



Обобщенный доклад по теме:
**Расчет разветвленной несимметричной
магнитной цепи.**

Авторы: студенты группы ЭТ-21-10

Гаврилов Алексей

Карпова Людмила

Шоглев Роман

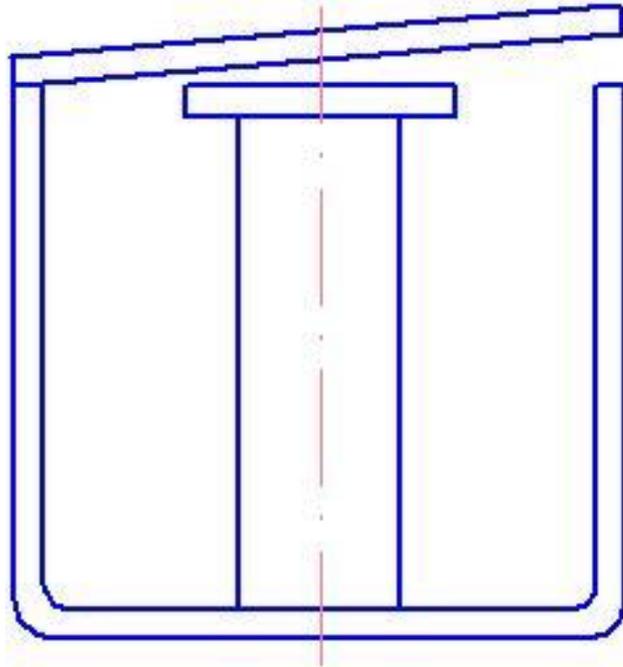
Ямутина Анна

Руководитель: проф. Софронов Ю.В.

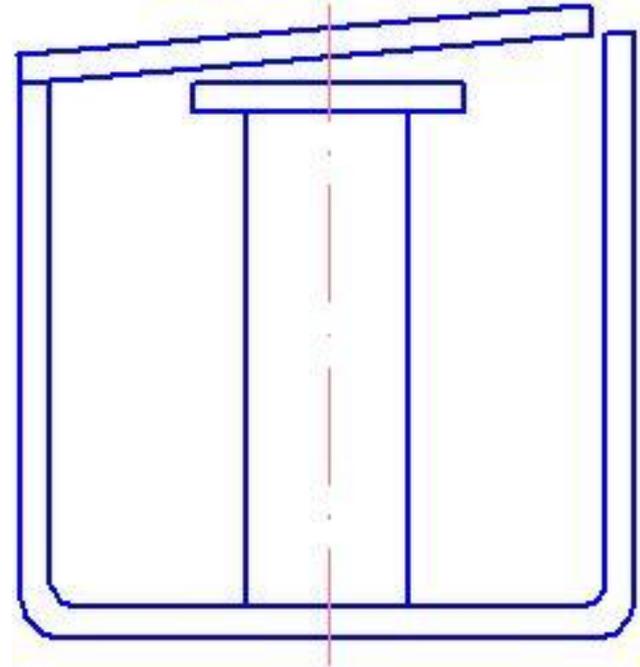
Цели работы:

- 1. Разработка усовершенствованной методики расчета разветвленной несимметричной магнитной цепи Ш-образного электромагнита постоянного тока.**
- 2. Расчет магнитной цепи с заданными размерами по известной и усовершенствованной методикам.**
- 3. Сравнение результатов расчета.**
- 4. Исследование влияния магнитного шунта на электромагнитное усилие в дополнительном рабочем зазоре.**

Объект исследования



Ш-образная магнитная цепь
без шунта



Ш-образная магнитная цепь
с шунтом

Модель и расчетные данные магнитной цепи

$$F=840 \text{ A};$$

$$l_c=50 \text{ мм};$$

$$d_c=16 \text{ мм};$$

$$d_{\text{II}}=27 \text{ мм};$$

$$h_{\text{II}}=3 \text{ мм};$$

$$a=a_{\text{я}}=3 \text{ мм};$$

$$b=b_{\text{я}}=44 \text{ мм};$$

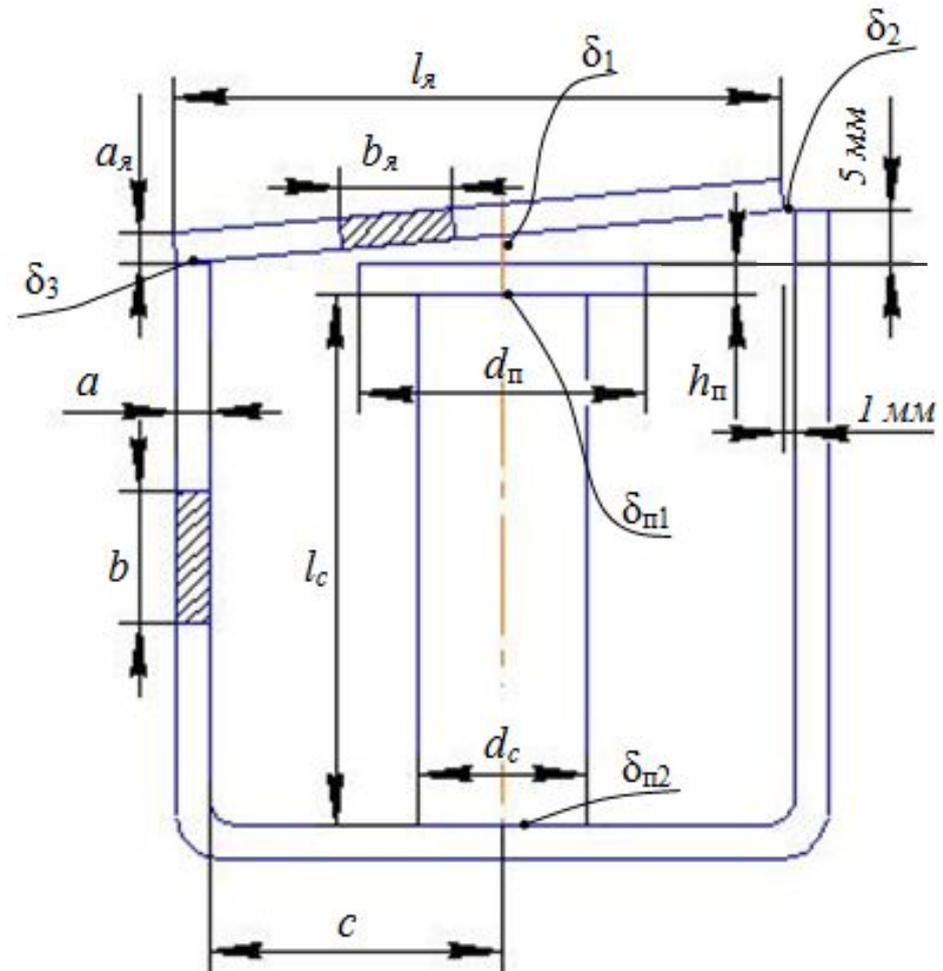
$$l_{\text{я}}=57,2 \text{ мм};$$

$$\delta_1=3,5 \text{ (2,5; 1,5; 1) мм};$$

$$\delta_{\text{II1}} = \delta_{\text{II2}} = \delta_3=0,1 \text{ мм};$$

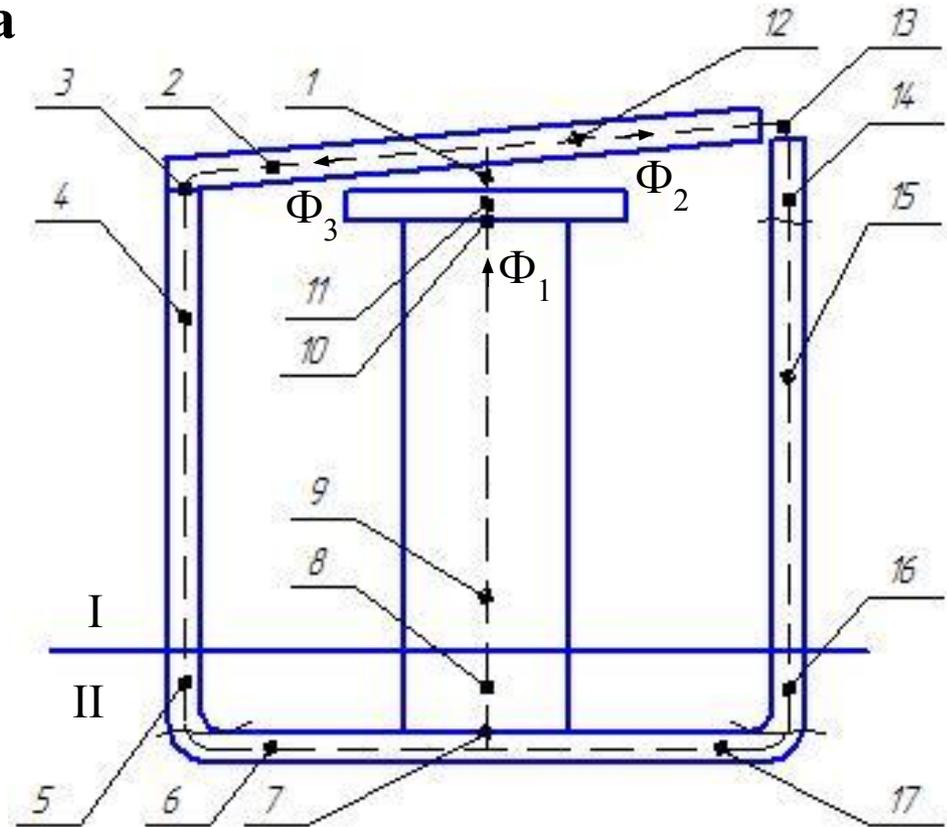
$$c=27,6 \text{ мм};$$

Материал - сталь 10895



Существующая методика расчета магнитной цепи

1. Разбиение магнитной цепи на участки.
2. Расчет магнитных проводимостей и проводимости рассеяния.
3. Определение расчетной длины сердечника.
4. Расчет коэффициентов рассеяния на участках.
5. Расчеты кривых намагничивания магнитной цепи.
6. Расчет потоков.



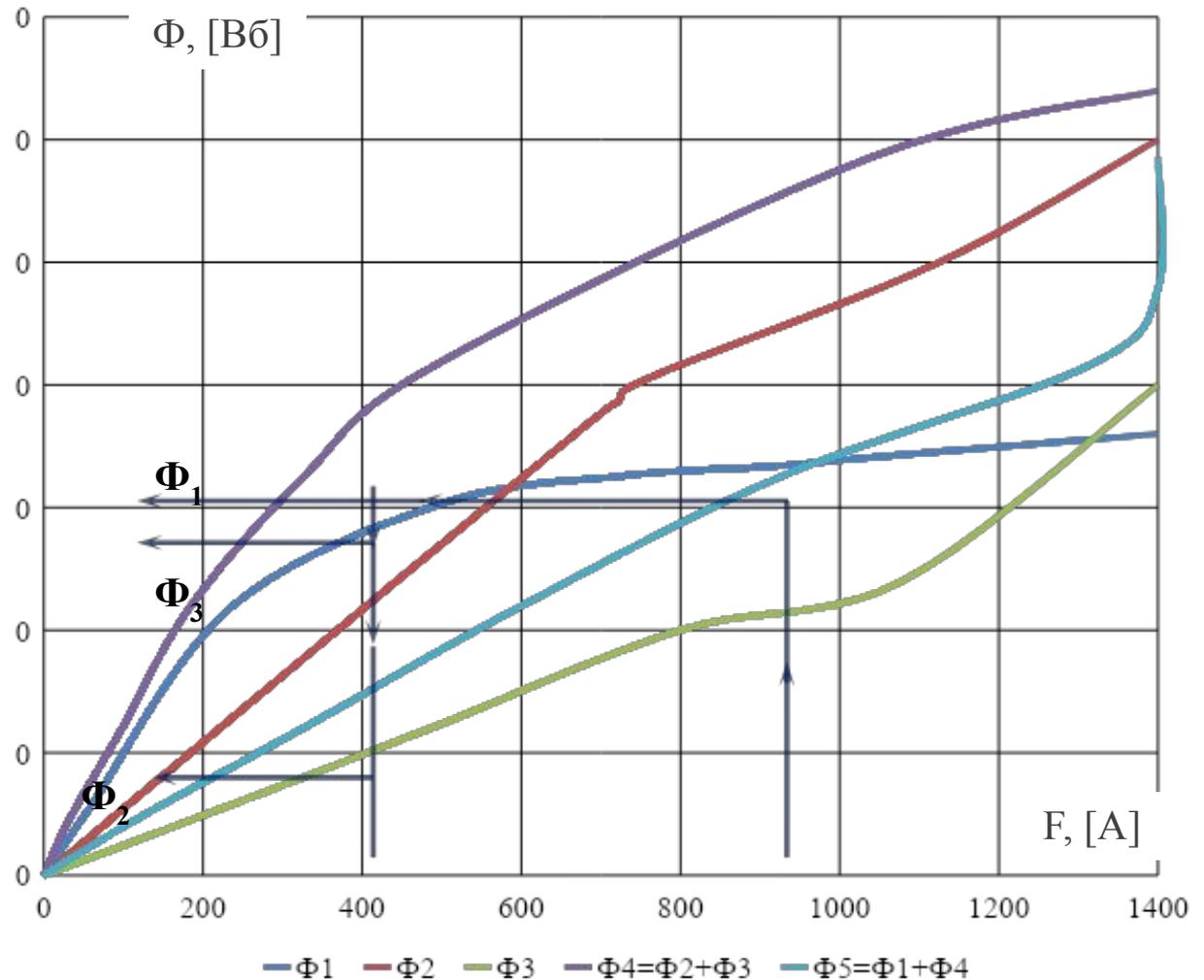
Расчет потоков.

Кривые намагничивания $\Phi_{\delta} = f(F)$

$$\Phi_{1\text{полн}} = 1,5 \cdot 10^{-4}$$

$$\Phi_2 = 0,35 \cdot 10^{-4}$$

$$\Phi_3 = 1,22 \cdot 10^{-4}$$



Расчеты магнитных проводимостей и проводимости рассеяния.

Проводимость рабочего зазора: $\Lambda_{\delta} = \mu_0 \pi d_{\text{п}} (\lambda_{\text{т}} + \lambda_{\text{р}} + \lambda_{\text{бок}} + n \lambda_{\text{т.с.}})$

$$\lambda_{\text{т.с.}} = \left[1,774 - 1,474\beta^{0,2} + (0,546 - 0,441\beta^{0,1})x_1 - \frac{0,083}{0,0344+\beta}x_2 - \frac{\beta}{0,106+6,499\beta}x_3 - \frac{\beta}{14,82\beta+0,116}x_1^2 + 0,052e^{-13,9\beta}x_2^2 + \frac{0,102\beta}{0,108+\beta}x_3^2 - (0,017 + 0,160\beta - 0,695\beta^2)x_1x_3 + (0,036 + 0,154\beta - 1,103\beta^2)x_2x_3 \right]^2$$

$$\lambda_{\text{т}} = 2 \frac{\left(R_{0*} - \sqrt{R_{0*}^2 - \left(\frac{d_{\text{п}*}}{2} \right)^2} \right)}{\beta d_{\text{п}}}$$

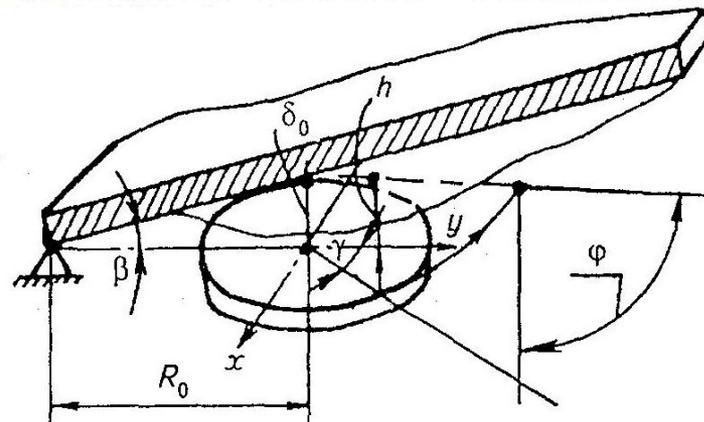
$$\lambda_{\text{р}} = 0,5578 + 0,4 \operatorname{tg} \beta \frac{R_{0*}}{d_{\text{п}*}}$$

$$\lambda_{\text{бок}} = 2 \ln \left(\frac{\left(1 - \frac{a_{\text{п}*}}{R_{0*} \operatorname{tg} \beta} \right)}{\pi} \right) + \frac{8a_{\text{п}*}}{d_{\text{п}*} \pi^2}$$

$$x_1 = 3,030 d_{\text{п}*} - 4,546$$

$$x_2 = 16,13 a_{\text{п}*} - 2,419$$

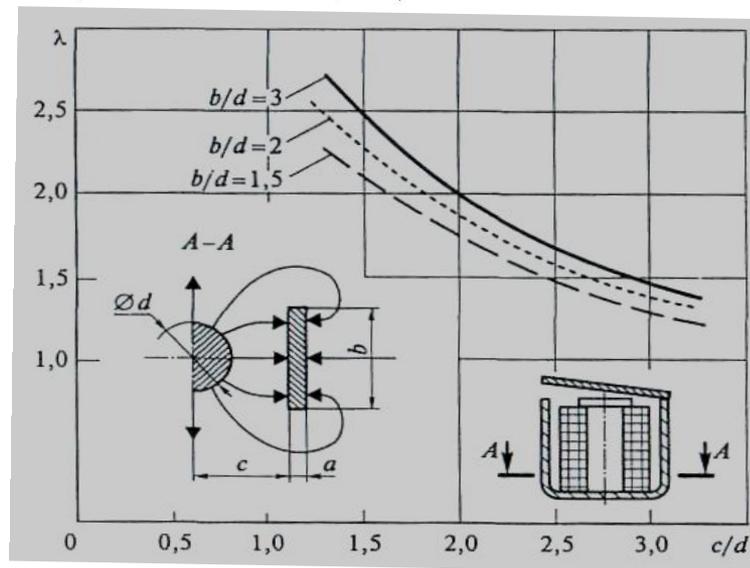
$$x_3 = 1,102 \frac{R_{0*}}{d_{\text{п}*}} - 1,515$$



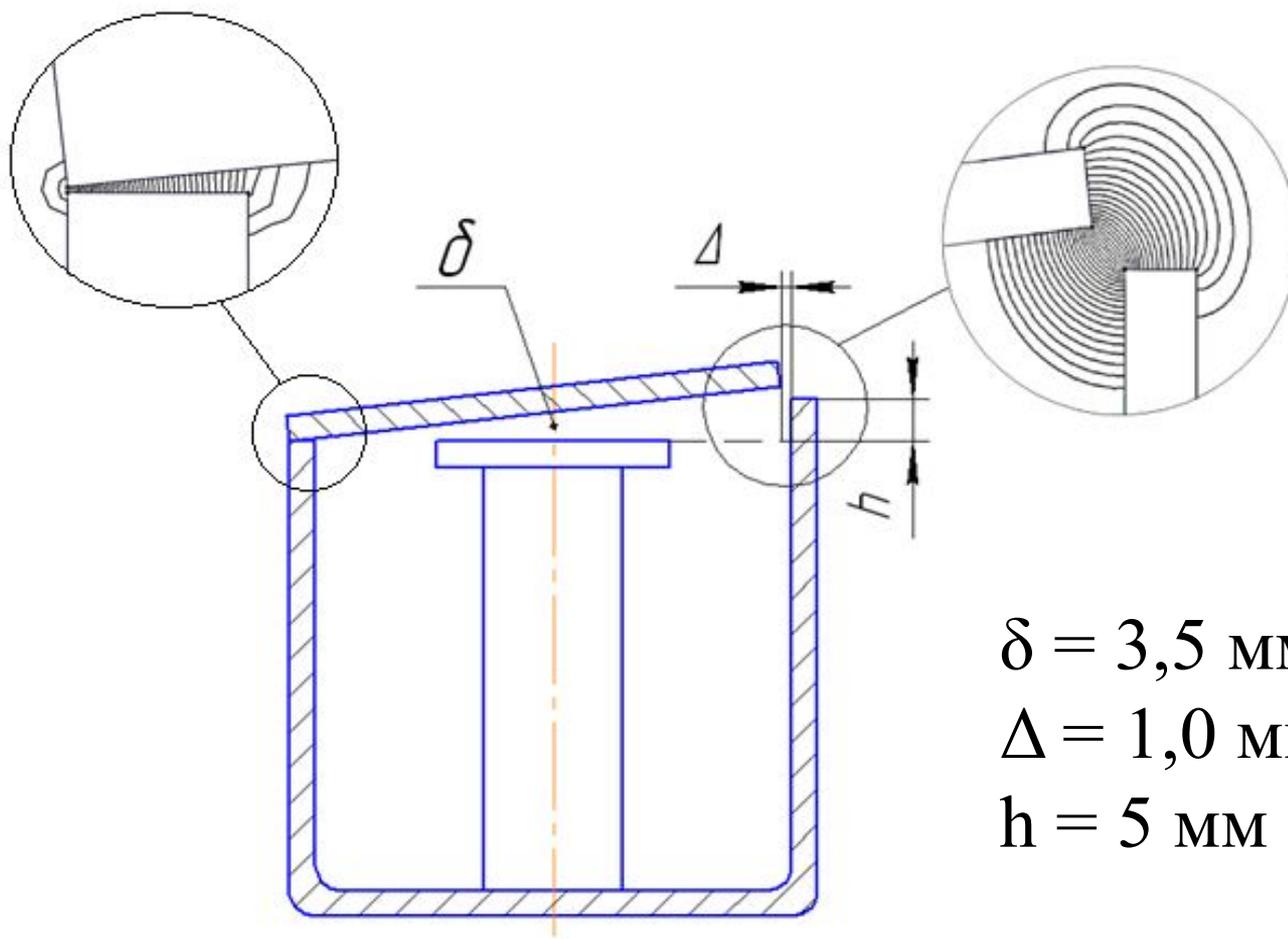
Проводимость нерабочего и паразитных зазоров: $\Lambda = \mu_0 \frac{S}{\delta}$

Проводимости нагрузки: $\frac{1}{\Lambda_{\text{I}}} = \frac{1}{\Lambda_1} + \frac{1}{\Lambda_{\text{п1}}} + \frac{1}{\Lambda_2 + \Lambda_3}$
 $\Lambda_{\text{II}} = \Lambda_{\text{п2}}$

Проводимость рассеяния: $\lambda_s = 2\mu_0 \lambda$



Проводимость дополнительного рабочего и не рабочего технических зазоров.

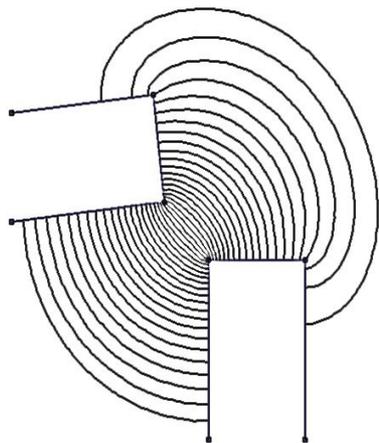


$$\delta = 3,5 \text{ мм}$$

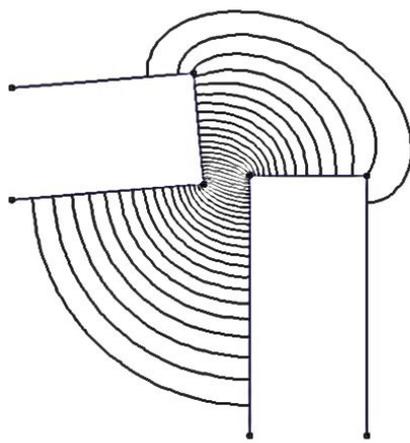
$$\Delta = 1,0 \text{ мм}$$

$$h = 5 \text{ мм}$$

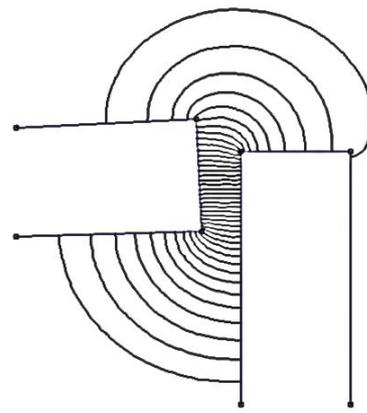
Примеры построения картины поля у шунта при различных значениях рабочего зазора



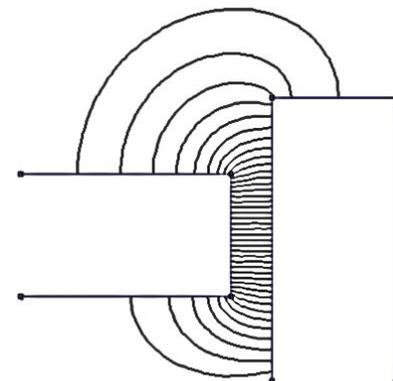
$\delta = 3,5 \text{ мм}$



$\delta = 2,5 \text{ мм}$



$\delta = 1,5 \text{ мм}$

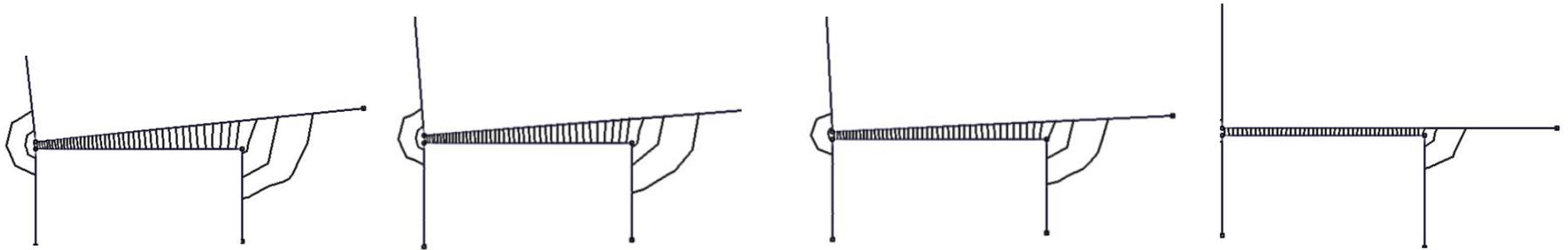


$\delta = 0,1 \text{ мм}$

Значения проводимостей:

$\delta_1, \text{ мм}$	3,5	2,5	1,5	0,1
$\Lambda_{\delta_2} \cdot 10^{-7}, \text{ Гн}$	1,276	1,833	2,564	3,098

Примеры построения картины поля у основания якоря при различных значениях рабочего зазора



$\delta = 3,5 \text{ мм}$

$\delta = 2,5 \text{ мм}$

$\delta = 1,5 \text{ мм}$

$\delta = 0,1 \text{ мм}$

Значения проводимостей:

$\delta_1, \text{ мм}$	3,5	2,5	1,5	0,1
$\Lambda_{\delta_3} \cdot 10^{-7}, \text{ Гн}$	8,16	9,272	10,654	16,994
$\Lambda_{\delta_3} \cdot 10^{-7}, \text{ Гн}$ (по упрощенной формуле)	6,236	7,63	9,562	16,59

Для рабочего зазора $\delta=3,5$ мм

$\Lambda_1=3,803 \cdot 10^{-7}$; $\Lambda_2=1,27569 \cdot 10^{-7}$ [Гн] - рабочие зазоры;
 $\Lambda_3=6,236 \cdot 10^{-7}$ [Гн] - не рабочий зазор;
 $\Lambda_{\text{п1}}=\Lambda_{\text{п2}}=2,527 \cdot 10^{-7}$ [Гн] - паразитные зазоры;
 $\Lambda_{\text{I}}=2,296 \cdot 10^{-7}$; $\Lambda_{\text{II}}=2,527 \cdot 10^{-6}$ [Гн] - проводимости нагрузки;
 $\lambda_s=5.393 \cdot 10^{-6}$ [Гн] - проводимость рассеяния.

Расчетная длина сердечника.

$$l_p = l \frac{2\Lambda_{\text{II}} + \lambda_s l}{2(\Lambda_{\text{I}} + \Lambda_{\text{II}} + \lambda_s l)}; \quad l_p = 43,978 \cdot 10^{-3} \text{ [м]}$$

Коэффициенты рассеяния на участках.

$$\sigma_0 = 1 + \frac{\lambda_s(l_p^2 - l_0^2)}{2\Lambda_{\text{I}}l_p}$$

$$\sigma_{\text{срI}} = 1 + \frac{\lambda_s l_p}{3\Lambda_{\text{I}}}$$

$$\sigma_{\text{срII}} = 1 + \frac{\lambda_s(3l_p^2 - l_0^2)}{6\Lambda_{\text{I}}l_p}$$

$$\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = \sigma_{10} = \sigma_{11} = \sigma_{12} = \sigma_{13} = \sigma_{14} = 1$$

$$\sigma_6 = \sigma_7 = \sigma_{17} = \sigma_0 = 1,507$$

$$\sigma_4 = \sigma_9 = \sigma_{15} = \sigma_{\text{срI}} = 1,344$$

$$\sigma_5 = \sigma_8 = \sigma_{16} = \sigma_{\text{срII}} = 1,513$$

Расчеты кривых намагничивания магнитной цепи.

$$\Phi_1 = \frac{F}{R_1}; \Phi_2 = \Phi_1 \frac{R_3}{R_2 + R_3}; \Phi_3 = \Phi_1 \frac{R_2}{R_2 + R_3}; \Phi_1 = 1,929 \cdot 10^{-4}; \Phi_2 = 3,276 \cdot 10^{-5}; \Phi_3 = 1,601 \cdot 10^{-4} \text{ [Вб]}$$

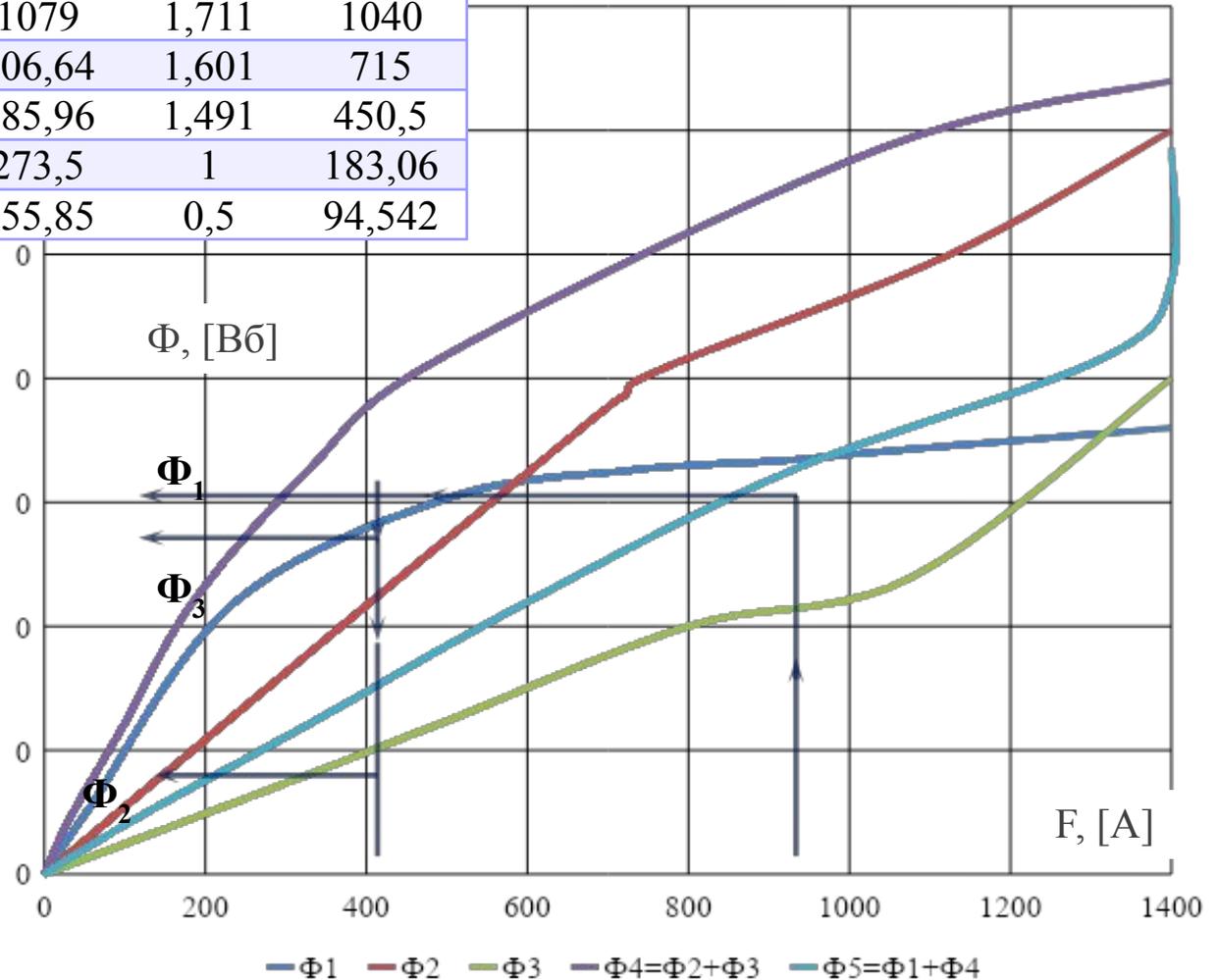
Таблица для построения кривых намагничивания:

Φ_i	№	δ_i	$\Phi_i = \delta_i \cdot \Phi_\delta$	S_i	$B_i = \Phi_i / S_i$	H_i	$l_i \times 10^{-3}$	$H_i \cdot l_i$	$\Phi_i / \Lambda_{\delta i}$	F_i
$\Phi_1 = 1,929 \cdot 10^{-4}$	1	1	$1,929 \cdot 10^{-4}$	---	---	---	---	---	506,897	720,969
	7	1,507	$2,906 \cdot 10^{-4}$	---	---	---	---	---	115,026	
	8	1,513	$2,919 \cdot 10^{-4}$	$2,011 \cdot 10^{-4}$	1,452	800	6,022	266	---	
	9	1,344	$2,593 \cdot 10^{-4}$	$2,011 \cdot 10^{-4}$	1,29	400	43,978	810	---	
	10	1	$1,929 \cdot 10^{-4}$	---	---	---	---	---	76,337	
	11	1	$1,929 \cdot 10^{-4}$	$5,726 \cdot 10^{-4}$	0,337	100	3	0,3	---	
$\Phi_2 = 3,276 \cdot 10^{-5}$	12	1	$3,276 \cdot 10^{-5}$	$1,32 \cdot 10^{-4}$	0,248	95	26,4	2,058	---	268,44
	13	1	$3,276 \cdot 10^{-5}$	---	---	---	---	---	256,766	
	14	1	$3,276 \cdot 10^{-5}$	$1,32 \cdot 10^{-4}$	0,248	95	8	0,76	---	
	15	1,344	$4,403 \cdot 10^{-5}$	$1,32 \cdot 10^{-4}$	0,334	100	43,978	4,4	---	
	16	1,513	$4,957 \cdot 10^{-5}$	$1,32 \cdot 10^{-4}$	0,376	110	6,022	0,66	---	
	17	1,213	$4,936 \cdot 10^{-5}$	$1,32 \cdot 10^{-4}$	0,374	110	30,6	3,366	---	
$\Phi_3 = 1,601 \cdot 10^{-4}$	2	1	$1,601 \cdot 10^{-4}$	$1,32 \cdot 10^{-4}$	1,213	320	30,8	9,856	---	715,36
	3	1	$1,601 \cdot 10^{-4}$	---	---	---	---	---	256,766	
	4	1,344	$2,153 \cdot 10^{-4}$	$1,32 \cdot 10^{-4}$	1,631	2600	47	122,2	---	
	5	1,513	$2,423 \cdot 10^{-4}$	$1,32 \cdot 10^{-4}$	1,836	9000	6,022	54,198	---	
	6	1,507	$2,413 \cdot 10^{-4}$	$1,32 \cdot 10^{-4}$	1,929	8900	30,6	272,34	---	

Расчет потоков.

$\Phi_1 \cdot 10^{-4}$, [Вб]	F_1 , [A]	$\Phi_2 \cdot 10^{-4}$, [Вб]	F_2 , [A]	$\Phi_3 \cdot 10^{-4}$, [Вб]	F_3 , [A]
3	2267	2	3938	1,9	1860
2,5	1125	1,3	1079	1,711	1040
2,039	768	1	806,64	1,601	715
1,929	720	0,6	485,96	1,491	450,5
1,819	675	0,3337	273,5	1	183,06
1	369,33	0,3117	255,85	0,5	94,542

Кривые намагничивания
 $\Phi_\delta = f(F)$



$$\Phi_{1\text{полн}} = 1,5 \cdot 10^{-4}$$

$$\Phi_2 = 0,35 \cdot 10^{-4}$$

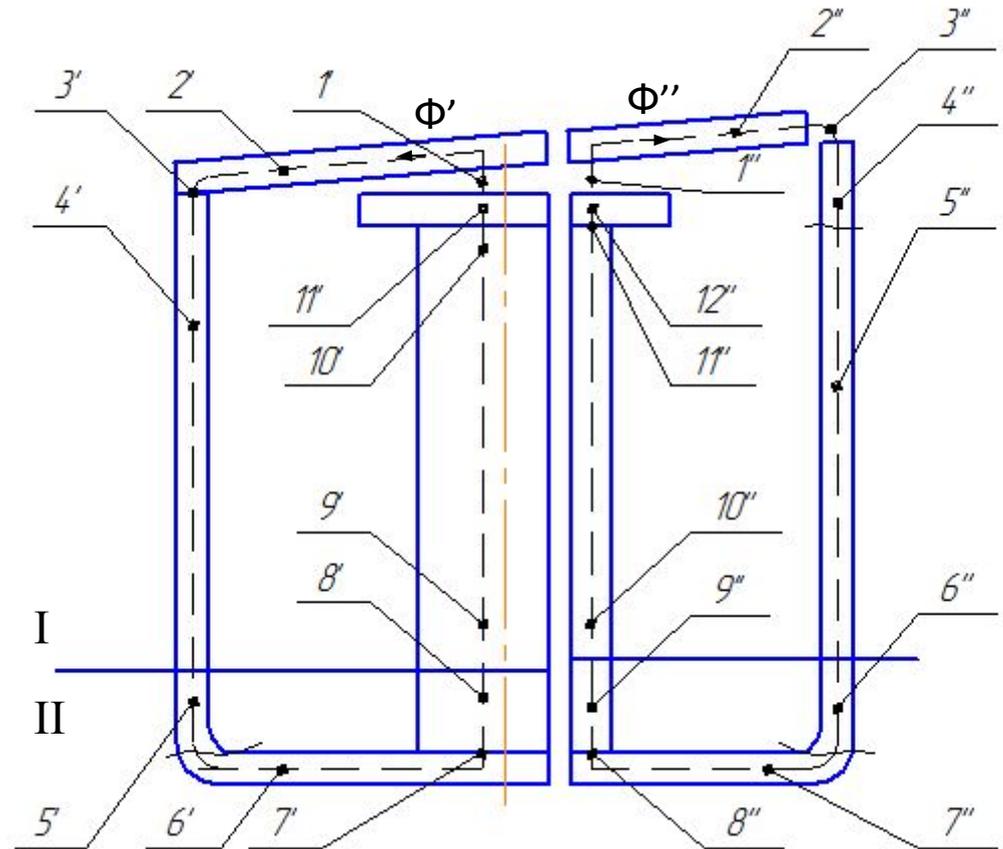
$$\Phi_3 = 1,22 \cdot 10^{-4}$$

Недостатки методики

1. Коэффициенты рассеяния для различных ветвей считаются одинаковыми.
2. Кривые намагничивания ветвей рассчитываются в различной системе координат ($\Phi=f(U_{AB})$, $\Phi=f(F)$).
3. Затруднено построение кривых намагничивания левой и правой частей скобы магнитопровода от полной МДС обмотки.
4. Требуется много графических построений.

Усовершенствованная методика расчета магнитной цепи

1. Разбиение Ш-образной магнитной цепи на две U-образные цепи.
1. Разбиение U-образных магнитных цепей на участки.
2. Расчет магнитных проводимостей и проводимостей рассеяния.
3. Определение расчетных длин сердечников U-образных магнитных цепей.
4. Расчет коэффициентов рассеяния на участках.
5. Расчеты кривых намагничивания магнитных цепей.
6. Расчет потоков.



Расчет магнитных проводимостей и проводимостей рассеяния.

$\Lambda'_{\delta 1} = \Lambda_{\delta 1} \frac{S'}{S}$; $\Lambda''_{\delta 1} = \Lambda_{\delta 1} \frac{S''}{S}$ – проводимости рабочих зазоров в левой и правой U-образных цепях соответственно;

$a = \frac{\Lambda_{\delta 3}}{\Lambda_{\delta 2}} = \frac{S'}{S''}$ – соотношение площадей сердечников;

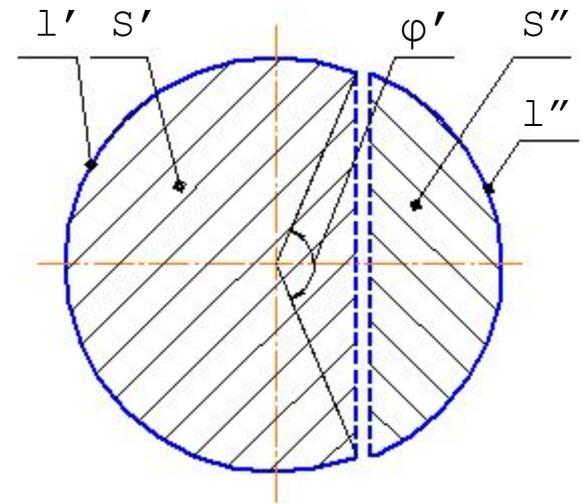
Проводимости паразитных зазоров: $\Lambda'_{п1} = \Lambda'_{п2} = \Lambda_{п1} \frac{S'}{S}$
 $\Lambda''_{п1} = \Lambda''_{п2} = \Lambda_{п1} \frac{S''}{S}$

Проводимости рассеяния: $\lambda'_S = \lambda_S \frac{l'}{l}$; $\lambda''_S = \lambda_S \frac{l''}{l}$

Проводимости нагрузки: $\frac{1}{\Lambda'_I} = \frac{1}{\Lambda'_{\delta 1}} + \frac{1}{\Lambda'_{п1}} + \frac{1}{\Lambda_{\delta 3}}$;

$$\frac{1}{\Lambda''_I} = \frac{1}{\Lambda''_{\delta 1}} + \frac{1}{\Lambda''_{п1}} + \frac{1}{\Lambda_{\delta 2}}$$

$$\Lambda'_{II} = \Lambda'_{п2} \quad \Lambda''_{II} = \Lambda''_{п2}$$



Для рабочего зазора $\delta=3,5$ мм

$\Lambda'_{\delta 1} = 3,289 \cdot 10^{-7}$; $\Lambda''_{\delta 1} = 0,514 \cdot 10^{-7}$ [Гн] – проводимости рабочих зазоров в левой и правой цепях;

$\Lambda_{\delta 3} = 8,16 \cdot 10^{-7}$; $\Lambda_{\delta 2} = 1,276 \cdot 10^{-7}$ [Гн] – дополнительные зазоры;

$\Lambda'_{\Pi 1} = \Lambda'_{\Pi 2} = 21,85 \cdot 10^{-7}$; $\Lambda''_{\Pi 1} = \Lambda''_{\Pi 2} = 3,417 \cdot 10^{-7}$ [Гн] – паразитные зазоры;

$a = \frac{\Lambda_{\delta 3}}{\Lambda_{\delta 2}} = \frac{S'}{S''} = 6,395$; $S' = 173,9 \cdot 10^{-6}$; $S'' = 27,19 \cdot 10^{-6}$ [м²] – площади сердечников;

$l' = 35,713 \cdot 10^{-3}$; $l'' = 14,552 \cdot 10^{-3}$ [м] – длины дуг сердечников;

$\lambda'_S = 3,832 \cdot 10^{-6}$; $\lambda''_S = 1,561 \cdot 10^{-6}$ [Гн] – проводимости рассеяния;

$\Lambda'_I = 2,117 \cdot 10^{-7}$; $\Lambda'_{II} = 21,85 \cdot 10^{-7}$; $\Lambda''_I = 0,331 \cdot 10^{-7}$; $\Lambda''_{II} = 3,417 \cdot 10^{-7}$ [Гн] – проводимости нагрузки.

Расчетные длины сердечников U-образных магнитных цепей.

$$l'_p = 1 \cdot \frac{2\Lambda'_{II} + 1 \cdot \lambda'_S}{2\Lambda'_I + \Lambda'_{II} + 1 \cdot \lambda'_S}; \quad l'_p = 44,06 \cdot 10^{-3} \text{ [м]}$$
$$l'_0 = 5,94 \cdot 10^{-3} \text{ [м]}$$

$$l''_p = 1 \cdot \frac{2\Lambda''_{II} + 1 \cdot \lambda''_S}{2\Lambda''_I + \Lambda''_{II} + 1 \cdot \lambda''_S}; \quad l''_p = 42,035 \cdot 10^{-3} \text{ [м]}$$
$$l''_0 = 7,965 \cdot 10^{-3} \text{ [м]}$$

Расчет коэффициентов рассеяния на участках.

$$\sigma'_0 = 1 + \frac{\lambda'_S \cdot (l'_p{}^2 - l'_0{}^2)}{2 \cdot \Lambda'_I \cdot l'_p}$$

$$\sigma'_{\text{cpI}} = 1 + \frac{\lambda'_S \cdot l'_p}{3 \cdot \Lambda'_I}$$

$$\sigma'_{\text{cpII}} = 1 + \frac{\lambda'_S \cdot (3 \cdot l'_p{}^2 - l'_0{}^2)}{6 \cdot \Lambda'_I \cdot l'_p}$$

$$\sigma_1' = \sigma_2' = \sigma_3' = \sigma_{10}' = \sigma_{11}' = 1$$

$$\sigma_6' = \sigma_7' = \sigma_0' = 1,392$$

$$\sigma_4' = \sigma_9' = \sigma_{\text{cpI}}' = 1,266$$

$$\sigma_5' = \sigma_8' = \sigma_{\text{cpII}}' = 1,396$$

$$\sigma''_0 = 1 + \frac{\lambda''_S \cdot (l''_p{}^2 - l''_0{}^2)}{2 \cdot \Lambda''_I \cdot l''_p}$$

$$\sigma''_{\text{cpI}} = 1 + \frac{\lambda''_S \cdot l''_p}{3 \cdot \Lambda''_I}$$

$$\sigma''_{\text{cpII}} = 1 + \frac{\lambda''_S \cdot (3 \cdot l''_p{}^2 - l''_0{}^2)}{6 \cdot \Lambda''_I \cdot l''_p}$$

$$\sigma_1'' = \sigma_2'' = \sigma_3'' = \sigma_4'' = \sigma_{11}'' = \sigma_{12}'' = 1$$

$$\sigma_7'' = \sigma_8'' = \sigma_0'' = 1,956$$

$$\sigma_5'' = \sigma_{10}'' = \sigma_{\text{cpI}}'' = 1,661$$

$$\sigma_6'' = \sigma_9'' = \sigma_{\text{cpII}}'' = 1,979$$

Расчеты кривых намагничивания магнитных цепей.

$$\Phi_3 = \Phi' = F \cdot \Lambda'_1 = 1,778 \cdot 10^{-4} [\text{Вб}]$$

Таблица для построения кривой намагничивания:

Φ	№	σ_i	$\Phi_i \cdot 10^{-4}$	$S_i \cdot 10^{-6}$	$B_i = \Phi_i / S_i$	H_i	$l_i \cdot 10^{-3}$	$H_i \cdot l_i$	$\Phi \delta_i / \Lambda \delta_i$	F
$\Phi' = 1,778 \cdot 10^{-4}$	1'	1	1,778	-	-	-	-	-	540,7	1718,3
	2'	1	1,778	132	1,347	500	39,13	19,565	-	
	3'	1	1,778	-	-	-	-	-	217,9	
	4'	1,266	2,251	132	1,71	4800	44,06	211,488	-	
	5'	1,396	2,483	132	1,881	12500	5,94	74,25	-	
	6'	1,392	2,474	132	1,875	12300	35,51	436,773	-	
	7'	1,392	2,474	-	-	-	-	-	113,2	
	8'	1,396	2,483	173,9	1,428	800	5,94	4,752	-	
	9'	1,266	2,251	173,9	1,295	420	44,06	18,5	-	
	10'	1	1,778	-	-	-	-	-	81,384	
	11'	1	1,778	495,1	0,359	110	3	0,33	-	

$$\Phi_2 = \Phi'' = F \cdot \Lambda_1'' = 2,781 \cdot 10^{-5} [\text{Вб}]$$

Таблица для построения кривой намагничивания:

Φ	№	σ_i	$\Phi_i \cdot 10^{-4}$	$S_i \cdot 10^{-6}$	$B_i = \Phi_i / S_i$	H_i	$l_i \cdot 10^{-3}$	$H_i \cdot l_i$	$\Phi \delta_i / \Lambda \delta_i$	F
$\Phi'' = 2,781 \cdot 10^{-5}$	1"	1	2,781	-	-	-	-	-	540,7	1343,7
	2"	1	2,781	132	0,211	87	18,07	1,566	-	
	3"	1	2,781	-	-	-	-	-	217,9	
	4"	1	2,781	132	0,211	87	5	0,435	-	
	5"	1,661	4,618	132	0,35	105	42,035	4,41	-	
	6"	1,979	5,504	132	0,417	115	7,965	0,9	-	
	7"	1,956	5,438	132	0,412	113	25,7	2,9	-	
	8"	1,956	5,438	-	-	-	-	-	159,16	
	9"	1,979	5,504	272	2,024	19800	7,965	157,7	-	
	10"	1,956	4,618	27,2	1,699	4200	42,035	176,4	-	
	11"	1	2,781	-	-	-	-	-	81,38	
	12"	1	2,781	77,42	0,359	105	3	0,315		

Расчет потоков.

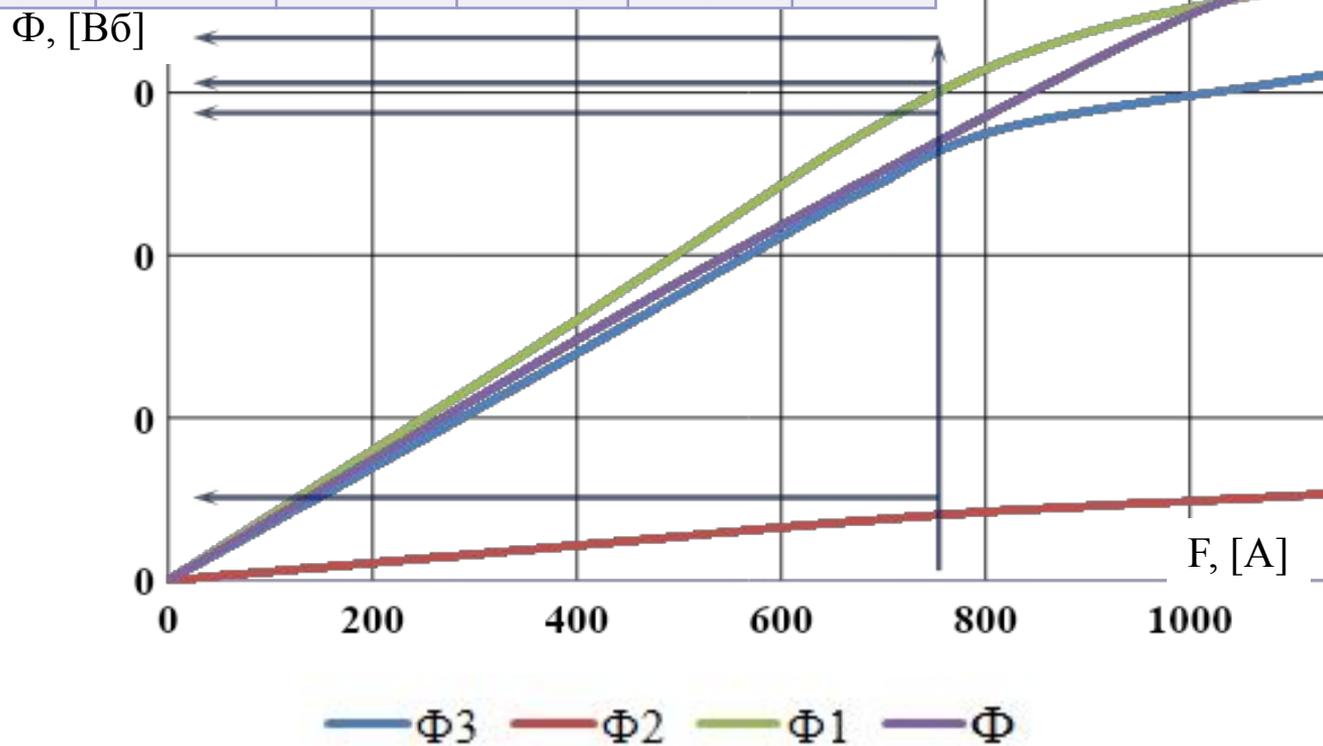
$\Phi_3 \cdot 10^{-4}$, [Вб]	F_3 , [A]	$\Phi_2 \cdot 10^{-4}$, [Вб]	F_2 , [A]	$\Phi_1 \cdot 10^{-4}$, [Вб]	F_1 , [A]	$\Phi \cdot 10^{-4}$, [Вб]	F , [A]
0,6	344,4	0,1	372,34	0,8	400	0,74	400
1	568	0,2	747,45	1,41	700	1,26	700
1,4	830	0,25	1040	1,69	900	1,74	1000
1,6	1243,3	0,27	1343,7	1,9	1300	1,95	1200
1,78	1718	0,3	1731	2,07	1710	2,22	1500

$$\Phi_1 = 1,63 \cdot 10^{-4} \text{ [Вб]}$$

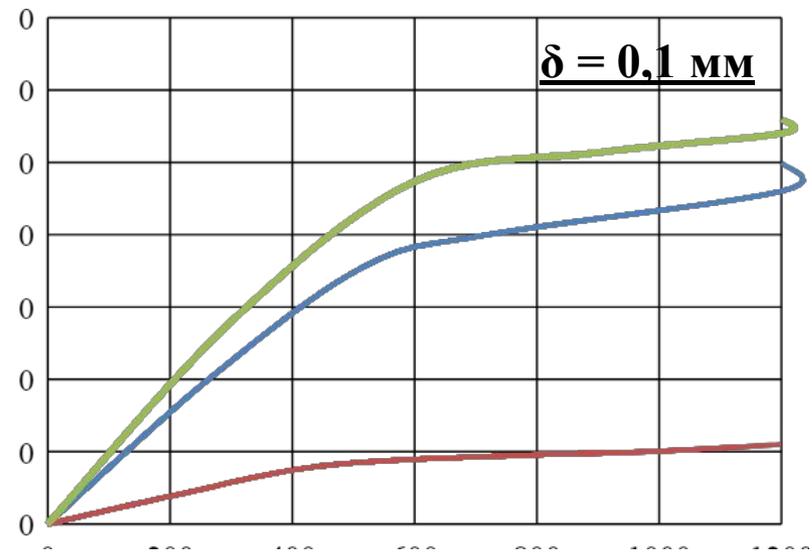
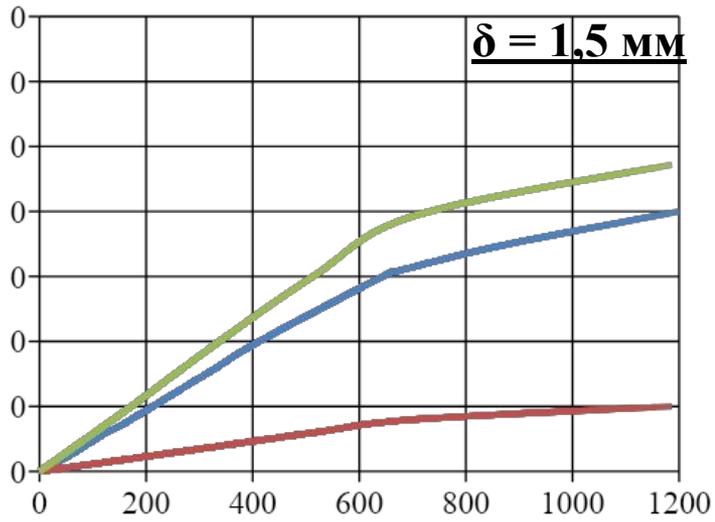
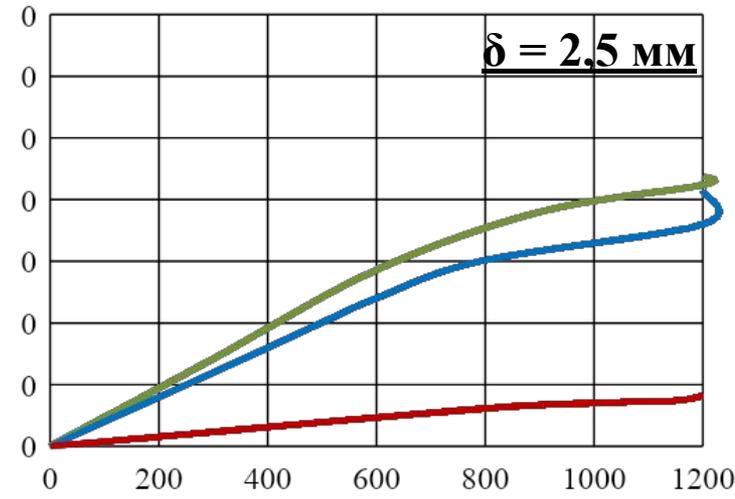
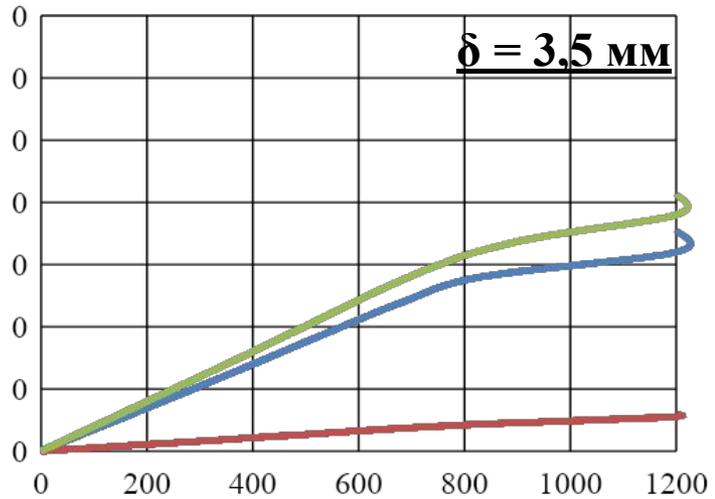
$$\Phi_2 = 0,22 \cdot 10^{-4} \text{ [Вб]}$$

$$\Phi_3 = 1,41 \cdot 10^{-4} \text{ [Вб]}$$

$$\Phi = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ [Вб]}$$

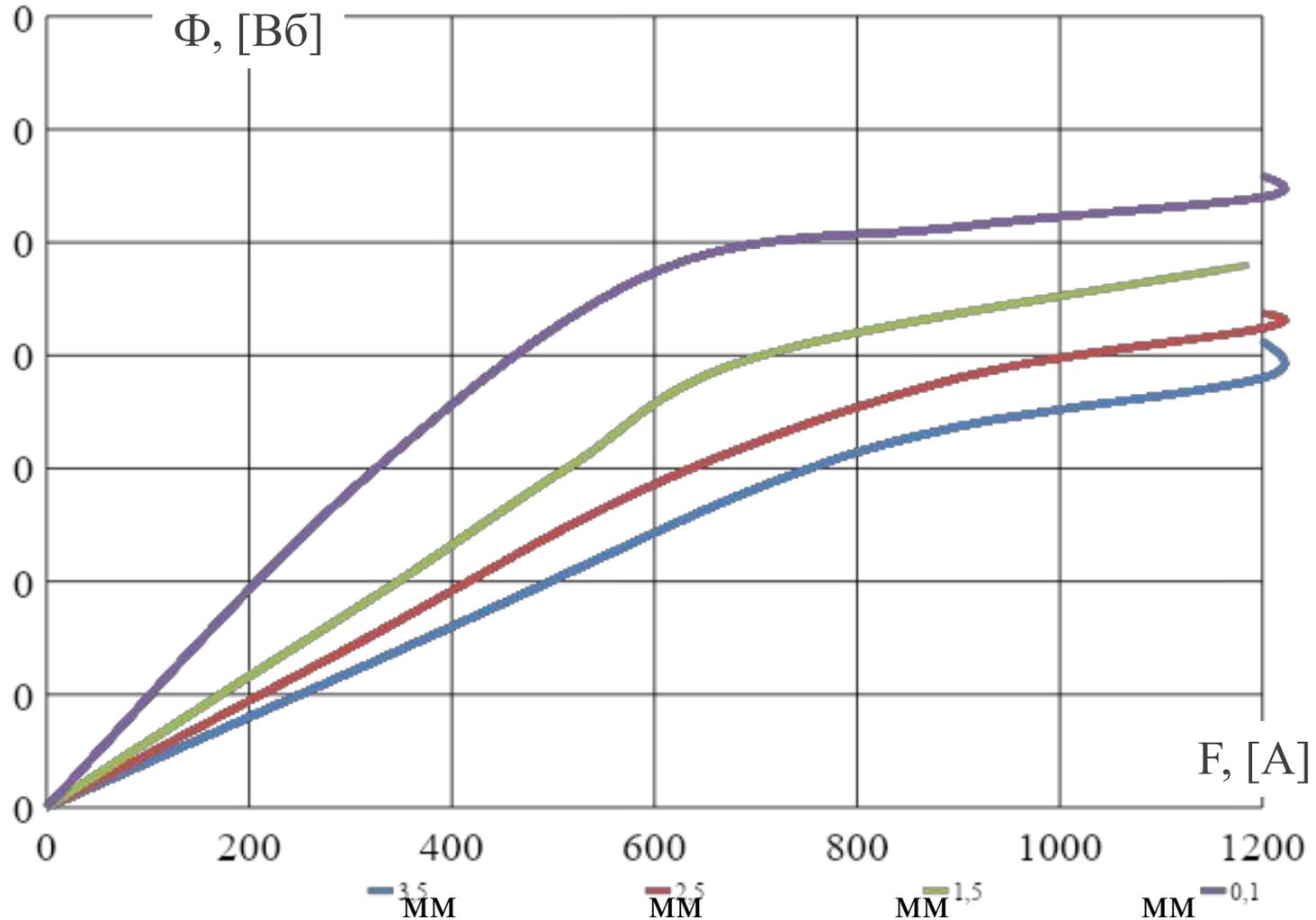


Кривые намагничивания для различных зазоров

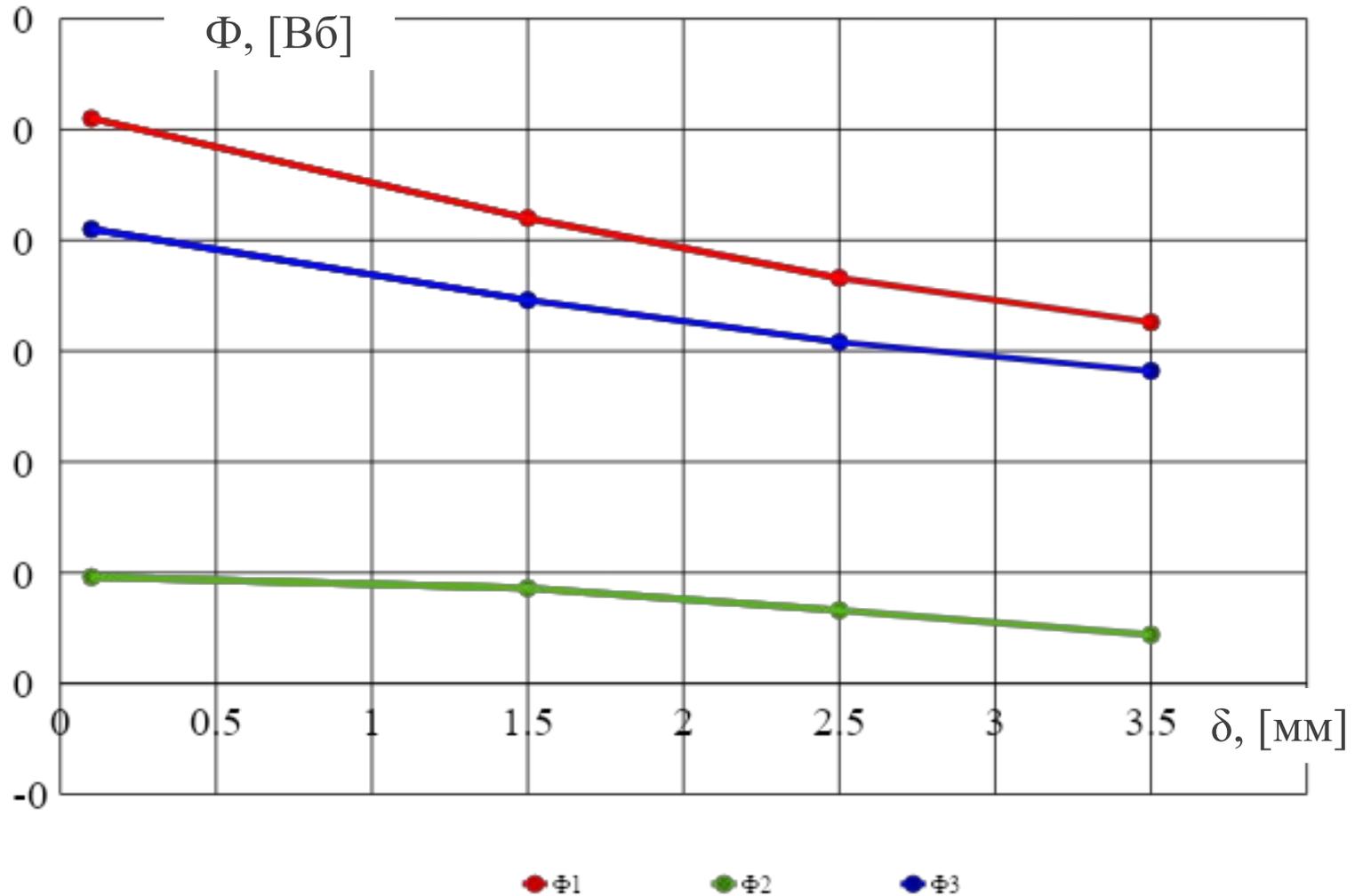


— Φ_3 — Φ_2 — Φ_1

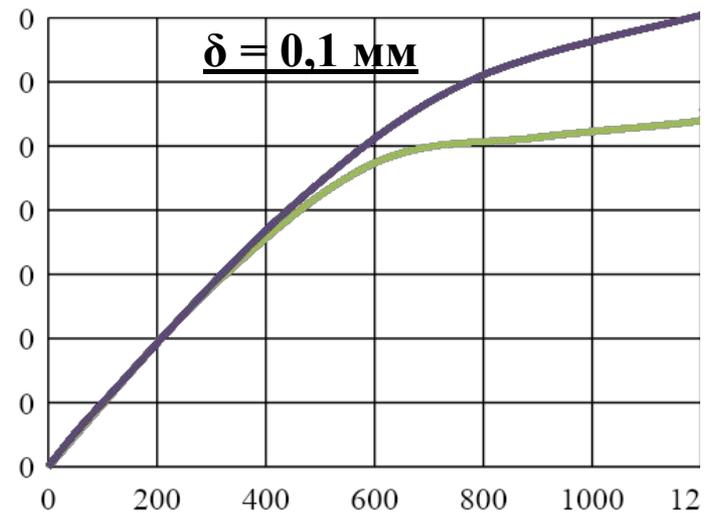
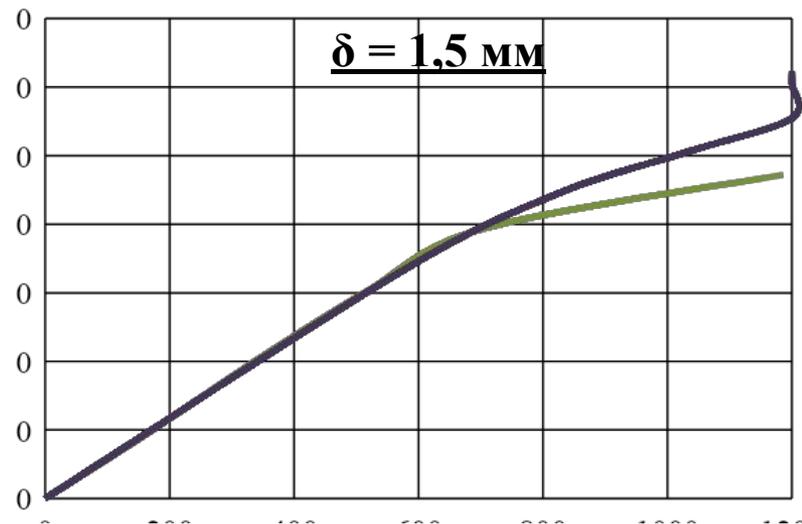
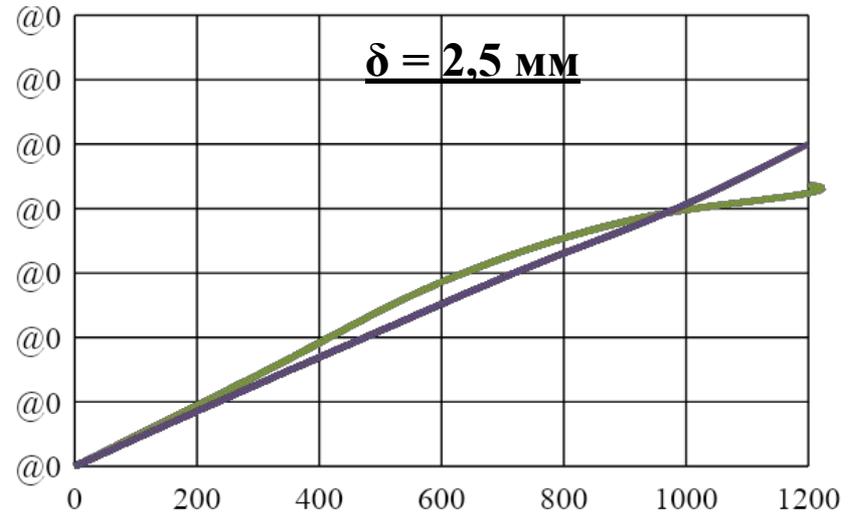
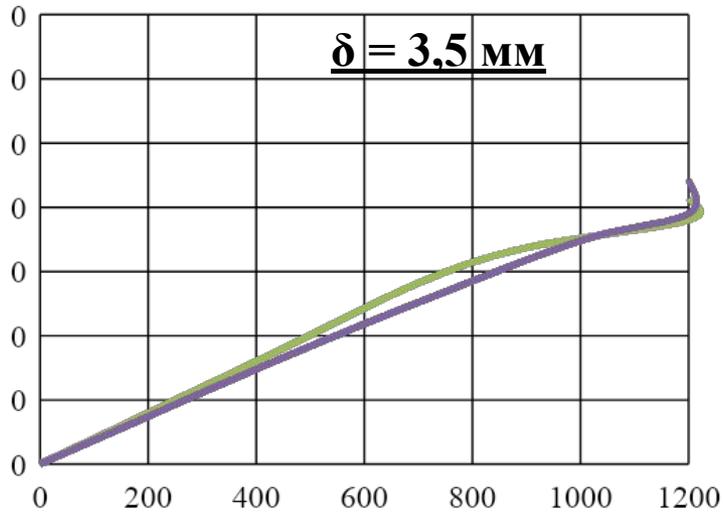
Кривые намагничивания по усовершенствованной методике для различных зазоров



Влияние длины зазора на магнитные потоки



Сравнение результатов расчетов по различным методикам



— Φ_1 — Φ

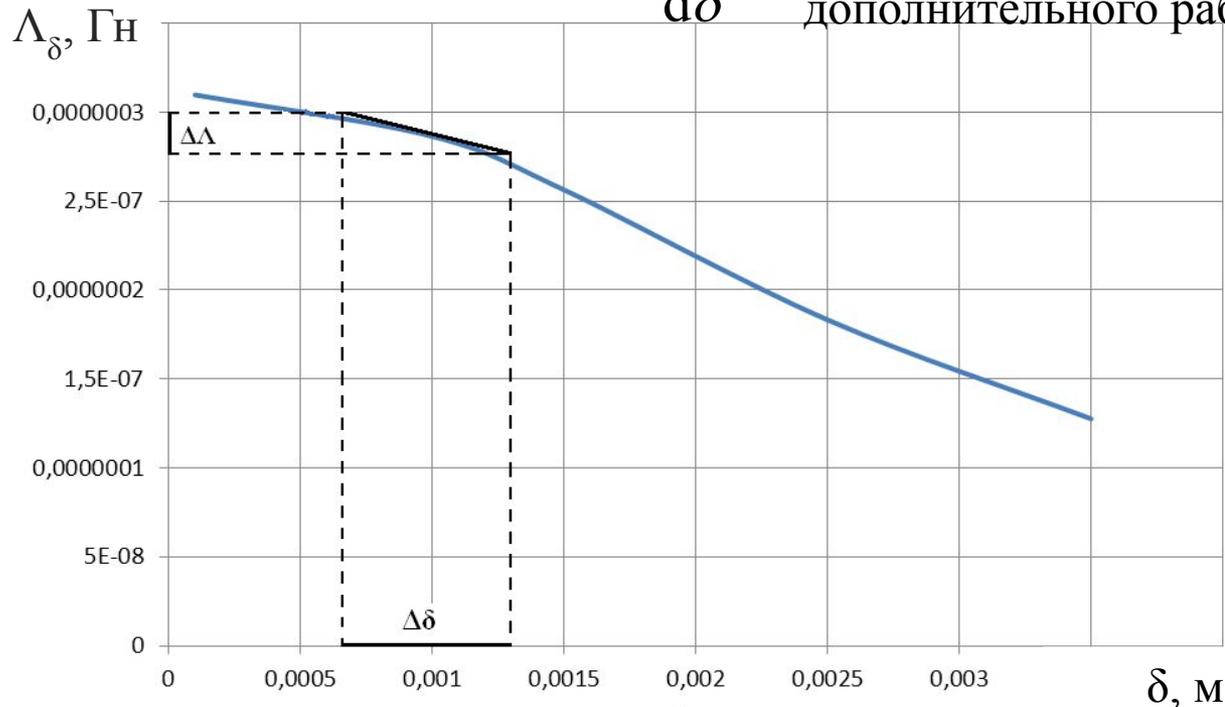
Исследование влияния магнитного шунта на электромагнитное усилие в дополнительном рабочем зазоре

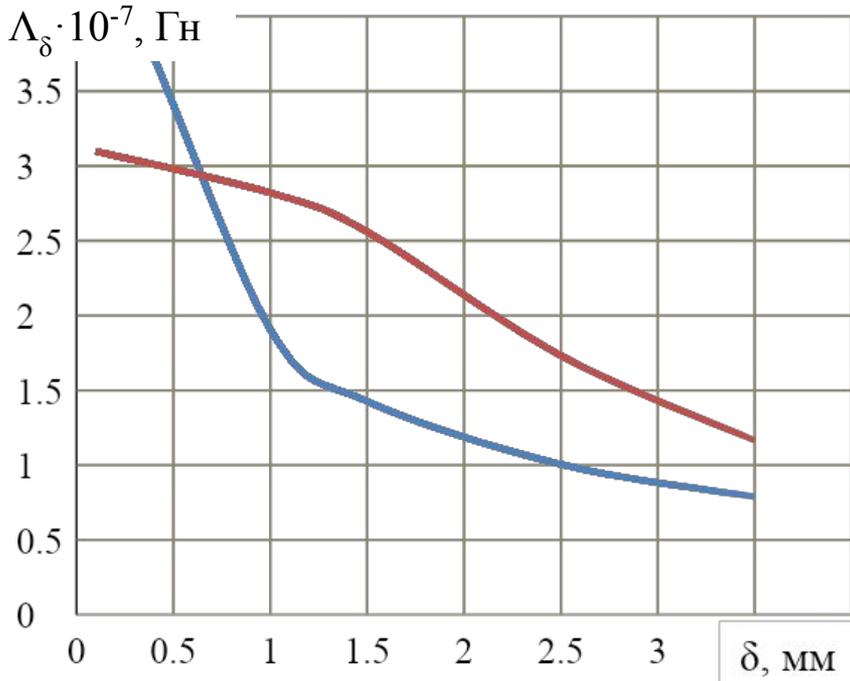
$$P = -\frac{1}{2} \cdot F_{\delta}^2 \cdot \frac{d\Lambda_{\delta}}{d\delta}; \quad F_{\delta} = \frac{\Phi_{\delta}}{\Lambda_{\delta}} \text{ — значение падения магнитного потенциала,}$$

приходящегося на дополнительный рабочий зазор;

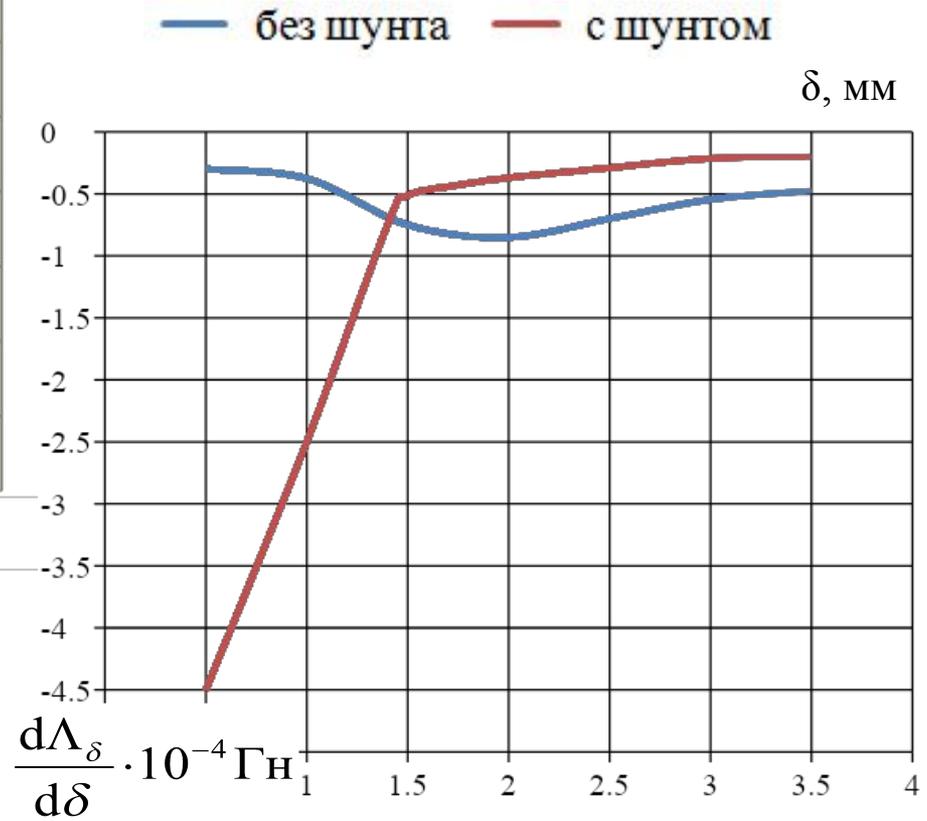
$$\frac{d\Lambda_{\delta}}{d\delta} \text{ — производная проводимости по длине}$$

дополнительного рабочего зазора



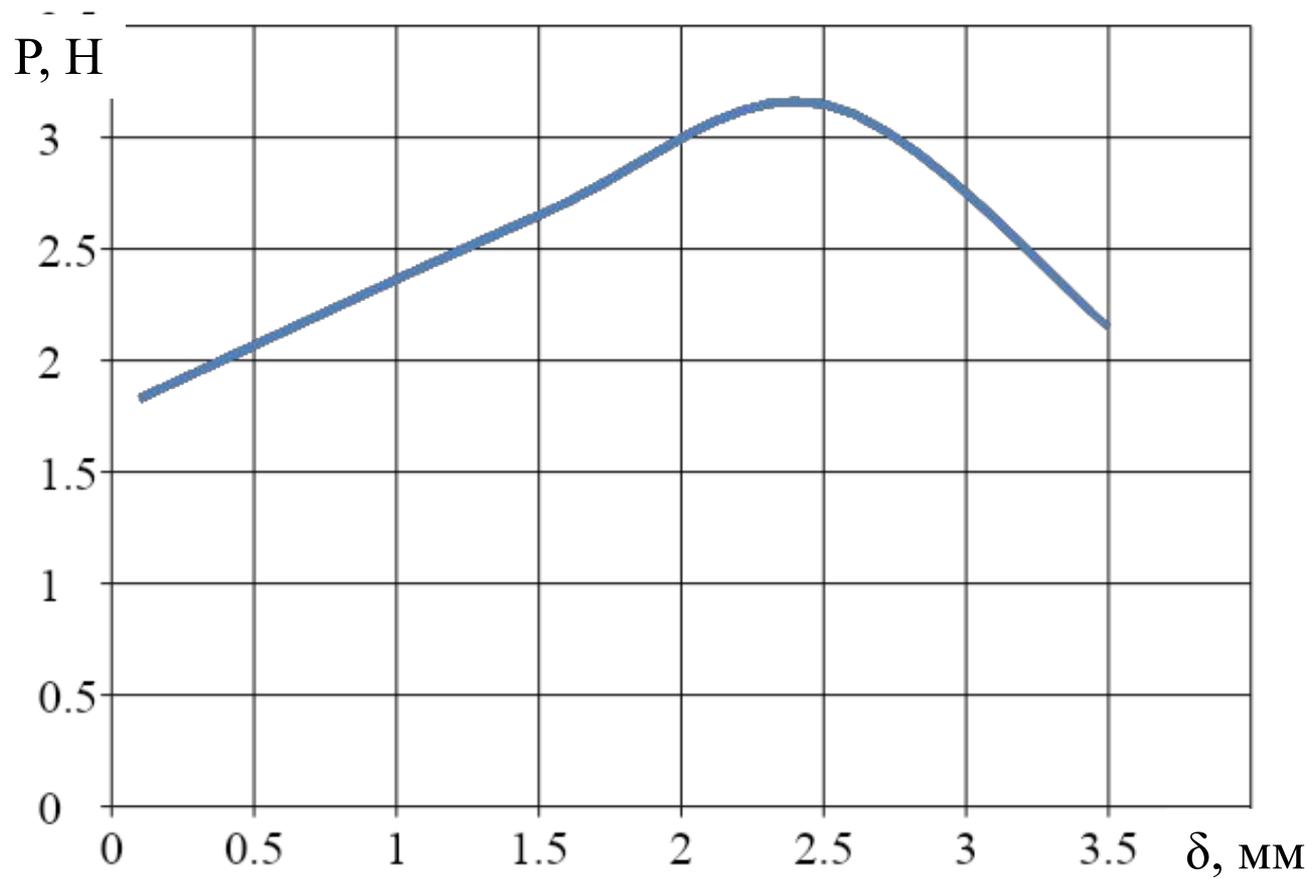


Зависимость проводимости без шунта и с шунтом от величины зазора.



Зависимость производной проводимости без шунта и с шунтом по величине зазора.

Тяговое усилие в дополнительном рабочем зазоре с шунтом



Выводы:

- 1. Разработана усовершенствованная методика несимметричной разветвленной Ш-образной магнитной цепи;**
- 2. Приведены примерные расчеты магнитной цепи с известными геометрическими размерами;**
- 3. Произведен анализ результатов магнитной цепи по различным методикам;**
- 4. Исследована электромагнитная сила в дополнительном рабочем зазоре электромагнита с шунтом;**
- 5. Разработанная методика более точно учитывает характер распределения магнитного потока по участкам магнитной цепи и является менее трудоемкой.**



**Спасибо за
внимание!**