

Общее устройство тягового подвижного состава и
его взаимодействие с инфраструктурой

Методические указания по выполнению
практических занятий

Работу студент должен выполнять, осмысленно применяя расчетные формулы и тщательно продумывая выводы и результаты. Совершенно недопустимо механическое применение формул. Подробные методические указания, которые приведены в данной работе, не избавляют студента от необходимости глубоко и внимательно разобраться в рассматриваемых вопросах. При несоблюдении этого студент не приобретет необходимых знаний и окажется не подготовленным к экзамену по дисциплине. Список использованной литературы приводится в конце работы.

ЗАДАНИЕ НА РАБОТУ

1. По параметрам, приведенным в табл. 1 определить род службы и серию тепловоза, параметры которого наиболее соответствуют заданным.
2. Описать конструкцию тепловоза и узел определенный индивидуальным заданием.
3. Составить компоновочную схему тепловоза, произвести расчет развески оборудования тепловоза.
4. Определить показатели работы дизеля при заданной мощности, определить число секций радиаторов охлаждающего устройства.
5. Определить параметры электрической передачи в длительном режиме. Привести схему подключения двигателей к генератору.
6. Рассчитать передаточное число тягового редуктора. Привести расчетную схему.
7. Определить касательную мощность тепловоза, построить тяговую характеристику тепловоза.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

Таблица 1

Параметры	Вариант (последняя цифра учебного шифра)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Мощность тепловоза P_e , кВт	1000	1500	3000	1000	4500	6000	4500	5000	3000	1100
Дизель (тактность)	4	4	2	4	2	4	4	4	4	4
Осевая формула	3_0-3_0	$2_0+2_0-2_0+2_0$	$2(3_0-3_0)$	3_0-3_0	$2(3_0-3_0)$	$2(3_0-3_0)$	$2(3_0-3_0)$	$2(3_0-3_0)$	3_0-3_0	2_0-2_0
Скорость продолжительного режима v_p , км/ч	10	12	20	11	25	25	24	25	48	9
Скорость конструкционная	100	100	100	100	100	110	100	120	160	100

Индивидуальное задание (выбирается по предпоследней цифре шифра)

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> 0. Тяговый электродвигатель. 1. Колесно-моторный блок. 2. Рессорное подвешивание тепловоза. 3. Колесная пара. 4. Система воздухообеспечения дизеля. | <ul style="list-style-type: none"> 5. Топливная система тепловоза. 6. Масляная система тепловоза. 7. Охлаждающие устройства дизеля. 8. Тяговый генератор. 9. Тележка тепловоза |
|---|---|

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

1. Выбор тепловоза–образца

Выбор тепловоза образца для проведения расчетов и описаний, предусмотренных в задании на работу, производится на основании заданных в таблице 1 (по последней цифре учебного шифра студента) параметров. Для этого используется табл. 2, в которой приведены технические характеристики основных серий тепловозов. При этом по расчетной скорости v_p (скорости продолжительного режима) можно определить род службы тепловоза.

Расчетную скорость $v_p = 10 - 12$ км/ч имеют маневровые тепловозы, $v_p = 20 - 25$ км/ч — грузовые, $v_p = 47 - 50$ км/ч — пассажирские.

По осевой формуле и мощности P_e определяется конкретно серия тепловоза, характеристики которого более других близки данным Вашего варианта.

Пример. Для варианта 7 по заданным параметрам: $P_e = 4500$ кВт (мощность дизеля 2250 кВт), осевая формула $2(3_0-3_0)$, дизель 4^x-тактный — нужно выбрать: тепловоз двухсекционный 2ТЭ116, мощность 4^x-тактного дизеля которого $P_{e\text{ ном}} = 2206$ кВт для одной секции (4412 кВт в 2-х секциях).

В описательной части следует привести основные технические данные тепловоза: тип дизеля, тип передачи, особенности охлаждающего устройства, характеристики вспомогательного оборудования, тип экипажной части и т. д. Необходимые сведения приведены в рекомендуемой литературе.

2. Составление компоновочной схемы расположения оборудования на тепловозе.

Подсчет весов и развеска оборудования тепловоза

При составлении схемы расположения оборудования студент должен руководствоваться технической литературой, рекомендованной в конце задания или другими доступными источниками. Для студентов, не имеющих возможности найти необходимую литературу, в конце приведены компоновочные схемы основных серий тепловозов.

Вычертив схему расположения оборудования заданного тепловоза, необходимо составить спецификацию основных агрегатов и систем. Дать краткую техническую характеристику, отражающую основные технико-экономические, тяговые и весогабаритные особенности тепловоза. Нужно также дать краткое пояснение работы отдельных узлов и агрегатов, подчеркивая их принципиальную особенность. Необходимо указать место расположения агрегатов: дизель-генераторной установки с оборудованием, компрессора, вентиляторов охлаждения электрических машин, охлаждающего устройства с приводом вентиляторов, вспомогательных электрических машин, аппаратной камеры, воздушных фильтров, аккумуляторных батарей и др.

Следует также указать особенности экипажной части тепловоза: тип тележек, рессорного подвешивания, опорно-возвращающих устройств, тягового привода

Подсчет весов и развеска оборудования тепловоза

Исходными данными для выполнения этого раздела являются веса узлов тепловоза и плечи моментов, показывающие расстояние от центра тяжести узла (агрегата, группы оборудования) до условной оси. Условную ось ($O-O$) принято проводить через центр одной из автосцепок. Рекомендуется проводить ее через переднюю автосцепку. Пример схемы развески показан на рис. 1. Веса групп оборудования для каждого тепловоза приведены в табл. 3.

Плечи моментов для каждой группы оборудования определяются студентом исходя из компоновочной схемы заданного тепловоза. При этом, ориентировочно, в зависимости от конкретной схемы, за центр тяжести можно принять: для систем дизеля (топливной, водяной, масляной) — переднюю стенку дизеля; для систем тепловоза (тормозной, песочной, автоматики) — середину тепловоза; для силовых установок (компрессора, вентиляторов электрических машин) — с небольшим смещением от середины тепловоза в сторону компрессора; для электрооборудования (аппаратная камера, выпрямительная установка, аккумуляторная батарея, электрокабели, электродинамический тормоз) — середину между аппаратной камерой и тяговым генератором; для рамы с кузовом — середину тепловоза; для вспомогательного оборудования (противопожарная установка, санузел и др.) — середину тепловоза. Для дизель-генераторной установки и охлаждающего устройства расстояния от центров тяжести до передней автосцепки указаны в таблице 4.

Таблица 2

Основные параметры	Дизели и серии тепловозов										
	10Д100	2А-5Д49	14Д40	1-5Д49	2-2Д49	2-5Д49	К6S310DR	ПД1	2-6Д49	12-2Д49	
Осевая формула	2ТЭ10М 3ТЭ10М	2ТЭ70	2М62	2ТЭ116	ТЭМ7	ТЭП70	ЧМЭЗ	ТЭМ2	ТЭМ21	ТЭ25К	
Осевая формула	2(3 ₀ -3 ₀) 3(3 ₀ -3 ₀)	2(3 ₀ -3 ₀)	2(3 ₀ -3 ₀)	2(3 ₀ -3 ₀)	2 ₀ +2 ₀ - 2 ₀ +2 ₀	3 ₀ -3 ₀	3 ₀ -3 ₀	3 ₀ -3 ₀	2 ₀ -2 ₀	2(3 ₀ -3 ₀)	
Мощность дизеля на номинальном режиме при стандартных атмосферных условиях* $P_{e\text{ ном}}$, кВт	2200	2*3000	1470	2200	1470	2940	993	880	1103	2500	
Частота вращения коленчатого вала, с ⁻¹ : на номинальном режиме минимально устойчивая на холостом ходу	14,16 6,66	16,66 5,83	12,5 6,66	16,66 5,83	16,6 5,83	16,66 5,83	12,5 5,83	12,5 5,0	16,66 5,83	16,66 5,83	16,66 5,83
Тактность	2	4	2	4	4	4	4	4	4	4	4
Число цилиндров	10	16	12	16	12	16	6	6	8	12	12
Диаметр цилиндра, м	0,207	0,26	0,23	0,26	0,26	0,26	0,31	0,318	0,26	0,26	0,26
Ход поршня, м	2×0,254	0,26	0,3/0,304**	0,26	0,26	0,26	0,36	0,33	0,26	0,26	0,26
Рабочий объем цилиндра, м ³	0,1707	0,221	0,1493	0,221	0,166	0,221	0,163	0,1572	0,11	0,166	0,166
Среднее эффективное давление, МПа	0,912	1,6	0,795	1,22	1,06	1,6	0,995	0,9	1,22	1,5	1,5
Средняя скорость поршня, м/с	7,2	8,66	7,5	8,66	8,67	8,66	9	8,25	8,67	8,67	8,67
Удельный расход топлива на номинальном режиме b_e , кг/(кВт·ч)	0,218	0,198	0,218	0,211	0,209	0,211	0,220	0,225	0,208	0,198	0,198
Расход топлива дизелем на холостом ходу, кг/ч	23	18,5	22,5	16,5	9	18	6,8	6,4	6,5	17	17
Давление наддува p_k , МПа	0,215	0,29	0,2	0,235	0,23	0,29	0,16	0,162	0,24		

* — температура 20 °С, атмосферное давление 760 мм рт. ст.

** — числитель — для поршня с главным шагуном, знаменатель — для поршня с прицепным шагуном.

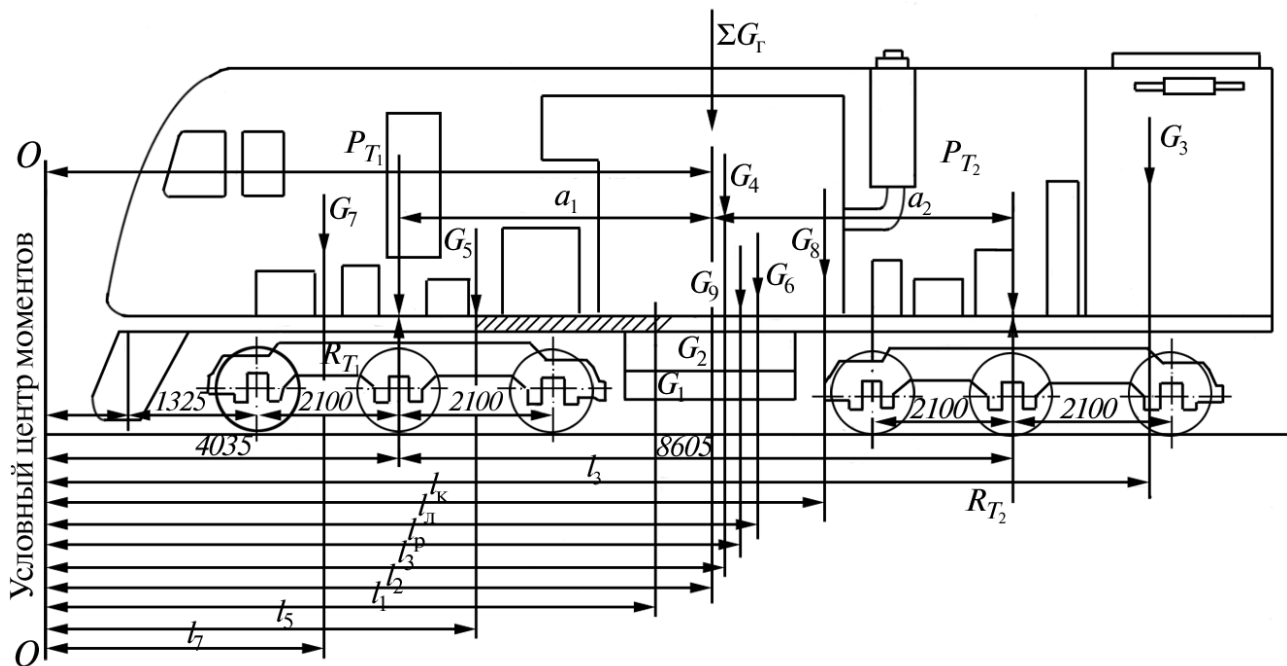


Рис.1. Расчетная схема развески оборудования тепловозов

Таблица 3

Весовые ведомости тепловозов

№ гр.	Группы оборудования и основные весовые части тепловоза	Тепловозы (вес групп, кН)									
		ТЭМ2	ТЭМ7	М62У	ТЭМ21	ЧМЭ3	2ТЭ10М	2ТЭ116	2ТЭ70	ТЭП70	2ТЭ25
1	Дизель-генераторная группа (дизель с навешанными агрегатами, тяговый генератор со вспомогательными электрическими машинами)	248	213	240	210	180	292	283	283	283	265
2	Охлаждающее устройство	54,8	39,7	46	40	50	46	56	40	40	60
3	Системы дизеля (водяная, масляная, топливная)	19,2	8,9	19	15	22	31	11	14	14	20
4	Системы тепловоза (тормозная, автоматики, песочная)	25	15,9	28	20	25	22	19	17	17	25
5	Вспомогательные механизмы (компрессоры и вентиляторы электрических машин)	15	38,2	20	15	15	36	28	20	20	30
6	Электрооборудование (аппаратная камера, аккумуляторная батарея, выпрямительная установка, электрические кабели и прочее)	38	94,2	43	30	38	50	108	100	95	108

7	Рама с кузовом и топливным баком, включая кабины машиниста, автосцепки, балласт	296,0	483,4	358	210	357	307	258	292	244	244
8	Вспомогательное оборудование (противопожарная система, сан. узел, инструменты, принадлежности и прочее)	8,7	15,2	14	10	10	17	12	16	16	40
9	Обслуживающий вес (топливо, вода, смазка)	55	71,2	52	50	81	77	93	80	77	80
10	Надтележечный вес	760	979,7	820	600	756	878	878	862	806	875
11	Вес тележек (двух)	464,0	786	474	300	444	474	475	520	520	478
12	Вес тепловоза	1224	1765	1294	900	1200	1353	1353	1382	1326	353

Таблица 4

Основные базовые размеры тепловозов

№ п/п	Размеры, мм	ТЭМ2	ТЭМ7	М62У	ЧМЭЗ	ТЭМ21	МТЭ10М	2ТЭ116	2ТЭ12	ТЭП70	ТЭП780
1	Длина тепловоза (между осями автосцепок одной секции)	16970	21500	17400	17220	16900	16969	18150	21700	21700	20000
2	База экипажа (между шкворнями)	8600	10900	8600	8660	10850	8600	9680	14000	14000	10200
3	База тележки (между осями крайних колесных пар)	4200	6300	4200	4000	2250	3700	3700	2400+2200	2300+2000	3700
4	Длина рамы тепловоза	15840	20500	15900	16000	15800	16000	17750	20500	20500	13406
5	Длина дизель-генератора	4530	4800	4740	5120	3500	6705	6188	6213	6213	5800
6	Длина холодильника	2200	2600	2600	2200	1800	3200	3300	4000	4000	3700
7	Расстояние центра масс дизель-генераторной установки, м	8,0	8,45	8,45	3,5	7,8	7,6	9,0	10,6	10,6	10
8	Расстояние центра масс охлаждающего устройства, м	2,6	2,8	12,8	3,5	2,0	12,4	16,0	6,7	16,7	16,5

После определения центров тяжести групп оборудования необходимо определить момент каждой группы относительно условной оси:

$$M_i = G_i \cdot l_i, \text{ кН} \cdot \text{м},$$

где G_i — вес группы оборудования, кН, $i = 1..9$;

l_i — плечо (расстояние от центра тяжести группы оборудования до условной оси, м, $i = 1..9$).

По результатам расчетов составляется таблица 5.

Таблица 5

Номер группы оборудования	Группы оборудования	Вес G_i , кН	Плечо l_i , м	Момент $G_i \cdot l_i$, кН·м
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
		Надтележечный вес ΣG_i	$X_{цтм}$	$\Sigma G_i \cdot l_i$

Расстояние центра тяжести тепловоза от условной оси моментов находится по формуле:

$$X_{цтм} = \frac{\sum G_i \cdot l_i}{\sum G_i}$$

Определив центр тяжести надтележечного строения, находим расстояние a_1 и a_2 до точек передачи нагрузки на тележки (или до осей шкворней).

Если расстояния a_1 и a_2 не равны между собой, то нагрузка на тележки определяется из выражений:

$$P_{T_2} = \frac{a_1 \cdot \sum G_i}{a_1 + a_2} \quad \text{и} \quad P_{T_1} = \sum G_i - P_{T_2}$$

Если разница в нагрузках не превышает допустимой (3 %), то можно считать, что надтележечное оборудование тепловоза размещено правильно. Если эта разница превышает 3 %, то следует достичь равномерного распределения нагрузки между тележками смещением в ту или другую сторону наиболее тяжелой дизель-генераторной группы.

Пример. Завершив ориентировочную компоновку основного оборудования на тепловозе, необходимо установить веса отдельных узлов, агрегатов и групп оборудования и расположение их центров масс.

Принимая, что оборудование в кузове тепловоза расположено симметрично относительно его продольной оси, рассматриваем плоскую схему с вертикальными силами G_i . Равнодействующая этих сил должна проходить через центр тяжести локомотива, который

(центр) должен лежать на геометрической вертикальной оси симметрии, то есть на одинаковом расстоянии от опорных точек тележек.

Схема размещения основных агрегатов и групп оборудования на тепловозе (ТЭМ7), расположение приложенных сил тяжести и их расстояния от условной оси моментов (плечи) представлены на рис. 2.

Расчеты выполняем, используя весовую ведомость. Сводная весовая ведомость проектного тепловоза по укрупненным узлам и группам оборудования приведена в таблице 6. В ней указаны веса групп оборудования, их условные обозначения, плечи и моменты сил тяжести.

Таблица 6

Сводная весовая ведомость расчета развески проектного тепловоза

№ п/п	Наименование узлов, групп оборудования и основных весовых частей	Условное обозначение	Вес, кН	Плечо, м	Момент, кН·м
1	Дизель-генераторная группа	$G_{дг}$	213	8,45	1799,85
2	Охлаждающее устройство	$G_{ох}$	39,7	2,8	111,16
3	Системы дизеля	$G_{сд}$	8,9	8,4	74,76
4	Системы тепловоза	$G_{ст}$	15,9	10,8	171,72
5	Силовые установки	$G_{су}$	38,2	12,0	458,3
6	Электрооборудование	$G_{эл}$	94,2	16,8	1582,56
7	Рама тепловоза с кузовом	$G_{рт}$	483,4	10,8	5220,72
8	Вспомогательное оборудование	$G_{всп}$	15,2	10,8	164,16
9	Обслуживающий вес	$G_{обс}$	71,2	10,8	768,96
10	Надтележечный вес	$G_{надт}$	979,7	10,56	10354
11	Тележки	$G_{тел} \cdot 2$	786	—	—
12	Суммарный вес тепловоза	G	1765,7	—	—

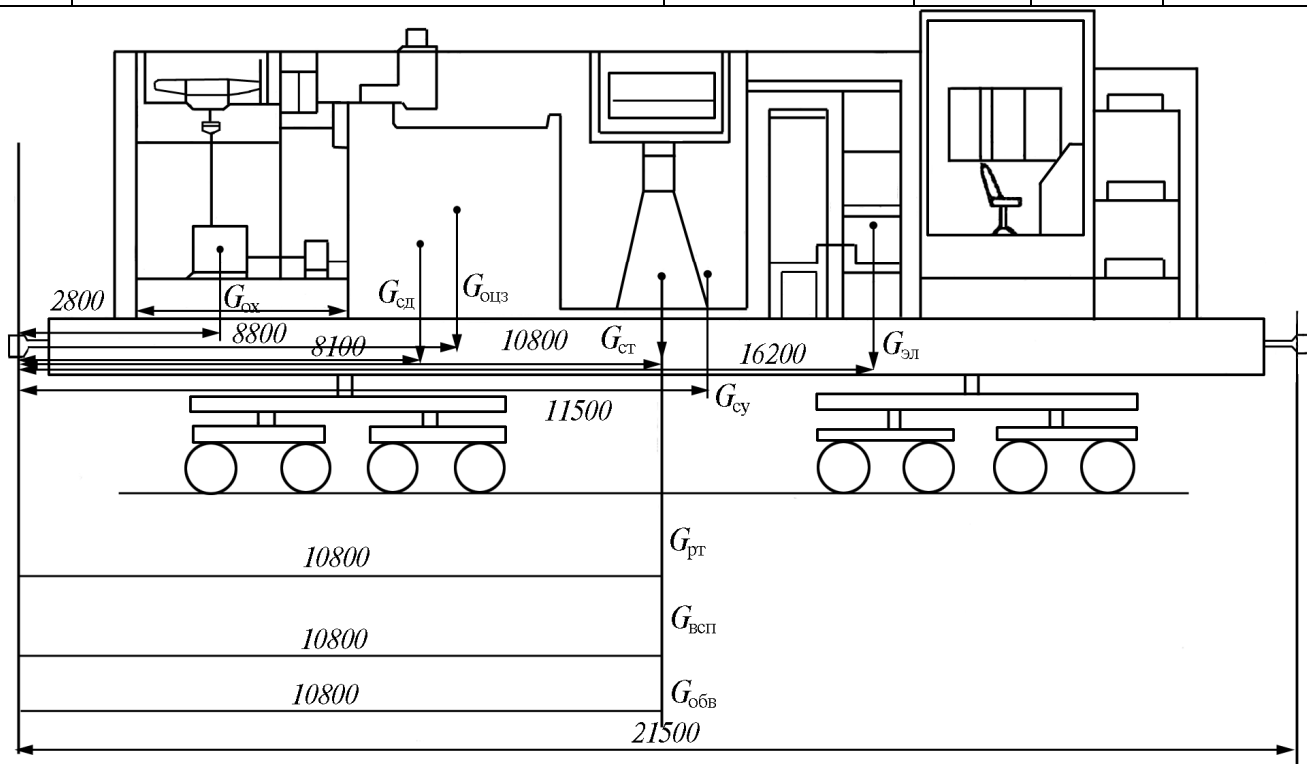


Рис. 2

Весы групп оборудования для других тепловозов берутся из таблицы 5, а плечи моментов для дизель-генераторной группы и охлаждающего устройства из таблицы 6. Остальные плечи моментов принимаем ориентировочно, согласно рекомендациям, приведенным в методических указаниях. При этом, назначив ориентировочно центры тяжести группы оборудования, измеряем их расстояния от условной оси момента миллиметровой линейкой и умножаем на масштаб.

Расстояние центра тяжести надтележечной части тепловоза от выбранной нами условной оси моментов находим по упомянутой формуле.

$$X_{цтм} = \frac{10330}{979,7} = 10,54 \text{ м.}$$

Таким образом, центр тяжести надтележечной части проектного тепловоза не совпал с его вертикальной осью симметрии ($l_{oc} = 10,75 \text{ м}$).

Чтобы совместить центр тяжести тепловоза с вертикальной осью симметрии, целесообразнее всего несколько сместить вперед (по схеме — вправо) наиболее тяжелый агрегат — дизель-генератор. Расстояние, на которое надо сдвинуть дизель-генератор, определим из уравнения:

$$\left(\sum G_i l_i \right) - G_{\partial z} l_{\partial z} + G_{\partial z} l'_{\partial z} = \left(\sum G_i l_{oc} \right)$$

Отсюда определяем расстояние, на которое надо сместить дизель-генератор тепловоза:

$$\Delta = (l'_{\partial z} - l_{\partial z}) = \frac{\left(\sum G_i \right) l_{oc} - \left(\sum G_i l_i \right)}{G_{\partial z}}$$

где $\sum G_i = 979,7 \text{ кН}$ — вес всей надтележечной массы (см. сводную весовую ведомость);

$l_{oc} = 10,75 \text{ м}$ — плечо надтележечной массы относительно условной оси

моментов;

$\left(\sum G_i l_i \right) = 10330 \text{ кН} \cdot \text{м}$ — суммарный момент надтележечной массы

относительно условной оси моментов (см. сводную весовую ведомость);

$G_{\partial z} = 213 \text{ кН}$ — вес дизель-генератора тепловоза;

$l_{\partial z} = 8,45 \text{ м}$ — плечо центра тяжести дизель-генератора, принятое при

первоначальном размещении основного оборудования на тепловозе;

l' — искомое плечо центра тяжести дизель-генератора относительно условной оси $O - O$, требуемое для выравнивания нагрузок по тележкам.

Подставляя в уравнение известные нам числовые значения, получаем

$$\Delta = \frac{979,7 \cdot 10,75 - 10330}{213} = 0,83 \text{ м}$$

Таким образом, для того, чтобы центр тяжести надтележечной части тепловоза совпал с его вертикальной осью симметрии необходимо переместить дизель-генератор вправо на $0,83 \text{ м}$ от первоначально выбранного положения.

Проверим выполненный расчет.

Новое плечо центра тяжести дизель-генератора:

$$l'_{\partial z} = l_{\partial z} + \Delta = 8,45 + 0,83 = 9,28 \text{ м}$$

Новый момент центра тяжести дизель-генератора:

$$G_{\text{дз}} \cdot l'_{\text{дз}} = 213 \cdot 9,28 = 1976 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Момент надтележечной части проектного тепловоза после корректировки расположения дизель-генератора на раме локомотива:

$$10354 - 1799,85 + 213 \cdot 9,28 = 10530 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Расстояние центра тяжести надтележечной части тепловоза от условной оси моментов $O-O$ при смещении дизель-генератора на $0,83 \text{ м}$:

$$X'_{\text{ЦГ}} = \frac{\sum G_i l_i}{\sum G_i} = \frac{10530}{979,7} = 10,75 \text{ м}$$

Полученный результат точно совпадает с положением вертикальной оси симметрии тепловоза относительно условной оси моментов $O-O$, и это обеспечивает равномерное распределение вертикальных нагрузок по тележкам и колесным парам локомотива.

Определим общий вес проектного тепловоза. Вес одной тележки составляет $P_{\text{тел.}} = 393 \text{ кН}$. Следовательно, вес тепловоза составляет

$$P_{\Sigma} = G_{\text{над}} + P_{\text{тел.}} \times 2 = 979,7 + 786 = 1765,7 \text{ кН}$$

где $G_{\text{над}} = 979,7 \text{ кН}$ — вес надтележечной части тепловоза (см. сводную ведомость расчета развески, табл. 6).

Статическая вертикальная нагрузка от каждой тележки на рельсовый путь:

$$\frac{1765,7}{2} = 882,85 \text{ кН}$$

Нагрузка от колесной пары на рельсы:

$$П = \frac{P_{\text{ц}}}{4+4} = \frac{1765,7}{8} = 220,7 \text{ кН}$$

Таким образом, выполненный нами расчет развески проектного тепловоза показал, что статические весовые нагрузки распределяются по тележкам и колесным парам равномерно.

3. Определение основных параметров работы дизеля и охлаждающего устройства

К основным параметрам работы дизеля относятся среднее индикаторное и среднее эффективное давления, средняя скорость поршня, индикаторный и эффективный КПД, удельный расход топлива.

Среднее эффективное давление p_e характеризует полезную мощность дизеля, отнесенную к коленчатому валу (фланцу отбора мощности), а *среднее индикаторное давление* p_i соответствует мощности, полученной непосредственно в цилиндре двигателя. Эту мощность называют индикаторной.

Эффективная $P_{e \text{ ном}}$ и индикаторная мощности связаны соотношением

$$P_{e \text{ ном}} = P_i \cdot \eta_m$$

откуда

$$P_i = \frac{P_{e \text{ ном}}}{\eta_m}$$

где $P_{e \text{ ном}}$ — номинальная эффективная мощность одного дизеля, получаемая делением заданной мощности P_e на число секций тепловоза;

η_m — механический КПД дизеля.

Механический КПД дизеля характеризует механические и гидравлические потери в трущихся частях двигателя, а так же расход части мощности на привод вспомогательных механизмов дизеля (топливных, масляных, водяных насосов, механизма газораспределения и др.) Его значение находится в пределах от 0,78 до 0,9.

Средняя скорость поршня C_m , м/с, характеризует конструкцию двигателя с точки зрения тепловой и динамической напряженности, а также интенсивности износа деталей. В современных тепловозных дизелях средняя скорость поршня 7 – 10 м/с (при больших значениях C_m резко возрастает интенсивность износа трущихся частей, что понижает надежность и срок службы дизеля).

$$C_m = 2S \cdot n$$

где S — ход поршня, м;

n — частота вращения коленчатого вала, 1/с.

Часовой расход топлива дизеля $B_{\text{ч}}$, кг/ч

$$B_{\text{ч}} = b_e \cdot P_{\text{еном}}$$

где b_e — удельный расход топлива, приходящийся на 1 кВт эффективной мощности, кг/(кВт · ч).

Удельный расход топлива характеризует степень совершенства преобразования химической энергии топлива в механическую в тепловом двигателе. Для современных дизелей он составляет:

для двухтактных — 0,218 – 0,231 кг/(кВт · ч)

для четырехтактных — 0,204 – 0,225 кг/(кВт · ч).

Эффективный КПД дизеля η_e есть отношение количества теплоты, эквивалентной эффективной мощности, к располагаемой теплоте, полученной от сгорания топлива в цилиндрах в течение часа,

$$\eta_e = \frac{3600 \cdot P_e}{H_u \cdot B_{\text{ч}}} \quad \text{или} \quad \eta_e = \frac{3600}{b_e \cdot H_u}$$

где $H_u = 42500$ кДж/кг — теплота сгорания дизельного топлива (количество теплоты, выделяемой при сгорании 1 кг топлива).

Индикаторный КПД дизеля η_i .

$$\eta_i = \frac{\eta_e}{\eta_m}$$

Значение η_m принять в пределах от 0,8 до 0,9.

Выписав из таблицы 3 основные технические параметры дизеля выбранного тепловозобразца, необходимо определить по заданной мощности (несколько отличающейся от мощности выбранного дизеля) новые параметры работы дизеля: среднее эффективное и индикаторное давления, эффективный и индикаторный КПД, а так же давление воздуха p_k перед впускными органами цилиндра (давление наддува).

Среднее эффективное давление в МПа

$$P_e = \frac{P_{e \text{ ном}} \cdot \tau}{2 \cdot 10^3 V_h \cdot i \cdot n},$$

где τ — тактность дизеля;

i — число цилиндров;

n — частота вращения коленчатого вала дизеля, c^{-1} ;

$$V_h = \frac{\pi d_u^2}{4} \cdot S \quad \text{— рабочий объем цилиндра, } m^3,$$

здесь d_u, S — диаметр цилиндра и ход поршня, m .

Среднее индикаторное давление, МПа

$$p_i = \frac{P_e}{\eta_m}.$$

Цикловая подача топлива в цилиндры дизеля q_u , $кг/цикл$

$$q_u = \frac{b_e \cdot P_{e \text{ ном}} \times \tau}{2 \cdot 3600 \cdot n \cdot i}.$$

Давление воздуха p_k перед впускными органами цилиндра дизеля (давление наддува) существенно влияет на мощность дизеля и определяется из выражения цикловой подачи топлива в цилиндры дизеля

$$q_u = \frac{\eta_v}{\alpha L_0} \cdot \frac{10^6 \cdot p_k \cdot V_h}{8314 T_k},$$

$$p_k = \frac{8314 \cdot T_k \alpha \cdot L_0 \cdot q_u}{10^6 \cdot \eta_v \cdot V_h}$$

где η_v — коэффициент наполнения. Принимается равным $0,85$ — для 4^x -тактных дизелей и $0,8$ — для 2^x -тактных;

α — коэффициент избытка воздуха. Принять $\alpha = 1,95$;

L_0 — теоретически необходимое количество воздуха для сгорания $1 кг$ топлива, $КМоль/кг$; принять $L_0 = 0,495 КМоль/кг$;

T_k — температура воздуха перед впускными клапанами, $К$; принять $T_k = 60 + 273 = 333 \text{ } ^\circ K$.

Пример. Для варианта 7 заданная мощность составляет $P_e = 4500 \text{ кВт}$, мощность дизеля тепловоза-образца 2206 кВт , заданная мощность одного дизеля

$$P_{e \text{ ном}} = \frac{P_e}{2} = 2250 \text{ кВт}.$$

Индикаторная мощность

$$P_i = \frac{P_{e \text{ ном}}}{\eta_m} = \frac{2250}{0,85} = 2647 \text{ кВт}.$$

Эффективный КПД дизеля

$$\eta_e = \frac{3600 \cdot P_{e \text{ ном}}}{H_u \cdot B_u} = \frac{3600 \cdot 2250}{42500 \cdot 0,211 \cdot 2250} = 0,4$$

Индикаторный КПД

$$\eta_i = \frac{\eta_e}{\eta_m} = \frac{0,4}{0,85} = 0,47$$

Объем цилиндра

$$V_h = \frac{\pi d_c^2}{4} \cdot S = \frac{\pi \cdot 0,26^2}{4} \cdot 0,26 = 0,013797 \text{ м}^3.$$

Среднее эффективное давление

при $P_{e \text{ ном}} = 2250 \text{ кВт}$

$$P_e = \frac{P_{e \text{ ном}} \cdot \tau}{2 \cdot 10^3 V_h \cdot i \cdot n} = \frac{2250 \cdot 4}{2 \cdot 10^3 \cdot \frac{\pi \cdot 0,26^2}{4} \cdot 0,26 \cdot 16 \cdot 16,66} = 1,223 \text{ МПа},$$

при $P_{e \text{ ном}} = 2206 \text{ кВт}$

$$P_e = \frac{2206 \cdot 4}{2 \cdot 10^3 \cdot \frac{\pi \cdot 0,26^2}{4} \cdot 0,26 \cdot 16 \cdot 16,66} = 1,2 \text{ МПа}.$$

Цикловая подача топлива

при $P_{e \text{ ном}} = 2250 \text{ кВт}$

$$q_{ци} = \frac{0,211 \cdot 2250 \cdot 4}{2 \cdot 3600 \cdot 16,66 \cdot 16} = 0,00099 \text{ кг/цикл},$$

при $P_{e \text{ ном}} = 2206 \text{ кВт}$

$$q_{ци} = \frac{0,211 \cdot 2206 \cdot 4}{2 \cdot 3600 \cdot 16,66 \cdot 16} = 0,00097 \text{ кг/цикл}.$$

Давление наддува

при $P_{e \text{ ном}} = 2206 \text{ кВт}$

$$P_k = \frac{8314 \cdot T_k \cdot \alpha \cdot L_0 \cdot q_{ци}}{10^6 \cdot \eta_V \cdot V_h} = \frac{8314 \cdot 333 \cdot 1,95 \cdot 0,495 \cdot 0,00097}{10^6 \cdot 0,85 \cdot 0,013797} = 0,2219 \text{ МПа},$$

при $P_{e \text{ ном}} = 2250 \text{ кВт}$

$$P_k = \frac{8314 \cdot 333 \cdot 1,95 \cdot 0,495 \cdot 0,00099}{10^6 \cdot 0,85 \cdot 0,013797} = 0,2256 \text{ МПа}.$$

$$\Delta P_k = 0,2256 - 0,221 = 0,0046 \text{ МПа}.$$

Таким образом, чтобы поднять мощность дизеля с $P_{e \text{ ном}} = 2206 \text{ кВт}$ до $P_{e \text{ ном}} = 2250 \text{ кВт}$ нужно повысить давление наддува на $0,0046 \text{ МПа}$ и увеличить цикловую подачу топлива на $0,00002 \text{ кг/цикл}$.

Расчет числа секций охлаждающего устройства

Для отвода тепла, выделенного в цилиндрах дизеля при сгорании топлива, применяют охлаждающие устройства. В качестве теплоносителей используют воду и масло. Вода охлаждает цилиндры дизеля, крышки цилиндров и остальной газораспределительный тракт. Масло охлаждает поршни и другие трущиеся детали. В современных дизелях кроме того охлаждают наддувочный воздух. Для охлаждения воды, циркулирующей между дизелем и охлаждающим устройством, применяют водовоздушные радиаторы, а для охлаждения масла и воздуха — водомасляные теплообменники и воздухоохладители. Вода, охлаждающая масло в

теплообменнике и воздух в воздухоохладителе, так же охлаждается в водовоздушных радиаторах. Система циркуляции воды, охлаждающей дизель, называется горячим контуром, а система циркуляции воды между теплообменными аппаратами для охлаждения масла и воздуха и водовоздушными радиаторами — холодным контуром.

Необходимые размеры и параметры охлаждающего устройства определяют из уравнений теплового баланса и уравнения теплопередачи.

$$Q = G_{жс} \cdot C_{жс} \cdot \Delta t ;$$

$$Q = G_{возд} \cdot C_p \cdot \Delta \tau ;$$

$$Q = Z \cdot F \cdot K \cdot \Delta t_{ср} ,$$

где Q — количество тепла, которое необходимо отвести охлаждающим устройством в единицу времени, $кДж$;

$G_{жс}$ — подача насоса (количество жидкости, перекачиваемой насосом в единицу времени), $м^3/ч$;

$G_{возд}$ — подача вентилятора (количество воздуха, проходящее через секции в единицу времени), $м^3/ч$;

$C_{жс}, C_p$ — удельные теплоемкости жидкости и воздуха, $кДж/кг \cdot K$;

K — коэффициент теплоотдачи, $кДж/м^2 \cdot ч \cdot K$;

Δt — разность между температурами жидкости до охлаждения и после охлаждения;

$\Delta \tau$ — разность между температурами воздуха до поступления в секции радиаторов и после выхода из них;

$\Delta t_{ср}$ — разность между средней температурой жидкости и средней температурой воздуха;

F — площадь охлаждающей поверхности одной секции радиаторов, $см^2$;

Z — число секций радиаторов.

Решение этих уравнений дает возможность определить число секций радиаторов, необходимых для отвода тепла с водой от дизеля $Q_в$, с маслом в водомасляном теплообменнике $Q_м$, с воздухом в водовоздушном охладителе $Q_{возд}$.

Приближенно необходимое число секций горячего и холодного контуров можно определить по графикам, предложенным проф. Хуторянским Н. М. (рис. 3).

При этом сначала нужно определить количество тепла, вводимого в дизель при сгорании топлива в течение 1 часа

$$Q_0 = b_e \cdot P_e \cdot H_u \quad кДж/ч.$$

Разделив полученное значение тепловой энергии на 3600 (число секунд в 1 часе), получим секундную мощность тепловой энергии дизеля

$$Q_0 = \frac{b_e \cdot P_e \cdot H_u}{3600} \quad кДж/с.$$

Количество тепла, отводимое с охлаждающей водой в секунду для горячего контура

$$Q_в = \frac{q_в}{100} \cdot Q_0 \quad кДж/с.$$

Количество тепла, отводимое в масло

$$Q_m = \frac{q_m}{100} \cdot Q_0 \quad \text{кДж/с.}$$

Количество тепла, отводимое от дизеля с водой, охлаждающей наддувочный воздух

$$Q_{ев} = \frac{q_{ев}}{100} \cdot Q_0 \quad \text{кДж/с.}$$

Здесь q_e , q_m , $q_{ев}$ — доли тепла в процентах, отводимые с водой, маслом и воздухом. Их значения приведены в таблице 7.

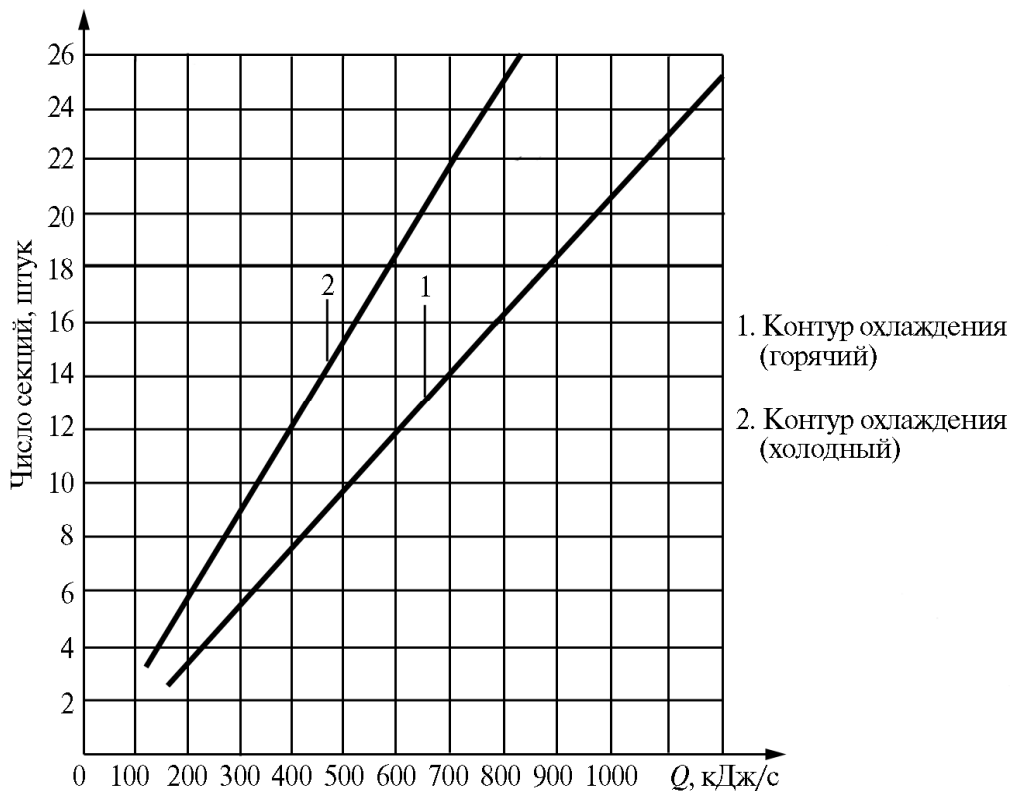


Рис. 3

Таблица 7

Теплоотвод, %	Дизели							
	ПД1М	2-6Д49	2-2Д49	10Д100	14Д40	1А-5Д49	2А5Д49	К6S310DR
q_b	22,5	16	15,5	11,5	18,2	14,0	13	22,5
q_m	3,5	8	8,2	10,0	9,7	7,8	6,5	3,5
$q_{ев}$	2,5	8	8,7	8,0		6,3	7,5	2,5

Примерная схема двухконтурного охлаждающего устройства приведена на рис. 4. Студент вычерчивает в курсовом проекте схему охлаждающего устройства своего тепловоза.

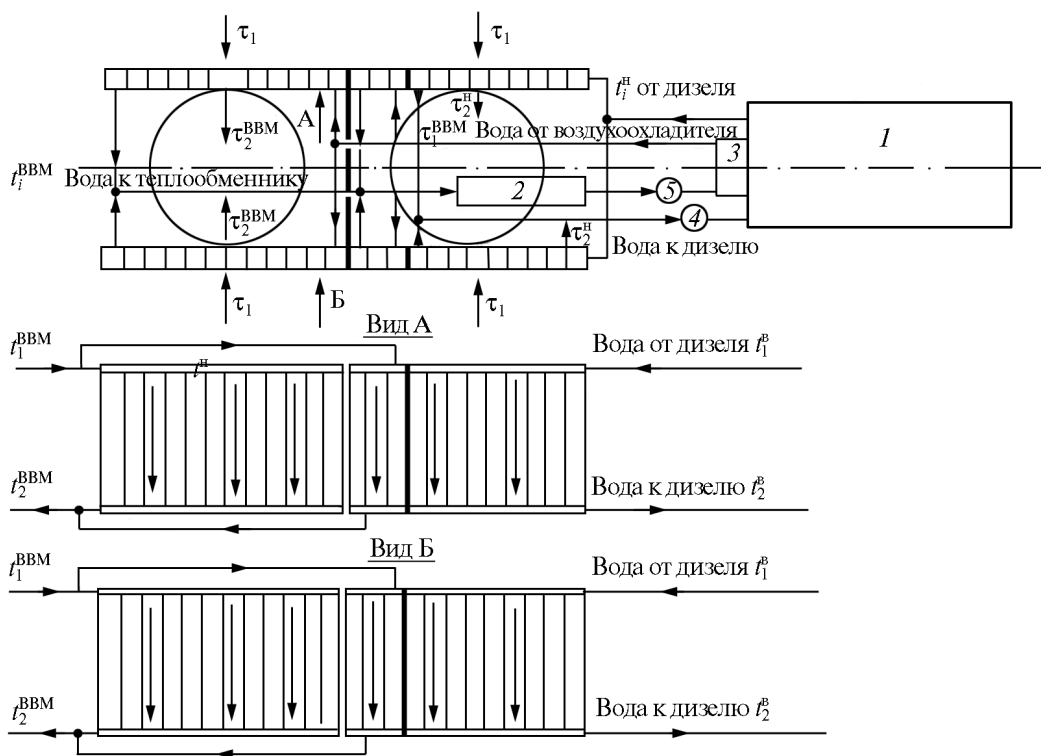


Рис. 4. Схема системы охлаждения тепловоза с однорядным расположением водяных секций, с применением водомасляного теплообменника, двух вентиляторов и разделенных отсеков холодильной камеры: 1- дизель; 2 – водомасляный теплообменник; 3- воздухоохладитель; 4,5 –насосы.

4. Выбор типа электрической передачи, определение параметров генератора и тяговых электродвигателей

На современных тепловозах, эксплуатирующихся на железных дорогах России, применяются электрические передачи постоянного или переменного тока. В электрическую цепь постоянного тока входят генератор постоянного тока с независимым возбуждением и тяговые электродвигатели постоянного тока с последовательным возбуждением. В передаче переменного тока в тяговые электродвигатели постоянного тока с последовательным возбуждением. В передаче переменного тока в электрическую цепь входят синхронный генератор трехфазного переменного тока, выпрямительная установка и двигатели постоянного тока.

Ознакомившись с устройством и принципом действия электрических машин, студент вычерчивает силовую электрическую схему тепловоза своей серии (упрощенную) с показом способа подсоединения двигателей к генератору, их реверсирования и шунтирования обмоток возбуждения.

После этого необходимо рассчитать параметры генератора и двигателей в длительном режиме: мощность, напряжение, силу тока, угловую скорость, вращающий момент.

Порядок расчета

Свободная мощность дизеля, передаваемая дизелем генератору, кВт:

$$P_{e\text{св}} = P_e \cdot \eta_{всн}$$

где $\eta_{всп}$ — коэффициент, учитывающий затраты мощности дизеля на вспомогательные нужды. Можно принять $\eta_{всп} = 0,88 - 0,93$;

$P_{е ном}$ — эффективная мощность дизеля, кВт.

Номинальная мощность на зажимах генератора (на выходе) постоянного тока в длительном режиме:

$$P_{г \infty} = P_{е св} \cdot \eta_{г \infty} ,$$

при наличии выпрямительной установки

$$P_{г \infty} = P_{е св} \cdot \eta_{г \infty} \cdot \eta_{вы} .$$

При расчетах принять КПД генератора и выпрямительной установки равными: $\eta_{г \infty} = 0,93 - 0,95$; $\eta_{вы} = 0,99$.

У большинства тяговых генераторов отношение максимального напряжения $U_{г max}$ к напряжению длительного режима $U_{г \infty}$ равно $1,4 - 1,5$, тогда:

$$U_{г \infty} = \frac{U_{г max}}{1,45} .$$

Максимальное напряжение генераторов:

ГП300БУ (ТЭМ2) — 870 В, ГП311ВУ (ТЭП60) — 635 В, ГП311БУ2 (2ТЭ10М) — 700 В, ГП312У2 (М62) — 570 В, ГС501АУ2 (2ТЭ116) — 580 В, ГС515У2 (ТЭМ7) — 360 В (после выпрямительной установки), А713У2 (ТЭП80) — 770 В, ГС504А (ТЭП70) — 750 В, TD 802(ЧМЭ3)-565, ГСТ 1050-1000 УХЛ2(ТЭМ21)-1000В

Для генераторов тепловозов принять:

2 ТЭ25-580В; 2ТЭ70-600В

Длительная сила тока генератора, А

$$I_{г \infty} = \frac{10^3 \cdot P_{г \infty}}{U_{г \infty}} .$$

Длительная мощность тягового электродвигателя, кВт:

$$P_{д \infty} = \frac{P_{г \infty}}{m} ,$$

где m - число тяговых электродвигателей, подключенных к генератору.

Угловая скорость ω_{∞} вала электродвигателя в рад/с в длительном режиме находится из соотношения:

$$\frac{\omega_{max}}{\omega_{\infty}} = \frac{v_{max}}{v_{\infty}} ; \quad \omega_{\infty} = \frac{\omega_{max} \cdot v_{\infty}}{v_k} ,$$

где $v_{max} = v_k$ — конструкционная скорость, км/ч;

$v_{\infty} = v_p$ — расчетная скорость в длительном режиме;

ω_{max} — максимальная угловая скорость вала якоря двигателя, обусловленная прочностью крепления обмоток в пазах якоря.

Угловая скорость ω , рад/с, связана с частотой вращения n , 1/с, соотношением:

$$\omega_{max} = 2\pi n .$$

При максимально допустимых частотах вращения якорей двигателей

$$n_{max} = 37 - 38 \text{ 1/с}$$

$$\omega_{max} = 2 \cdot \pi \cdot n_{max} = 232 - 238 \text{ рад/с.}$$

Вращающий момент электродвигателя в длительном режиме, $\kappa\text{Н}\cdot\text{м}$:

$$M_{\partial\infty} = \frac{P_{\partial\infty} \cdot \eta_{\partial\infty}}{\omega_{\partial\infty}},$$

$$\eta_{\partial\infty} = 0,85 - 0,87$$

сила тока в длительном режиме, A ,

$$I_{\partial\infty} = \frac{I_{z\infty}}{m'}$$

где m' — число параллельных ветвей силовой цепи. Для тепловозов ТЭМ2, ТЭМ21 и ТЭМ8 $m' = 2$, для остальных $m' = 6$ или $m' = 8$ в зависимости от числа колесных пар.

Напряжение на зажимах двигателя

$$U_{\partial\infty} = \frac{U_{z\infty}}{m''}$$

где m'' — число двигателей в параллельной цепи.

Если все m двигателей подключены к генератору параллельно, то $m'' = 1$, т. е. $U_{\partial\infty} = U_{z\infty}$. Для тепловозов ТЭМ2, ТЭМ21-2 и ТЭМ8 $m'' = 3$.

5. Расчет передаточного числа тягового редуктора

Вращающий момент от двигателя к колесной паре у грузовых и маневровых тепловозов передается тяговым редуктором, состоящим из шестерни, насаженной на вал электродвигателя, и зубчатого колеса, напрессованного на ось колесной пары. У пассажирских тепловозов с опорно-рамным подвешиванием электродвигателей схема передачи момента несколько отличается. Здесь между зубчатым колесом и колесной парой имеется передаточный механизм с упругими муфтами.

Студенту следует привести схему передачи вращающего момента от двигателя к колесной паре, обозначив силы и моменты, как показано на рис. 5.

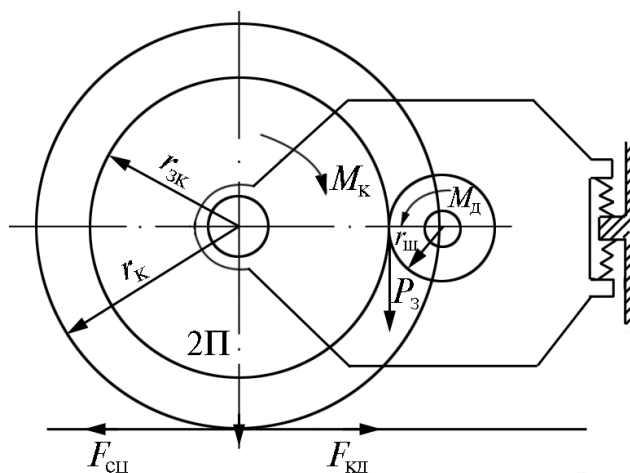


Рис.5 Схема образования силы тяги

При вращении вала двигателя, зубья шестерни будут действовать на зубья зубчатого колеса с силой P_3 , равной моменту двигателя, деленного на радиус шестерни $r_{ш}$, т. е.

$$P_3 = \frac{M_d}{r_{ш}}$$

В свою очередь момент, передаваемый колесной паре, M_k будет равен произведению силы P_3 на радиус зубчатого колеса (плечо силы P_3)

$$M_k = P_3 \cdot r_{зк}$$

Выражая P_3 через M_d и с учетом КПД зубчатой передачи, получим:

$$M_k = M_d \cdot \frac{r_{зк}}{r_{ш}} \cdot \eta_{зн}$$

Отношение $r_{зк}/r_{ш}$ называют передаточным числом редуктора $i_{ред}$.

$$i_{ред} = \frac{r_{зк}}{r_{ш}} = \frac{z_{зк}}{z_{ш}} = \frac{\omega_d}{\omega_k},$$

где $z_{зк}$, $z_{ш}$ — число зубьев соответственно зубчатого колеса и шестерни;

ω_d , ω_k — угловая скорость соответственно вала двигателя и колесной пары, $рад/с$;

$\eta_{зн} = 0,99$ — КПД зубчатой передачи.

Передаточное число редуктора можно рассчитать как отношение максимально допустимой угловой скорости вала двигателя к угловой скорости колесной пары при конструкционной скорости тепловоза

$$i_{ред} = \frac{\omega_{d\ max}}{\omega_{k\ max}},$$

где $\omega_{k\ max}$ — угловая скорость колесной пары при конструкционной скорости тепловоза.

$$\omega_{k\ max} = 2\pi n_{k\ max}$$

Скорость тепловоза v в $км/ч$ связана с частотой вращения колесных пар n_k соотношением:

$$v = \frac{3600 \cdot \pi \cdot D_k \cdot n_k}{1000} = 3,6 \cdot \pi \cdot D_k \cdot n_k,$$

где D_k — диаметр колеса. Для тепловозов ТЭП70 и ТЭП80 $D_k = 1,22$ м, для остальных $D_k = 1,05$ м.

n_k — частота вращения колесной пары, $с^{-1}$.

Откуда частота вращения колесных пар при конструкционной скорости

$$n_{k\ max} = \frac{v_{констр}}{3,6 \cdot \pi \cdot D_k}$$

$$\omega_{k\ max} = \frac{2 \cdot \pi \cdot v_{констр}}{3,6 \cdot \pi \cdot D_k} = \frac{v_{констр}}{1,8 \cdot D_k}$$

Тогда

Передаточное число $i_{ред}$ (если принять $\omega_{d\ max} = 233$ $рад/с$, $v_{констр} = 100$ $км/ч$, $D_k = 1,05$ м)

равно

$$i_{ред} = \frac{\omega_{д max}}{\omega_{к max}} = \frac{235 \cdot 1,8 \cdot 1,05}{100} = 4,4$$

6. Определение касательной мощности тепловоза. Построение тяговой характеристики

По найденному значению передаточного числа редуктора следует найти величину расчетной силы тяги тепловоза при длительном режиме работы электродвигателей.

Момент, развиваемый колесной парой при длительном режиме работы двигателей,

$$M_{к \infty} = M_{д \infty} \cdot i_{ред} \cdot \eta_{зн}$$

Из схемы (рис. 5) вращающий момент колесной пары определяют по формуле

$$M_{к \infty} = F_{кд} \cdot r_k$$

$$F_{кд} = \frac{M_{к \infty}}{r_k}$$

Откуда

Расчетная сила тяги тепловоза при длительном режиме работы двигателей

$$F_{кр} = F_{кд} \cdot m$$

где m — число двигателей на тепловозе.

Касательная мощность P_k есть мощность, развиваемая тяговыми электродвигателями на ободе колесных пар. Колесно-моторный блок тепловоза является завершающим звеном энергетической цепи от источника энергии (теплота сгоревшего топлива в цилиндрах дизеля) до полезной ее реализации. Поэтому мощность, снимаемая с обода колесных пар, есть полезная или выходная мощность тепловоза.

Касательная мощность, реализуемая на тягу, есть произведение силы тяги тепловоза на скорость движения.

Если сила выражена в Ньютонах, а скорость — в $м/с$, то

$$F_k \cdot v = P, Вт.$$

На практике принято силу тяги выражать в $кН$, скорость — в $км/ч$. Тогда

$$P_k = \frac{F_k \cdot v}{3,6}, кВт.$$

Так как у тепловоза мощность силовой установки при определенной позиции контроллера постоянна, то постоянной будет и мощность тяговых электродвигателей, т. е. в номинальном режиме (последняя позиция контроллера машиниста) касательная мощность тепловоза будет постоянной. Отсюда, произведение силы тяги на скорость так же будет постоянным. Иначе говоря, зависимость силы тяги от скорости будет подчиняться гиперболическому закону. Эту зависимость называют тяговой характеристикой локомотива.

Для упрощенного построения тяговой характеристики тепловоза достаточно задаться значением скоростей (от $10 км/ч$ до конструкционной скорости с интервалом в $10 - 20 км/ч$) и подставить в формулу:

$$F_k = \frac{3,6 \cdot P_k}{v}, кН.$$

Результаты расчетов свести в таблицу, по полученным значениям F_k и v построить зависимость $F_k(v)$ на планшете из миллиметровой бумаги (рис. 6).

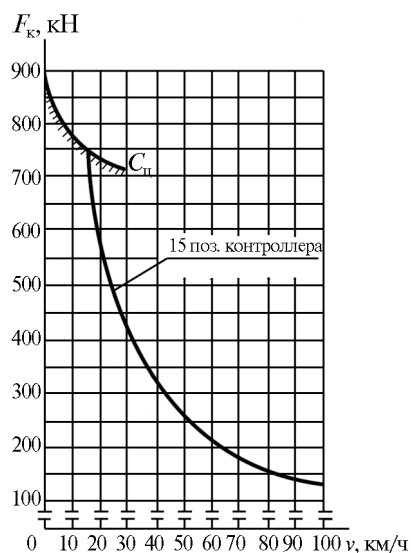


Рис.6 -Тяговая характеристика тепловоза 2ТЭ10М.

Максимальное значение силы тяги F_k ограничивается силой сцепления колес с рельсами $F_{сц}$.

$$F_{сц} = \psi_k \cdot P_{сц} ,$$

где $P_{сц}$ — сцепной вес тепловоза (вес, передаваемый от движущихся колес на рельсы), $кН$;

$$P_{сц} = 2П \cdot g \cdot m ,$$

$2П$ — масса локомотива, приходящаяся на одну движущуюся ось, $т$; принять такой же , как у тепловоза прототипа ;

m — число движущихся осей;

ψ_k — расчетный коэффициент сцепления.

Правилами тяговых расчетов для поездной работы установлена следующая эмпирическая формула для определения ψ_k :

$$\psi_k = 0,118 + \frac{5}{27,5 + v} ,$$

где v — скорость движения, $км/ч$.

Величину $F_{сц}$ вычисляют для нескольких значений скорости (0, 10, 20, 30, 40 $км/ч$).

Результаты расчетов свести в таблицу 8.

Таблица 8

Скорость v , $км/ч$	Коэффициент сцепления ψ_k	Сила тяги по сцеплению $F_{сц}$, $кН$
0
10
20
30
40

По точкам $F_{сц}$, ν нанести на тяговую характеристику (см. рис. 6) кривую ограничения силы тяги по сцеплению.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузьмич В.Д. и др. Локомотивы. Общий курс: учебник.- М.: ФГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2011.-582с.
2. Кононов В.Е., Скалин А.В., Ибрагимов М.А. Локомотивы (общий курс). Учебное пособие. - М.: РГОТУПС, 2008.-187 с.
3. А.В. Скалин, В.Е. Кононов, В.Ф. Бухтеев, М.А. Ибрагимов. Экипажная часть тепловозов. Конструкция, долговечность, ремонт. – М.: ООО «Желдориздат», 2008 – 304 с.
4. Тепловозы. Назначение и устройство. Учебник для образовательных учреждений ж.д. транспорта осуществляющих профессиональную подготовку / О.Г. Куприенко и др. – М.: Маршрут, 2006.-280 с.
5. Кононов В.Е., Хуторянский Н.М., А.В. Скалин. Тепловозы. Механическое оборудование, устройство и ремонт. М.: Транспорт, 2005.- 320 с
6. Тепловоз М62. М.: Транспорт, 1989. 267 с.
7. Кононов В. Е., Скалин А. В. Шаров В.Д. Справочник машиниста тепловоза. - М.: Транспорт, 2006.- 256 с.
8. Тепловозы 2ТЭ10М и 3ТЭ10М. М.: Транспорт, 1986. - 287 с.
9. Тепловоз 2ТЭ116. М.: Транспорт, 1985. - 328 с.
10. Нотик З. Х. Тепловозы ЧМЭ3, ЧМЭ3Т. М.: Транспорт, 1990, - 381 с.
11. Тепловоз ТЭМ2У. Руководство по эксплуатации и обслуживанию.- М.: Транспорт, 1988. - 253 с.
12. Тепловоз ТЭМ7. М.: Транспорт, 1989. - 293 с.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем заключаются принципиальные отличия локомотивов: паровозов, тепловозов, газотурбовозов, электровозов?
2. Как определяется КПД локомотива?
3. Что подразумевается под КПД электрической тяги? Как он определяется? В чем преимущество электрификации на переменном токе?
4. Как связаны между собой основные параметры: мощность, сила тяги, скорость?
5. Что называется тяговой характеристикой локомотива? Принципиальные отличия тяговой характеристики тепловоза от тяговой характеристики электровоза? Какие ограничения накладываются на тяговую характеристику?
6. Какие двигатели внутреннего сгорания называют дизелем?
7. Чем отличается рабочий процесс 4-тактного дизеля от 2-тактного?
8. Как снимается индикаторная диаграмма дизеля?
9. Что называют эффективным КПД? Индикаторным КПД дизеля?
10. Как определяется затраченная мощность — мощность тепловой энергии, полученной при сгорании топлива в цилиндрах дизеля?
11. Что называют коэффициентом избытка воздуха?
12. Для чего необходим наддув дизеля? Какие применяются нагнетатели воздуха на тепловозных дизелях?
13. Какие существуют способы передачи энергии от вала дизеля колесным парам? В чем выражается преимущество электрической передачи перед гидравлической?
14. Почему на локомотивах преимущественно применяют тяговые электродвигатели с последовательным возбуждением?
15. Какие способы регулирования двигателей применяют на локомотивах? В чем их сущность?
16. Через какие величины выражается вращающий момент на валу двигателя? Чему он пропорционален?
17. Чему пропорционально напряжение на зажимах двигателя?
под продолжительным режимом? Что называется расчетной силой тяги?
20. В чем преимущество опорно-рамного подвешивания тягового электродвигателя?
21. Мотивы применения упругой связи зубчатого венца со ступицей (упругого самоустанавливающегося зубчатого колеса) при опорно-осевом подвешивании двигателя?
22. Почему на современных локомотивах не применяют экипажную часть с жесткой рамой, а применяют тележечную экипажную часть?
23. Какие типы тележек применяются на тепловозах и электровозах?
24. Какие типы опорно-возвращающих устройств и шкворневых узлов применяют на локомотивах?
25. Какими основными параметрами характеризуется рессорное подвешивание? Типы упругих элементов?
26. Какие типы букс применяются на локомотивах? Как связаны они с рамой тележки?
27. Какие требования предъявляют к колесным парам? Как согласуются размеры колесной пары с размерами рельсовой колеи в прямых и кривых участках пути?
28. Какие существуют критерии безопасности движения подвижного состава?
29. Что называется габаритом подвижного состава и приближения строений?