

## SHIP UNLOADER STRUCTURE FATIGUE DAMAGE ANALYSIS AND RESIDUAL LIFE ASSESSMENT USING MAGNETIC (COERCIVE FORCE) NONDESTRUCTIVE TEST METHOD

**Lehetska I. P.**

### INTRODUCTION

To assess the stress-strain state of the elements of the metal structure of a ship loader, the method of magnetic (coercimetric) control using a magnetic structuroscope is used. The quantitative criteria for assessing the state of a metal structure are the maximum values of the coercive force in the elements of lifting structures. An increase in the coercive force compared to the initial value indicates an increase in residual internal stresses and strains. With the transition to the elastic-plastic state, the metal begins to lose the plasticity margin, which is finally exhausted at the stage of softening and transition to fracture. All obtained and processed results of magnetic structuroscopy testify to the complex stressed state of the shiploader metal structure. The metal structure of the shiploader is made of steel (St 38-b2) for which there is not yet a sufficient experimental basis for changing the coercive force during fatigue tests. Because Since magneto-coercive non-destructive testing of the metal structure of a shiploader has not been carried out before, it is impossible to establish the dynamics of the growth of the coercive force.

### 1. Method brief introduction

To assess the stress-strain state of the elements of the metal structure of the shiploader, the method of magnetic (coercimetric) control was used using a magnetic structuroscope KRM-Ts-K2M (manufacturer No. 883) in accordance with <sup>12</sup>. The entire predicted life of a lifting structure (SS) can be divided into stages according to the degree of accumulation of residual

---

<sup>1</sup> ГОСТ 30415-96 Сталь «Неразрушающий контроль механических свойств и микроструктуры металлоконструкций магнитным методом». (Steel mechanical properties and microstructure controlling using magnetic method)

<sup>2</sup> МВ 0.00-7.01-05. Методичні вказівки з проведення магнітного контролю напружено-деформованого стану металлоконструкцій підйомних споруд та визначення їх залишкового ресурсу. Харків, 2005. (Magnetic control of the material handling machine metal structure stress-strain state.)

deformations and microdamages in the most loaded elements of metal structures. In <sup>3</sup>, three operating modes are provided:

I – safe mode operation, when  $H^c_{\max} \ll H^c_T$ . For this case the minimal fatigue damage is accumulated in the material.

II – under control operation mode, when  $H^c_{\max} \leq H^c_T$ , For this case the fatigue damage accumulated in the material has already reached its significant value but is not a critical one.

For structures operating in «under control» mode it is necessary to fulfill:

perform frequent (on a daily basis) visual checking of the areas;

during structural surveys perform magnetic (coercive force) control for damage accumulation process monitoring .

III – critical operation mode, when some structure elements have their coercive force values are close to the maximal permissible value.

For structures operating in critical mode it is necessary to fulfill:

because of the very high risk of failure it is recommended to make reinforcement of the elements with the coercive force values that are higher than  $H^c_{\max} \geq 0,9 H^c_T$  ;

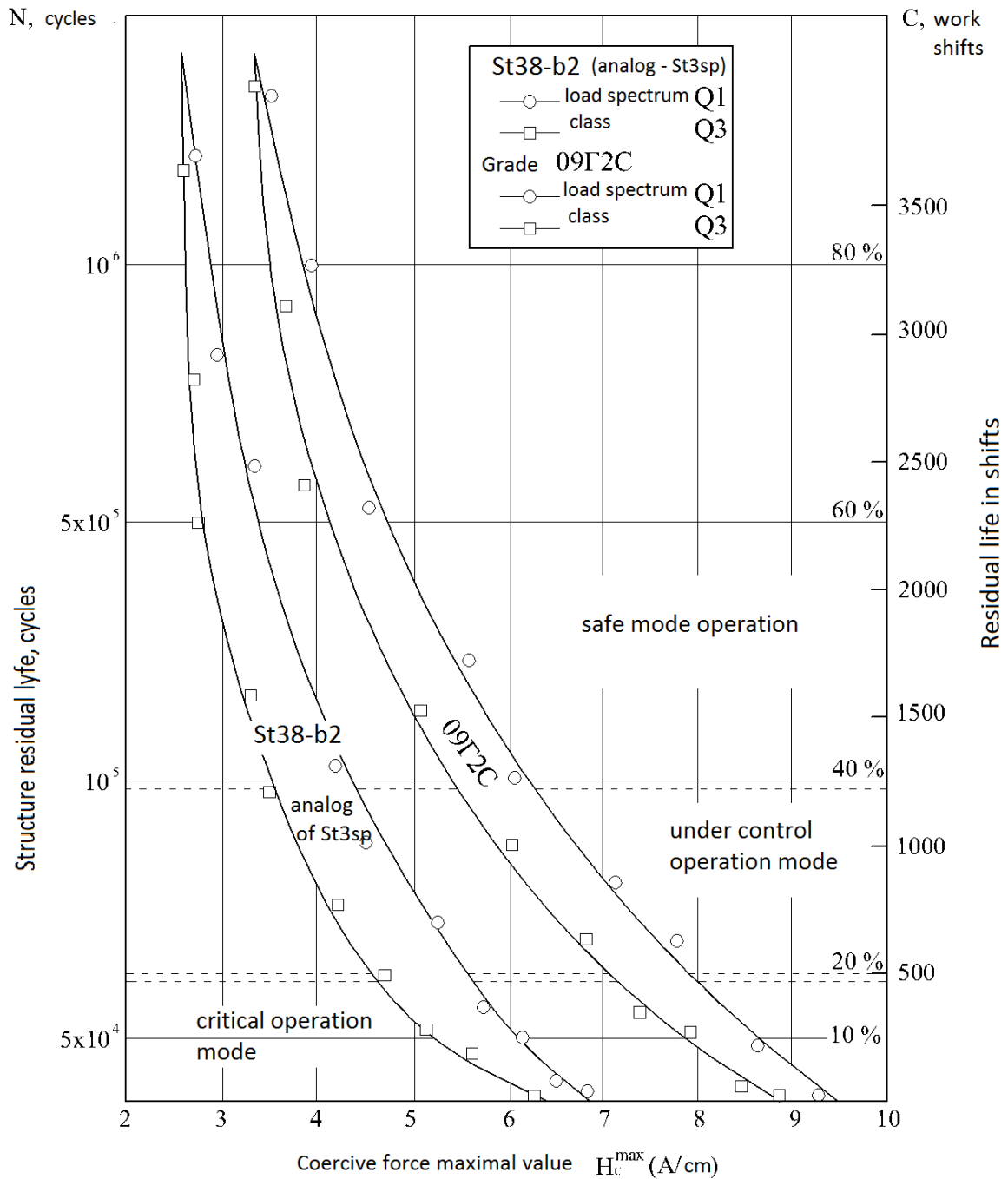
eliminate the structure overloading possibility;

perform next structural survey not later than in 1 year;

As soon as the Ship Unloader is the conveyor based machine so only the information about operating mode and residual life in % (fig. 1) has been taken based on measured coercive force values.

---

<sup>3</sup> МВ 0.00-7.01-05. Методичні вказівки з проведення магнітного контролю напружено-деформованого стану металокопструкцій підйомних споруд та визначення їх залишкового ресурсу. Харків, 2005. (Magnetic control of the material handling machine metal structure stress-strain state.)



**Fig. 1. Graphic chart of the dependence between coercive force  $H_c$  (A/cm) and residual life in cycles**

The analog of the German grade St38-b2 is St3sp GOST 380-2005 (СТ3СП ГОСТ 380-2005). Mile stone values of coercive force for different operation modes are shown in table 1.

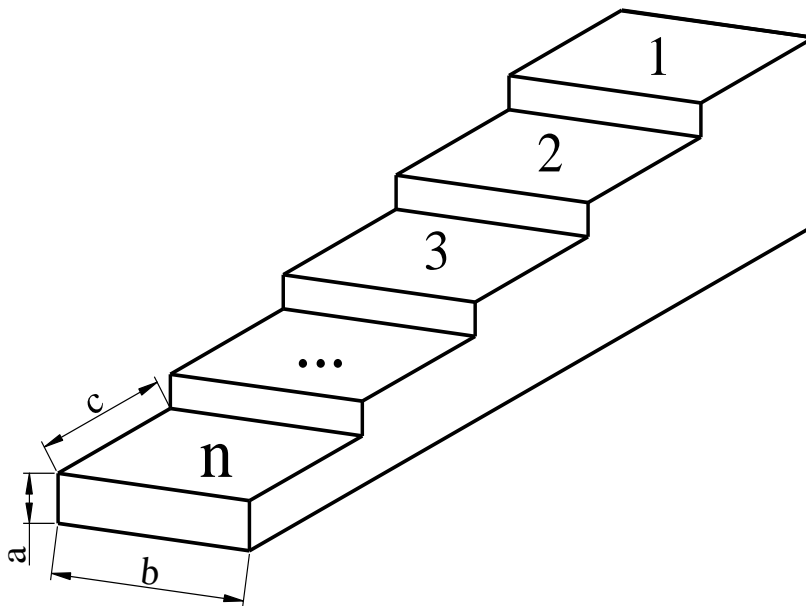
To solve the problem of the coercive force measurement for elements with different thickness the recalculation to the equivalent thickness methodology has been used. It uses measurements at samples with a

stepwise changing cross-sections with known mechanical properties, chemical composition of the metal microstructure and the values of coercive force of each sample (figure 2).

Table 1

**Mile stone values of coercive force for 8 mm plate from St3sp GOST 380-2005 for different operation modes**

Grade	Safe mode operation	Under control operation mode	Critical operation mode
St3sp	2,5 – 4,5 A/cm	4,6 – 5,5 A/cm	Higher then 5,6 A/cm



**Fig. 2. Sample with a stepwise changing cross-section**

Based on the coercive measurement for shown above stepwise sample the coercive force – material thickness dependence for grade St3sp has been obtained (fig 3., and its analytical equation (1)

The relation of the coercive force from the material thickness as follows:

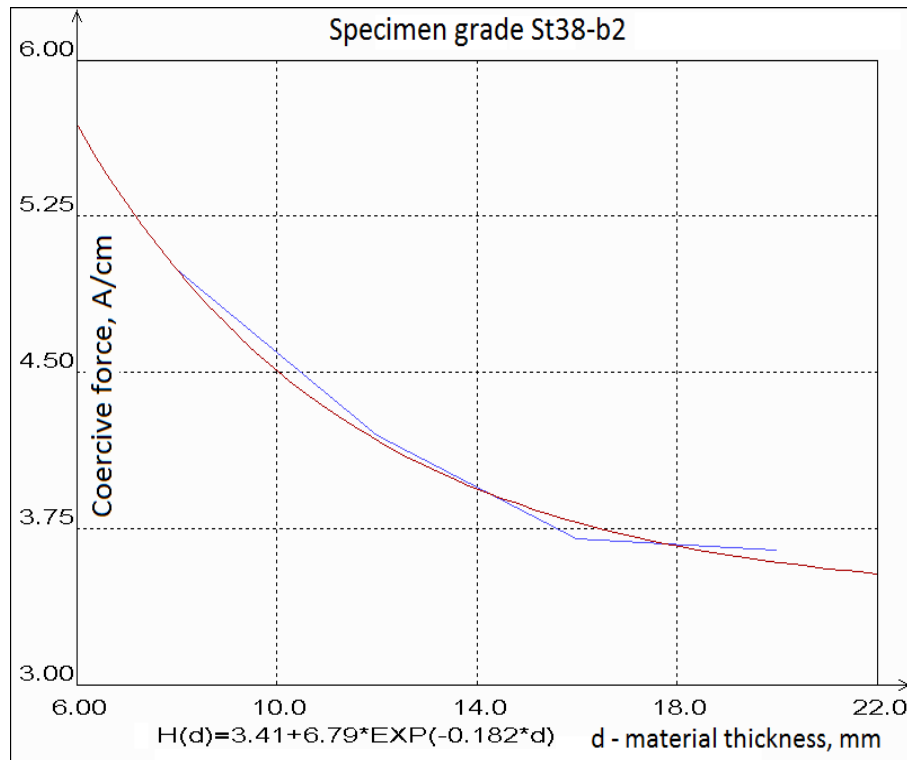
$$H_c^o(d) = A + B \cdot \exp(C \cdot d) \quad (1)$$

where  $H_c^o$ , A/cm – coercive force value ;

$A, B, C$  – coefficients;

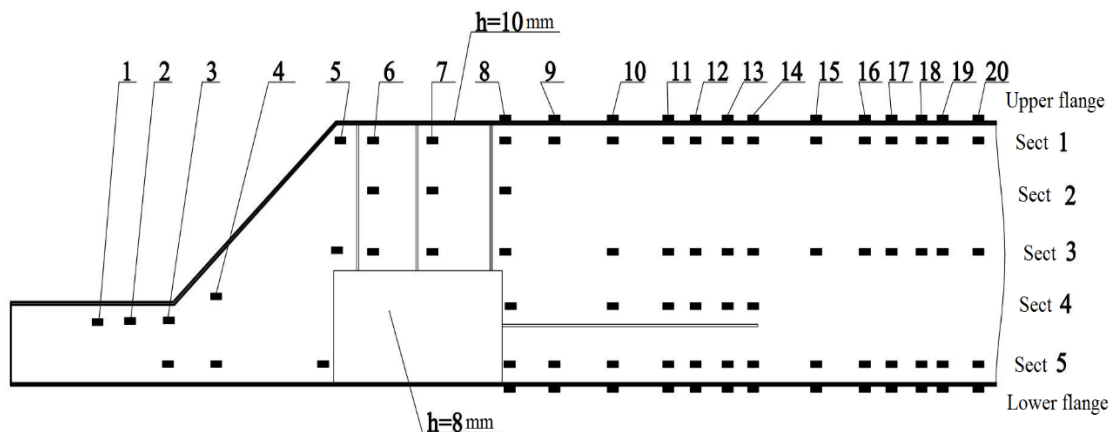
$d$ , mm – particular section thickness.

$$H_c(d) = 3,14 + 6,79 \cdot \exp(-0,182 \cdot d) \quad (2)$$



**Fig. 3. Coercive force measured value ( $H_c$ , A/cm) from material thickness ( $d$ , mm) dependence for grade St 38-b2**

**2. The results for the ship unloader structural survey based on coercive force parameter**



**Fig. 4. Coercive force measurements for moving out boom head (view from the left)**

Table 2  
**Coercive force measurements ( $H_C$ , A/cm) for moving out boom head structure, view from the left**

Section number	Coercive force value $H_c$ , A/cm																			
	№.№ points																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Upper flange									6,1	6,3	6,3	6,1	6,0	5,7	5,7	4,9		5,2	4,8	5,3
1					6,6	6,5	6,0	5,3	5,7	4,6	3,9	5,3	3,6	4,9	5,7	6,6	7,1	6,1	4,4	4,7
2						5,7	5,4	5,9												
3					6,9	4,3	5,3	6,6	3,7	4,0	3,4	4,0	3,6	3,9	6,0	4,6	5,1	4,1	4,1	4,8
4	5,4	5,9	6,6	5,3				4,3	4,6	5,6	5,0	4,5	6,3	5,0						
5			5,4	5,8	5,2				4,2						6,3	7,2	6,5	6,2	6,7	6,9
Lower flange								6,9	6,9	7,1	6,6	7,1		7,3	7,0	6,5	4,9	5,5	5,2	5,8

Table 3  
**Recalculated values of the coercive force ( $H_C$ , A/cm) for moving out boom head structure, view from the left**

Section number	Coercive force value $H_c$ , A/cm																			
	№.№ points																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Upper flange									6,6	6,8	6,8	6,6	6,5	6,2	6,2	5,4		5,7	5,3	5,8
1					6,6	6,5	6,0	5,3	5,7	4,6	3,9	5,3	3,6	4,9	5,7	6,6	7,1	6,1	4,4	4,7
2						5,7	5,4	5,9												
3					6,9	4,3	5,3	6,6	3,7	4,0	3,4	4,0	3,6	3,9	6,0	4,6	5,1	4,1	4,1	4,8
4	5,4	5,9	6,6	5,3				4,3	4,6	5,6	5,0	4,5	6,3	5,0						
5			5,4	5,8	5,2				4,2						6,3	7,2	6,5	6,2	6,7	6,9
Lower flange								7,4	7,4	7,6	7,1	7,6		7,8	7,5	7,0	5,4	6,0	5,7	6,3

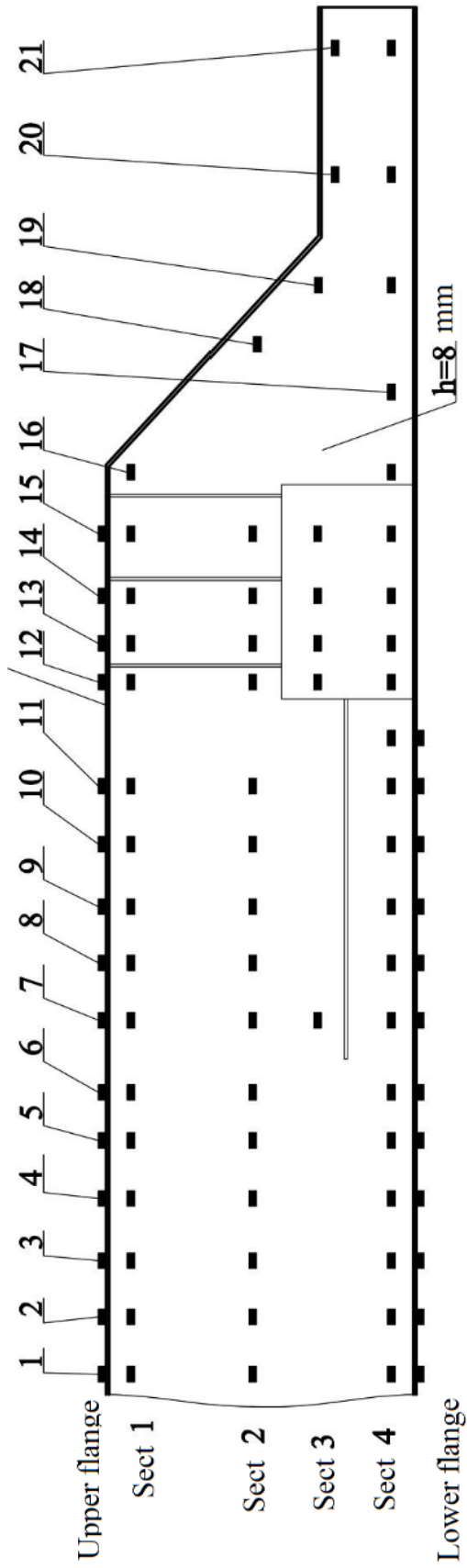


Fig. 5. Coercive force measurements for moving out boom head (view from the right)





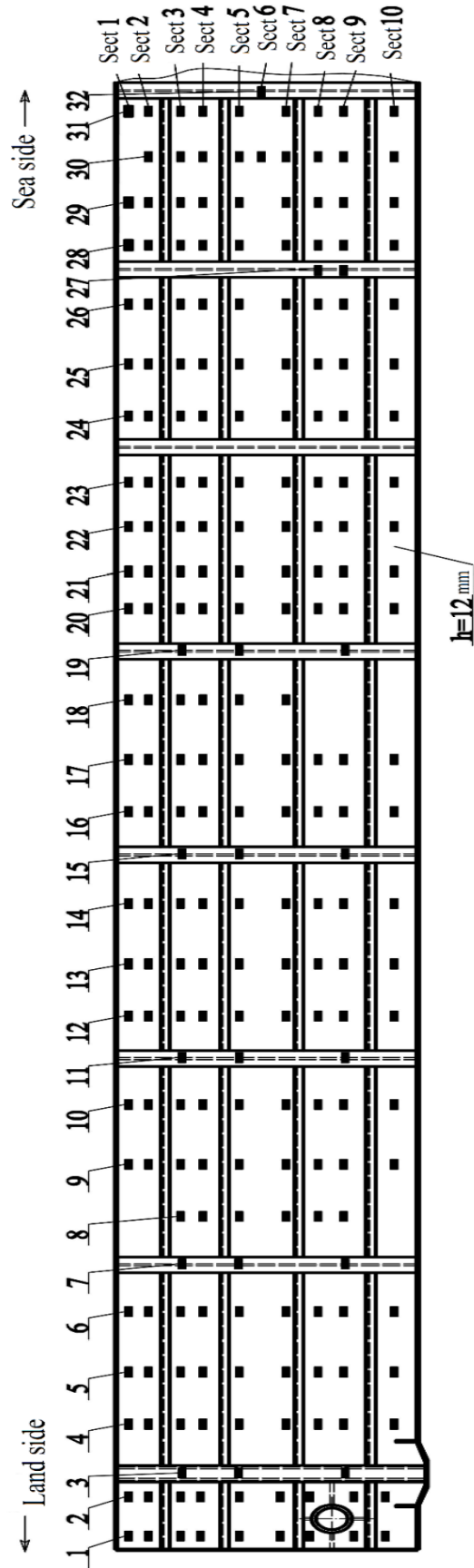


Fig. 6. Coercive force measurements for rocker boom section (view from the left)

Table 6

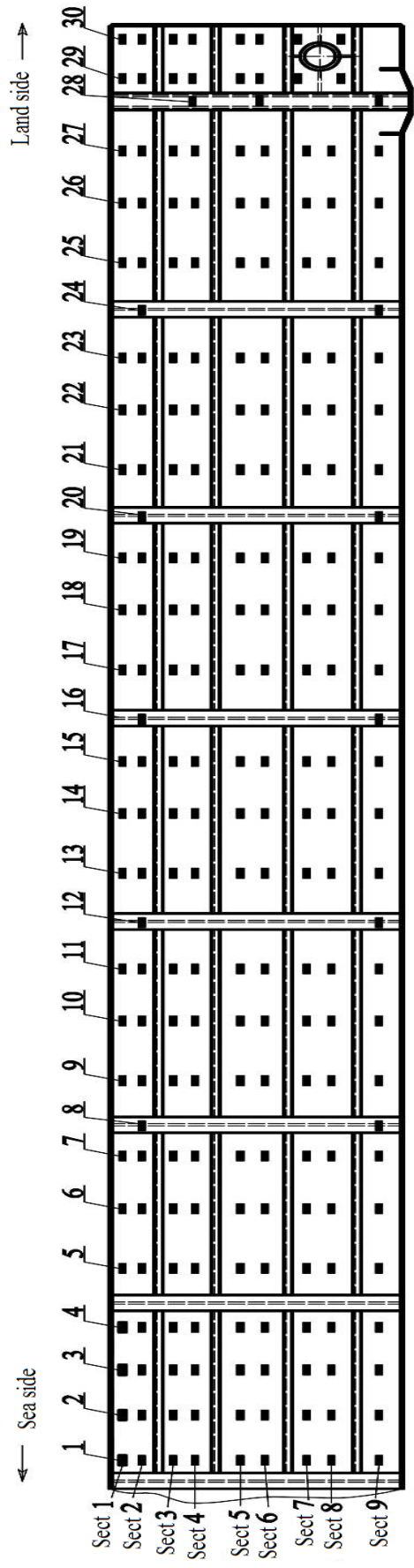
Coercive force measurements ( $H_C$ , A/cm) for rocker boom section, view from the left

Section number	Coercive force value $H_C$ , A/cm																															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
1	3,1	2,4		5,6	4,1	6,3		3,1	4,8		4,1	4,8	4,2		5,2	3,7	3,6		5,0	4,5	3,4	3,4	3,4	3,4	4,0	3,4		4,0	4,0		3,7	
2	2,7	3,5		4,2	4,3	6,2		3,1	4,6		4,5	3,3	5,2		5,3	3,5	4,3		5,6	4,9	4,2	4,0	4,7	5,1	4,8		4,4	3,6	4,8	5,2		
3	2,4	3,1	3,5	3,5	4,2	5,0	2,2	4,9		3,5	2,8	4,1	3,7	4,2	1,9	5,3	4,1	4,8	1,9	3,5	3,7	3,4	4,3	4,6	3,3	3,5		3,2	4,5	4,7	3,4	
4	3,1	2,5		4,2	5,5	6,1		4,9		5,5		5,6	3,6	5,3		6,1	3,7	4,3		3,7	6,1	5,4	3,7	6,0	4,2	3,4		4,9	5,0	5,1	4,4	
5	2,8	2,9	4,5	5,2		5,7	2,4	4,4	3,8	4,4	2,8	3,6	3,6	3,2	2,4	3,4	3,2	3,3	1,9	4,1	3,6	4,2	3,5	4,5	3,4	5,9		5,5	3,3	3,9	3,3	
6																																1,8
7	2,7	3,9		5,4		5,2		5,9	4,7	5,9		4,4	3,6	5,1		6,4	3,7	6,1		4,3	4,3	4,3	3,1	6,5	6,1	5,6		5,6	5,6	4,0	4,4	
8	5,5	2,5		3,5		3,7		5,7	4,3	4,8		4,4	3,4	5,6		4,0	3,4			4,5	6,1	5,0	3,1	4,6	3,5	4,2	2,0	3,4	4,5	5,5	5,1	
9	4,9	2,1	4,2	5,6		3,3		4,3			2,7	6,2	4,2	6,3	2,6	6,5	3,4		2,2	3,4	5,0	5,8	3,7	6,2	6,3	6,3	2,0	4,6	5,1	4,7	4,8	
10	3,5	3,6		7,1	5,4	5,2			5,1	5,5		5,9	4,4	5,7		6,1	4,7			4,1	5,2	5,6	5,0	6,1	4,7	6,5		4,4	6,9	4,6	5,3	

Table 7

Recalculated values of the coercive force ( $H_C$ , A/cm) for rocker boom section, view from the left

Section number	Coercive force value $H_C$ , A/cm																															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
1	3,9	3,2		6,4	4,9	7,1		3,9	5,6		4,9	5,6	5,0		6,0	4,5	4,4		5,8	5,3	4,2	4,2	4,2	4,2	4,8	4,2		4,8	4,8		4,5	
2	3,5	4,3		5,0	5,1	7,0		3,9	5,4		5,3	4,1	6,0		6,1	4,3	5,1		6,4	5,7	5,0	4,8	5,5	5,9	5,6		5,2	4,4	5,6	6,0		
3	3,2	3,9	4,7	4,3	5,0	5,8	3,4	5,7		4,3	4,0	4,9	4,5	5,0	3,1	6,1	4,9	5,6	3,1	4,3	4,5	4,2	5,1	5,4	4,1	4,3		4,0	5,3	5,5	4,2	
4	3,9	3,3		5,0	6,3	6,9		5,7		6,3		6,4	4,4	6,1		6,9	4,5	5,1		4,5	6,9	6,2	4,5	6,8	5,0	4,2		5,7	5,8	5,9	5,2	
5	3,6	3,7	5,7	6,0		6,5	3,6	5,2	4,6	5,2	4,0	4,4	4,4	4,0	3,6	4,2	4,0	4,1	3,1	4,9	4,4	5,0	4,3	5,3	4,2	6,7		6,3	4,1	4,7	4,1	
6																																3,0
7	3,5	4,7		6,2		6,0		6,7	5,5	6,7		5,2	4,4	5,9		7,2	4,5	6,9		5,1	5,1	5,1	3,9	7,3	6,9	6,4		6,4	6,4	4,8	5,2	
8	6,3	3,3		4,3		4,5		6,5	5,1	5,6		5,2	4,2	6,4		4,8	4,2		5,3	6,9	5,8	3,9	5,4	4,3	5,0	3,2	4,2	5,3	6,3	5,9		
9	5,7	2,9	5,4	6,4		4,1		5,1			3,9	7,0	5,0	7,1	3,8	7,3	4,2		3,4	4,2	5,8	6,6	4,5	7,0	7,1	7,1	3,2	5,4	5,9	5,5	5,6	
10	4,3	4,4		7,9	6,2	6,0		5,9	6,3		6,7	5,2	6,5		6,9	5,5			4,9	6,0	6,4	5,8	6,9	5,5	7,3		5,2	7,7	5,4	6,1		



**Fig. 7. Coercive force measurements for rocker boom section (view from the right)**

Table 8

Coercive force measurements ( $H_C$ , A/cm) for rocker boom section (view from the right)

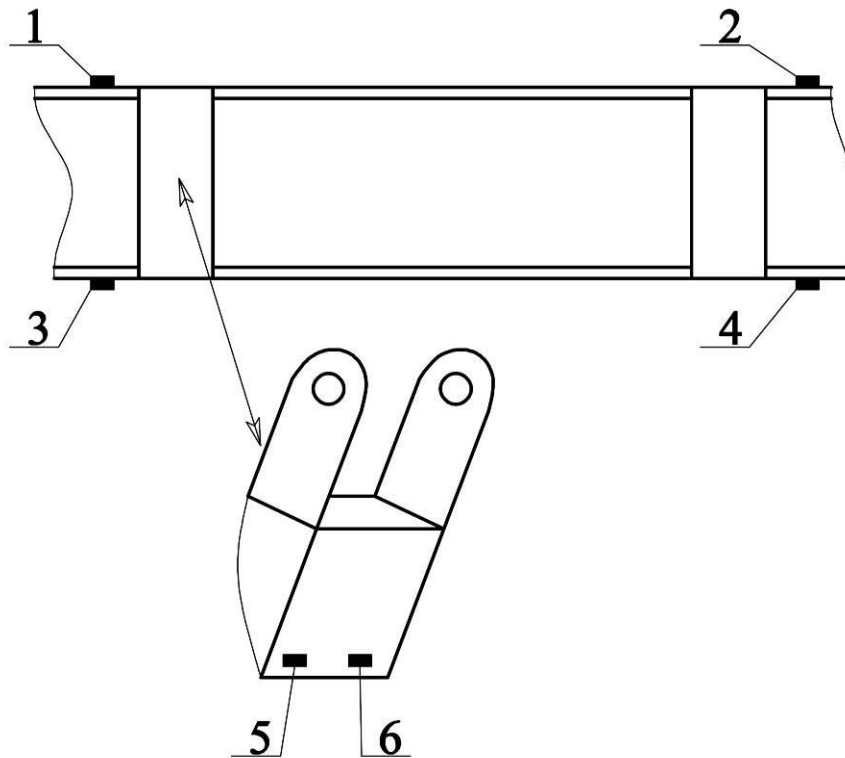
Section number	Coercive force value $H_C$ , A/cm №.№ points																														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
1	4,8	5,2	3,3	3,4	3,5	3,6	3,5	3,2	3,4	3,3	3,6	3,7	5,2	5,1	5,3	4,8	5,7	3,3	5,7	5,7	3,5	4,2	4,4	3,4	4,2	3,9	3,8	3,7	3,8	3,7	3,8
2	3,3	5,3	4,3	6,4	6,1	3,7	6,1	2,8	3,4	3,9	6,0	2,9	6,0	4,8	3,2	2,0	5,2	4,2	5,4	2,0	5,1	4,4	6,1	2,9	5,0	3,8	3,8	4,2	3,9	4,2	3,9
3	3,5	3,3	4,1	2,9	3,6	3,3	3,5	3,4	3,2	3,4	3,1	3,2	3,2	3,1	3,2	3,2	3,5	3,2	3,2	3,4	3,2	3,3	3,3	3,3	3,3	4,5	3,3	3,7	3,8	3,7	3,8
4	3,4	5,3	4,1	2,6	5,6	5,7	6,1	3,3	5,7	3,2	3,1	3,1	5,9	3,1	3,1	5,9	6,1	3,5	5,3	4,4	3,2	5,2	3,4	3,4	3,4	5,5	2,2	3,6	4,2	3,6	4,2
5	3,6	3,7	3,5	3,8	5,1	3,3	3,4	3,8	3,1	3,5	3,2	3,3	3,0	3,2	3,3	3,0	3,2	3,5	3,5	4,4	5,9	6,3	3,3	3,4	3,4	4,0	3,5	3,3	2,6	3,3	2,6
6	3,5	5,3	4,6	3,7	5,6	4,9	5,7	3,6	4,7	3,3	3,4	3,2	3,2	3,4	3,2	3,2	5,7	3,1	4,5	4,7	4,4	5,2	3,3	5,7	5,1	2,3	4,5	4,6	4,5	4,6	
7	3,8	5,3	3,6	3,6	5,2	4,5	4,3	3,1	3,7	3,4	4,5	3,4	3,5	4,8	4,8	3,7	3,2	3,9	4,7	4,1	4,9	4,9	4,6	4,7	4,8	5,4	6,0	5,4	6,0	5,4	6,0
8	5,7	4,7	4,8	5,0	5,3	5,5	6,3	4,0	4,7	3,3	4,9	3,6	5,6	5,6	5,6	3,4	3,5	3,9	5,7	4,5	5,2	5,2	3,3	3,5	5,4	7,0	6,5	7,0	6,5	7,0	6,5
9	4,3	4,7	5,2	3,9	4,5	5,9	5,1	3,3	4,8	5,3	3,2	3,9	5,7	3,3	3,4	2,9	5,9	3,3	4,6	3,9	5,8	4,2	6,0	2,4	4,5	4,9	6,0	2,5	4,9	6,0	2,5

Table 9

Recalculated coercive force measurements ( $H_C$ , A/cm) for rocker boom section (view from the right)<sup>1</sup>

Section number	Coercive force value $H_C$ , A/cm №.№ points																															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
1	5,6	6,0	4,1	4,2	4,3	4,4	4,3	4,0	4,2	4,1	4,4	4,5	6,0	5,9	6,1	5,6	6,5	4,1	6,5	4,1	6,5	4,1	6,5	4,1	6,5	4,3	5,0	5,2	4,2	4,2	4,2	
2	4,1	6,1	5,1	7,2	6,9	4,5	6,9	4,0	4,2	4,7	6,8	4,1	6,8	5,6	4,0	3,2	6,0	5,0	6,2	3,2	5,9	5,2	6,9	4,1	5,8	4,6	4,6	5,0	4,7	4,7	4,7	
3	4,3	4,1	4,9	3,7	4,4	4,1	4,3	4,2	4,0	4,2	3,9	4,0	4,0	3,9	4,0	4,0	4,3	4,0	4,0	4,2	4,2	4,0	4,1	4,1	5,3	4,1	4,5	4,6	4,5	4,6	4,6	4,6
4	4,2	6,1	4,9	3,4	6,4	6,5	6,9	4,1	6,5	4,0	3,9	3,9	6,7	3,9	3,9	6,7	6,9	4,3	6,1	5,2	4,0	6,0	4,2	4,2	4,2	4,2	6,3	3,4	4,4	5,0	5,0	5,0
5	4,4	4,5	4,3	4,6	5,9	4,1	4,2	4,6	3,9	4,3	4,0	4,1	3,8	4,0	4,1	3,8	4,0	4,3	4,3	5,2	6,7	7,1	4,1	4,1	4,8	4,3	4,1	3,4	4,1	3,4	4,1	3,4
6	4,3	6,1	5,4	4,5	6,4	5,7	6,5	4,4	5,5	4,1	4,2	4,0	4,0	4,2	4,0	4,0	6,5	3,9	5,3	5,5	5,2	6,0	4,1	6,5	5,9	3,5	5,3	5,4	5,4	5,4	5,4	
7	4,6	6,1	4,4	4,4	6,0	5,3	5,1	3,9	4,5	4,2	5,3	4,3	5,6	4,3	5,6	4,5	4,0	4,7	4,7	5,5	4,9	5,7	5,4	5,5	5,5	5,6	6,2	6,8	6,2	6,8	6,2	6,8
8	6,5	5,5	5,6	5,8	6,1	6,3	7,1	4,8	5,5	4,1	5,7	4,4	6,4	4,4	6,4	4,2	4,3	4,7	6,5	5,3	6,0	4,1	4,3	4,1	4,3	6,2	7,8	7,3	7,8	7,3	7,3	7,3
9	5,1	5,5	6,0	4,7	5,3	6,7	5,9	4,5	5,6	6,1	4,0	5,1	6,5	4,1	4,2	4,1	6,7	4,1	5,4	5,1	6,6	5,0	6,8	3,6	5,3	5,7	6,8	3,7	6,8	3,7	6,8	3,7

<sup>1</sup> Nemechuk O. O., Zvirko O. I. Electrochemical method for the diagnostics of degradation of steels of marine portal cranes. *Materials Science*. 2020, 56(3). P. 410–416.

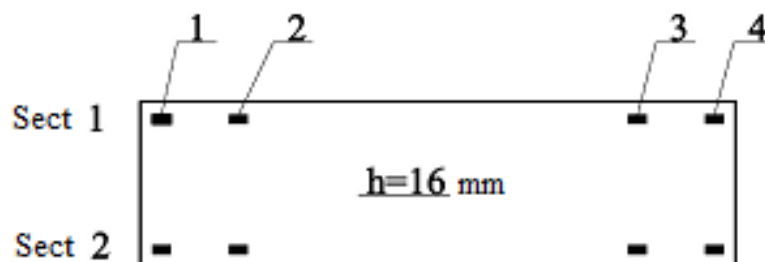


**Fig. 8. Coercive force measurements for the big tie beam  
(view from land side)**

Table 10

**Coercive force measurements ( $H_C$ , A/cm) for the big tie beam  
(view from land side)**

	№№ points					
	1	2	3	4	5	6
Coercive force value $H_C$ , A/cm	5,3	5,7	5,5	5,7	5,5	4,3



**Fig. 9. Coercive force measurements for the big tie beam  
(view from sea side)**

Table 11

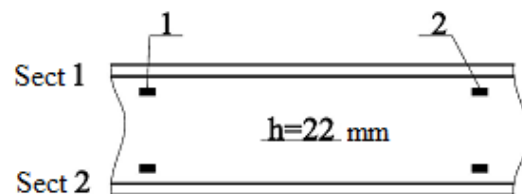
**Coercive force measurements ( $H_C$ , A/cm) for the big tie beam  
(view from sea side)**

Section number	Coercive force value $H_C$ , A/cm №№ points			
	1	2	3	4
1	3,2	3,1	4,3	3,6
2	3,3	3,4	4,2	3,5

Table 12

**Recalculated coercive force measurements  
( $H_C$ , A/cm) for the big tie beam (view from sea side)**

Section number	Coercive force value $H_C$ , A/cm №№ points			
	1	2	3	4
1	4,4	4,3	5,5	4,8
2	4,5	4,6	5,4	4,7



**Fig. 10. Coercive force measurements for the end tie beam  
(view from land side)**

Table 13

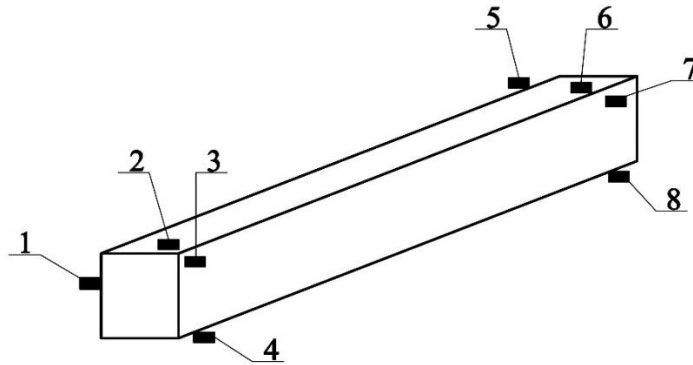
**Coercive force measurements ( $H_C$ , A/cm) for the end tie beam  
(view from land side)**

Section number	Coercive force value $H_C$ , A/cm №№ points	
	1	2
1	2,9	2,8
2	2,8	3,0

Table 14

**Recalculated coercive force measurements ( $H_C$ , A/cm)  
for the end tie beam (view from land side)**

Section number	Coercive force value $H_C$ , A/cm №№ points	
	1	2
1	4,4	4,3
2	4,3	4,5

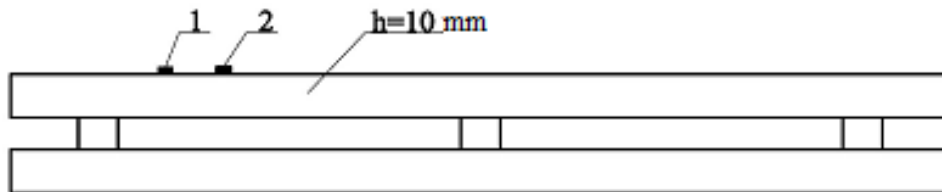


**Fig. 11. Coercive force measurements for the middle tie beam**

Table 15

**Coercive force measurements ( $H_C$ , A/cm) for the middle tie beam**

	$N_2N_2$ points							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Coercive force value $H_C$ , A/cm	3,2	2,7	3,1	2,0	3,3	3,1	2,8	2,1



**Fig. 12. Coercive force measurements for the small tie beam**

Table 16

**Coercive force measurements ( $H_C$ , A/cm) for the small tie beam**

	$N_2N_2$ points	
	1	2
Coercive force value $H_C$ , A/cm	5,5	4,5

Table 17

**Recalculated coercive force measurements ( $H_C$ , A/cm) for the small tie beam**

	$N_2N_2$ points	
	1	2
Coercive force value $H_C$ , A/cm	6,0	5,0

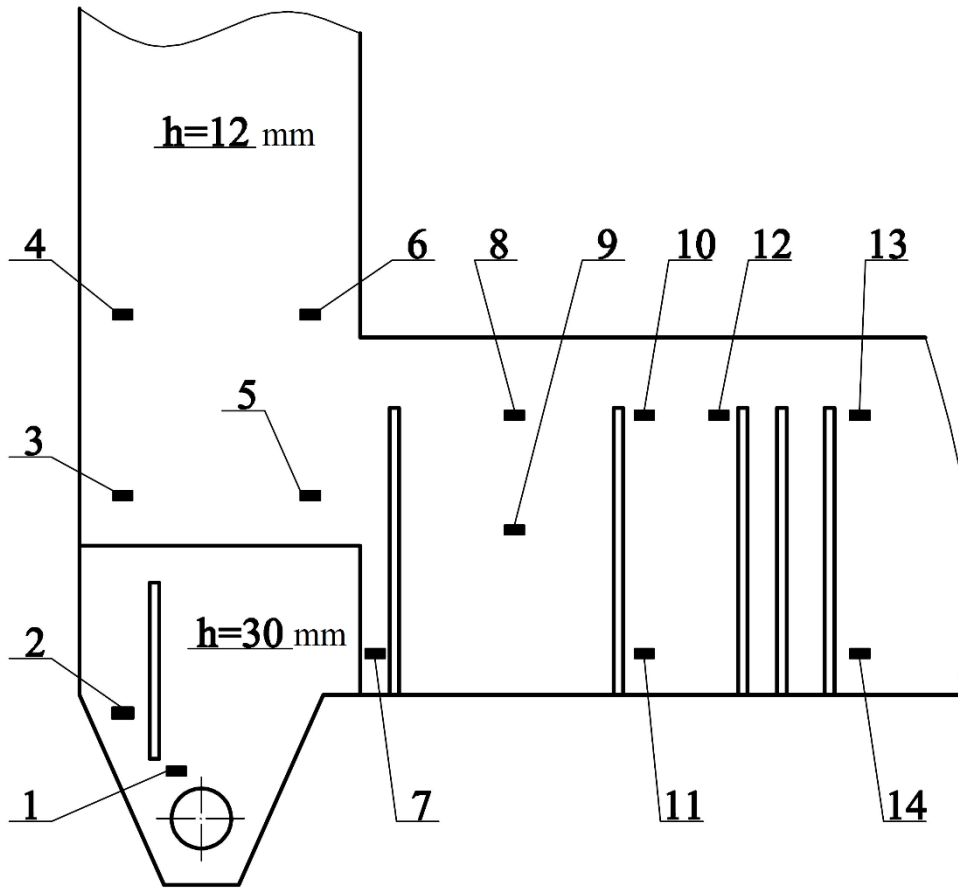


Fig. 13. Coercive force measurements for land side support (left side)

Table 18

Coercive force measurements ( $H_C$ , A/cm) for land side support (left side)

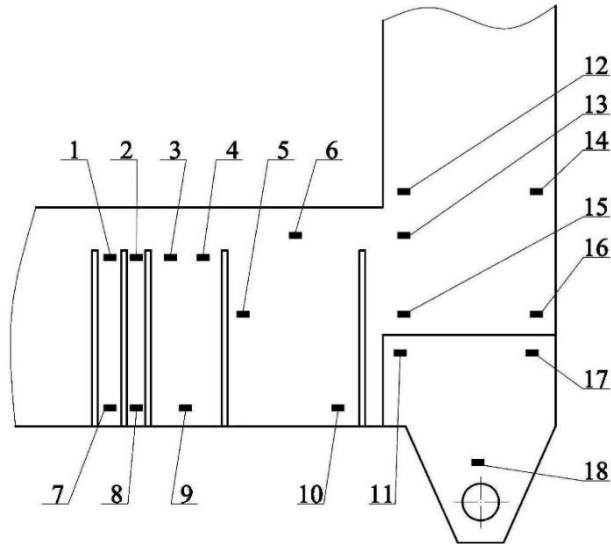
	$N_2N_2$ points													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Coercive force value $H_C$ , A/cm	2,1	2,1	4,4	4,0	4,2	4,6	3,4	4,5	4,0	5,5	4,6	5,7	4,1	3,8

Table 19

Recalculated coercive force measurements ( $H_C$ , A/cm) for land side support (left side)

	$N_2N_2$ points													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Coercive force value $H_C$ , A/cm	3,7	3,7	5,2	4,8	5,0	5,4	4,2	5,3	4,8	6,3	5,4	6,5	4,9	4,6





**Fig. 14. Coercive force measurements for land side support (right side)**

Table 20

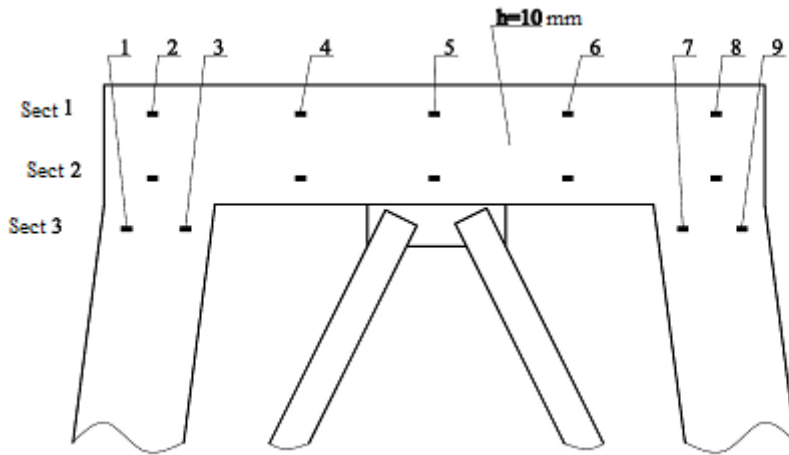
**Coercive force measurements ( $H_C$ , A/cm) for land side support (right side)**

	№№ points																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
<b>Coercive force value <math>H_C</math>, A/cm</b>	4,0	4,7	5,4	5,6	3,1	4,6	4,4	4,2	4,6	3,2	2,1	4,7	4,5	4,2	4,1	4,3	2,0	2,2

Table 21

**Recalculated coercive force measurements ( $H_C$ , A/cm) for land side support (right side)**

	№№ points																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
<b>Coercive force value <math>H_C</math>, A/cm</b>	4,8	5,5	6,2	6,4	3,9	5,4	5,2	5,0	5,4	4,0	3,7	5,5	5,3	5,0	4,9	5,1	3,6	3,8



**Fig. 15. Coercive force measurements for the elastomeric bearing support lower beam (sea side view)**

Table 22

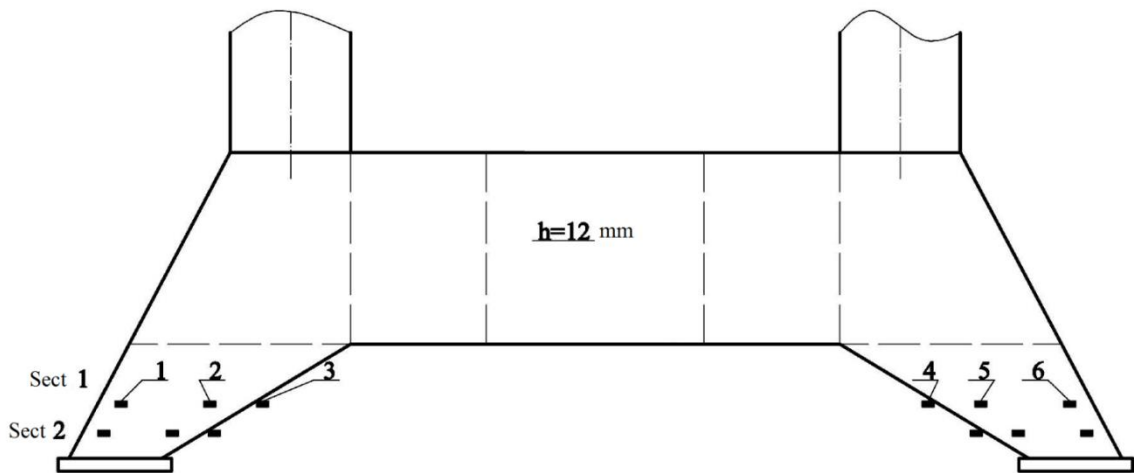
**Coercive force measurements ( $H_C$ , A/cm) for the elastomeric bearing support lower beam (sea side view)**

Section number	Coercive force value $H_c$ , A/cm								
	№№ points								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1		4,2		4,0	3,9	4,2		4,3	
2		4,4		4,1	4,2	4,1		4,5	
3	4,1		4,5				4,6		4,3

Table 23

**Recalculated coercive force measurements ( $H_C$ , A/cm) for the elastomeric bearing support lower beam (sea side view)**

Section number	Coercive force value $H_c$ , A/cm								
	№№ points								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1		4,7		4,5	4,4	4,7		4,8	
2		4,9		4,6	4,7	4,6		5,0	
3	4,6		5,0				5,1		4,8



**Fig. 16. Coercive force measurements for the sea side supports (land side view)**

Table 24

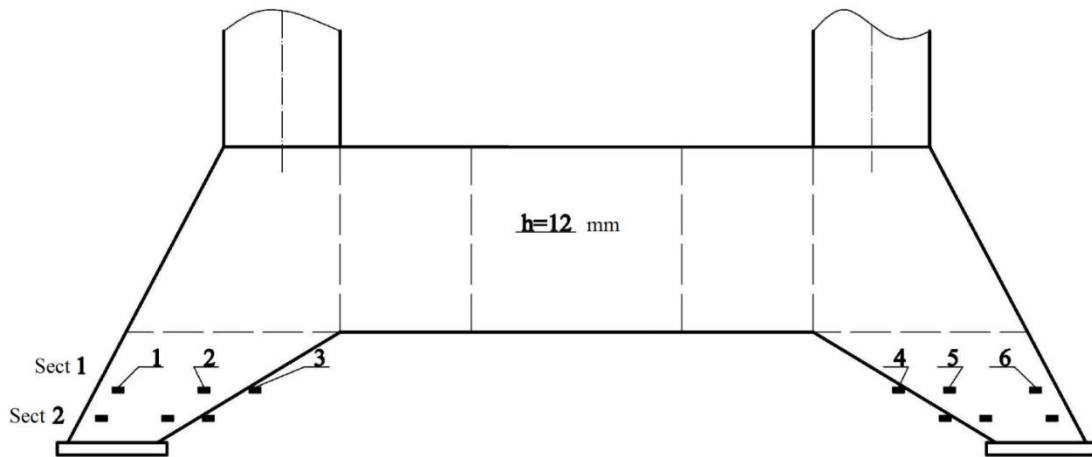
**Coercive force measurements ( $H_C$ , A/cm) for the sea side supports (land side view)**

Section number	Coercive force value $H_C$ , A/cm					
	№№ points					
	1	2	3	4	5	6
1	3,1	3,4	3,6	3,6	3,3	3,1
2	3,6	3,3	3,5	3,8	3,5	3,4

Table 25

**Recalculated coercive force measurements ( $H_C$ , A/cm) for the sea side supports (land side view)**

Section number	Coercive force value $H_C$ , A/cm					
	№№ points					
	1	2	3	4	5	6
1	3,9	4,2	4,4	4,4	4,1	3,9
2	4,4	4,1	4,3	4,2	4,3	4,2



**Fig. 17. Coercive force measurements for the sea side supports (sea side view)**

Table 26

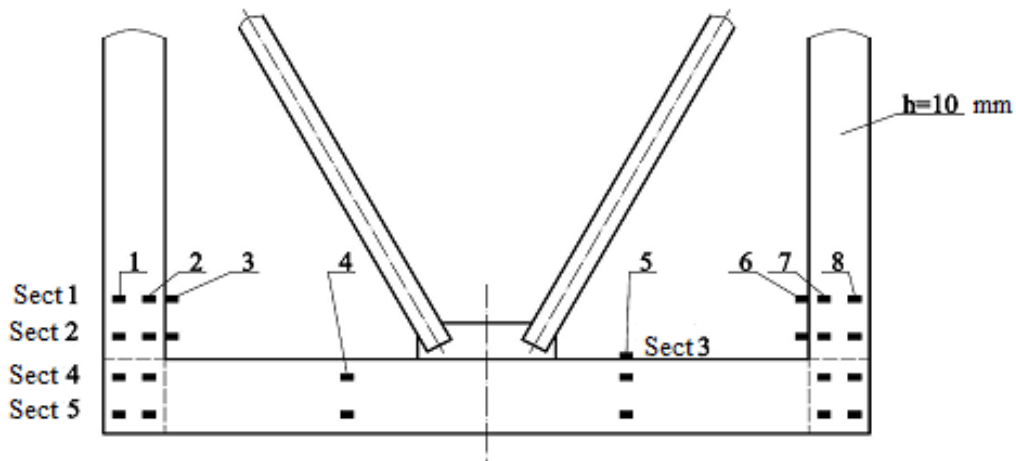
**Coercive force measurements ( $H_C$ , A/cm) for the sea side supports (sea side view)**

Section number	Coercive force value $H_C$ , A/cm					
	№№ points					
	1	2	3	4	5	6
1	3,2	3,4	3,4		2,9	2,8
2	3,3	3,4	3,6		3,2	3,5

Table 27

**Recalculated coercive force measurements ( $H_C$ , A/cm) for the sea side supports (sea side view)**

Section number	Coercive force value $H_C$ , A/cm					
	№№ points					
	1	2	3	4	5	6
1	4,0	4,2	4,2		3,7	3,6
2	4,1	4,2	4,4		4,0	4,3



**Fig. 18. Coercive force measurements in the elastomeric support upper beam (sea side view)**

Table 28

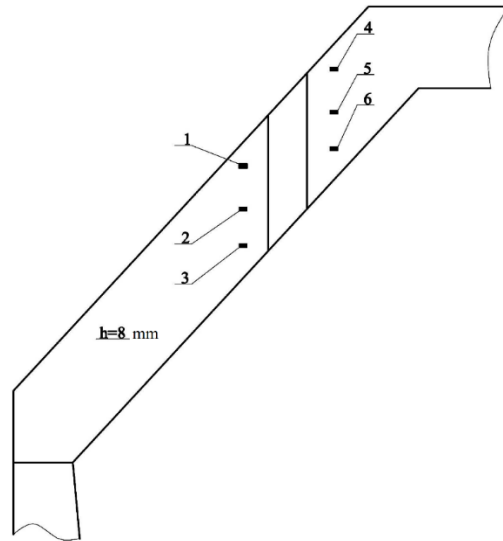
**Coercive force measurements ( $H_C$ , A/cm) in the elastomeric support upper beam (sea side view)**

Section number	Coercive force value $H_C$ , A/cm							
	№№ points							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	4,0	4,4	4,2			4,2	4,4	4,2
2	4,3	4,6	4,1			4,3	4,6	4,0
3					4,4			
4	4,3	4,4		3,5	3,4		4,2	4,2
5	4,1	4,2		3,1	3,3		3,4	3,6

Table 29

**Recalculated coercive force measurements ( $H_C$ , A/cm) in the elastomeric support upper beam (sea side view)**

Section number	Coercive force value $H_C$ , A/cm							
	№№ points							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	4,5	4,9	4,7			4,7	4,9	4,7
2	4,8	5,1	4,6			4,8	5,1	4,5
3					4,9			
4	4,8	4,9		4,0	3,9		4,7	4,7
5	4,6	4,7		3,6	3,8		3,9	4,1

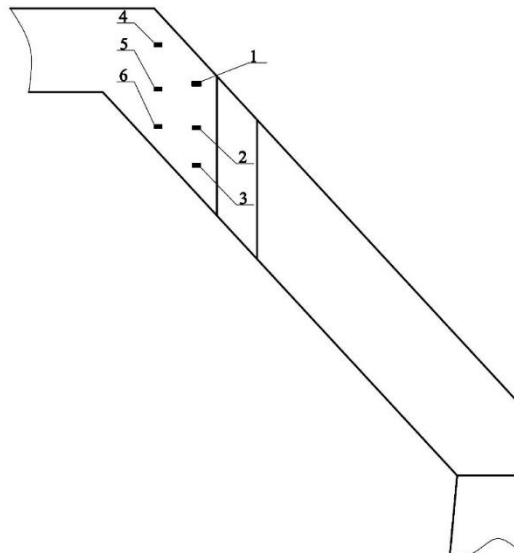


**Fig. 19. Coercive force measurements for the sea side leg inclined part (outside view)**

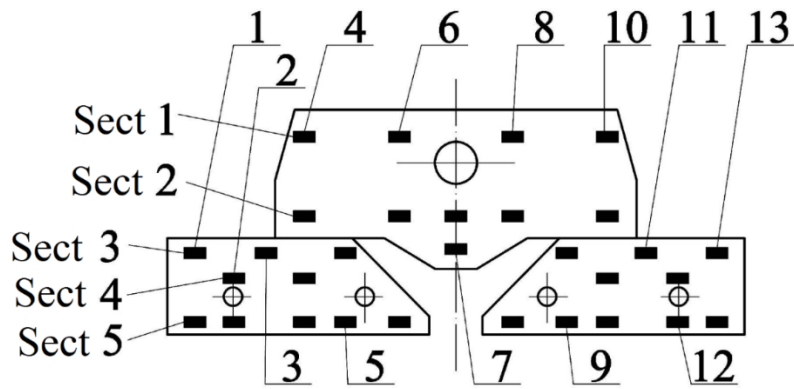
Table 30

**Coercive force measurements ( $H_C$ , A/cm) for the sea side leg inclined part (outside view for A and D supports)**

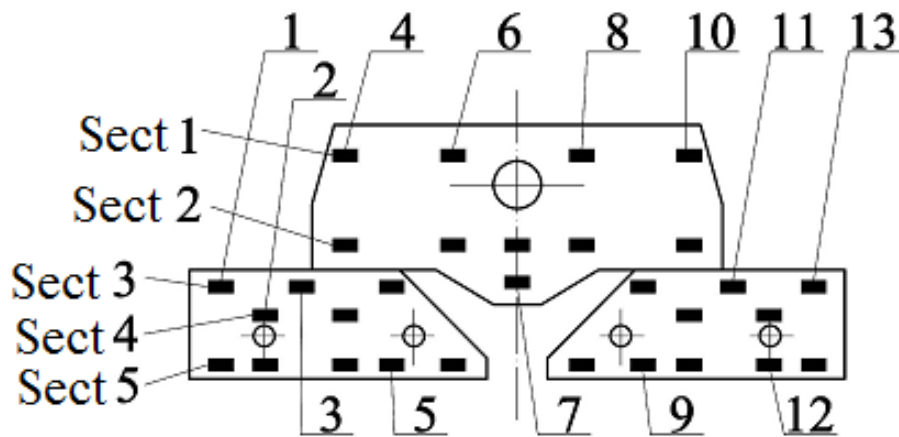
	№.№ points					
	1	2	3	4	5	6
Coercive force value $H_c$ , A/cm	3,3	3,2	3,5	3,4	3,0	3,1



**Fig. 20. Coercive force measurements for the sea side leg inclined part (view from the point between legs)**



**Fig. 21. Coercive force measurements for the sea side B support trolleys and equalizer (land side view)**



**Fig. 22. Coercive force measurements for the sea side B support trolleys and equalizer (sea side view)**

Table 31

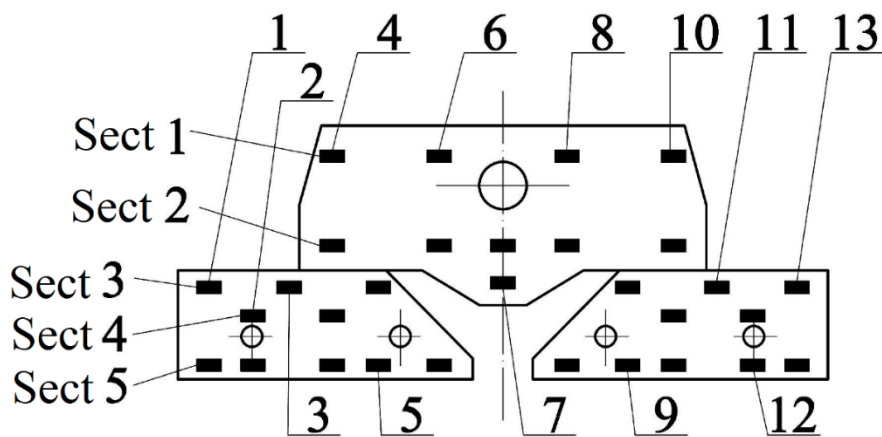
**Coercive force measurements ( $H_C$ , A/cm) for the sea side B support trolleys and equalizer (sea side view)**

Section number	Coercive force value $H_C$ , A/cm												
	$N_2N_2$ points												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1				1,9		2,0		2,0		2,3			
2				2,0		2,0	2,3	2,5		2,2			
3	2,3		2,9		2,4		2,3		1,6				1,6
4												1,7	
5	2,5			2,7		2,4		1,4		1,4			1,3

Table 32

**Recalculated coercive force measurements ( $H_C$ , A/cm) for the sea side B support trolleys and equalize (sea side view)**

Section number	Coercive force value $H_C$ , A/cm												
	№№ points												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1				3,5		3,6		3,6		3,9			
2				3,6		3,6	3,9	4,1		3,8			
3	3,9		4,5		4,0		3,9		3,2				3,2
4												3,3	
5	4,1			4,3		4,0		3,0		3,0			2,9



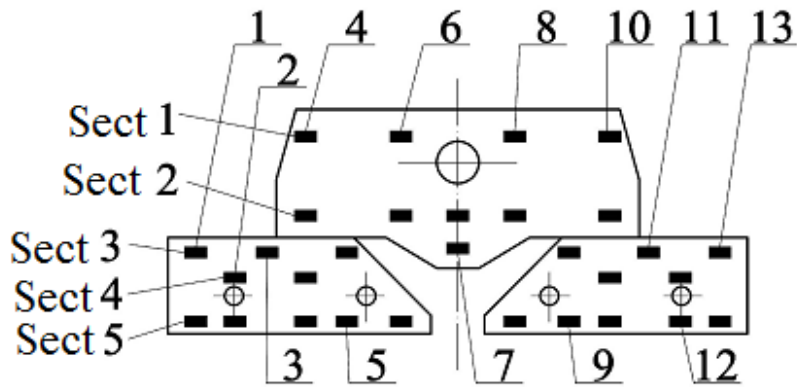
**Fig. 23. Coercive force measurements for the sea side A support trolleys and equalizer (sea side view)**

Table 33

**Coercive force measurements ( $H_C$ , A/cm) for the sea side A support trolleys and equalizer (sea side view)**

Section number	Coercive force value $H_C$ , A/cm												
	№№ points												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1				3,8		2,4		2,0		2,4			
2				2,3		2,1	2,6	2,4		2,2			
3	3,0		3,7		3,6		2,2		2,6				1,7
4		3,2		3,2						2,3		1,0	
5	3,4			3,7		3,5		2,2	2,5	2,9			1,2



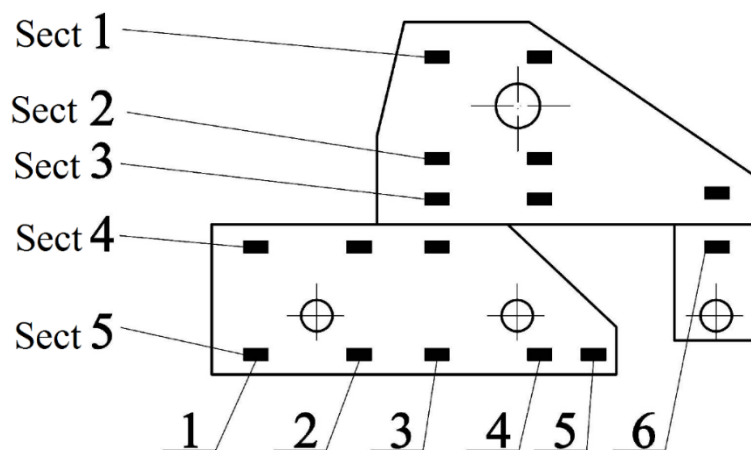


**Fig. 24. Coercive force measurements for the sea side A support trolleys and equalizer (land side view)**

Table 34

**Coercive force measurements ( $H_C$ , A/cm) for the sea side A support trolleys and equalizer (land side view)**

Section number	Coercive force value $H_c$ , A/cm												
	№№ points												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1				2,2		3,3		2,0		2,5			
2				2,1		2,9	2,7	2,3		2,5			
3	3,0		3,0		2,4		2,2		2,9		2,9		2,6
4													
5	2,4			2,4		2,4		3,1		3,2			3,3

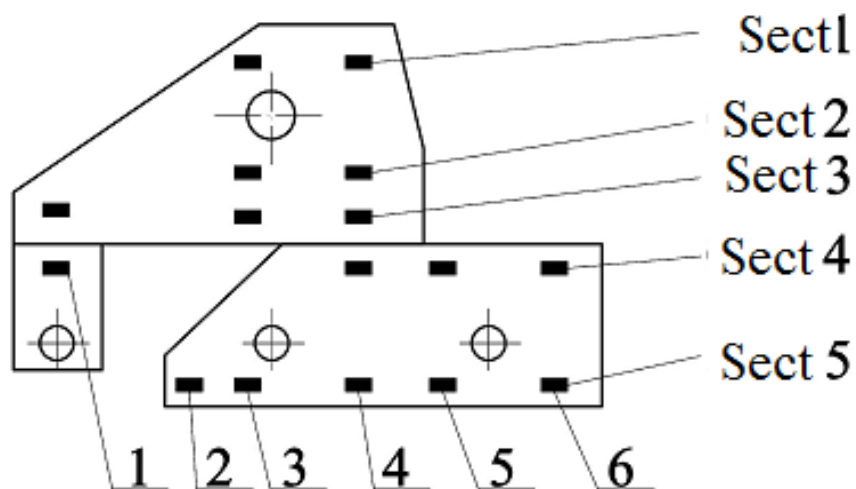


**Fig. 25. Coercive force measurements for the land side C support trolley and equalizer (sea side view)**

Table 35

**Recalculated coercive force measurements ( $H_C$ , A/cm) for the land side C support trolley and equalizer (sea side view)**

Section number	Coercive force value $H_c$ , A/cm №№ points					
	1	2	3	4	5	6
1			4,2	5,4		
2			4,6	4,4		
3			4,9	3,9	3,7	4,7
4	4,2	4,4	3,9			4,2
5	4,4		3,9		4,2	



**Fig. 26. Coercive force measurements for the land side C support trolley and equalizer (land side view)**

Table 36

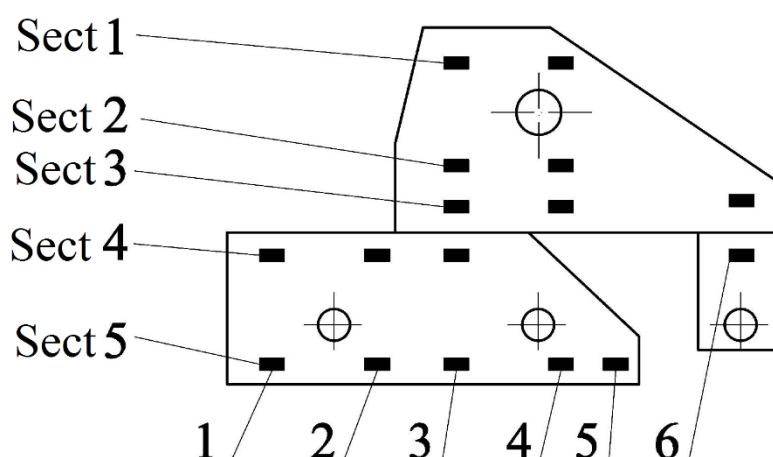
**Coercive force measurements ( $H_C$ , A/cm) for the land side C support trolley and equalizer (land side view)**

Section number	Coercive force value $H_c$ , A/cm, №№ points					
	1	2	3	4	5	6
1			2,5	2,5		
2						
3	2,2		2,1	2,6		
4	1,3			3,7		3,2
5		2,5		2,5	2,5	2,6

Table 37

**Recalculated coercive force measurements ( $H_C$ , A/cm) for the land side C support trolley and equalizer (land side view)**

Section number	Coercive force value $H_c$ , A/cm					
	№№ points					
	1	2	3	4	5	6
1			4,1	4,1		
2						
3	3,8		3,7	4,2		
4	2,9			5,3		4,8
5		4,1		4,1	4,1	4,2



**Fig. 27. Coercive force measurements for the land side D support trolley and equalizer (land side view)**

Table 38

**Coercive force measurements ( $H_C$ , A/cm) for the land side D support trolley and equalizer (land side view)**

Section number	Coercive force value $H_c$ , A/cm					
	№№ points					
	1	2	3	4	5	6
1			2,4	3,1		
2			2,7	2,6		
3			2,3	2,4		2,2
4	2,7	2,2	2,2			1,5
5	2,6	2,1	2,9		2,2	

Table 39

**Recalculated coercive force measurements ( $H_C$ , A/cm) for the land side D support trolley and equalizer (sea side view)**

Section number	Coercive force value $H_c$ , A/cm					
	№№ points					
	1	2	3	4	5	6
1			4,4	3,9		
2			4,4	4,2		
3	3,7		3,9	4,0		
4	2,8			4,0	4,6	4,3
5		4,1	4,1	3,9	4,1	3,7

The term ‘exhausted residual life’ means that the mechanical properties of the material (like toughness, plasticity, yield stress etc) of the element became significantly worse. It leads to the disability of the material to resist to cracks initiation and propagation.<sup>45</sup>

## CONCLUSIONS

Magneto-coercive non-destructive testing of ship loader metal structure elements was carried out in order to determine their stress-strain state and estimate the residual life. This made it possible to more objectively determine the stress-strain state of the metal structure of the ship-loading machine. From the measurements and their analysis it follows:

– 52% of the material of the retractable and 34% of the swing sections of the boom in the most loaded areas have exhausted their service life. Recommended actions: due to large areas of damaged material, replacement of the entire boom or reinforcement/repair of hazardous areas is required;

– tie beams, 11% operate in critical operation mode, 33% operate in controlled operation mode, the rest in reliable operation mode. It is necessary to single out the tie beam of the boom, in which 34% operate in the critical operating mode, 50% operate in the controlled operation mode;

– penitent supports, 13% operate in critical operation mode, 63% operate in controlled operation mode, the rest in reliable operation mode;

– vertical beam of the portal, 86% – operate in the controlled operation mode, the rest in the reliable operation mode;

<sup>4</sup> Nemchuk O., Hredil M., Pustovoy V., Nesterov O. Role of in-service conditions in operational degradation of mechanical properties of portal cranes steel. *Procedia Structural Integrity*. 2019. 16. P. 245–251.

<sup>5</sup> Nemchuk O. O. Influence of the working loads on the corrosion resistance of steel of a marine harbor crane. *Materials Science*. 2019, 54(5). P. 743–747.

- traverse of the running gear, 100% in the mode of reliable operation;
- the upper rear part of the portal, 68% – operate in the controlled operation mode, the rest in the reliable operation mode;
- bearing (inclined) beams of the portal, 100% in the mode of reliable operation;
- support bogie B, 3% – operate in the controlled operation mode, the rest in the reliable operation mode;
- support bogie A, 23% – operate in the controlled operation mode, the rest in the reliable operation mode;
- support bogie C, 19% – operate in the controlled operation mode, the rest in the reliable operation mode;
- support trolley D, 4% – operate in the controlled operation mode, the rest in the reliable operation mode;

## SUMMARY

All obtained and processed results of magnetic structuroscopy testify to the complex stressed state of the shiploader metal structure. At the moment, when operating a ship loader in passport mode, it is necessary to constantly carry out visual inspection in the elements of its metal structures that operate in a controlled mode of operation, and especially in a critical mode of operation in order to detect cracks in the initial stage. In the event of the beginning of cracking, immediately stop the operation of the ship loader, involve a specialized organization to determine the possibility and conditions for its further operation.

## REFERENCES

1. ГОСТ 30415-96 «*Steel mechanical properties and microstructure controlling using magnetic method*»
2. МВ 0.00-7.01-05. Методичні вказівки з проведення магнітного контролю напружено-деформованого стану металоконструкцій підйомних споруд та визначення їх залишкового ресурсу. Харків, 2005. (*Magnetic control of the material handling machine metal structure stress-strain state.*)
3. Nemchuk O. Specific features of the diagnostics of technical state of steels of the port reloading equipment. *Materials Science*. 2018, 53(6). P. 875–878.
4. Nemchuk O. O. Influence of the working loads on the corrosion resistance of steel of a marine harbor crane. *Materials Science*. 2019, 54(5). P. 743–747.

5. Nemchuk O. O., Nesterov O. A. In-service brittle fracture resistance degradation of steel in a ship-to-shore portal crane. *Strength of Materials*. 2020, 52(2). P. 275–280.

6. Nemchuk O. O., Zvirko O. I. Electrochemical method for the diagnostics of degradation of steels of marine portal cranes. *Materials Science*. 2020, 56(3). P. 410–416.

7. Orobey O., Nemchuk O., Lymarenko O., Piterska V., Lohinova L. Taking account of the shift and inertia of rotation in problems of diagnostics of the spectra of critical forces mechanical systems. *Diagnostyka*. 2021, 22(1). P. 39–44.

**Information about the author:**

**Lehetska Iryna Petrivna,**

[orcid.org/0000-0002-0858-0770](https://orcid.org/0000-0002-0858-0770)

Assistant at the Department of Hoisting-and-Transport Machines and Port  
Technological Equipment Engineering  
Odesa National Maritime University  
34, Mechnikova str., Odesa, 65029, Ukraine