

Дипломна робота на здобуття кваліфікаційного рівня магістр

**«Поліпшення ефективності експлуатації
газотурбокомпресорів суднових дизелів шляхом
спостереження їх технічного стану»**

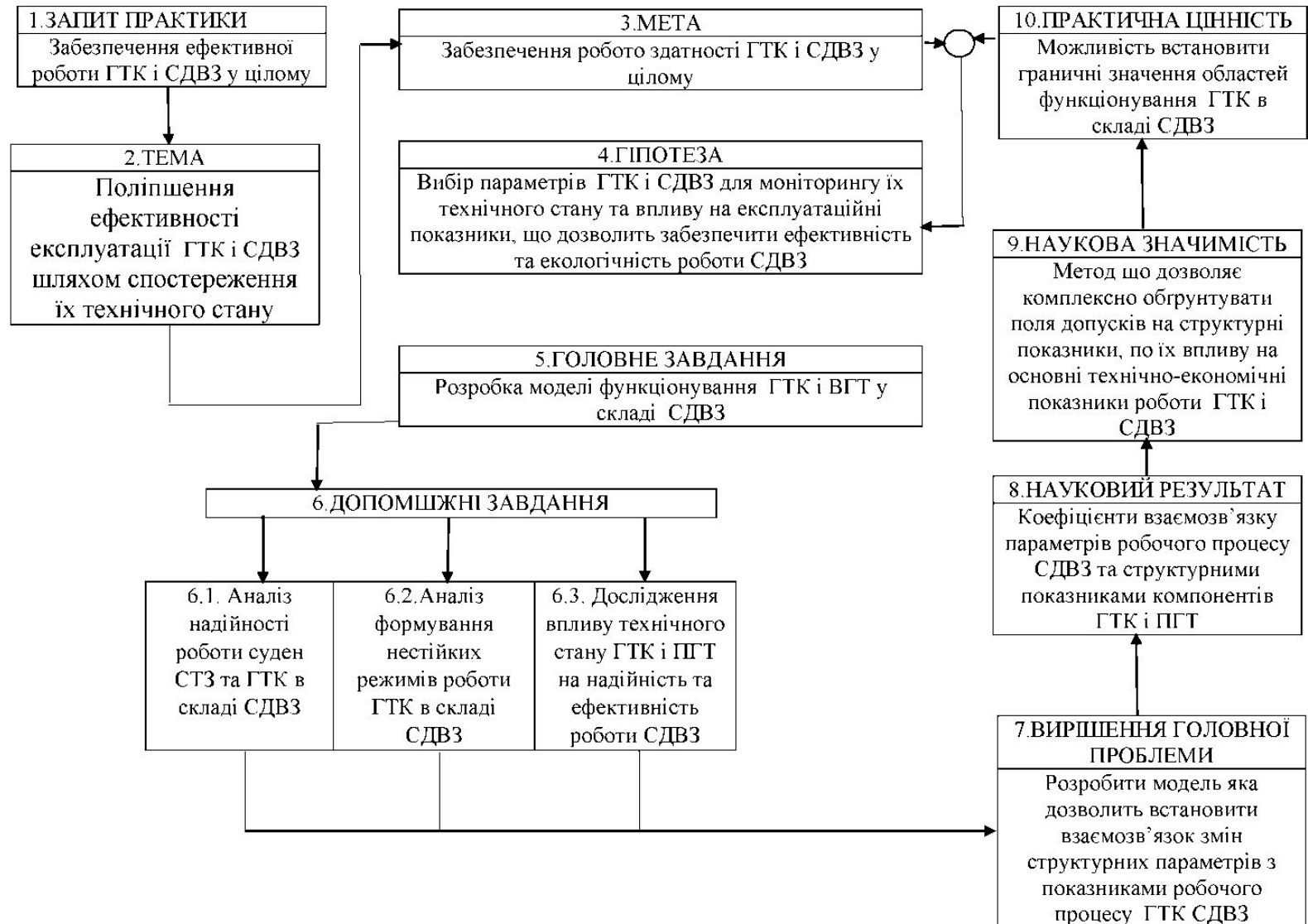
Виконавець:

Корчак О.В

Керівник:

Калугін В.М.

1 ТЕХНОЛОГІЧНА КАРТА ДОСІДЖЕНЬ



Виконавець:
Керівник:

Корчак О.В
Калугін В.М.

2 ПОКАЗНИКИ АВАРІЙ І АВАРІЙНИХ ПОДІЙ З МОРСЬКИМИ СУДНАМИ, ЗА ДАНИМИ SC

Кількість аварій і аварійних подій пов'язаних з корпусом, механізмами і обладнанням суден

Категорії аварій і аварійних пригод із суднами	Загальна кількість	Відносна кількість, %
Машини і механізми	982	50,6
Контакт корпусу судна	228	11,8
Посадка на мілину	228	11,8
Зіткнення	244	12,6
Погані погодні умови	63	3,2
Пожежі та вибухи	34	1,7
Інші причини (включно: пошкодження корпусу судна, втрата якоря)	162	8,3
Усього	1941	100

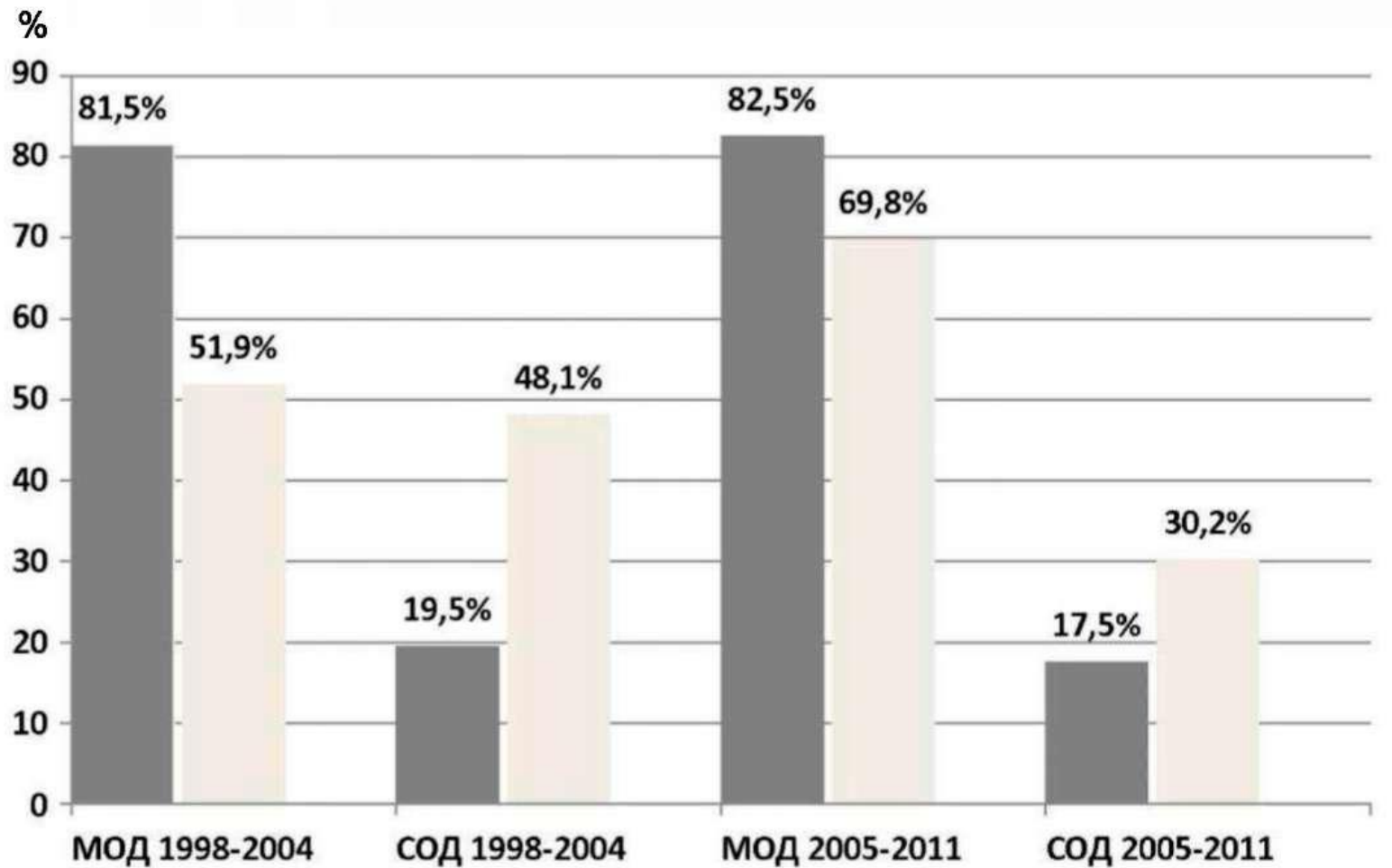
Кількість аварій і аварійних подій з морськими суднами, які спричинені відмовами СТЗ

Категорії СТЗ	Загальна кількість	Відносна кількість, %
Головні двигуни	370	37,7
Допоміжні двигуни	185	18,8
Кермові машини і механізми	55	5,6
Котли	59	6,0
Рушії	174	17,7
Інші СТЗ (включно: вантажні крани, вантажні лебідки, електрообладнання та палубні механізми)	139	14,2
Усього	982	100

Виконавець:
Керівник:

Корчак О.В
Калугін В.М.

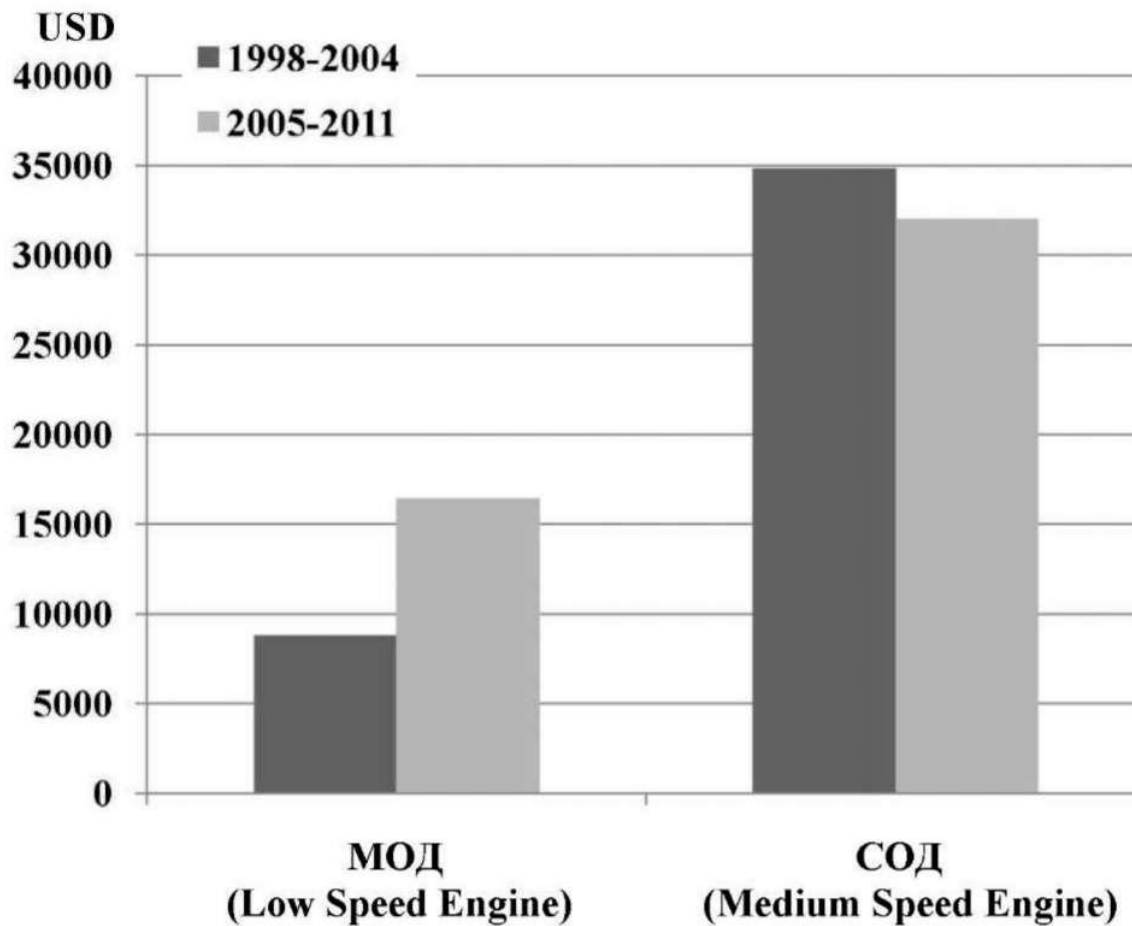
3 ВІДНОСНА КІЛЬКІСТЬ СУДЕН ЗАРЕЄСТРОВАНИХ В SC В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ТИПУ ГОЛОВНИХ ДВИГУНІВ І ВІДНОСНИХ ВИТРАТ ІЗ ВІДШКОДУВАННЯМ ПОЗОВНИХ ВИМОГ ЯКІ ВИКЛИКАЛИ ЇХ ВІДМОВИ



Виконавець:
Керівник:

Корчак О.В
Калугін В.М.

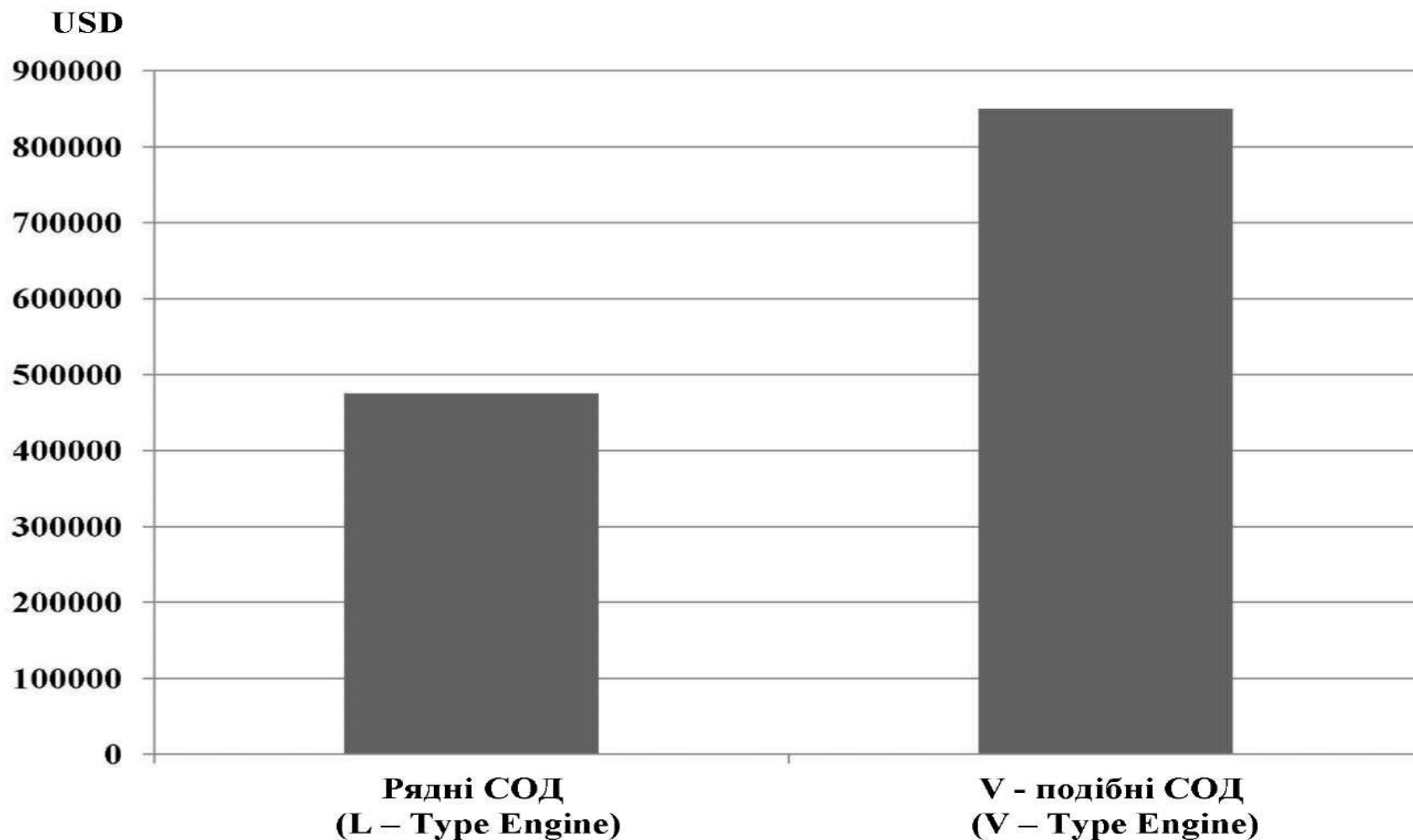
**4 СЕРЕДНІ ВИТРАТИ НА ВІДШКОДУВАННЯ ПОЗОВНИХ ВИМОГ ЯКІ СПРИЧИНЕНІ
ВІДМОВАМИ ГОЛОВНИХ ДВИГУНІВ НА ОДНЕ СУДНО ЗА ОДИН РІК, В USD, В
ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ТИПУ ГОЛОВНОГО ДВИГУНА**



Виконавець:
Керівник:

Корчак О.В.
Калугін В.М.

5 СЕРЕДНІ ВИТРАТИ НА ВІДШКОДУВАННЯ ПОЗОВНИХ ВИМОГ ВИКЛИКАНИХ ВІДМОВАМИ РЯДНИХ І V-ПОДІБНИХ ГОЛОВНИХ СОД



Виконавець:
Керівник:

Корчак О.В.
Калугін В.М.

6 ПРИЧИНИ ВІДМОВ СДВЗ

Основні причини відмов СДВЗ усіх типів, за даними SC

Вузли і деталі СДВЗ	Кількість відмов	Відносна кількість відмов, %
Газотурбокомпресори	145	47,7
Взаємозалежні компоненти	65	21,4
Втулки циліндрів	35	11,5
Підшипники, шийки валів	17	5,6
Колінчасті вали, шатуни	16	5,3
Поршні, штоки поршнів	11	3,6
Остов і блоки циліндрів, анкерні кріплення	8	2,6
Крейцкопфи, повзуни	7	2,3
Усього	304	100

Основні причини відмов МОД, за даними SC

Вузли і деталі СДВЗ	Кількість відмов	Відносна кількість відмов, %
Газотурбокомпресори	114	54,8
Взаємозалежні компоненти	40	19,2
Втулки циліндрів	28	13,4
Підшипники, шийки валів	14	6,8
Розподільні вали	12	5,8
Усього	208	100

Основні причини відмов СОД, за даними SC

Вузли і деталі СДВЗ	Кількість відмов	Відносна кількість відмов, %
Газотурбокомпресори	31	38,8
Взаємозалежні компоненти	25	31,2
Колінчасті вали, шатуни	12	15,0
Втулки циліндрів	7	8,8
Поршні, штоки поршнів	5	6,2
Усього	80	100

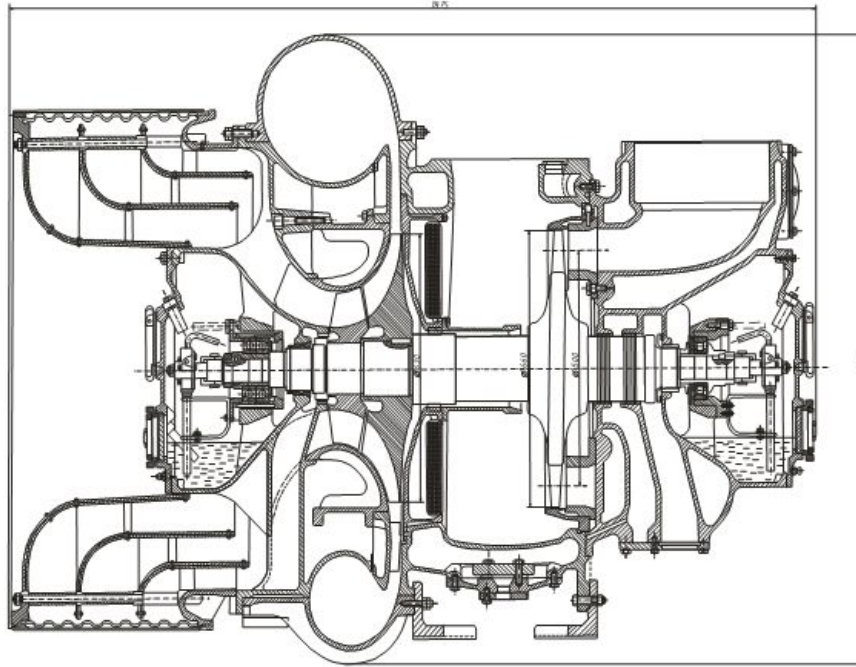
Основні причини відмов МОД, за даними LR

Вузли і деталі СДВЗ	Відносна кількість відмов, %
Газотурбокомпресори	18,0
Поршні	10,0
Втулки циліндрів	9,0
Колінчасті вали	8,0
Шатуни	7,0
Штоки поршнів	4,0
Відмови інших конструктивних вузлів	44,0
Усього	100

Виконавець:
Керівник:

Корчак О.В
Калугін В.М.

7 ГАЗОТУРБОКОМПРЕСОР ТИПУ VTR ФІРМИ «BROWN BOVERY»



Відносна кількість несправностей деталей газотурбокомпресорів типу VTR головних МОД

Несправності газотурбокомпресорів типу VTR	Відносна кількість несправностей, %
Газотурбокомпресор, як єдиний агрегат	6,4
Ротор газотурбокомпресору в зборі	23,3
Лабіринтові ушільнення	11,1
Прийомні пристрої на всмоктуванні повітря	3,2
Робоче колесо включно з лопатковими апаратами	11,9
Соплові лопатки турбіни	12,7
Робочі лопатки турбіни	11,9
Опорно-упорний підшипник кочення з боку компресору	1,8
Система мащення опорно-упорного підшипника з насосом мащення	8,2
Опорний підшипник ковзання з боку турбіни	2,5
Система мащення опорного підшипника з насосом мащення	7,0
Усього:	100,0

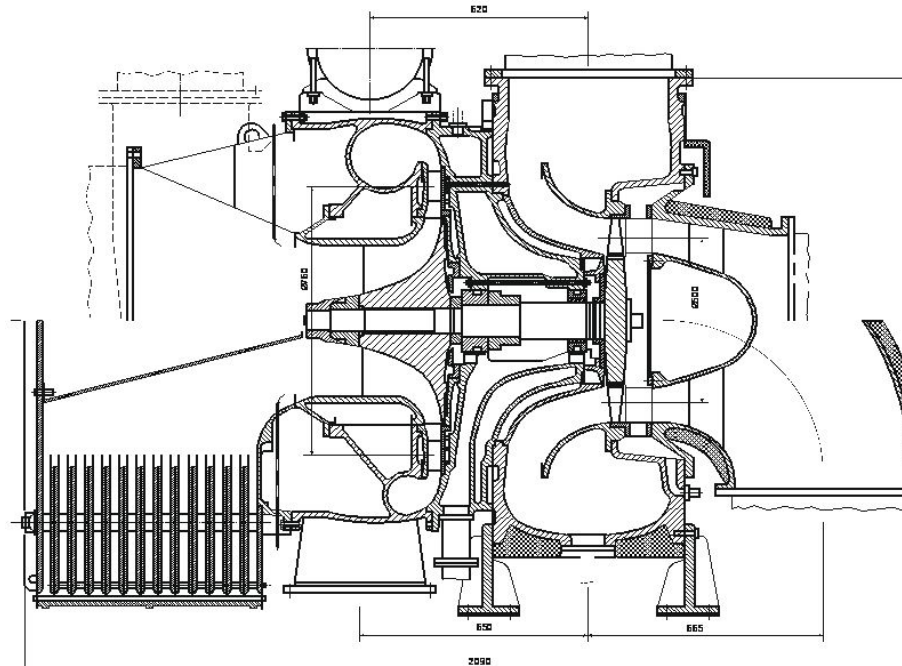
Виконавець:

Корчак О.В

Керівник:

Калугін В.М.

8 ГАЗОТУРБОКОМПРЕСОР ТИПУ NA ФІРМИ MAN-B&W



Відносна кількість несправностей деталей газотурбокомпресорів типу NA головних МОД

Несправності газотурбокомпресорів типу NA	Відносна кількість несправностей, %
Газотурбокомпресор, як єдиний агрегат	5,0
Ротор газотурбокомпресору в зборі	18,3
Лабіринтові ущільнення	8,7
Прийомні пристрої на всмоктуванні повітря	2,5
Робоче колесо включно з лопатковими апаратами	9,3
Соплові лопатки турбіни	10,0
Робочі лопатки турбіни	9,3
Опорно-упорний підшипник ковзання з боку компресору	11,6
Опорний підшипник ковзання з боку турбіни	12,1
Система мащення підшипників	13,2
Усього:	100,0

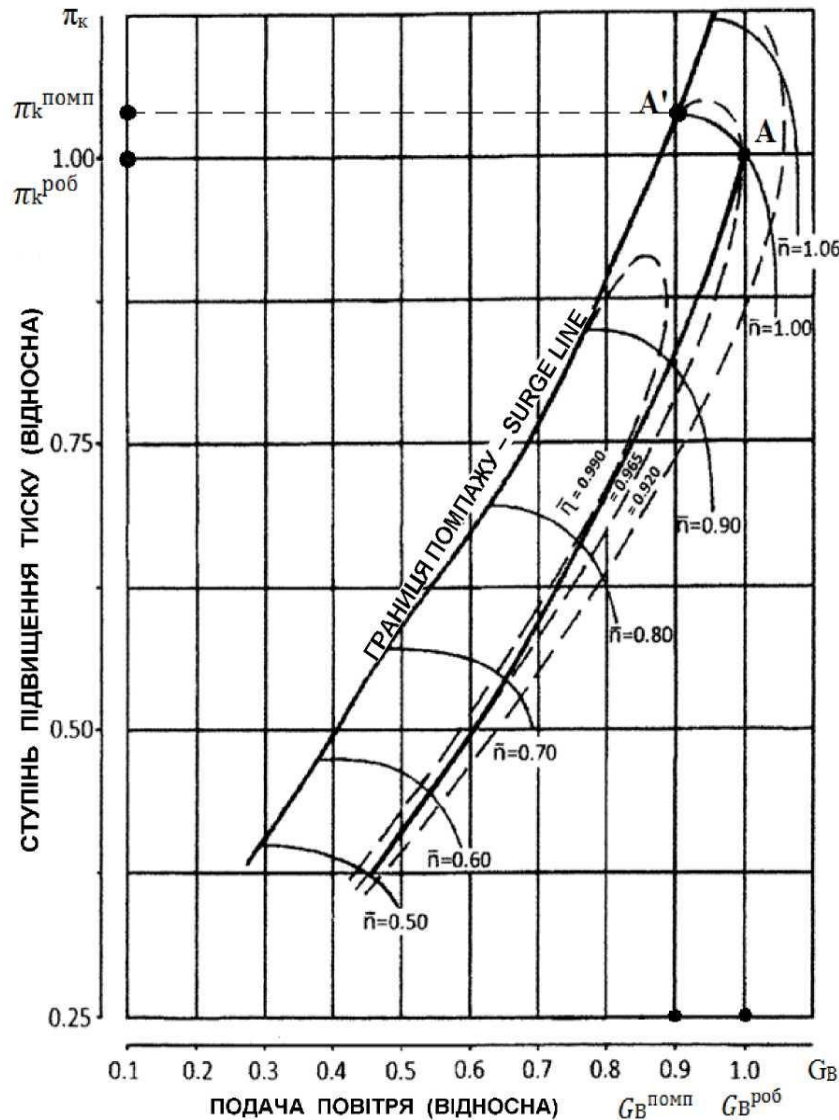
Виконавець:

Корчак О.В

Керівник:

Калугін В.М.

9 ВИЗНАЧЕННЯ ЗАПАСУ СТІЙКОСТІ ГАЗОТУРБОКОМПРЕСОРУ ПО ПОМПАЖУ



$$K_{CT} = \left(\frac{G_B^{роб}}{G_B^{помп}} \cdot \frac{\pi_k^{помп}}{\pi_k^{роб}} - 1 \right) \cdot 100\%$$

$\pi_k^{помп}$ і $G_B^{помп}$ – ступінь підвищення тиску і витрата повітря в точці перетину лінії постійної частоти обертання компресора (точка A') з межею помпажу;

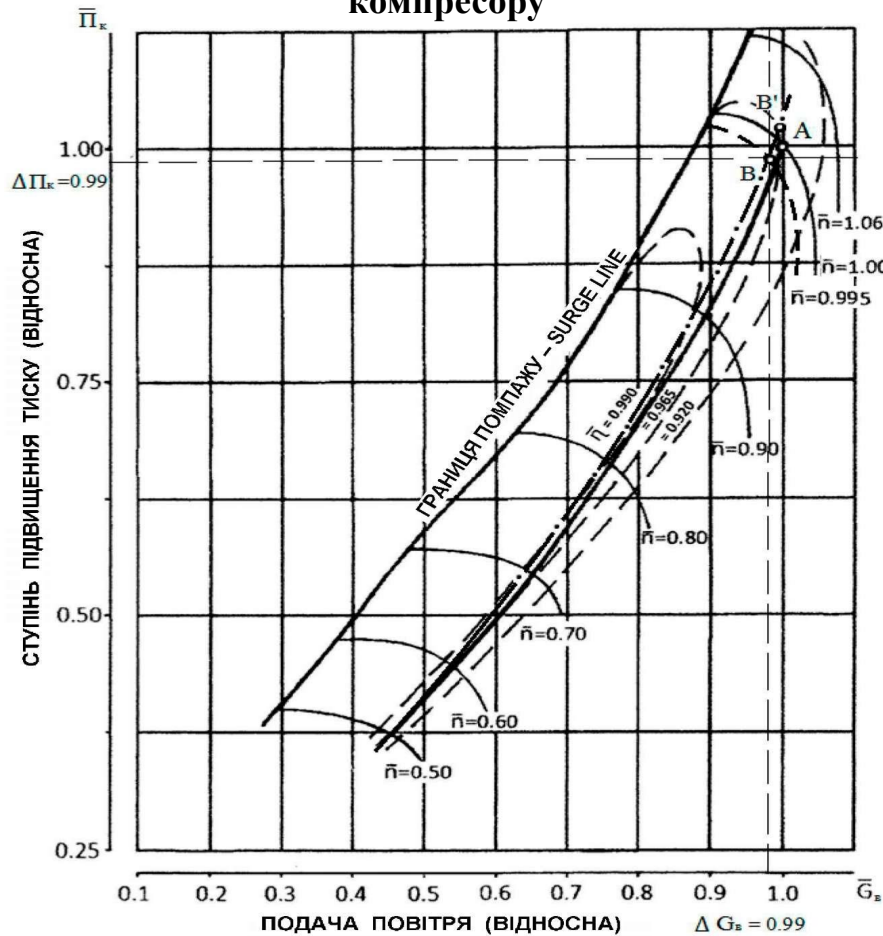
$\pi_k^{роб}$ і $G_B^{роб}$ – ступінь підвищення тиску і витрата повітря в точці спільної роботи компресора з дизелем (точка A).

Виконавець:
Керівник:

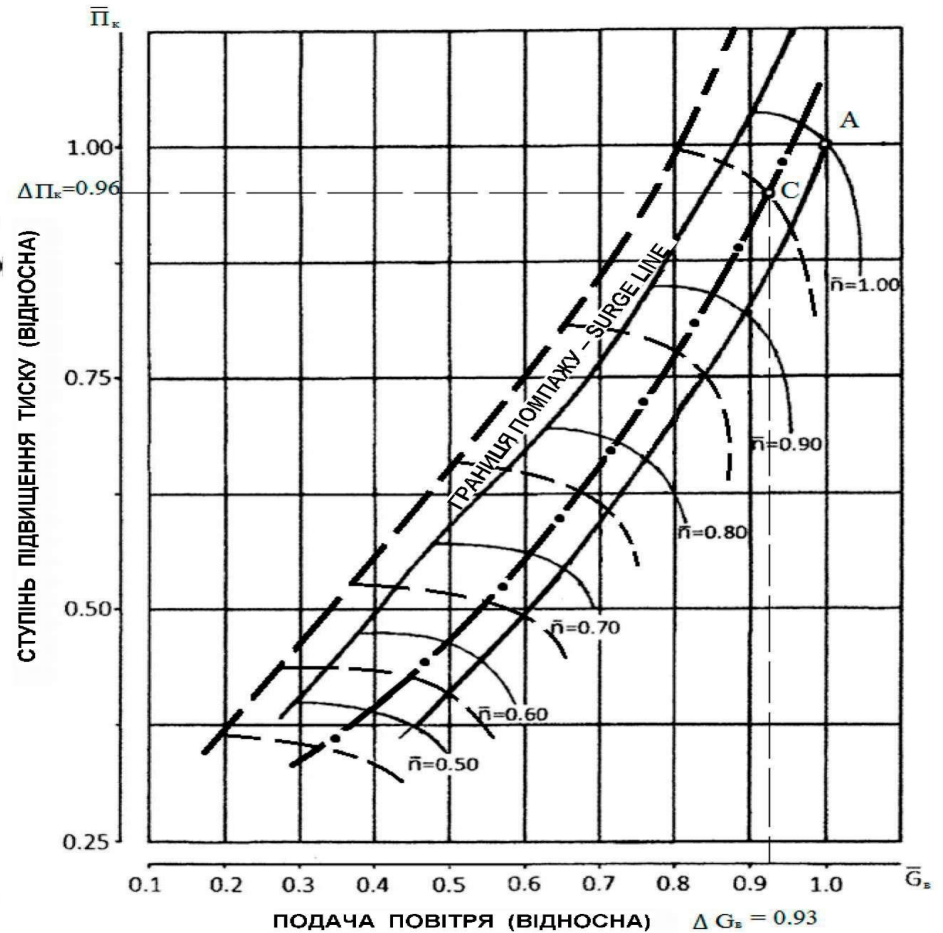
Корчак О.В.
Калугін В.М.

10 ВПЛИВ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ КОМПРЕСОРУ НА ЗМІНИ СПІЛЬНОЇ ГІДРОДИНАМІЧНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГТК І ДИЗЕЛЯ

Зміна спільної гідродинамічної характеристики ГТК типу NA і дизеля MAN-B&W при збільшенні опору повітря – приймальних пристроїв компресору



Зміна спільної гідродинамічної характеристики ГТК типу NA і дизеля MAN-B&W при збільшенні шару відкладень в проточній частині компресору

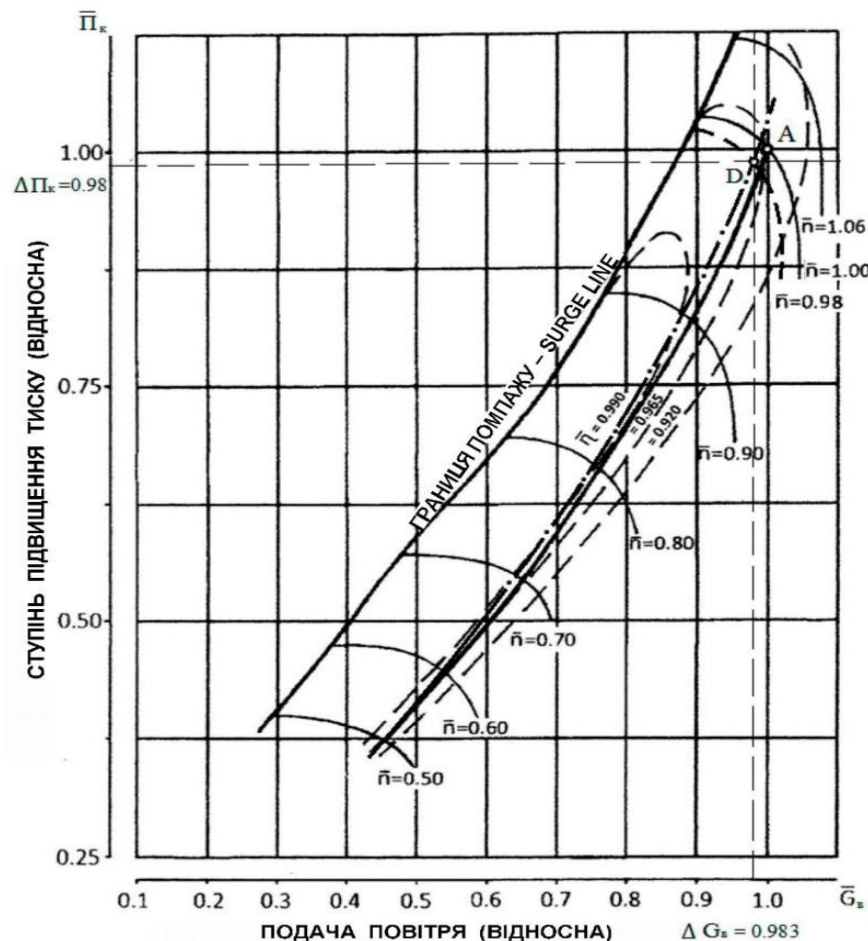


Виконавець:
Керівник:

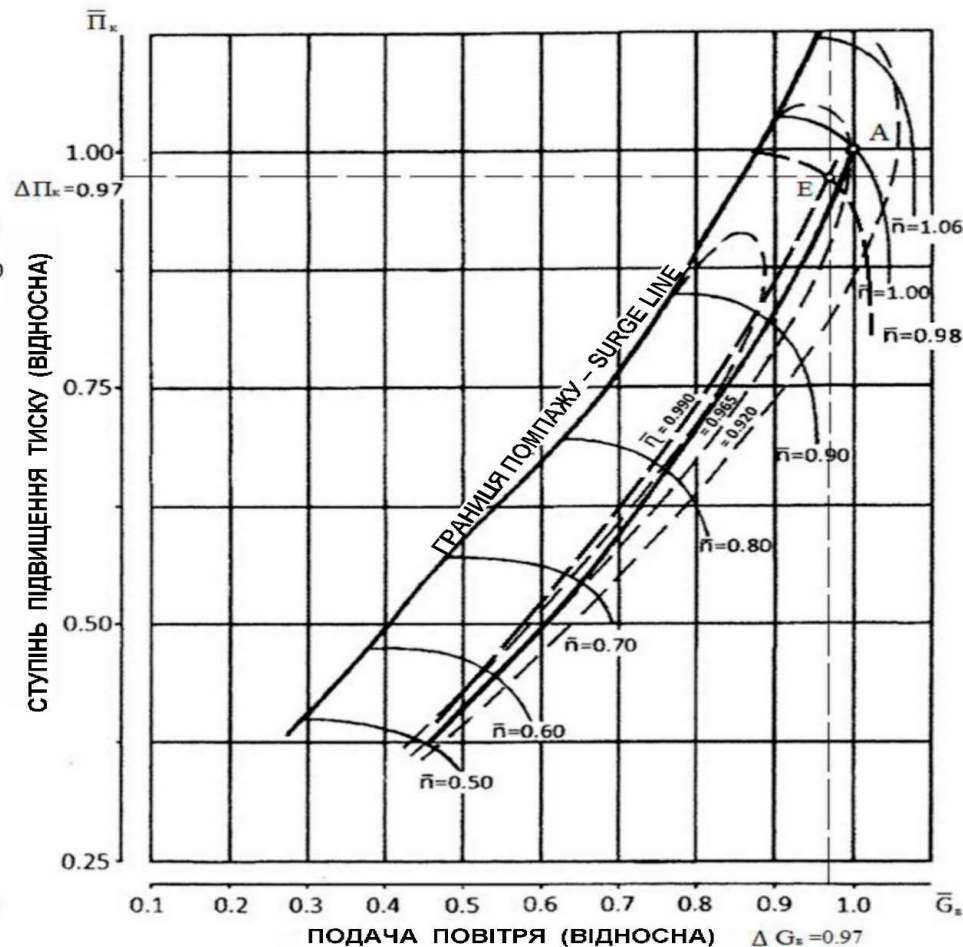
Корчак О.В.
Калугін В.М.

11 ВПЛИВ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ КОМПОНЕНТІВ ПОВІТРЯНО-ГАЗОВОГО ТРАКТУ НА ЗМІНИ СПІЛЬНОЇ ГІДРОДИНАМІЧНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГТК І ДИЗЕЛЯ

Зміна спільної гідродинамічної характеристики ГТК типу NA і дизеля MAN-B&W при збільшенні опору охолоджувача повітря



Зміна спільної гідродинамічної характеристики ГТК типу NA і дизеля MAN-B&W при відкладеннях в продувних вікнах циліндрів МОД

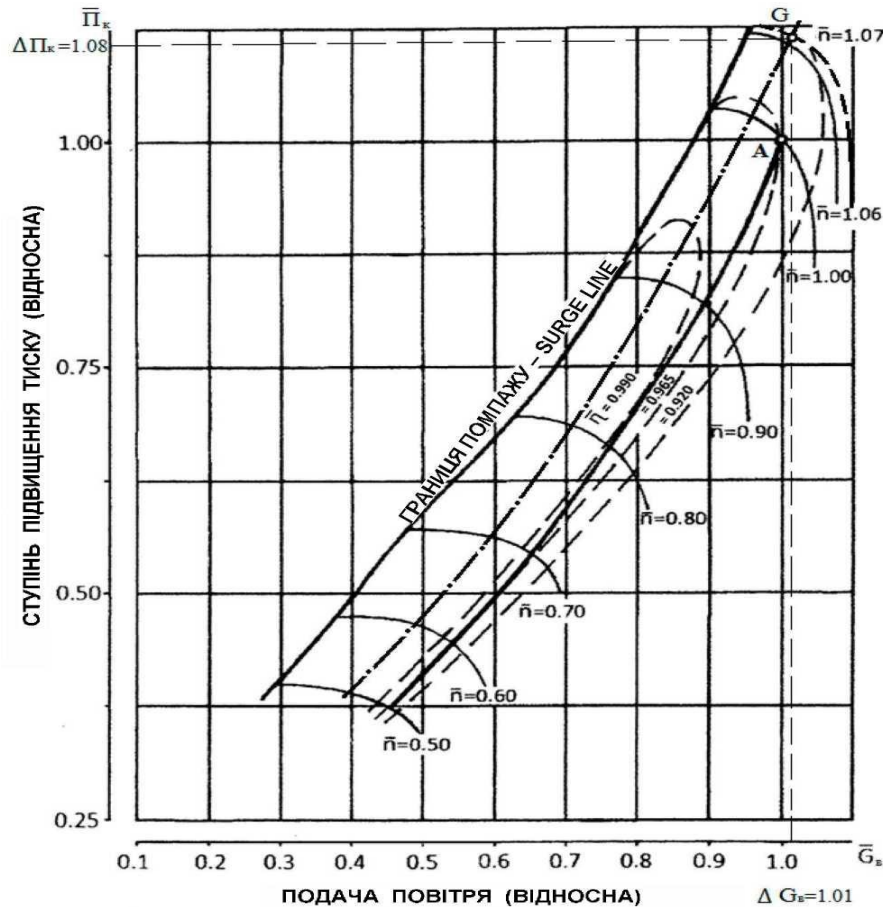


Виконавець:
Керівник:

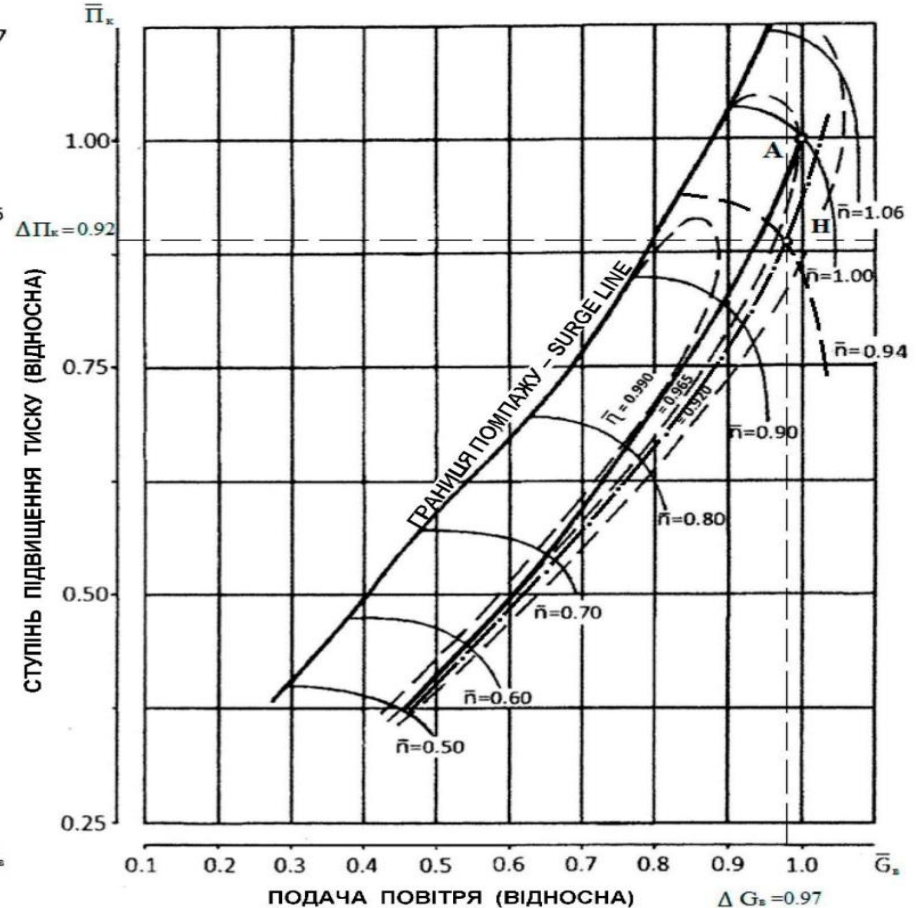
Корчак О.В
Калугін В.М.

12 ВПЛИВ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ТУРБІНИ НА ЗМІНИ СПІЛЬНОЇ ГІДРОДИНАМІЧНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГТК І ДИЗЕЛЯ

Зміна спільної гідродинамічної характеристики ГТК типу NA і дизеля MAN-B&W при зменшенні прохідного перерізу соплового апарату турбіни



Зміна спільної гідродинамічної характеристики ГТК типу NA і дизеля MAN-B&W при збільшенні прохідного перерізу соплового апарату турбіни



Виконавець:
Керівник:

Корчак О.В
Калугін В.М.

13 ВПЛИВ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ВУЗЛІВ ГТК І ЕЛЕМЕНТІВ ПГТ НА ОСНОВНІ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ РОБОТИ СДВЗ ПО З УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТІВ І ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ДАНИХ

Відносні зміни техніко-економічних показників роботи СДВЗ	Відносні значення величин коефіцієнтів впливу зміни непрямих показників технічного стану компонентів ГТК і ПГТ								
	$\sigma (\Delta P_v)$ $K_{\Delta P_v}$	σF_d K_{F_d}	σt_s K_{t_s}	$\sigma F_{зкв}$ $K_{F_{зкв}}$	σF_p K_{F_p}	$\sigma(+F_T)$ $K_{(+F_T)}$	$\sigma (-F_T)$ $K_{(-F_T)}$	$\sigma P_{г2}$ $K_{P_{г2}}$	$\sigma \eta_{тк}$ $K_{\eta_{тк}}$
	Двотактні двигуни								
σg_e	0,006	- 0,300	0,043	-0,060	-0,040	0,170	-0,230	0,050	-0,400
σt_T	0,025	-0,600	0,170	-0,240	-0,240	0,580	-0,580	0,100	-0,780
	Чотиритактні двигуни								
σg_e	0,045	-0,280	0,043	-0,020	-	0,170	- 0,230	0,240	-0,350
σt_T	0,018	-0,600	0,170	-0,100	-	0,580	-0,580	0,400	-0,720

У тому випадку, якщо технічний стан кожного з вузлів ГТК і елементів ПГТ погіршиться на 10 %, без урахування зміни $\eta_{тк}$, то це призведе до зростання g_e на $\approx 7,3\%$; t_T на $\approx 19,6\%$

Виконавець:
Керівник:

Корчак О.В
Калугін В.М.

14 МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ФУНКЦІОНУВАННЯ КОМПЛЕКСУ ЦИЛІНДРИ ДИЗЕЛЯ-ГТК-ПГТ

$$\left. \begin{aligned} & a_{11} \cdot \delta x_1 + a_{12} \cdot \delta x_2 + \dots + a_{1j} \cdot \delta x_i = b_{1n} \cdot \delta y_1 \\ & a_{21} \cdot \delta x_1 + a_{22} \cdot \delta x_2 + \dots + a_{2j} \cdot \delta x_i = b_{2n} \cdot \delta y_2 \\ & \\ & a_{i1} \cdot \delta x_1 + a_{i2} \cdot \delta x_2 + \dots + a_{ij} \cdot \delta x_i = b_{in} \cdot \delta y_n \end{aligned} \right\}$$

δx_i - відносні зміни залежних змінних, що відображають вихідні параметри, $i=1.....6$;
 δy_n - відносні зміни незалежних змінних, що відображають структурні параметри, $n=1.....4$;
 a_{ij} і b_{in} - коефіцієнти впливу при відносних змінах залежних і незалежних змінних, відповідно, $j=i=1...6$.

Математична модель ГТК - ПГТ – циліндри дизеля, представлена системою лінійних рівнянь, при вирішенні яких використуван метод Гаусса.

В якості незалежних змінних обрано 4 показників, що відображають технічний стан елементів ГТК і ВГТ: $\delta\eta_K$, δF_D , δF_T , $\delta\eta_T$, і позначені в системі вихідних рівнянь відповідно, $\delta y_1 \dots \delta y_4$.

В якості залежних, прийнято 6 змінних, що представляють відносні зміни параметрів робочих процесів в компресорі, ПО, циліндрах дизеля і газовій турбіні: δp_K , δG_B , δp_T , δG_T , δT_S , δT_T -значенні в системі вихідних рівнянь, відповідно, δx_1 δx_6 .

Коефіцієнти, що отримани в результаті перетворень системи лінійних рівнянь відображають кількісний вплив незалежних змінних на параметри робочих процесів в ГТК, ПГТ і циліндрах дизеля.

Система вихідних рівнянь формувалася з урахуванням особливостей організації системи повітряпостачання і газообміну циліндрів дизеля, що накладає умови в процесі їх вирішення, наприклад, для деяких типів двигунів: $\delta G_{\Gamma} = \delta G_{\text{В}}$, $\delta N_{\text{Т}} = \delta N_{\text{К}}$, $\delta \pi_{\text{К}} = \delta \pi_{\text{Т}}$.

Виконавець:
Керівник:

Корчак О.В
Калугін В.М.

15 ФОРМУВАННЯ КОЕФІЦІЄНТІВ ВПЛИВУ НЕЗАЛЕЖНИХ ЗМІННИХ НА ЗАЛЕЖНІ ПАРАМЕТРИ І ПОКАЗНИКИ РОБОТИ СДВЗ

Пара метр	$\delta\eta_K$	$\delta\eta_T^*$	δF_c	δF_d
$\delta\pi_K$	$\frac{\frac{K_B}{K_t} - \frac{1 + K_2 K_8}{K_8 K_x}}{\frac{K_a}{K_t} - \left(\frac{K_1}{K_8} - 1 + K_1 K_2\right) \frac{1}{K_x}}$	$\frac{1}{K_H} \left(\frac{1}{K_8 K_x} + \frac{K_\varphi K_\psi}{K_8 K_t} \right)$	$\frac{K_t - K_x}{K_H K_t K_x}$	$-\frac{1}{K_H K_x}$
$\delta\pi_T^*$	$\frac{\frac{1}{K_B} \left[\frac{K_1 K_5}{K_H} - \frac{1}{K_t} X \right]}{X \left(\frac{K_a K_5}{K_H} - K_B \right) - 1}$	$\frac{1}{K_8} \left[\frac{K_1}{K_H} \left(\frac{1}{K_8 K_x} + \frac{K_\varphi K_\psi}{K_8 K_t} \right) + \frac{K_a}{K_H K_t} \left(\frac{1}{K_8 K_x} + \frac{K_\varphi K_\psi}{K_8 K_t} \right) - \frac{K_\varphi K_\psi}{K_8 K_t} - 1 \right]$	$\frac{1}{K_8 K_t} \left[\frac{K_a}{K_H} \left(\frac{K_t - K_x}{K_t K_x} \right) + \frac{K_1 (K_t - K_x)}{K_H K_x} \right]$	$\frac{K_a - K_1 K_2}{K_8 K_H K_x K_t}$
δG_B	$\frac{\left(\frac{K_B}{K_t} - \frac{1 + K_2 K_8}{K_8 K_x} \right) (1 - K_1 K_2)}{\frac{K_a}{K_t} - \frac{1}{K_x} \left(\frac{K_1}{K_8} - 1 + K_1 K_2 \right)} + K_2$	$\frac{1 - K_1 K_2}{K_H K_8} \left(\frac{1}{K_x} + \frac{K_\varphi K_\psi}{K_t} \right)$	$\frac{1 - K_1 K_2}{K_H K_x K_t} (K_t - K_x)$	$1 - \frac{K_x}{K_H} (1 - K_1 K_2)$
δT_T^*	$\frac{1}{K_t} \left(\frac{K_a K_5}{K_H} - K_B \right)$	$\frac{K_\varphi K_\psi}{K_8 K_t} + \frac{K_a}{K_8 K_H K_t} X$ $X \left(\frac{1}{K_x} + \frac{K_\varphi K_\psi}{K_t} \right)$	$\frac{K_a (K_t - K_x)}{K_H K_x K_t}$	$-\frac{K_a}{K_H K_x K_t}$
δT_s	$K_2 \left(\frac{K_1 K_5}{K_H} + 1 \right)$	$\frac{K_1 K_2}{K_H K_8} \left(\frac{1}{K_x} + \frac{K_\varphi K_\psi}{K_t} \right)$	$K_1 K_2 \frac{K_t - K_x}{K_H K_x K_t}$	$-\frac{K_1 K_2}{K_H K_x}$
δG_T	$\frac{K_8}{K_H} (1 - K_1 K_2) + K_2 + \frac{K_{10}}{K_t} \left(\frac{K_a K_5}{K_H} - K_{10} \right) - (K_{10} - 1) \left(\frac{K_1 K_2 K_5}{K_H} + K_2 \right)$	$\frac{1 - K_1 K_2}{K_H K_8} \left(\frac{1}{K_x} + \frac{K_\varphi K_\psi}{K_t} \right) + \frac{K_{10}}{K_8} \left[\frac{K_\varphi K_\psi}{K_t} + \frac{K_a}{K_H K_t} X \right]$ $X \left(\frac{1}{K_x} + \frac{K_\varphi K_\psi}{K_t} \right) - (K_{10} - 1) \frac{K_1 K_2}{K_H K_8} \left(\frac{1}{K_x} + \frac{K_\varphi K_\psi}{K_t} \right)$	$\frac{K_t - K_x}{K_H K_x K_t} [K_a K_{10} - (1 - K_1 K_2) - K_1 K_2 (K_{10} - 1)]$	$1 - \frac{K_x}{K_H} (1 - K_1 K_2) + \frac{K_{10} K_a}{K_t K_H K_x} - \frac{(K_{10} - 1) K_1 K_2}{K_H K_x}$

Виконавець:
Керівник:

Корчак О.В.
Калугін В.М.

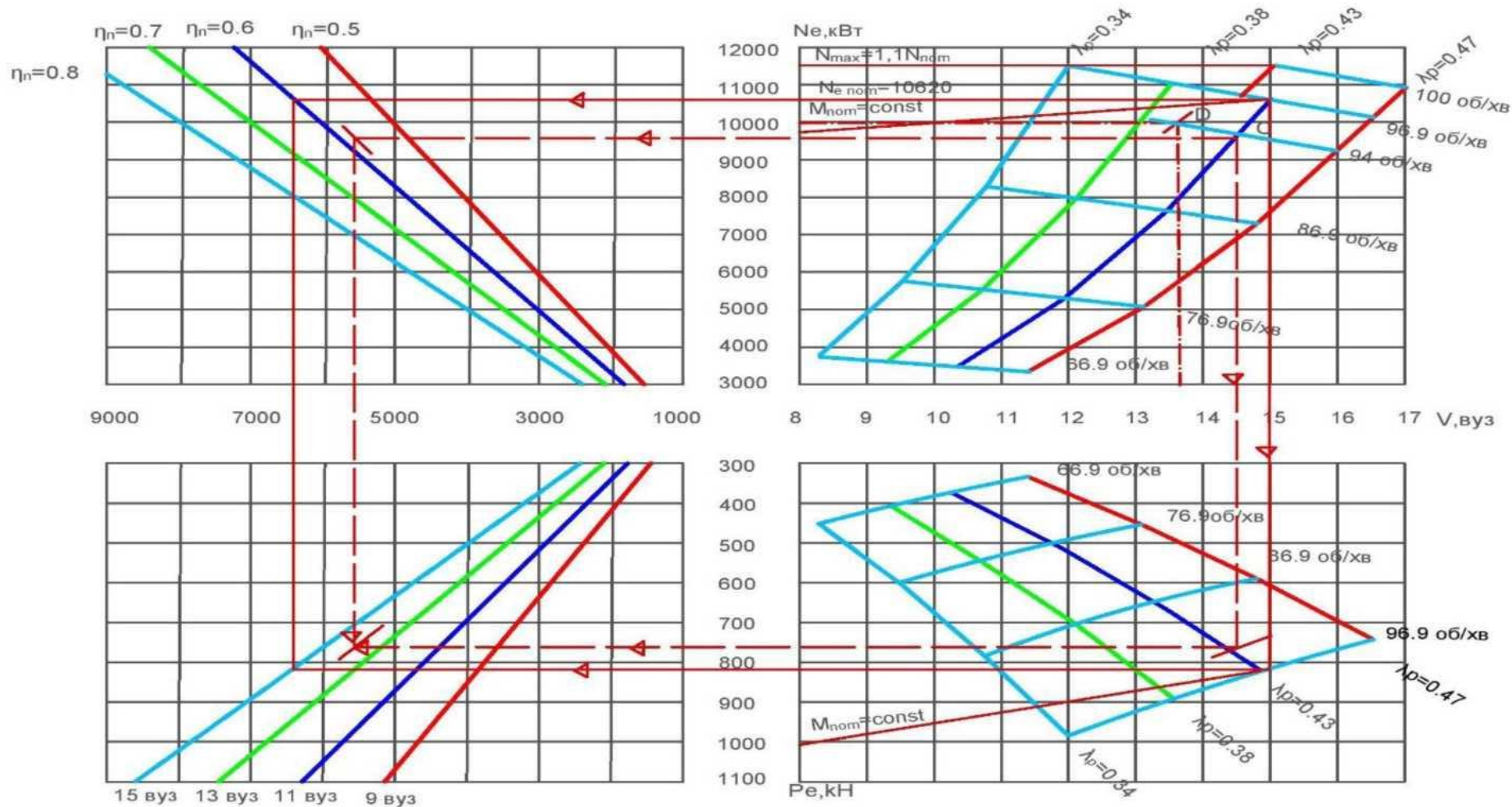
**16 РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКІВ КОЕФІЦІЄНТІВ ВПЛИВУ НЕЗАЛЕЖНИХ ЗМІННИХ
НА ЗАЛЕЖНІ ПАРАМЕТРИ І ПОКАЗНИКИ РОБОТИ ДВИГУНА
MAN-B&W L60MC**

Параметр	$\delta\eta_K$	$\delta\eta_{LT}^*$	δF_c	δF_d
$\delta\pi_K$	-0,0523	-0,677	-0,3083	$\pm 1,623$
$\delta\pi_T^*$	-0,3285	-1,2140	-0,1306	$\pm 1,4531$
δG_B	-0,8342	-1,0736	0,4889	$\pm 1,4018$
δT_T^*	0,5537	0,1696	$\pm 0,7537$	$\pm 0,3837$
δT_s	$\pm 0,0325$	$\pm 0,4189$	$\pm 0,1907$	$\pm 0,2334$
δG_T	-0,5960	-1,3810	$\pm 1,2242$	$\pm 1,6629$

Виконавець:
Керівник:

Корчак О.В
Калугін В.М.

17 ХОДОВА ХАРАКТЕРИСТИКА СУДНА



Чистий корпус судна, точка С

Чистий корпус судна, точка D

$N_e = 9600$ кВт $\eta_n = 0.94$ $V_c = 14.5$ вузла

$N_e = 10000$ кВт $\eta_n = 0.94$ $V_c = 13.7$ вузла

Виконавець:
Керівник:

Корчак О.В.
Калугін В.М.