

**13/7/10**

Одобрено кафедрой  
«Локомотивы  
и локомотивное хозяйство»

# **ТЕОРИЯ И КОНСТРУКЦИЯ ЛОКОМОТИВОВ**

Руководство по выполнению лабораторных работ  
для студентов V курса

специальности

**190301 ЛОКОМОТИВЫ (Т)**

специализации

**УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИЕЙ  
ЛОКОМОТИВОВ**



Москва – 2006

### Геометрическое вписывание тепловозов в кривые

*1. Цель работы.* Изучение и освоение методики геометрического вписывания различных серий тепловозов в кривых участках пути заданного радиуса эллиптическим (параболическим) или круговым способом.

В данной лабораторной работе студенту рекомендуется использовать круговой способ, менее точный, но простой и более наглядный.

В результате геометрического вписывания студент получает углы поворота тележки при прохождении тепловозом кривых участков пути минимально допустимого радиуса. Для производства геометрического вписывания используется графический способ, результаты которого сравниваются с данными аналитического расчета.

*2. Общие положения.* Геометрическое вписывание локомотива в кривые производится круговым способом. При этом способе рельсовый путь в кривой изображается в виде двух дуг, вычерченных радиусами из одного центра. Радиус внешней дуги соответствует заданному радиусу кривой, а радиус внутренней дуги меньше на величину суммарного зазора между внутренними гранями головок рельсов и гребнями бандажей (рис.1). Изображение на чертеже колеи зазоров вместо рельсовой колеи обусловлено тем, что кузов и тележки экипажа показываются линиями, а колесные пары – точками, т.е. условно внутренний рельс оказывается приближенным к наружному на величину расстояния между гребнями бандажей. Изображение экипажа в виде линий позволяет легко определить в натуральную величину перемещения различных точек экипажа относительно рельсов и проверить геометрическую проходимость экипажа с базой  $L$  в кривой заданного радиуса.

Составитель – канд. техн. наук, доц. А.В. Скалин

Рецензент – канд. техн. наук, доц. М.А. Ибрагимов

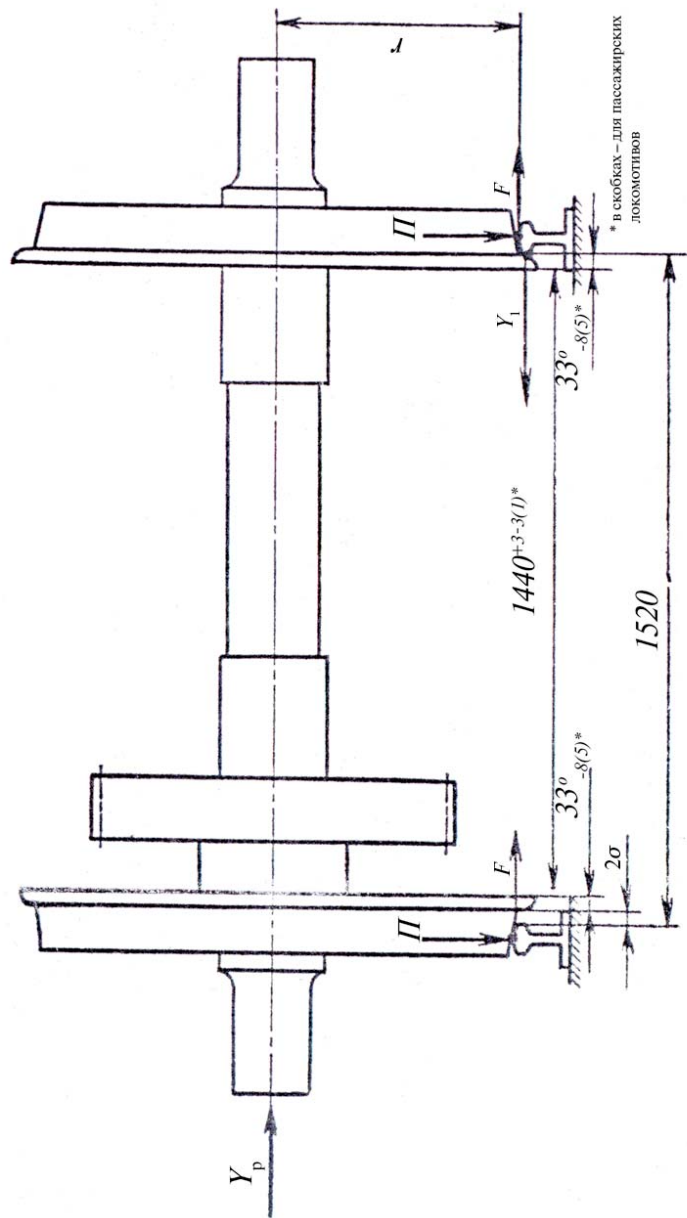


Рис. 1

Ширина колеи зазоров измеряется в миллиметрах, длина экипажа — в десятках метров, а радиус кривой — в сотнях метров. Все эти размеры невозможно изобразить на чертеже в одном масштабе. Поэтому для их изображения используются разные, связанные между собой масштабы. Для этого выбирается коэффициент искажения  $n = 8 \dots 10$  и определяются для чертежа радиус внешней дуги  $R_1 = \frac{R_r}{n^2}$ , величины базы экипажа

$L$  и базы тележек  $b$  делением действительных размеров, м, на коэффициент искажения  $n$ . Ширина колеи зазоров  $2\sigma + \Delta$  (где  $2\sigma$  — суммарный зазор между внутренними гранями головок рельсов и гребнями бандажей в прямом участке пути, а  $\Delta$  — уширение колеи в кривой) берется в натуральную величину. Для изображения полученных величин на бумаге небольшого формата все размеры (радиус  $R_1$  базы  $L$  и  $b$ , зазор  $2\sigma + \Delta$ ) необходимо уменьшить в  $m = 4 \pm 5$  раз.

Ширину колеи зазоров  $2\sigma + \Delta$  при геометрическом вписывании следует принять минимальную с учетом допускаемых отклонений от номинальных размеров.

Согласно ПТЭ (пп.3.9 и 10.2) на прямых участках пути и на кривых радиусом 350 и более

$$2\sigma = 1520_{-4}^{+6} - (1440_{-3}^{+3} + 2 \cdot 33_{-8}^0) \text{ мм} \quad \text{— при скорости до 120 км/ч;}$$

$$2\sigma = 1520_{-4}^{+6} + (1440_{-1}^{+3} + 2 \cdot 33_{-5}^0) \text{ мм} \quad \text{— при скорости от 121 до 140 км/ч.}$$

Согласно ПТЭ (п.3.9)

$$\Delta = 10 \text{ мм} \quad \text{— при радиусе кривой от 349 до 300 м;}$$

$$\Delta = 15 \text{ мм} \quad \text{— при радиусе кривой 299 м и менее.}$$

3. *Последовательность выполнения работы.* Для тепловозов с симметричным расположением шкворня тележек порядок построения следующий.

Проведя дуги радиусом  $R_1 = \frac{R_r}{mn^2}$  и  $R_2 = R_1 - \frac{2\sigma + \Delta}{m}$ , отмечаем на

них базу передней тележки в положении наибольшего перекоса, при котором первая колесная пара I прижата гребнем к наружному, а задняя III — к внутреннему рельсам (рис.2). Отметив на линии базы этой тележки точку II, соответствующую шкворню, проводим через эту точку дугу радиусом  $R_3$ . Делая на дуге  $R_3$  засечку из точки II радиусом, равным расстоянию

между шкворнями  $L$ . Получим точку расположения средней оси задней тележки  $V$ . Из этой точки раствором циркуля  $\frac{b}{2}$  делаем засечки на дугах, условно изображающих наружный и внутренний рельсы. Получим точки расположения соответствующих осей задней тележки в положении наибольшего перекоса  $IV$  и  $VI$ . Опустив из центра кривой  $O_1$  перпендикуляры на линию баз тележек, получим центры их поворота  $\Omega_1$  и  $\Omega_2$ . Опустив перпендикуляр из точки  $O_1$  на прямую  $II-V$ , получим углы  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$ . Измерив их и разделив на  $n$ , получим истинные значения углов поворота тележек. Базы тепловоза  $L$  и его тележек  $b$  принять по чертежу заданного тепловоза, приведенного в задании на курсовой проект.

Углы  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  в радианах можно определить также из выражений:

$$\left. \begin{aligned} \operatorname{tg} \alpha_1 &= \frac{\frac{L}{2} - x_2}{R} \\ \operatorname{tg} \alpha_2 &= \frac{\frac{L}{2} + x_2}{R} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где  $R$  – радиус кривой, при котором определяются углы поворота тележек (при геометрическом вписывании  $R_g$ , при динамическом –  $R_d$ ).

Для тепловозов, не имеющих шкворней (ТЭП60, а также ТЭП70 до восьмого номера), за точку соединения кузова с тележками принять середину расстояния между опорами, тогда вписывание производится точно так же, как для тепловозов с шкворневыми тележками.

Следует учесть, что у тепловозов 2ТЭ10В, 2ТЭ116, ТЭМ6, ТЭП70 (начиная с восьмого номера) центр шкворня несколько сдвинут от середины тележки (средней колесной пары) к центру тепловоза. Поэтому, построив базу передней тележки в колесе зазоров, нужно нанести на ней точки, соответствующие расположениям средней оси и шкворня, а затем, проведя через центр шкворня дугу радиусом  $R_3$  и отметив на ней положение шкворня задней тележки, определить положение передней и

задней колесных пар на внешней и внутренней дугах (растворами циркуля, соответствующими расстояниям центра шкворня до первой и задней осей тележки).

Необходимые размеры тележек приведены в рекомендуемой литературе.

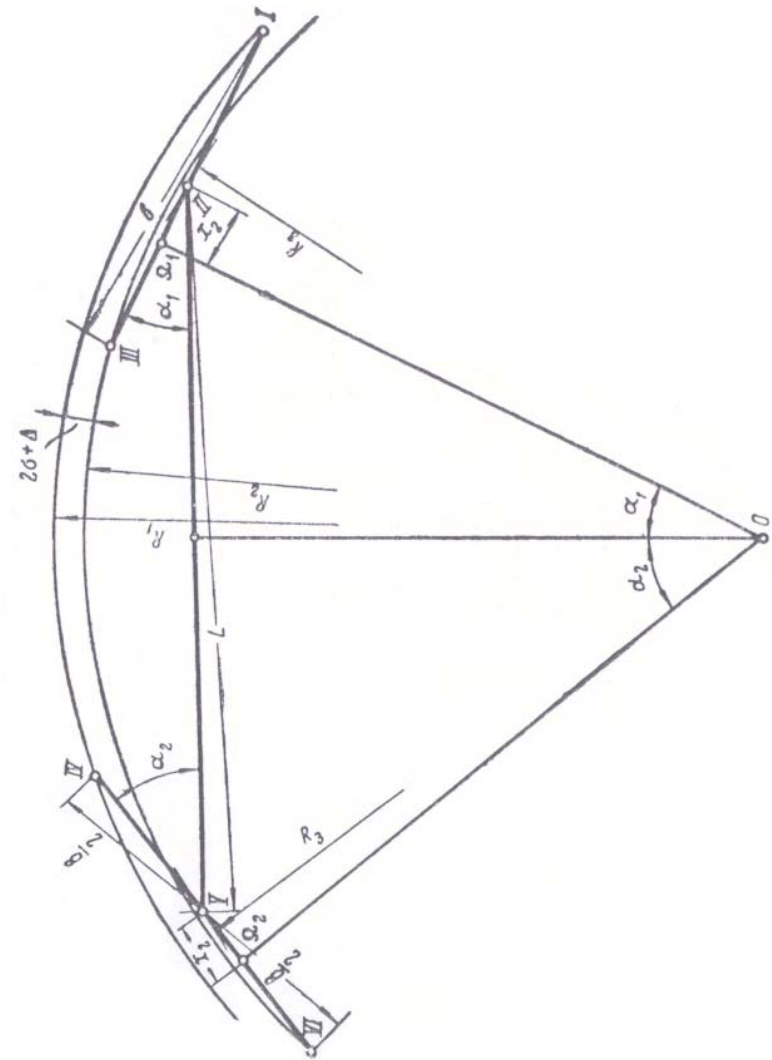
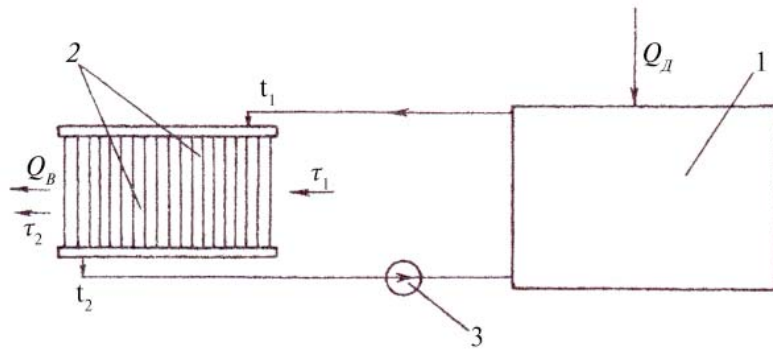


Рис. 2

**Исследование влияния температуры окружающей среды на параметры охлаждающего устройства тепловоза**

1. *Цель работы.* Установить с использованием ПЭВМ зависимость количества радиаторных секций, температур воды и воздуха после секций от температуры окружающего воздуха и выполнить упрощенную схему охлаждающего устройства тепловоза, включающую контур воды дизеля (см. рис.3).

2. *Исходные данные* для выполнения работы студент выбирает из табл.1.



**Рис. 3.** Принципиальная схема охлаждающего устройства тепловоза: 1 – тепловозный дизель; 2 – радиаторные секции; 3 – водяной насос;  $Q_d$  – тепло, введенное в дизель;  $Q_B$  – тепло, отводимое в окружающую среду;  $t_1$  – температура воды перед радиаторными секциями;  $t_2$  – температура воды после радиаторных секций;  $\tau_1$  – температура окружающей среды (воздуха);  $\tau_2$  – температура воздуха после радиаторных секций

Таблица 1

Наименование данных	Последняя цифра учебного шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Эффективная мощность дизеля $N_e$ , кВт	1000	1200	1500	2000	2200	2500	3000	3500	4000	4200
Удельный расход дизельного топлива дизелем $g_e$ , кг/кВт·ч	0,215	0,212	0,210	0,216	0,208	0,216	0,215	0,212	0,210	0,208

При выполнении вычислений принимаем следующие числовые значения расчетных величин:

- теплоотвод в воду, охлаждающую дизель,  $q_b = 15,5\%$  от всего тепла, вводимого в цилиндры дизеля в топливом;
- температура воды на выходе из дизеля (перед радиаторными секциями)  $t_1 = 95^\circ\text{C}$ ;
- температура окружающего воздуха  $\tau = 25^\circ; 35^\circ; 45^\circ\text{C}$ ;
- массовая скорость воздуха в радиаторных секциях  $u = 8 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с}$ ;
- линейная скорость воды в радиаторных секциях  $v = 1 \text{ м/с}$ ;
- плотность воды  $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ ;
- удельная теплоемкость воды  $c_b = 4,19 \text{ кДж/кг} \cdot \text{град}$ ;
- удельная теплоемкость воздуха  $c_{вз} = 1,0 \text{ кДж/кг}$ ;
- коэффициент теплопередачи радиаторных секций от воды к воздуху  $K_b = 0,52 \text{ кВт/м}^2 \cdot \text{град}$ ;
- низшая теплота сгорания дизельного топлива  $H_u = 42500 \text{ кДж/кг}$ .

#### Параметры водяных радиаторных секций:

- площадь «живого» сечения для прохода воздуха  $\omega_{вз} = 0,149 \text{ м}^2$ ;
- площадь «живого» сечения для прохода воды  $\omega_b = 0,00132 \text{ м}^2$ ;
- поверхность теплообмена, омываемая воздухом  $F = 29,6 \text{ м}^2$ .

#### 3. Общие положения

3.1. Количество радиаторных секций  $Z$ , температуру воды после секций  $t_2$  и температуру воздуха после секций  $\tau_2$  определяют в результате решения системы линейных уравнений с тремя неизвестными:

$$\left. \begin{aligned} Q_b &= G_b \cdot c_b (t_1 - t_2) \\ Q_b &= G_{вз} \cdot c_{вз} (\tau_2 - \tau_1) \\ Q_b &= K_b \cdot F \cdot Z \left( \frac{t_1 + t_2}{2} - \frac{\tau_1 + \tau_2}{2} \right) \end{aligned} \right\}, \quad (*)$$

где  $Q_b$  – теплоотвод в воду, охлаждающую дизель, кДж/с;  
 $G_b$  – расход воды через радиаторные секции, кг/с;

$G_{вз}$  – расход воздуха через радиаторные секции, кг/с;  
 $K_b$  – коэффициент теплопередачи радиаторных секций от воды к воздуху, кВт/м<sup>2</sup>·град.

3.2. Количество тепла, вводимого в дизель с топливом в единицу времени:

$$Q_d = \frac{g_e N_e H_u}{3600} = \frac{g_e N_e \cdot 42500}{3600} = 11,8 g_e N_e \frac{\text{кДж}}{\text{с}}$$

3.3. Теплоотвод в воду, охлаждающую дизель, в единицу времени

$$Q_e = \frac{q_e}{100} \cdot Q_d = \frac{15,5}{100} \cdot 11,8 g_e \cdot N_e = 1,829 g_e \cdot N_e \frac{\text{кДж}}{\text{с}}$$

3.4. Расход воды через радиаторные секции

$$G_b = v \omega_b \rho \cdot Z = 1 \cdot 0,00132 \cdot 1000 \cdot Z = 1,32 \cdot Z \frac{\text{кДж}}{\text{с}}$$

3.5. Расход воздуха через радиаторные секции

$$G_{вз} = u \omega_{вз} \cdot Z = 8 \cdot 0,149 \cdot Z = 1,19 Z \frac{\text{кДж}}{\text{с}}$$

3.6. Подставив полученные в п.3.5 выражения и числовые значения величин, указанные в п.3.3, в уравнения системы (\*), получаем:

$$\left. \begin{aligned} 1,829 g_e \cdot N_e &= 1,32 \cdot Z \cdot 4,19 (95 - t_2) \\ 1,829 g_e \cdot N_e &= 1,19 \cdot Z \cdot 1 (\tau_2 - \tau_1) \\ 1,829 g_e \cdot N_e &= 0,052 \cdot 29,6 \cdot Z \left( \frac{95 + t_2}{2} - \frac{\tau_1 + \tau_2}{2} \right) \end{aligned} \right\}$$

3.7. Выполнив замену  $y = \frac{1}{Z}$  и проведя арифметические действия, можно записать:

$$\left. \begin{aligned} 1,829 g_e \cdot N_e \cdot y &= 525,4 - 5,53 t_2 \\ 1,829 g_e \cdot N_e \cdot y &= 1,19 \tau_2 - 1,19 \tau_1 \\ 3,658 g_e \cdot N_e \cdot y &= 146,2 + 1,54 t_2 - 1,54 \tau_1 - 1,54 \tau_2 \end{aligned} \right\}$$

3.8. Затем приводим уравнения системы к виду, требуемому при использовании стандартной программы решения систем линейных на ПЭВМ.

$$\left. \begin{aligned} 5,53t_2 + 0 \cdot \tau_2 + 1,829g_e \cdot N_e \cdot y &= 525,43 \\ 0 \cdot t_2 - 1,19\tau_2 + 1,829g_e \cdot N_e \cdot y &= -1,19\tau_1 \\ 1,54t_2 - 1,54\tau_2 - 3,658g_e \cdot N_e \cdot y &= -146,2 + 1,54\tau_1 \end{aligned} \right\} (**)$$

Теперь требуется подставить в уравнения системы заданные числовые значения мощности дизеля  $N_e$  и удельного расхода дизельного топлива  $g_e$  и трижды значения температуры окружающего воздуха  $\tau_1 = 25^\circ; 35^\circ; 45^\circ \text{C}$ , получив в результате три системы линейных уравнений. Эти уравнения следует решать с использованием ПЭВМ.

#### 4. Оформление работы

4.1. По результатам решения необходимо составить таблицу полученных данных, а затем, используя их, построить в прямоугольной системе координат графические зависимости числа радиаторных секций  $Z$ , температур воды  $t_2$  и воздуха  $\tau_2$  после секций от температуры окружающего воздуха.

4.2. Внимательно ознакомиться с результатами расчетов, проанализировать построенные графические зависимости и сделать выводы.

#### 5. Пример расчета горячего контура холодильника

Эффективная мощность дизеля  $N_e = 1800 \text{ кВт}$ ;

Удельный эффективный расход топлива дизелем  $g_e = 0,220 \text{ кг/кВт} \cdot \text{ч}$ .

Подставляя числовые значения  $N_e, g_e$  и  $\tau_1$  в уравнения системы (\*\*), получаем три системы уравнений:

$$\left. \begin{aligned} 5,53t_2 + 0 \cdot \tau_2 + 724,3y &= 525,43 \\ 0 \cdot t_2 - 1,19\tau_2 + 724,3y &= -29,75 \\ 1,54t_2 - 1,54\tau_2 - 1448,6y &= -107,5 \end{aligned} \right\} (1)$$

$$\left. \begin{aligned} 5,53t_2 + 0 \cdot \tau_2 + 724,3y &= 525,43 \\ 0 \cdot t_2 - 1,19\tau_2 + 724,3y &= -42,65 \\ 1,54t_2 - 1,54\tau_2 - 1448,6y &= -92,3 \end{aligned} \right\} (2)$$

$$\left. \begin{aligned} 5,53t_2 + 0 \cdot \tau_2 + 724,3y &= 525,43 \\ 0 \cdot t_2 - 1,19\tau_2 + 724,3y &= -54,55 \\ 1,54t_2 - 1,54\tau_2 - 1448,6y &= -76,9 \end{aligned} \right\} (3)$$

Результаты решения систем линейных уравнений (1) – (3) на ПЭВМ приведены в табл.2.

Таблица 2

Решение систем линейных уравнений с использованием ПЭВМ

1	2	3	4
Коэффициенты системы	A(1, 1) = 5,5 A(1, 2) = 0 A(1, 3) = 724	A(2, 1) = 0 A(2, 2) = -1,2 A(2, 3) = 1598	A(3, 1) = 1,54 A(3, 2) = -1,54 A(3, 3) = -1449
Свободный член	B1 = 525	B2 = -29,75	B3 = -107,5
Результаты вычислений	X1=84,421 X2=75,362 X3=0,084		
Коэффициенты системы	A(1, 1) = 5,5 A(1, 2) = 0 A(1, 3) = 724	A(2, 1) = 0 A(2, 2) = -1,19 A(2, 3) = 724	A(3, 1) = 1,54 A(3, 2) = -1,54 A(3, 3) = -1449
Свободный член	B1 = 525	B2 = -41,6	B3 = -92,3
Результаты вычислений	X1=86,023 X2=78,547 X3=0,072		

Окончание табл. 2

1	2	3	4
Коэффициенты системы	$A(1, 1) = 5,5$ $A(1, 2) = 0$ $A(1, 3) = 724$	$A(2, 1) = 0$ $A(2, 2) = -1,19$ $A(2, 3) = 724$	$A(3, 1) = 1,54$ $A(3, 2) = -1,54$ $A(3, 3) = -1449$
Свободный член	$B1 = 525$	$B2 = -53,5$	$B3 = -77$
Результаты вычислений	$X1=87,585$ $X2=81,332$ $X3=0,06$		

Таким образом, получим табл.3.

Таблица 3

Параметры	Условные обозначения	Температура окружающего воздуха $\tau_1$ , °C		
		25	35	45
Число радиаторных секций	$Z$	12	14	17
Температура воды после радиаторных секций, °C	$t_2$	84,4	86,0	87,6
Температура воздуха после радиаторных секций, °C	$\tau_2$	75,4	78,5	81,3

По данным этой таблицы строим в прямоугольной системе координат графические зависимости:

- число радиаторных секций от температуры окружающего воздуха  $Z(\tau_1)$ ;
- температура воды после секций от температуры окружающего воздуха  $t_2(\tau_1)$ ;
- температура воздуха после секций от температуры окружающего воздуха  $\tau_2(\tau_1)$ .

Графические зависимости, построенные по данным табл.3, приведены на рис.4.

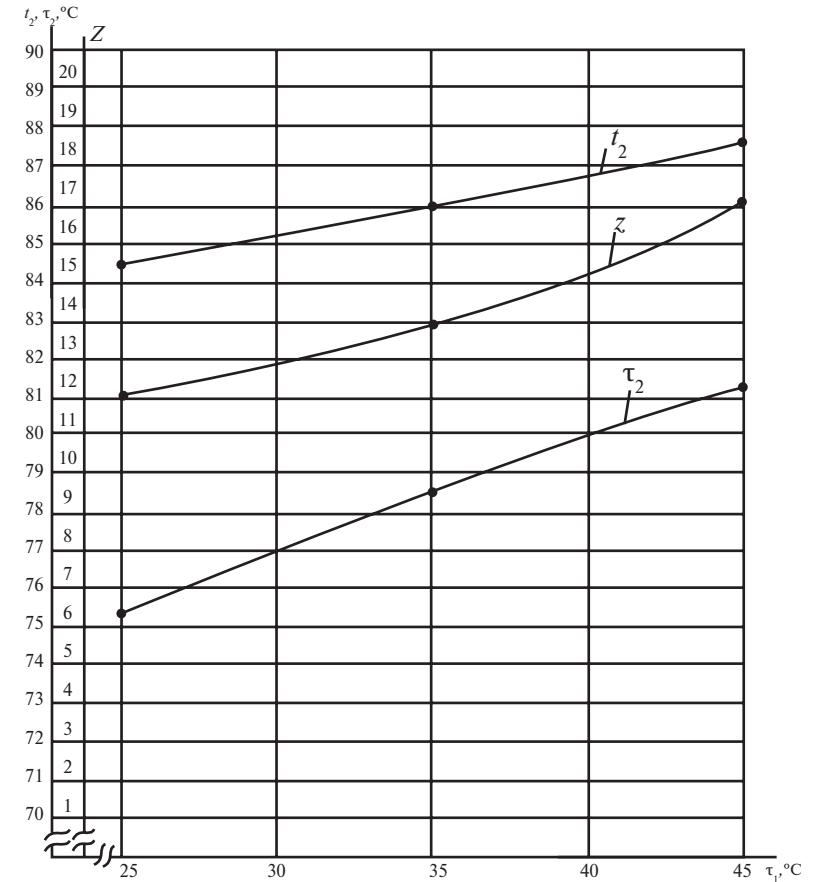


Рис. 4. Графические зависимости количества радиаторных секций  $Z$ , температур воды  $t_2$  и воздуха  $\tau_2$  после секций от температуры окружающего воздуха  $\tau_1$



## Рекомендуемая литература

1. Скалин А. В. Задание на курсовой проект по дисциплине «Теория и конструкция локомотивов». – М.: РГОТУПС, 2001.
2. Иванов В. Н. и др. Конструкция и динамика тепловозов. – М.: Транспорт, 1974.
3. Скалин А. В. и др. Справочник машиниста тепловоза. – М.: Желдориздат, 2004.

## ТЕОРИЯ И КОНСТРУКЦИЯ

### ЛОКОМОТИВОВ

#### Руководство по выполнению лабораторных работ

Редактор *Д. Н. Тихонычев*  
Корректор *В. В. Игнатова*  
Компьютерная верстка *А. Ю. Байкова*

---

Тип. зак.	Изд. зак. 284	Тираж 600 экз.
Подписано в печать 11.09.06	Гарнитура NewtonC	Офсет
Усл. печ. л. 1,0		Формат 60x90 <sup>1</sup> / <sub>16</sub>

---

Издательский центр РГОТУПСа,  
125993, Москва, Часовая ул., 22/2

Участок оперативной печати РГОТУПСа,  
125993, Москва, Часовая ул., 22/2