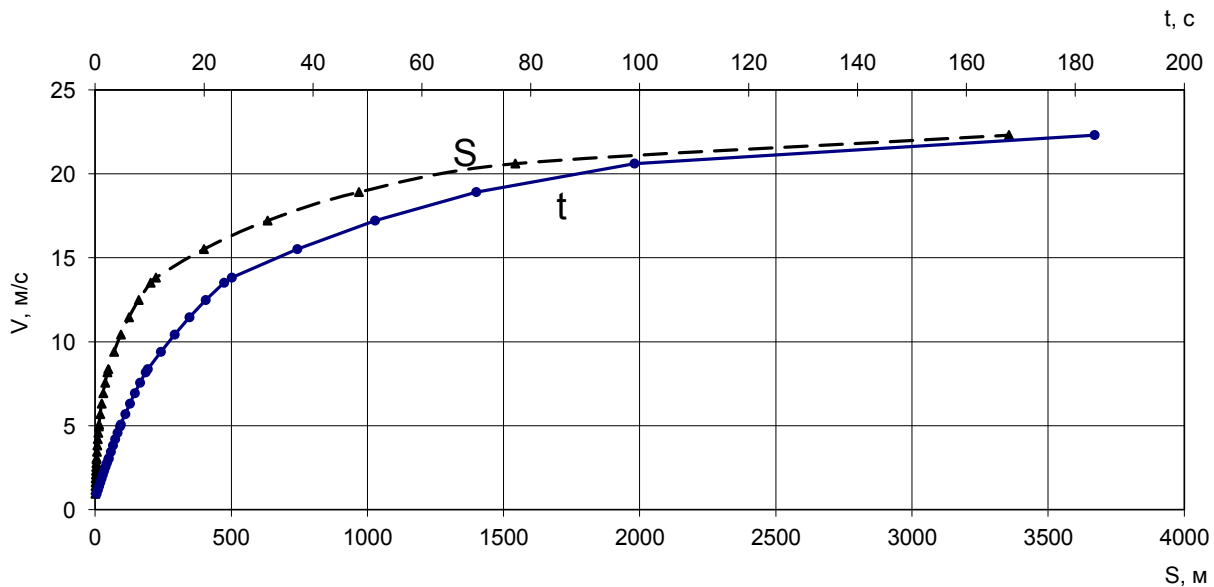


Рисунок 2.8 – График пути и времени разгона (пример)

2.7. Расчёт баллонов для газового топлива

2.7.1. Теоретические сведения, баллоны для сопутствующего нефтяного газа (СНГ)

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 $40...+40 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Баллоны оборудованы унифицированной расходно-наполнительной и контрольно-предохранительной арматурой.

Газовый баллон (рис. 2.9) 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. 2.10).

Основные технические данные баллонов для автомобилей и автобусов приведены в табл. 2.8.

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 2.8 – Характеристики газовых баллонов

Параметр	$\frac{N_{\text{ПОСЛ}}^{\text{ЗК}}}{2} = 0 \text{ или } 1$	$\frac{N_{\text{ПОСЛ}}^{\text{ЗК}}}{2} = 2$	$\frac{N_{\text{ПОСЛ}}^{\text{ЗК}}}{2} = 3$	$\frac{N_{\text{ПОСЛ}}^{\text{ЗК}}}{2} = 4$	$\frac{N_{\text{ПОСЛ}}^{\text{ЗК}}}{2} = 5$
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

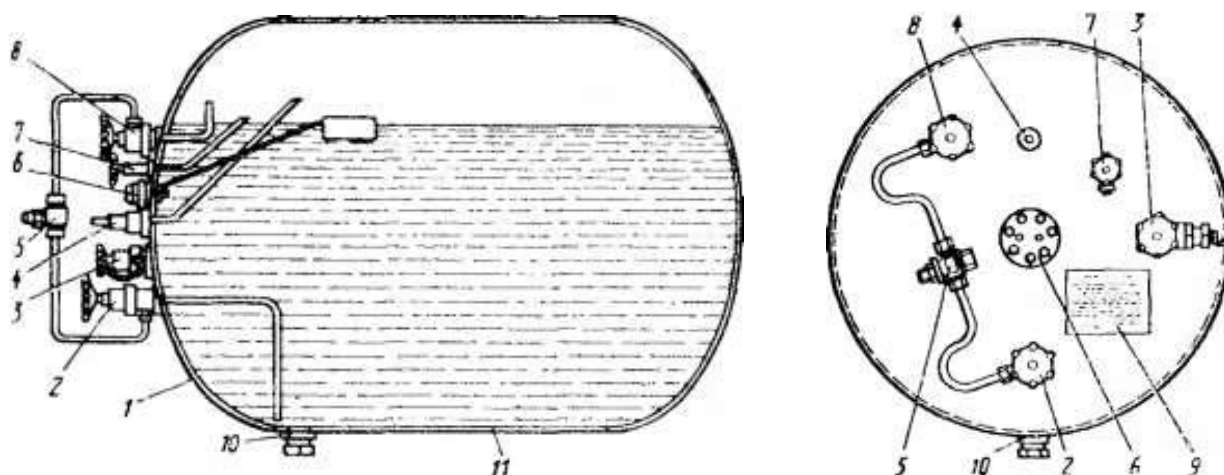


Рисунок 2.9 – Газовый баллон с арматурой для СНГ грузовых автомобилей:

- 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

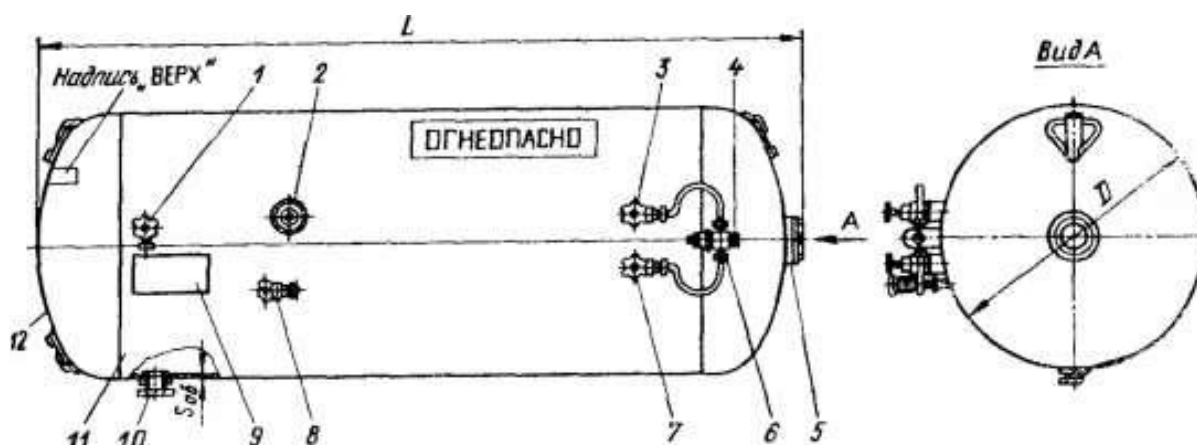


Рисунок 2.10 – Газовый баллон с арматурой для СНГ автобусов:

- 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 наполнения баллона СНГ. Одна из систем снабжена ручным вентилем контроля наполнения, 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.

2.7.2. Расчёт

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. Задание выбирать из табл. 2.8.

Расчетное давление СНГ в баллоне может быть определено по формуле

$$P_o = P_{раб} + P_o, \quad (2.37)$$

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

P_o – давление СНГ при гидравлическом ударе в результате резкого торможения автомобиля, МПа.

$$P_o = \frac{10N_{иоб}4}{\pi D_{вн}^2}, \quad (2.38)$$

где $N_{иоб}$ – сила инерции жидкости в баллоне, Н;

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

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

$$a = 3g, \quad (2.39)$$

где g – ускорение свободного падения.

Масса СНГ, находящегося в газовом баллоне:

$$M = V_u \rho, \quad (2.40)$$

где V_u – полезный объем баллона с учетом степени его заполнения, м^3 ;
 ρ – плотность пропан-бутановых смесей, $\rho = 0,55 \text{ кг/м}^3$.

Основные конструктивные данные баллона, необходимые для расчета, приведены на рис. 2.11.

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

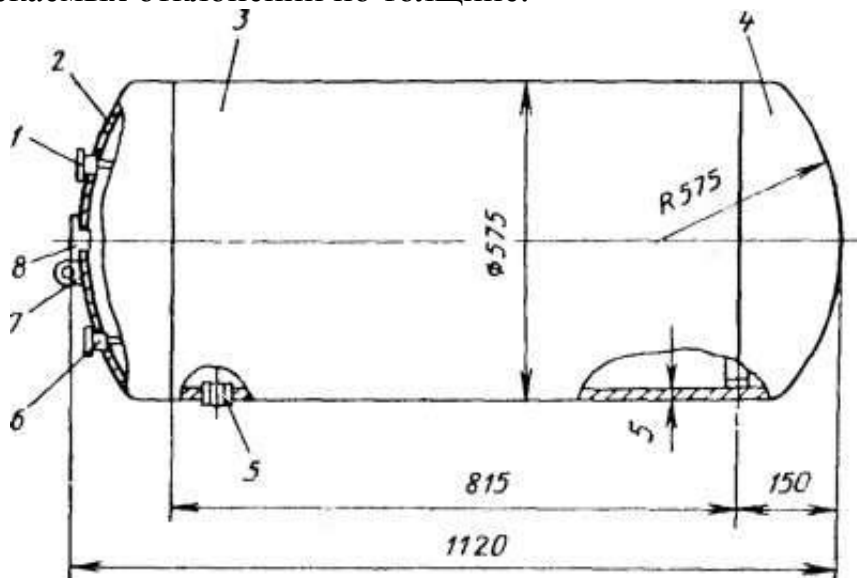


Рисунок 2.11 – Основные конструктивные данные газового баллона для СНГ:

- 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

$$S_{об} = \frac{p_o D_{вн}}{2\varphi \sigma - p_o} + C_1 + C_2, \quad (2.41)$$

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 $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$, 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:

$$\sigma = \frac{\sigma_{\sigma}}{3,75}, \quad (2.42)$$

где σ_{σ} – временное сопротивление разрыву, МПа .

Толщина стенки днища

$$S_{\text{дн}} = \frac{p_{\sigma} R}{2\varphi \sigma - p_{\sigma}} + C_1 + C_2, \quad (2.43)$$

где R – радиус сферы днища, см .

2.7.3. Теоретические сведения, баллоны для сжатого природного газа (СПГ)

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 рис. 2.12.

Техническая характеристика газовых баллонов для хранения СПГ приведена в табл. 2.9.

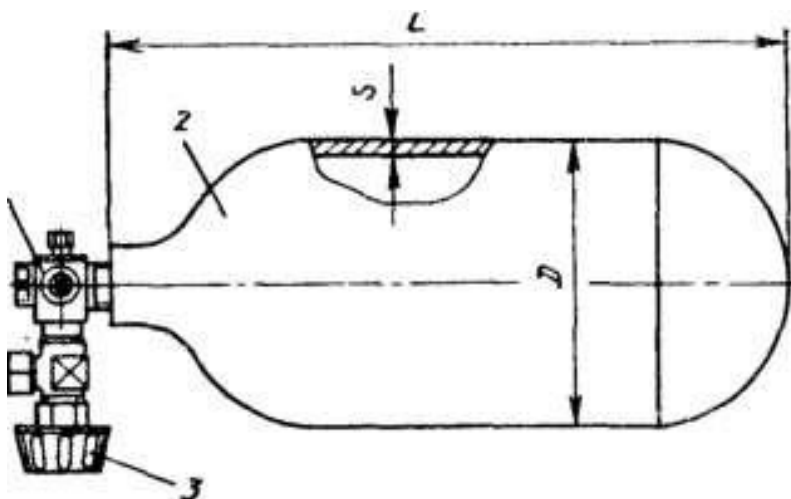


Рисунок 2.12 – Газовый баллон с арматурой для СПГ:
1 – переходный штуцер; 2 – баллон; 3 – наполнительный вентиль

Таблица 2.9 – 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 дном, 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 P 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 2.10 – 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

2.7.4. Расчёт

Цилиндрические баллоны рассчитывают по пределу прочности материала.

Минимально допустимая толщина стенки баллона:

$$S_{\min} = \frac{0,1 p_{\text{раб}} D}{200 \left(\frac{\sigma_{\text{в}}}{\varphi_{\sigma_{\text{в}}}} + \frac{0,1 p_{\text{раб}}}{100} \right)}, \quad (2.44)$$

где $\varphi_{\sigma_{\text{в}}}$ – запас прочности по временному сопротивлению разрыву.

Механические свойства материала газовых баллонов высокого давления приведены ниже.

Таблица 2.11 – Механические свойства сталей

Сталь	Углеродистая	Легированная
Временное сопротивление разрыву, $\sigma_{\text{в}}$, МПа, не менее	650	1000
Предел текучести, $\sigma_{\text{с}}$, 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.

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.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

БЛАНК ЗАДАНИЯ НА РГР

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Политехнический институт

Кафедра _____ Автомобильный транспорт _____
Направление 23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов _____
Профиль Эксплуатация наземных транспортных средств _____
Дисциплина _____ Альтернативные энергоустановки автомобилей _____
Курс IV _____ Группа ЭТ/б – 17-1-о _____ Семестр VII _____

ЗАДАНИЕ на расчетно-графическую работу

Обучающегося _____
(фамилия, имя, отчество) (№ зачётной книжки)

1. Исходные данные к расчётам

$N_{\text{ПРЕДПРЕДПОСЛ}}^{\text{ЗК}}$	$V_{\text{max}}, \text{ км/ч}$	$N_{\text{ПРЕДПОСЛ}}^{\text{ЗК}}$	ψ_v	$N_{\text{ПОСЛ}}^{\text{ЗК}}$	Автомобиль-прототип
Параметр				$\frac{N_{\text{ПОСЛ}}^{\text{ЗК}}}{2}$	
Длина баллона, мм:					
без арматуры					
с арматурой					
Наружный диаметр баллона, мм					
Толщина стенки сосуда, мм					
Вместимость баллона, л					
полная					
90%-ная					
Масса баллона, кг:					
без газа					
с газом					

2. Срок сдачи обучающимся законченной работы _____

3. Рекомендуемая литература:

Альтернативные энергоустановки автомобилей. Методические указания к выполнению расчетно-графической работы работ по дисциплине «Альтернативные энергоустановки автомобилей» / Разраб. А.Г. Остренко, С.В. Огрызков, Л.А. Кияшко, – Севастополь: Изд-во СевГУ, 2020. - 32 с.

Обучающийся _____
(фамилия, инициалы) (подпись)

Руководитель РГР _____
(фамилия, инициалы, должность) (подпись)

«_____» _____ 20 ____ г.

**АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ
ЭНЕРГОУСТАНОВКИ
АВТОМОБИЛЕЙ**

*Методические указания
к выполнению РГР*

Составители: **Остренко** Алексей Геннадьевич,
Огрызков Сергей Витальевич, **Кияшко** Лариса Александровна

В авторской редакции

Изд. № 219/2020. Объем 2 п.л.
РИИЦМ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»