

Отчёт о выполнении лабораторной работы 3.4.5.

Тема истерезиса (динамический метод)

7. Аннотация

Цель работы: изучение свойств и характеристик различных ферромагнитных материалов в первичных полях.

В работе используются: автотрансформатор, понижающий трансформатор, интегрирующая цепочка, амперметр, вольтметр, электронный осциллограф, делитель напряжений, пороговые образцы с двумя обмотками.

2. Теоплетмические сведения

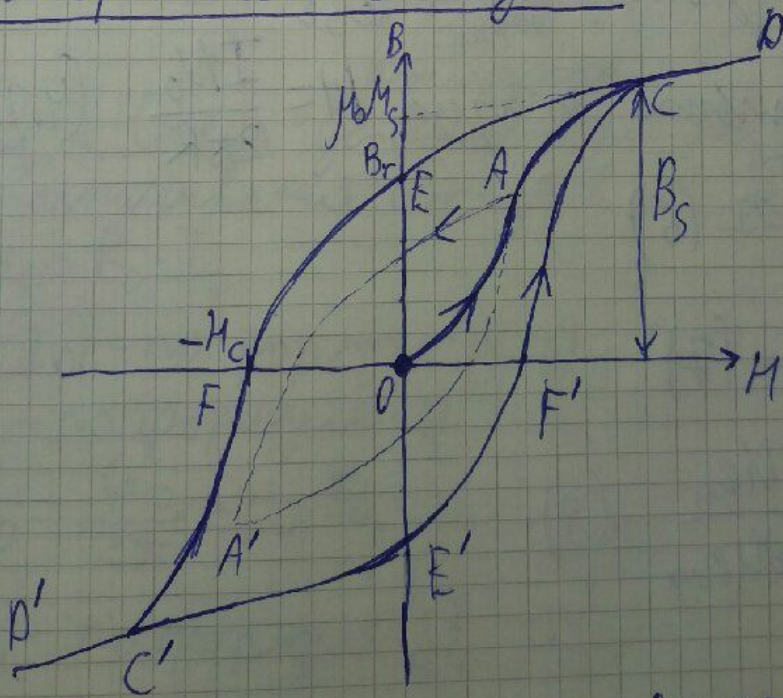
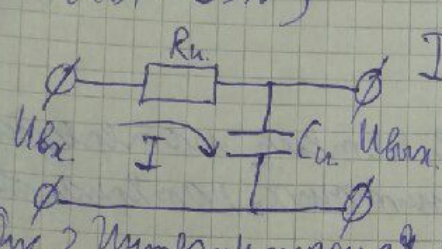


Рис. 1. Земля изотермизма ферромагнетика

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon &= -\frac{d\varphi(B)}{dt} \\ \varphi(B) &\approx BSN \end{aligned} \right\} \Rightarrow |B| = \frac{1}{SN} \int \varepsilon dt \quad (1)$$



$$I = \frac{U_{bx} - U_{bvx}}{R_u} \approx \left| \frac{R_{bvx} > R_u}{U_{bvx} \ll U_{bx}} \right| \approx \frac{U_{bx}}{R_u}$$

$$U_{bvx} = \frac{q}{C_u} = \frac{1}{C_u} \int I dt \approx \frac{1}{C_u} \int_0^t U_{bx} dt \quad (2)$$

Пр. 2. Умножительный элемент

где $\tau_u \approx R_u C_u$ — номинальный элемент RC-цепи.

$$U_{\text{г}}(1) \text{ и } (2) \Rightarrow |B| = \frac{1}{SN} \int U_{bx} dt \approx \frac{\tau_u}{SN} U_{bvx} \quad (3)$$

$$\frac{U_{bvx}}{U_{bx}} \approx \frac{\frac{1}{\omega C}}{\sqrt{R^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2}}} \Rightarrow U_{bvx} \ll U_{bx} \text{ при } \tau \approx RC \gg \frac{1}{\omega} \quad (4)$$

Тоже можно $\frac{U_{bvx}}{U_{bx}} \approx \frac{1}{\omega \tau} \quad (5)$

Для порогового элемента $H = \frac{I_{No}}{2\pi R} \quad (4.26)$

$$K_x = \frac{2R_0 \sqrt{2} I_{\text{exp}}}{2\pi} \quad (6)$$

$$K_y = \frac{2\sqrt{2} U_{\text{exp}}}{2\pi} \quad (7)$$

$$\tau = RC = \frac{U_{bx}}{\omega U_{bvx}} \quad (8)$$

3. Мемогура узурплунд

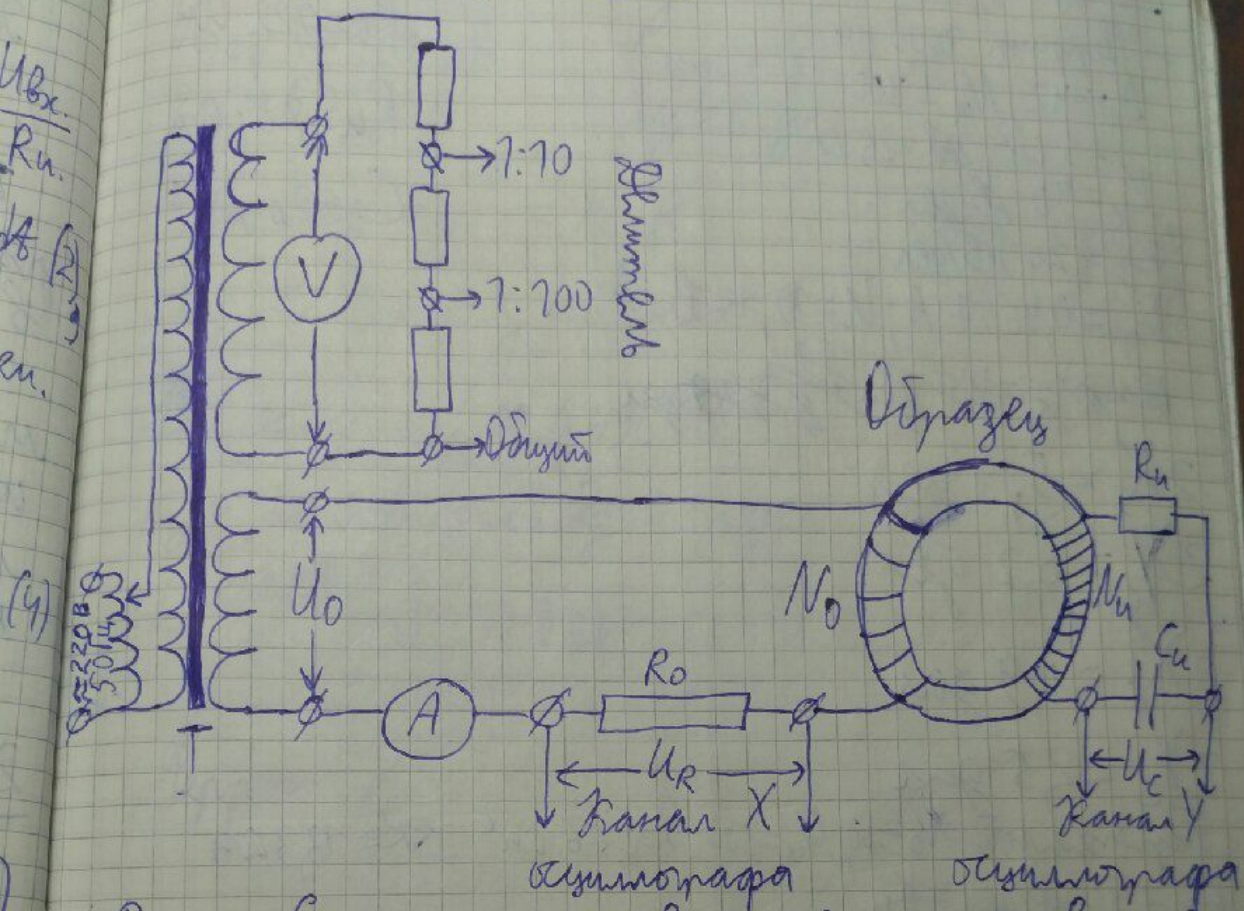


Рис. 3. Схема установки для измерения параметров образцов

$$U_R = R_0 \cdot I_0$$

$H(I_0)$ — по формуле (4.76)

B — по формуле (3)

$$\nu_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = 50 \text{ Гц}$$

τ_n — по формуле (5)

Volts/Div = размер деления

4. Результаты измерений и обработка данных

Первый 1000 нм

$$N_0 = 42, N_u = 400$$

$$S = 3 \text{ см}^2, 2\pi R = 25 \text{ см}$$

$$K_x = 50 \text{ мВ/ген}$$

$$K_y = 20 \text{ мВ/ген}$$

$$I_{\text{эп}} = 0,4667 \text{ А}; U = 10,47 \text{ В}$$

$$\text{Множ } X_s = 2,5 \text{ ген} \cdot \frac{3}{8} = 0,9 \text{ ген}$$

$$2X_s = 5,9 \text{ ген}$$

$$2Y_s = 6,2 \text{ ген}$$

$$2X_c = 0,9 \text{ ген}$$

$$2Y_c = 2,5 \text{ ген}$$

Второй $N_0 = 20, N_u = 300, S = 0,26 \text{ см}^2, 2\pi R = 13,3 \text{ см}$

$$K_x = 50 \text{ мВ/ген} = K_y$$

$$I_{\text{эп}} = 196,7 \text{ мА}$$

$$2X_s = 3,2 \text{ ген}; 2Y_s = 3,6 \text{ ген}$$

$$2X_c = 1,4 \text{ ген}; 2Y_c = 3,4 \text{ ген}$$

Вспомогательное $N_0 = 25, N_u = 250, S = 2 \text{ см}^2, 2\pi R = 11 \text{ см}$

$$K_x = 0,1 \text{ В/ген}; K_y = 50 \text{ мВ/ген}$$

$$I_{\text{эп}} = 0,89 \text{ А}$$

$$2X_s = 5,9 \text{ ген}; 2Y_s = 4,8 \text{ ген}$$

$$2X_c = 1 \text{ ген}; 2Y_c = 1,6 \text{ ген}$$

$$2X = 8 \text{ ген}$$

$$I_{\text{эп}} = 1,25 \text{ А}$$

$$K_x = 0,1 \text{ В/ген}$$

$$K_x = 50 \text{ мВ}$$

$$2X = 8 \text{ ген}$$

$$I_{\text{эп}} = 20,64 \text{ А}$$

$$K_y = 250 \text{ мВ/гер}$$

$$U_{\text{зпп}} = 709 \text{ мВ}$$

$$2y = 6,2 \text{ гер}$$

$$U_{\text{вн}} = 2y \cdot K_y = 72 \text{ В}$$

$$K_y = 2 \text{ В/гер} \quad 2y = 6 \text{ гер}$$

$$U_{\text{вн}} = 2y \cdot K_y = 0,096 \text{ В}$$

$$K_y = 20 \text{ мВ/гер} \quad 2y = 4,8 \text{ гер}$$

$$\omega = 250 \text{ Гц}$$

$$K_y = 20 \text{ мВ/гер}$$

$$U_{\text{зпп}} = 42,4 \text{ мВ}$$

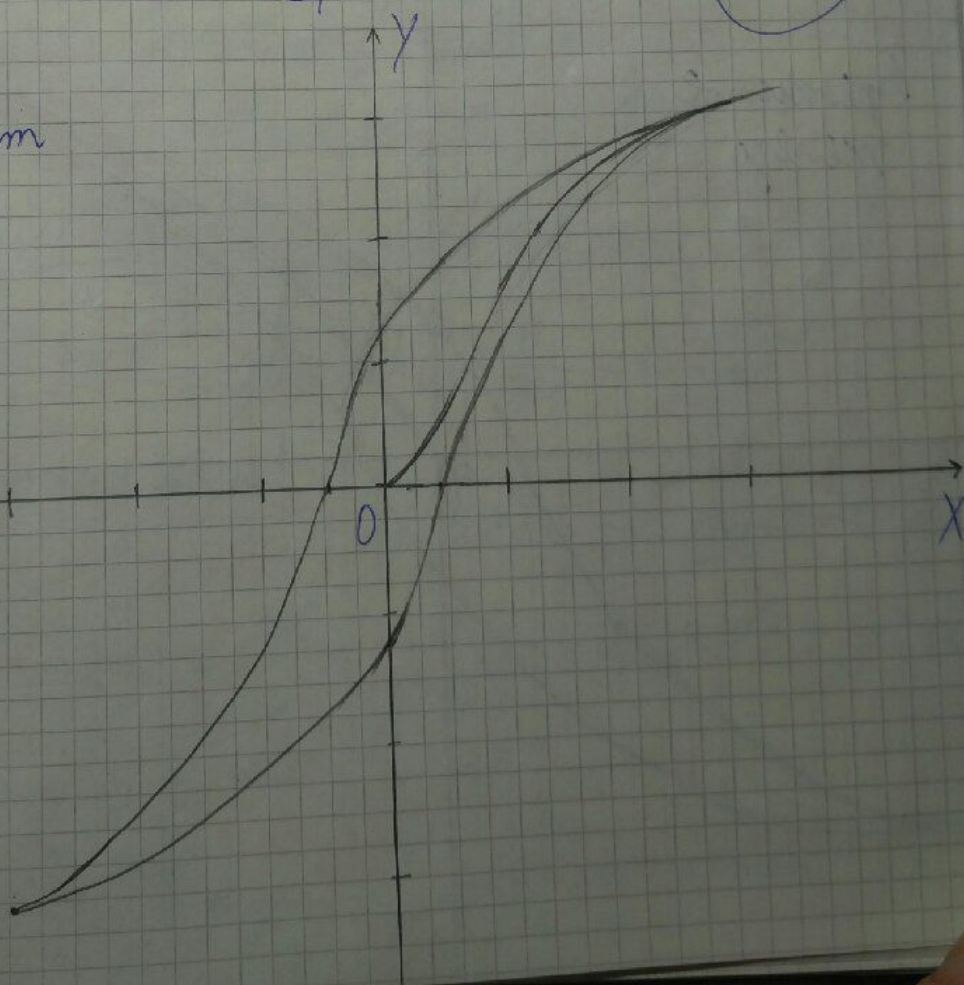
$$2y = 6 \text{ гер}$$

$$f_{\text{гер}} =$$

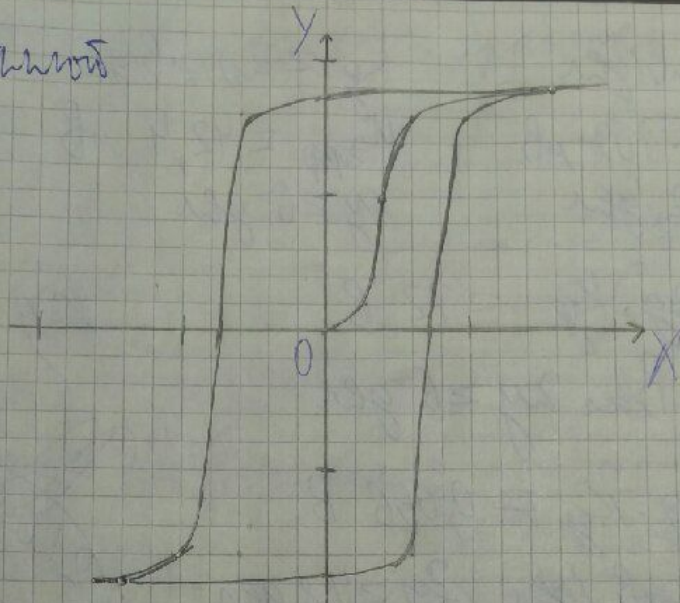
$$= 7 \text{ Гц}$$

~~21.09.22~~
342

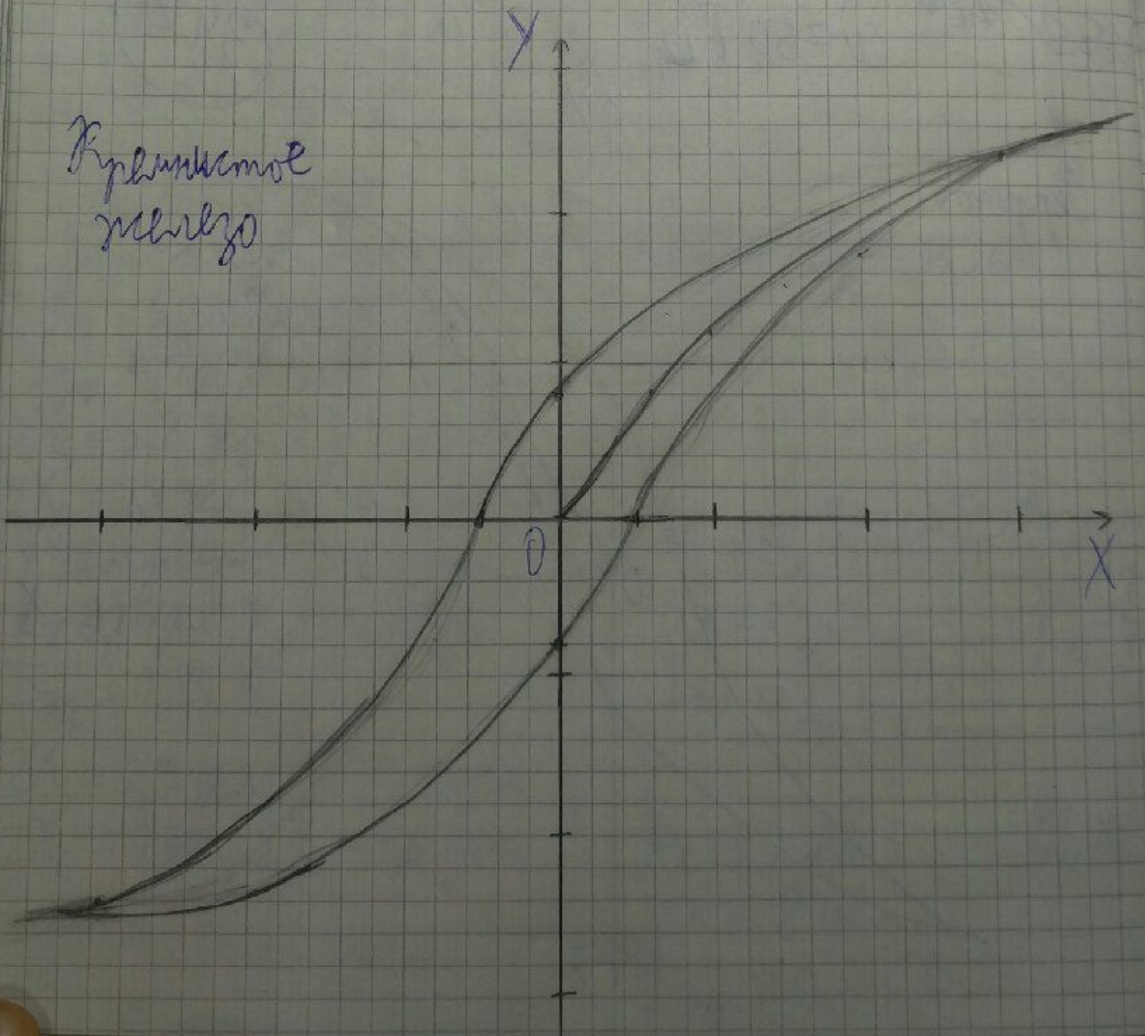
Перемн



Регуляризатор



Регуляризатор
мелкого



из (4.76), где $I = \frac{K_x}{R_0}$; найдем коэффициент преобразования от деления осей X в А/м.

Примем:
$$H = \frac{50 \cdot 10^{-3} \cdot 42}{0,22 \cdot 25 \cdot 10^{-2}} \approx 38,2 \frac{A}{m}$$

Для малых: $H \approx 34,2 \frac{A}{m}$; Для большого мала:

зо: $H \approx 103,3 \frac{A}{m}$

из (3), где $N = K_u$, $\tau_u = R_u C_u$, $U_{out} = K_y$ найдем коэффициент преобразования деления осей Y в Тл:

Примем:
$$B = \frac{20 \cdot 10^3 \cdot 20 \cdot 10^{-6}}{3 \cdot 10^{-4} \cdot 400} \cdot 20 \cdot 10^{-3} \approx 0,0667 \text{ Тл}$$

Для малых: $B \approx 0,8772 \text{ Тл}$; Для большого: $B \approx 0,4 \text{ Тл}$

Проверим размерность осциллограмм по (6) и (7):

$$K_x = \frac{2 \cdot 0,22 \cdot 52 \cdot 7,25}{8} \approx 0,097 \approx 0,7 \frac{mB}{\text{gen}}$$

$$K_x = \frac{2 \cdot 0,22 \cdot 52 \cdot 0,64}{8} \approx 0,04978 \approx 0,05 \frac{B}{\text{gen}} = 50 \frac{mB}{\text{gen}}$$

$$K_y = \frac{2 \cdot 52 \cdot 10^3 \cdot 10^{-3}}{6,2} \approx 0,0497 \approx 0,05 \frac{B}{\text{gen}} = 50 \frac{mB}{\text{gen}}$$

$$K_y = \frac{2 \cdot 52 \cdot 42,4 \cdot 10^{-3}}{6} \approx 0,07998755 \approx 0,02 \frac{B}{\text{gen}} = 20 \frac{mB}{\text{gen}}$$

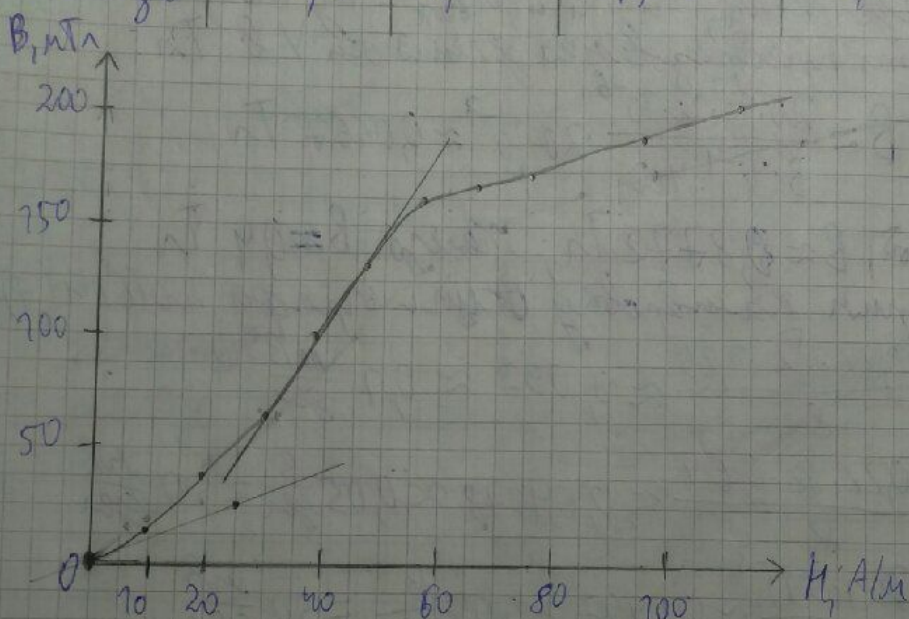
По (8) найдем $\tau = \frac{2 \cdot 6}{20 \cdot 10^3 \cdot 48 \cdot 28 \cdot 50} \approx 0,397887 \text{ с} \approx 0,4 \text{ с}$

$$\tau = R_u C_u = 20 \cdot 10^3 \cdot 20 \cdot 10^{-6} = 0,4 \text{ с}$$

K_x , K_y и τ совпадают с хорошей точностью.

Максимальная температура плавления H_{max} , B_s , H_c , B_r \rightarrow хорошо отражена

	$H_{max}, \frac{A}{m}$	$B_s, T \cdot n$	$H_c, \frac{A}{m}$	$B_r, T \cdot n$
Пермун	112,7	$206,77 \cdot 10^{-3}$	77,2	0,083
Термалон	54,7	7,58	23,9	7,49
Рыболовский мезо	304,7	0,96	57,65	0,32

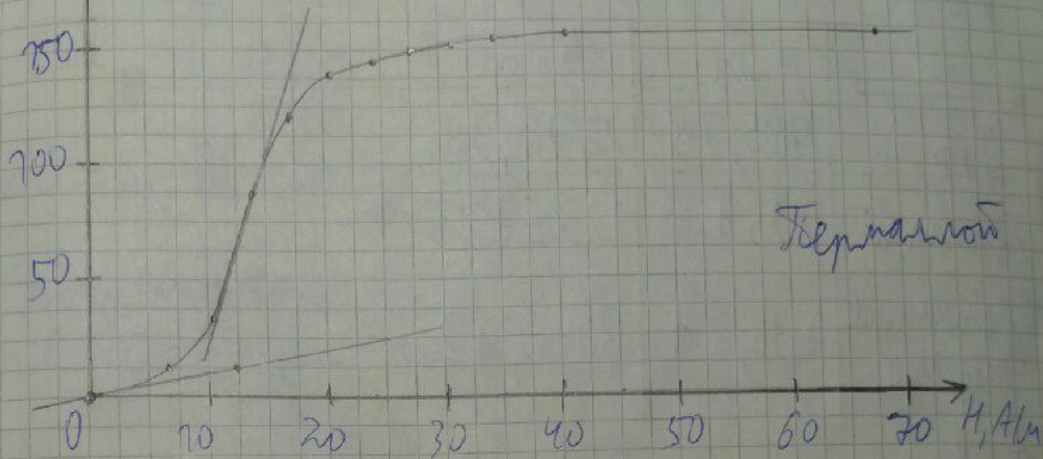


$H, A/m$	0,25	0,5	0,75	1	1,25	1,5	1,75	2	2,5	3
$B, T \cdot n$	9,55	19,10	28,65	38,2	47,75	57,30	66,85	76,40	85,95	95,50
$H, A/m$	4,25	0,6	1	1,5	2	2,25	2,5	2,6	2,85	3,7

Рыболовский мезо

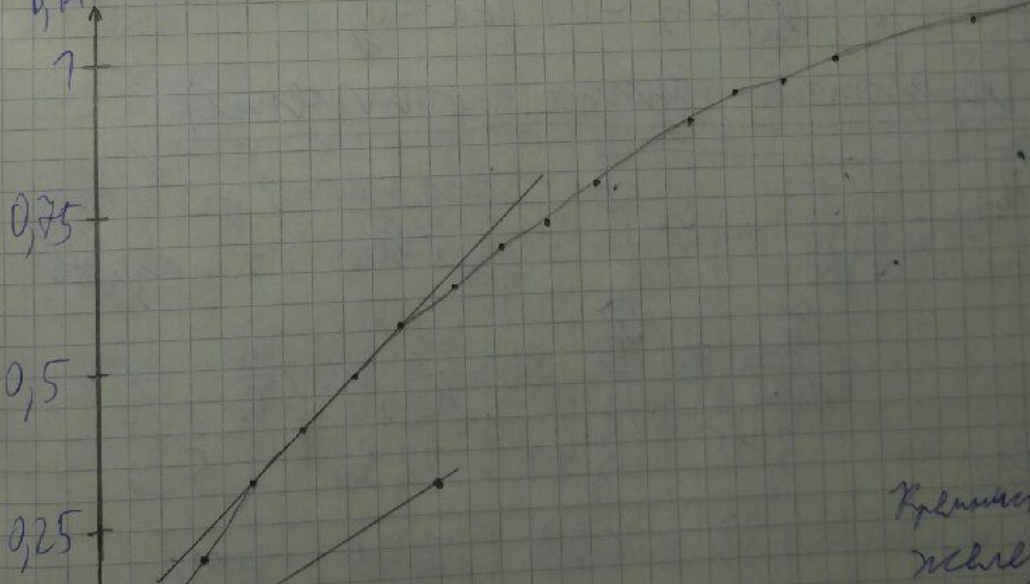
$H, A/m$	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2
$B, 10^2 T \cdot n$	8	20	32	40	48	56

$B, 10^{-2} T_n$



Термадон

	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,2	2
$H, A/m$	6,84	10,26	13,68	17,10	20,52	23,94	27,36	30,78	34,20	41,04	68,40
$B, 10^{-2} T_n$	13,76	35,00	87,72	122,81	140,35	144,74	149,12	153,51	156,74	157,90	160,53
B, T_n	0,15	0,4	1	1,4	1,6	1,65	1,7	1,75	1,78	1,8	1,83



Кривая намагничивания

	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,4	2,6	2,8	3	3,6	4,0
$H, A/m$	724	1448	2172	2896	3620	4760	5504	6248	7000	8640	10000
B, T_n	0,56	0,62	0,68	0,72	0,78	0,88	0,92	0,94	0,98	1,04	1,12
B, T_n	1,4	1,55	1,7	1,8	1,95	2,2	2,3	2,35	2,45	2,6	2,8

$$\mu_{\text{гир}} = \frac{dB}{dH} \cdot \frac{1}{\mu_0}, \text{ где } \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{H}}{\text{A}^2}$$

	$\mu_{\text{нар}}$	μ_{max}
Пермун	795,78	2778,96
Перманент	7957,75	122670,3
Временное мемло	736,24	3079,42

5. Использование одоруживание и импульсно- тажные нормирование

Электронный осциллограф GW Instek GOS-620

$$\frac{\sigma_k}{k} = 3\%; \quad \sigma_x = 0,1 \text{ гер} = \sigma_y$$

4. Обработка данных (прогнозирование)

$$\frac{\sigma_{H_{\text{max}}}}{H_{\text{max}}} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_k}{k}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_x}{x}\right)^2}$$

Аналогично для B_s, H_c, B_r
для всех 3 образцов

	$\frac{\sigma_{H_{\text{max}}}}{H_{\text{max}}}, \%$	$\frac{\sigma_{B_s}}{B_s}, \%$	$\frac{\sigma_{H_c}}{H_c}, \%$	$\frac{\sigma_{B_r}}{B_r}, \%$
Пермун	3,45	3,47	77,50	5,00
Перманент	4,33	4,09	7,75	4,20
Временное мемло	3,45	3,65	79,44	6,93

$$\frac{\sigma_{\mu}}{\mu} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_{dB}}{dB}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{dH}}{dH}\right)^2}$$

$$B = k_B \cdot Y \Rightarrow \frac{\sigma_B}{B} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_k}{k}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_Y}{Y}\right)^2} \quad (\text{так } \frac{\sigma_{k_B}}{k_B} = \frac{\sigma_k}{k})$$

$$dB = B_2 - B_1 \Rightarrow \sigma_{dB} = \sqrt{(\sigma_{dB_1})^2 + (\sigma_{dB_2})^2}$$

Поправка μ_{max} становится невозможна, т.к. $\sigma_Y = 0,1 \text{ гед}$, но $Y \rightarrow 0 \Rightarrow \frac{\sigma_Y}{Y} \rightarrow \infty \Rightarrow \frac{\sigma_{\mu}}{\mu} \rightarrow \infty$

$\frac{\mu_{\text{max}}}{\mu_{\text{max}}} \%$

Перриум 12,75

Перманганат 27,26

Величина железа 73,70

6. Выводы

Экспериментальное	$H_c, \frac{A}{M}$	B_s, T	μ_{max}	μ_{max}
Перриум	$17,2 \pm 11,5\%$	$207 \cdot 10^{-3} \pm 3,4\%$	$795,78$	$2778,96 \pm 12,75\%$
(1000 мн)	7,2-76	0,27	7000	3000
Перманганат	$23,9 \pm 7,75\%$	$1,58 \pm 4,09\%$	$7957,75$	$122670,3 \pm 27,26\%$
	0,8-80	0,6-2	7000-14000	100000-200000
Величина железа	$57,65 \pm 10,44\%$	$0,96 \pm 3,65\%$	$1736,24$	$3079,42 \pm 73,70\%$
	32-72	1,95	7500	7000

Табличные значения взяты из разных источников. С экспериментом сильно разнятся (в 2 раза с учётом поправки) B_s и μ_{max} величины железа; а также никеля не совпало B_s для перриума (разхождение на 27% от табличного).