

РОЗДІЛ 3

ТОЧНІСТЬ РОЗРОБЛЕНОГО МЕТОДУ ПОРІВНЯЛЬНОЇ НЕПРЯМОЇ ОЦІНКИ ГРАНИЦІ ВИТРИВАЛОСТІ ВІДНОВЛЕНИХ КОЛІНЧАТИХ ВАЛІВ ДВЗ

3.1 Систематична похибка розробленого методу, обумовлена вибором швидкості збільшення амплітуди напруження

При прискорених випробуваннях на опір втомі швидкість збільшення амплітуди напруження зазвичай приймають в діапазоні значень 50 - 600 Па / цикл. У деяких відомих методах (наприклад, в методі М. Про [110]) величини швидкостей приймають в широкому діапазоні значень для підвищення точності оцінки границі витривалості. У прискорених методах, схеми яких передбачають випробування одного елемента, значення α приймають максимальними, іноді до 1200 Па / цикл. У нашому конкретному випадку для розробленого методу величину швидкості α рекомендовано приймати у відносно вузькому діапазоні. Тому для оцінки впливу цього режимного параметра на величину руйнівних напружень проведемо розрахунок величин σ_p^C ; σ_p^W ; σ_p^{WY} і σ_p^{CW} при $\alpha = 100 - 600$ Па / цикл (за залежностями (2.5) – (2.7). Значення границі витривалості приймемо в діапазоні 100 - 500 МПа, імітуючи його розсіювання аналогічно тому, як це було зроблено при розрахунку величин в табл. 2.1. Результати розрахунку представлені в табл. 3.1 - 3.4.

Таблиця 3.1

Розрахункові значення σ_p^C ; σ_p^W ; σ_p^{WV} і σ_p^{CW} при $\alpha = 100$ Па / цикл

σ_{Ri} , МПа	σ_p^C , МПа	σ_p^W , МПа	σ_p^{WV} , МПа	σ_p^{CW} , МПа
1	2	3	4	5
$\bar{\sigma}_R = 100$ МПа; $\alpha = 100$ Па / цикл				
83,7	138,3	147,8	128,4	143,1
87,1	142,5	150,3	131,8	146,4
88,9	144,7	151,6	133,6	148,2
94,5	151,5	155,9	139,2	153,7
96,4	153,8	157,3	141,1	155,5
96,8	154,2	157,6	141,5	155,9
99,3	157,2	159,6	144,0	158,4
101,8	160,2	161,6	146,5	160,9
108,8	168,3	167,3	153,5	167,8
114,2	174,6	171,7	158,9	173,2
Середні значення	154,5	158,0	141,9	156,3
$\bar{\sigma}_R = 200$ МПа; $\alpha = 100$ Па / цикл				
172,0	238,4	223,0	216,7	230,7
187,1	254,5	237,1	231,8	245,8
191,3	258,9	241,0	236,0	250,0
193,6	261,4	243,2	238,3	252,3
197,0	264,9	246,4	241,7	255,7
197,0	264,9	246,4	241,7	255,7
200,2	268,3	249,4	244,9	258,9
202,5	270,7	251,6	247,2	261,1
207,2	275,7	256,0	251,9	265,8
211,0	279,6	259,6	255,7	269,6
Середні значення	263,7	245,4	240,6	254,6

Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4	5
$\bar{\sigma}_R = 300$ МПа; $\alpha = 100$ Па / цикл				
294,8	365,9	340,5	339,5	353,2
297,7	368,9	343,4	342,4	356,1
298,8	370,0	344,4	343,5	357,2
300,6	371,8	346,2	345,3	359,0
301,7	372,9	347,3	346,4	360,1
303,7	375,0	349,2	348,4	362,1
307,3	378,6	352,7	352,0	365,7
308,3	379,6	353,7	353,0	366,7
314,1	385,5	359,4	358,8	372,5
323,2	394,7	368,3	367,9	381,5
Середні значення	376,3	350,5	349,7	363,4
$\bar{\sigma}_R = 400$ МПа; $\alpha = 100$ Па / цикл				
387,3	459,3	431,6	432,0	445,4
387,9	459,9	432,2	432,6	446,0
393,7	465,7	437,9	438,4	451,8
393,8	465,8	438,0	438,5	451,9
396,4	468,4	440,6	441,1	454,5
397,5	469,5	441,7	442,2	455,6
398,5	470,5	442,7	443,2	456,6
405,7	477,7	449,8	450,4	463,8
407,3	479,3	451,4	452,0	465,4
413,3	485,3	457,4	458,0	471,3
Середні значення	470,1	442,3	442,9	456,2
$\bar{\sigma}_R = 500$ МПа; $\alpha = 100$ Па / цикл				
483,5	555,3	527,3	528,2	541,3
492,1	563,9	535,8	536,8	549,9

Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4	5
494,0	565,8	537,7	538,7	551,8
498,7	570,5	542,4	543,4	556,4
504,2	575,9	547,9	548,9	561,9
504,7	576,4	548,4	549,4	562,4
505,5	577,2	549,2	550,2	563,2
506,6	578,3	550,3	551,3	564,3
507,8	579,5	551,5	552,5	565,5
510,1	581,8	553,8	554,8	567,8
Середні значення	572,5	544,4	545,4	558,4

Таблиця 3.2

Розрахункові значення σ_p^C ; σ_p^W ; σ_p^{WV} и σ_p^{CW} при $\alpha = 200 \text{ Па} / \text{цикл}$

$\bar{\sigma}_R = 100 \text{ МПа}; \alpha = 200 \text{ Па} / \text{цикл}$				
$\sigma_{Ri}, \text{ МПа}$	$\sigma_p^C, \text{ МПа}$	$\sigma_p^W, \text{ МПа}$	$\sigma_p^{WV}, \text{ МПа}$	$\sigma_p^{CW}, \text{ МПа}$
1	2	3	4	5
83,7	158,8	171,5	146,9	165,2
87,1	163,2	173,7	150,3	168,5
88,9	165,5	175,0	152,1	170,2
94,5	172,5	178,9	157,7	175,7
96,4	174,9	180,3	159,6	177,6
96,8	175,4	180,6	160,0	178,0
99,3	178,4	182,4	162,5	180,4
101,8	181,5	184,3	165,0	182,9
108,8	189,9	189,7	172,0	189,8
114,2	196,3	194,0	177,4	195,1

Продовження таблиці 3.2

1	2	3	4	5
Середні значення	175,6	181,0	160,4	178,3
$\bar{\sigma}_R = 200$ МПа; $\alpha = 200$ Па / цикл				
172,0	261,1	243,9	235,2	252,5
187,1	277,4	257,7	250,3	267,5
191,3	281,8	261,6	254,5	271,7
193,6	284,3	263,7	256,8	274,0
197,0	287,9	266,9	260,2	277,4
197,0	287,9	266,9	260,2	277,4
200,2	291,3	269,9	263,4	280,6
202,5	293,7	272,0	265,7	282,9
207,2	298,7	276,4	270,4	287,5
211,0	302,7	280,0	274,2	291,3
Середні значення	286,7	265,9	259,1	276,3
$\bar{\sigma}_R = 300$ МПа; $\alpha = 200$ Па / цикл				
294,8	389,2	360,5	358,0	374,8
297,7	392,1	363,3	360,9	377,7
298,8	393,2	364,4	362,0	378,8
300,6	395,1	366,2	363,8	380,6
301,7	396,2	367,3	364,9	381,7
303,7	398,2	369,2	366,9	383,7
307,3	401,9	372,7	370,5	387,3
308,3	402,9	373,7	371,5	388,3
314,1	408,8	379,4	377,3	394,1
323,2	418,0	388,3	386,4	403,2
Середні значення	400,0	370,5	368,3	385,0

Продовження таблиці 3.2

1	2	3	4	5
$\bar{\sigma}_R = 400 \text{ МПа}; \alpha = 200 \text{ Па} / \text{цикл}$				
387,3	482,5	451,7	450,5	467,1
387,9	483,1	452,2	451,1	467,7
393,7	489,0	458,0	456,9	473,5
393,8	489,1	458,1	457,0	473,6
396,4	491,7	460,7	459,6	476,2
397,5	492,8	461,8	460,7	477,3
398,5	493,8	462,8	461,7	478,3
405,7	501,0	469,9	468,9	485,5
407,3	502,6	471,5	470,5	487,0
413,3	508,6	477,5	476,5	493,0
Середні значення	493,4	462,4	461,4	477,9
$\bar{\sigma}_R = 500 \text{ МПа}; \alpha = 200 \text{ Па} / \text{цикл}$				
483,5	578,5	547,6	546,7	563,1
492,1	587,1	556,2	555,3	571,7
494,0	589,0	558,1	557,2	573,6
498,7	593,7	562,8	561,9	578,2
504,2	599,1	568,3	567,4	583,7
504,7	599,6	568,8	567,9	584,2
505,5	600,4	569,6	568,7	585,0
506,6	601,5	570,7	569,8	586,1
507,8	602,7	573,0	571,0	587,3
510,1	605,0	574,3	573,3	589,6
Середні значення	595,7	564,9	564,0	580,3

Таблиця 3.3

Розрахункові значення σ_p^C ; σ_p^W ; σ_p^{WV} і σ_p^{CW} при $\alpha = 400$ Па / цикл

$\bar{\sigma}_R = 100$ МПа; $\alpha = 400$ Па/цикл				
σ_{Ri} , МПа	σ_p^C , МПа	σ_p^W , МПа	σ_p^{WV} , МПа	σ_p^{CW} , МПа
1	2	3	4	5
83,7	183,3	203,9	173,1	188,5
87,1	187,8	205,9	176,5	191,2
88,9	190,2	207,1	178,3	192,7
94,5	197,4	210,7	183,9	197,3
96,4	199,8	211,9	185,8	198,9
96,8	200,3	212,2	186,2	199,2
99,3	203,5	213,9	188,7	201,3
101,8	206,6	215,7	191,2	203,5
108,8	215,2	220,7	198,2	209,5
114,2	221,7	224,7	203,6	214,2
Середні значення	200,6	212,7	186,6	199,6
$\bar{\sigma}_R = 200$ МПа; $\alpha = 400$ Па / цикл				
172,0	287,0	273,2	261,4	280,1
187,1	303,3	286,8	276,5	295,1
191,3	307,8	290,6	280,7	299,2
193,6	310,2	292,8	283,0	301,5
197,0	313,8	295,9	286,4	304,9
197,0	313,8	295,9	286,4	304,9
200,2	317,2	298,8	289,6	308,0
202,5	319,7	301,0	291,9	310,3
207,2	324,6	305,3	296,6	315,0
211,0	328,6	308,9	300,4	318,7
Середні значення	312,6	294,9	285,3	303,8

Продовження таблиці 3.3

1	2	3	4	5
$\bar{\sigma}_R = 300$ МПа; $\alpha = 400$ Па / цикл				
294,8	415,0	389,3	384,2	402,1
297,7	417,9	392,1	387,1	405,0
298,8	419,0	393,2	388,2	406,1
300,6	420,8	394,9	390,0	407,9
301,7	422,0	396,0	391,1	409,0
303,7	424,0	398,0	393,1	411,0
307,3	427,6	401,5	396,7	414,6
308,3	428,6	402,5	397,7	415,6
314,1	434,5	408,2	403,5	421,3
323,2	443,7	417,1	412,6	430,4
Середні значення	425,3	399,3	394,4	412,3
$\bar{\sigma}_R = 400$ МПа; $\alpha = 400$ Па / цикл				
387,3	508,1	480,8	476,7	494,4
387,9	508,7	481,4	477,3	495,0
393,7	514,5	487,2	483,1	500,8
393,8	514,6	487,3	483,2	500,9
396,4	517,2	489,9	485,8	503,5
397,5	518,3	491,0	486,9	504,6
398,5	519,3	492,0	487,9	505,6
405,7	526,5	499,2	495,1	512,8
407,3	528,1	500,8	496,7	514,4
413,3	534,0	506,8	502,7	520,4
Середні значення	518,9	491,6	487,6	505,2
$\bar{\sigma}_R = 500$ МПа; $\alpha = 400$ Па / цикл				
483,5	603,8	577,4	572,9	590,6
492,1	612,4	586,1	581,5	599,2

Продовження таблиці 3.3

1	2	3	4	5
494,0	614,3	588,0	583,4	601,1
498,7	618,9	592,8	588,1	605,8
504,2	624,4	598,3	593,6	611,3
504,7	624,9	598,8	594,1	611,8
505,5	625,7	599,6	594,9	612,6
506,6	626,7	600,8	596,0	613,7
507,8	627,9	602,0	597,2	614,9
510,1	630,2	604,3	599,5	617,3
Середні значення	620,9	594,8	590,1	607,9

Таблиця 3.4

Розрахункові значення σ_p^C ; σ_p^W ; σ_p^{WV} і σ_p^{CW} при $\alpha = 600$ Па / цикл

$\bar{\sigma}_R = 100$ МПа; $\alpha = 600$ Па/цикл				
σ_{Ri} , МПа	σ_p^C , МПа	σ_p^W , МПа	σ_p^{WV} , МПа	σ_p^{CW} , МПа
1	2	3	4	5
83,7	199,6	228,2	193,2	213,9
87,1	204,2	230,1	196,6	217,1
88,9	206,6	231,1	198,4	218,8
94,5	213,9	234,5	204,0	224,2
96,4	216,3	235,7	205,9	226,0
96,8	216,8	236,0	206,3	226,4
99,3	220,0	237,6	208,8	228,8
101,8	223,1	239,3	211,3	231,2
108,8	231,8	244,1	218,3	237,9
114,2	238,3	248,0	223,7	243,2
Середні значення	217,1	236,5	206,7	226,8

Продовження таблиці 3.4

1	2	3	4	5
$\bar{\sigma}_R = 200 \text{ МПа}; \alpha = 600 \text{ Па} / \text{цикл}$				
172,0	303,7	295,6	281,5	299,6
187,1	319,9	309,1	296,6	314,5
191,3	324,3	312,9	300,8	318,6
193,6	326,8	315,0	303,1	320,9
197,0	330,4	318,2	306,5	324,3
197,0	330,4	318,2	306,5	324,3
200,2	333,7	321,1	309,7	327,4
202,5	336,2	323,2	312,0	329,7
207,2	341,1	327,6	316,7	334,3
211,0	345,1	331,1	320,5	338,1
Середні значення	329,1	317,2	305,4	323,2
$\bar{\sigma}_R = 300 \text{ МПа}; \alpha = 600 \text{ Па} / \text{цикл}$				
294,8	431,1	411,6	404,3	421,3
297,7	434,0	414,4	407,2	424,2
298,8	435,2	415,5	408,3	425,3
300,6	437,0	417,3	410,1	427,1
301,7	438,1	418,4	411,2	428,2
303,7	440,1	420,3	413,2	430,2
307,3	443,7	423,9	416,8	433,8
308,3	444,8	424,9	417,8	434,8
314,1	450,6	430,6	423,6	440,6
323,2	459,8	439,6	432,7	449,7
Середні значення	441,4	421,6	414,6	431,5
$\bar{\sigma}_R = 400 \text{ МПа}; \alpha = 600 \text{ Па} / \text{цикл}$				
387,3	523,9	503,6	496,8	513,8
387,9	524,5	504,2	497,4	514,4

Продовження таблиці 3.4

1	2	3	4	5
393,7	530,3	510,0	503,2	520,2
393,8	530,4	510,1	503,3	520,3
396,4	533,0	512,7	505,9	522,9
397,5	534,1	513,9	507,0	524,0
398,5	535,1	514,9	508,0	525,0
405,7	542,3	522,1	515,2	532,2
407,3	543,9	523,7	516,8	533,8
413,3	549,8	529,8	522,8	539,8
Середні значення	534,7	514,5	507,7	524,6
$\bar{\sigma}_R = 500 \text{ МПа}; \alpha = 600 \text{ Па/цикл}$				
483,5	619,5	600,9	593,0	610,3
492,1	628,0	609,7	601,6	618,8
494,0	629,9	611,6	603,5	620,7
498,7	634,5	616,4	608,2	625,5
504,2	639,9	622,0	613,7	631,0
504,7	640,4	622,5	614,2	631,5
505,5	641,2	623,3	615,0	632,3
506,6	642,3	624,4	616,1	633,4
507,8	643,5	625,7	617,3	634,6
510,1	645,8	628,0	619,6	636,8
Середні значення	636,5	618,5	610,3	627,5

Використовуючи дані табл. 3.1 - 3.4 проведемо розрахунок розмахів варіювання границі витривалості і руйнівних напружень (табл. 3.5).

Таблиця 3.5

Розрахунок розмахів варіювання границі витривалості і руйнівних напружень

$\sigma_{R\max} - \sigma_{R\min}$, МПа	$\sigma_{P\max}^C - \sigma_{P\min}^C$, МПа	$\sigma_{P\max}^W - \sigma_{P\min}^W$, МПа	$\sigma_{P\max}^{WU} - \sigma_{P\min}^{WU}$, МПа	$\sigma_{P\max}^{CW} - \sigma_{P\min}^{CW}$, МПа
$\bar{\sigma}_R = 100$ МПа; $\alpha = 100$ Па/цикл				
30,5	36,3	23,9	30,5	30,1
$\bar{\sigma}_R = 200$ МПа; $\alpha = 100$ Па/цикл				
39,0	41,2	36,6	39,0	38,9
$\bar{\sigma}_R = 300$ МПа; $\alpha = 100$ Па/цикл				
28,4	28,8	27,8	28,4	28,3
$\bar{\sigma}_R = 400$ МПа; $\alpha = 100$ Па/цикл				
26,0	26,0	25,8	26,0	25,9
$\bar{\sigma}_R = 500$ МПа; $\alpha = 100$ Па/цикл				
26,5	26,5	26,5	26,6	26,5
$\bar{\sigma}_R = 100$ МПа; $\alpha = 200$ Па/цикл				
30,5	37,5	22,5	30,5	29,9
$\bar{\sigma}_R = 200$ МПа; $\alpha = 200$ Па/цикл				
39,0	41,6	36,1	39,0	38,8
$\bar{\sigma}_R = 300$ МПа; $\alpha = 200$ Па/цикл				
28,4	28,8	27,8	28,4	28,4
$\bar{\sigma}_R = 400$ МПа; $\alpha = 200$ Па/цикл				
26,0	26,1	25,8	26,0	25,9
$\bar{\sigma}_R = 500$ МПа; $\alpha = 200$ Па/цикл				
26,6	26,5	26,7	26,4	26,5
$\bar{\sigma}_R = 100$ МПа; $\alpha = 300$ Па/цикл				
30,5	37,7	21,5	30,6	29,6
$\bar{\sigma}_R = 200$ МПа; $\alpha = 300$ Па/цикл				
39,0	44,9	35,8	38,9	40,4

Продовження таблиці 3.5

1	2	3	4	5
$\bar{\sigma}_R = 300$ МПа; $\alpha = 300$ Па/цикл				
28,4	31,4	27,8	28,3	29,6
$\bar{\sigma}_R = 400$ МПа; $\alpha = 300$ Па/цикл				
26,0	28,2	25,9	26,0	26,7
$\bar{\sigma}_R = 500$ МПа; $\alpha = 300$ Па/цикл				
26,6	28,5	26,7	25,7	27,6
$\bar{\sigma}_R = 100$ МПа; $\alpha = 400$ Па/цикл				
30,5	38,4	20,8	30,5	25,7
$\bar{\sigma}_R = 200$ МПа; $\alpha = 400$ Па/цикл				
39,0	41,0	35,7	39,0	38,6
$\bar{\sigma}_R = 300$ МПа; $\alpha = 400$ Па/цикл				
28,4	28,7	27,8	28,4	28,3
$\bar{\sigma}_R = 400$ МПа; $\alpha = 400$ Па/цикл				
26,0	25,9	26,0	26,0	26,0
$\bar{\sigma}_R = 500$ МПа; $\alpha = 400$ Па/цикл				
26,6	26,4	26,9	26,6	26,7
$\bar{\sigma}_R = 100$ МПа; $\alpha = 600$ Па/цикл				
30,5	38,7	19,8	30,5	29,3
$\bar{\sigma}_R = 200$ МПа; $\alpha = 600$ Па/цикл				
39,0	41,4	35,5	39,0	38,5
$\bar{\sigma}_R = 300$ МПа; $\alpha = 600$ Па/цикл				
28,4	28,7	28,0	28,4	28,4
$\bar{\sigma}_R = 400$ МПа; $\alpha = 600$ Па/цикл				
26,0	25,9	26,2	26,0	26,0
$\bar{\sigma}_R = 500$ МПа; $\alpha = 600$ Па/цикл				
26,6	26,3	27,1	26,6	25,6

Дисперсії границі витривалості і руйнівних напружень визначимо за формулами 2.8 і 2.9. Результати розрахунку наведені в табл. 3.6.

Таблиця 3.6

Розрахунок дисперсій границі витривалості $S_{\sigma_R}^2$ і руйнівних напружень $(S_{\sigma_p}^C)^2$;

$$(S_{\sigma_p}^W)^2; (S_{\sigma_p}^{WY})^2 \text{ і } (S_{\sigma_p}^{CW})^2.$$

$\bar{\sigma}_R = 100 \text{ МПа}; \alpha = 100 \text{ Па/цикл}$				
$S_{\sigma_R}^2, \text{ МПа}^2$	$(S_{\sigma_p}^C)^2, \text{ МПа}^2$	$(S_{\sigma_p}^W)^2, \text{ МПа}^2$	$(S_{\sigma_p}^{WY})^2, \text{ МПа}^2$	$(S_{\sigma_p}^{CW})^2, \text{ МПа}^2$
90,0	127,4	55,4	90,0	87,7
$\bar{\sigma}_R = 200 \text{ МПа}; \alpha = 100 \text{ Па/цикл}$				
121,7	135,9	107,3	121,7	121,0
$\bar{\sigma}_R = 300 \text{ МПа}; \alpha = 100 \text{ Па/цикл}$				
73,1	75,1	69,9	73,1	72,7
$\bar{\sigma}_R = 400 \text{ МПа}; \alpha = 100 \text{ Па/цикл}$				
70,6	70,1	69,4	70,1	70,3
$\bar{\sigma}_R = 500 \text{ МПа}; \alpha = 100 \text{ Па/цикл}$				
71,5	70,7	71,1	71,5	70,8
$\bar{\sigma}_R = 100 \text{ МПа}; \alpha = 200 \text{ Па/цикл}$				
90,0	136,0	49,1	90,0	86,7
$\bar{\sigma}_R = 200 \text{ МПа}; \alpha = 200 \text{ Па/цикл}$				
121,7	138,3	104,3	121,7	120,6
$\bar{\sigma}_R = 300 \text{ МПа}; \alpha = 200 \text{ Па/цикл}$				
73,1	75,4	70,1	73,1	73,1
$\bar{\sigma}_R = 400 \text{ МПа}; \alpha = 200 \text{ Па/цикл}$				
70,6	71,1	69,7	70,6	70,1
$\bar{\sigma}_R = 500 \text{ МПа}; \alpha = 200 \text{ Па/цикл}$				
71,5	70,7	73,6	71,5	70,8

Продовження таблиці 3.6

1	2	3	4	5
$\bar{\sigma}_R = 100$ МПа; $\alpha = 300$ Па/цикл				
90,0	137,1	44,8	80,0	84,4
$\bar{\sigma}_R = 200$ МПа; $\alpha = 300$ Па/цикл				
121,7	161,5	117,3	121,1	143,5
$\bar{\sigma}_R = 300$ МПа; $\alpha = 300$ Па/цикл				
73,1	89,3	70,0	72,6	79,2
$\bar{\sigma}_R = 400$ МПа; $\alpha = 300$ Па/цикл				
70,6	83,3	70,3	70,6	75,7
$\bar{\sigma}_R = 500$ МПа; $\alpha = 300$ Па/цикл				
71,5	81,8	72,1	80,3	76,7
$\bar{\sigma}_R = 100$ МПа; $\alpha = 400$ Па/цикл				
90,0	142,8	42,0	90,0	64,1
$\bar{\sigma}_R = 200$ МПа; $\alpha = 400$ Па/цикл				
121,7	138,3	102,0	121,7	119,3
$\bar{\sigma}_R = 300$ МПа; $\alpha = 400$ Па/цикл				
73,1	74,6	70,2	73,1	72,5
$\bar{\sigma}_R = 400$ МПа; $\alpha = 400$ Па/цикл				
70,6	70,3	70,6	70,6	70,6
$\bar{\sigma}_R = 500$ МПа; $\alpha = 400$ Па/цикл				
71,5	70,3	73,1	71,5	71,7
$\bar{\sigma}_R = 100$ МПа; $\alpha = 600$ Па/цикл				
90,0	144,9	38,1	90,0	83,1
$\bar{\sigma}_R = 200$ МПа; $\alpha = 600$ Па/цикл				
121,7	137,0	101,1	121,7	118,5
$\bar{\sigma}_R = 300$ МПа; $\alpha = 600$ Па/цикл				
73,1	74,6	71,2	73,1	73,1

Продовження таблиці 3.6

1	2	3	4	5
$\bar{\sigma}_R = 400 \text{ МПа}; \alpha = 600 \text{ Па/цикл}$				
70,6	70,3	71,6	70,6	70,6
$\bar{\sigma}_R = 500 \text{ МПа}; \alpha = 600 \text{ Па/цикл}$				
71,5	69,6	74,2	71,5	71,4

Аналіз результатів, наведених у таблицях 3.1 - 3.5, підтверджує раніше зроблений висновок про те, що розрахунок руйнівних напружень, їх розмахів варіювання і дисперсій необхідно проводити за різними кореляційними залежностями, які дозволяють отримати осереднений результат. У наведеному розрахунку такий результат отримано у вигляді різниці величин $\sigma_{P_{\max}}^{CW} - \sigma_{P_{\min}}^{CW}$. При цьому незалежно від швидкості збільшення навантаження їх значення співпадають з величинами $\sigma_{R_{\max}} - \sigma_{R_{\min}}$, а дисперсії $S_{\sigma_R}^2$ и $(S_{\sigma_p}^{CW})^2$ є однорідними.

3.2 Систематична похибка розробленого методу, пов'язана з вибором початкового напруження

При плануванні прискорених випробувань зі зростаючим навантаженням необхідно апріорі призначити рівень початкового навантаження. Оптимальне значення початкового навантаження буде відповідати границі витривалості, величина якого може бути лише орієнтовна. З цієї причини не виключений випадок вибору початкового навантаження, що перевищує границю витривалості, а це вплине на величину руйнівних напружень, і в результаті на точність методу. Оцінити цей вплив можна за допомогою залежності (2.7). Для цього знайдемо значення руйнівних напружень при швидкості $\alpha = 300 \text{ Па/цикл}$ і $\sigma_1 \leq \sigma_R$, а також при $\sigma_1 = \sigma_R + 10 \text{ МПа}$; $\sigma_1 = \sigma_R + 20 \text{ МПа}$ та $\sigma_1 = \sigma_R + 30 \text{ МПа}$ і відповідні значення похибок $\delta_{\sigma_{p10}}$, $\delta_{\sigma_{p20}}$ і $\delta_{\sigma_{p30}}$. Розрахунки проведемо для випадків, коли крива

втомі описується степеневим рівнянням (табл. 3.7) і рівнянням Вейбулла (табл. 3.8). У табл. 3.9 наведені осереднені значення σ_p^{CW} , отримані за формулою

$$\sigma_p^{CW} = \frac{\sigma_p^C + \sigma_p^W}{2}. \quad (3.1)$$

Таблиця 3.7

Розрахункові значення руйнівних напружень σ_p^C і їх похибок при різних рівнях початкового навантаження (за залежністю 2.7)

Руйнівне напруження σ_p^C , МПа при						
$\sigma_1 \leq \sigma_R$, МПа	$\sigma_1 = \sigma_R + 10$, МПа	$\delta_{\sigma_{p10}}$, %	$\sigma_1 = \sigma_R + 20$, МПа	$\delta_{\sigma_{p20}}$, %	$\sigma_1 = \sigma_R + 30$, МПа	$\delta_{\sigma_{p30}}$, %
$\sigma_R = 100$ МПа; $\alpha = 300$ Па/цикл; $m_C = 4,1$; $C_C = 14,2$.						
170,6	184,2	8,0	197,5	15,8	210,5	23,4
$\sigma_R = 200$ МПа, $\alpha = 300$ Па/цикл; $m_C = 6,8$; $C_C = 21,9$.						
296,7	308,5	4,0	320,2	7,9	331,8	11,8
$\sigma_R = 300$ МПа, $\alpha = 300$ Па/цикл; $m_C = 9,5$; $C_C = 29,3$.						
411,1	422,2	2,7	433,2	5,4	444,3	8,1
$\sigma_R = 400$ МПа, $\alpha = 300$ Па/цикл; $m_C = 12,2$; $C_C = 38,2$.						
520,4	531,1	2,1	541,9	4,1	552,6	6,2
$\sigma_R = 500$ МПа, $\alpha = 300$ Па/цикл; $m_C = 14,9$; $C_C = 46,8$.						
626,9	637,4	1,7	648,0	3,4	658,5	5,0

Таблиця 3.8

Розрахункові значення руйнівних напружень σ_p^W і їх похибок при різних рівнях початкового навантаження (за залежністю 2.6)

Руйнівне напруження σ_p^W , МПа при						
$\sigma_1 \leq \sigma_R$, МПа	$\sigma_1 = \sigma_R + 10$, МПа	$\delta_{\sigma_{p10}}$, %	$\sigma_1 = \sigma_R + 20$, МПа	$\delta_{\sigma_{p20}}$, %	$\sigma_1 = \sigma_R + 30$, МПа	$\delta_{\sigma_{p30}}$, %
$\sigma_R = 100$ МПа; $\alpha = 300$ Па/цикл; $m_w = 1,16$; $C_w = 7,50$.						
200,1	200,4	0,15	201,5	0,70	203,5	1,70
$\sigma_R = 200$ МПа, $\alpha = 300$ Па/цикл; $m_w = 0,99$; $C_w = 7,07$.						
285,4	286,0	0,21	287,7	0,81	290,6	1,82
$\sigma_R = 300$ МПа, $\alpha = 300$ Па/цикл; $m_w = 0,91$; $C_w = 6,88$.						
381,1	381,9	0,21	384,0	0,76	387,3	1,63
$\sigma_R = 400$ МПа, $\alpha = 300$ Па/цикл; $m_w = 0,85$; $C_w = 6,78$.						
480,0	480,9	0,19	483,3	0,69	486,8	1,42
$\sigma_R = 500$ МПа, $\alpha = 300$ Па/цикл; $m_w = 0,81$; $C_w = 6,71$.						
580,2	581,3	0,19	583,8	0,62	587,5	1,26

Таблиця 3.9

Розрахункові середні значення руйнівних напружень σ_p^{CW} і їх похибок при різних рівнях початкового навантаження

Руйнівне напруження σ_p^{CW} , МПа при						
$\sigma_1 \leq \sigma_R$, МПа	$\sigma_1 = \sigma_R + 10$, МПа	$\delta_{\sigma_{p10}}$, %	$\sigma_1 = \sigma_R + 20$, МПа	$\delta_{\sigma_{p20}}$, %	$\sigma_1 = \sigma_R + 30$, МПа	$\delta_{\sigma_{p30}}$, %
$\sigma_R = 100$ МПа, $\alpha = 300$ Па/цикл						
185,4	192,3	3,72	199,5	7,61	207,0	11,65

Продовження таблиці 3.9

1	2	3	4	5	6	7
$\sigma_R = 200 \text{ МПа}, \alpha = 300 \text{ Па/цикл}$						
291,1	297,3	2,13	304,0	4,43	311,2	6,90
$\sigma_R = 300 \text{ МПа}, \alpha = 300 \text{ Па/цикл}$						
396,1	402,1	1,51	408,6	3,16	415,8	4,97
$\sigma_R = 400 \text{ МПа}, \alpha = 300 \text{ Па/цикл}$						
500,2	506,0	1,16	512,6	2,48	519,7	3,90
$\sigma_R = 500 \text{ МПа}, \alpha = 300 \text{ Па/цикл}$						
603,6	609,4	0,96	615,9	2,04	623,0	3,21

За даними таблиці 3.9 побудуємо графіки залежностей величин $\delta_{\sigma_{p10}}$; $\delta_{\sigma_{p20}}$ і $\delta_{\sigma_{p30}}$ від границі витривалості σ_R для випадку, коли руйнівні напруження є осередненими і визначаються за формулою 3.1 (рис. 3.1).

$\delta_{\sigma_p}, \%$

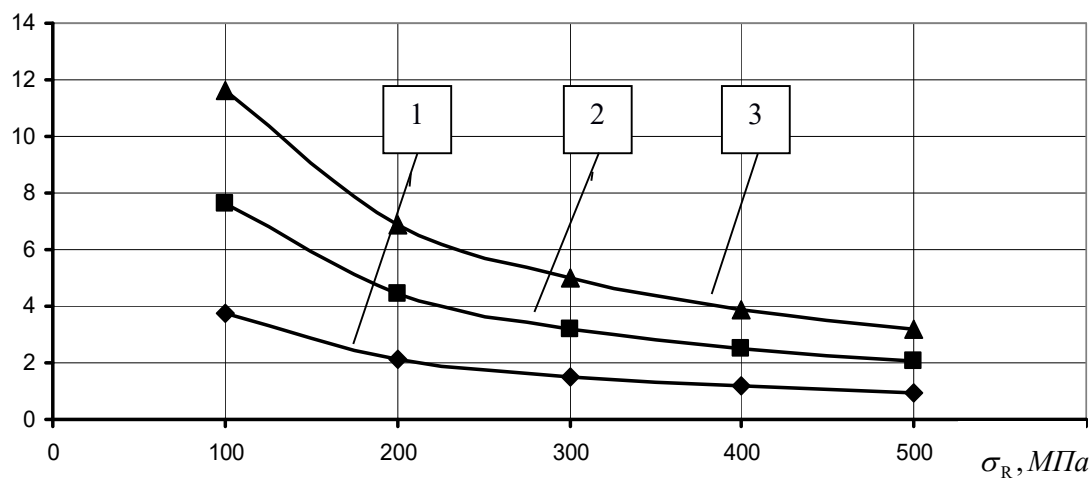


Рис. 3.1 Залежності похибок руйнівних напружень від границі витривалості: 1

- $\delta_{\sigma_{p10}}(\sigma_R)$; 2 - $\delta_{\sigma_{p20}}(\sigma_R)$; 3 - $\delta_{\sigma_{p30}}(\sigma_R)$.

Аналіз залежностей $\delta_{\sigma_p}(\sigma_R)$ показує, що зі збільшенням границі витривалості похибка оцінки руйнівних напружень знижується, причому це зниження тим більше, чим вище початкове напруження.

3.3 Зв'язок кількості випробуваних елементів з випадковою складовою похибки розробленого методу

Випадкова складова похибки розробленого методу пов'язана з розсіюванням величин σ_p , яке обумовлено нестабільністю міцностних властивостей елементів. Дисперсії руйнівного напруження і границі витривалості елементів, як було показано раніше, не залежать від швидкості збільшення навантаження і є однорідними. Це дозволяє записати рівність, яка пов'язує мінімальну кількість елементів n з похибками оцінки руйнівного напруження Δ_{σ_p} і границі витривалості Δ_{σ_R} [83].

$$n = 1,5 + \frac{z_{1-\alpha/2}^2}{2\Delta_{\sigma_p}^2} = 1,5 + \frac{z_{1-\alpha/2}^2}{2\Delta_{\sigma_R}^2}, \quad (3.2)$$

де $z_{1-\alpha/2}$ - квантиль рівня значущості α ; Δ_{σ_p} і Δ_{σ_R} - максимальна відносна похибка, яка приймається як допуск відхилення руйнівного напруження і границі витривалості відповідно.

Значення Δ_{σ_p} приймають в залежності від вимог до точності оцінки руйнівного напруження σ_p . Так, для низької точності, його приймають рівним 0,4 ... 0,5; для середньої - 0,25 ... 0,35; для високої точності - 0,1 ... 0,2. [83]. Розрахована за допомогою залежності (3.2) залежність мінімальної кількості елементів від величини Δ_{σ_p} при рівні значущості $\alpha = 0,1$ представлена на рис. 3.2 [27].

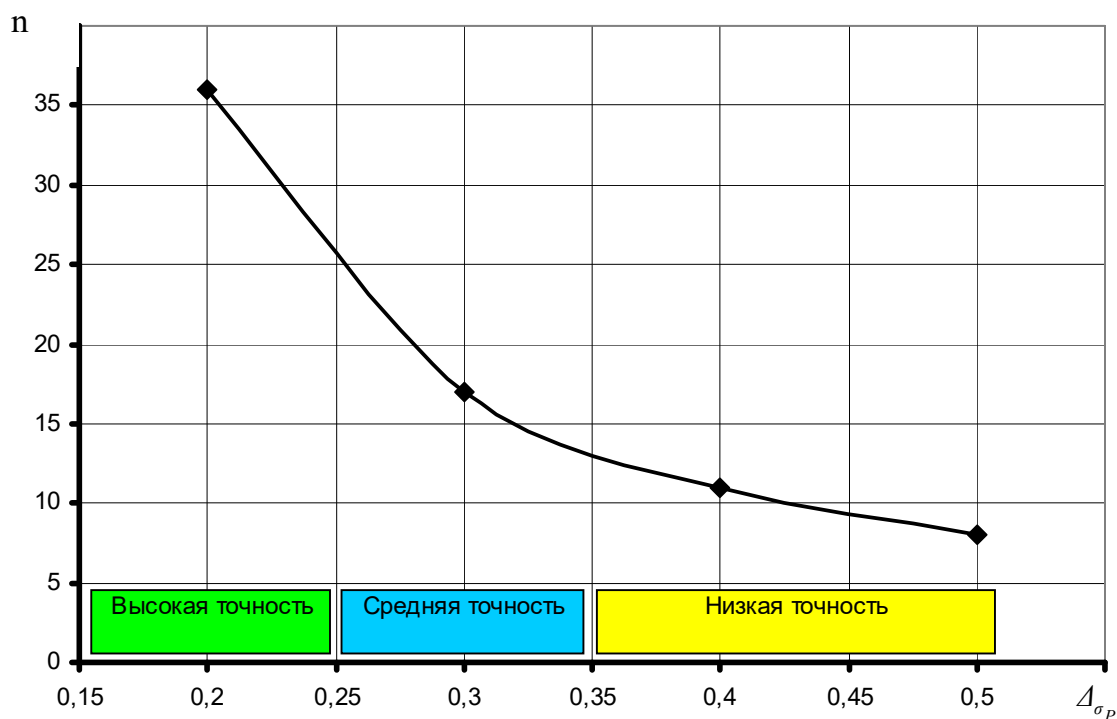


Рисунок 3.2 - Залежність необхідного для випробувань кількості елементів n від максимальної відносної похибки, прийнятої в якості допуску відхилення руйнівного напруження $\Delta\sigma_p$

Наведений вище графік побудований для випадку проведення експерименту в статистичній постановці. З нього випливає, що для досягнення низької, середньої і високої точності оцінки руйнівного напруження, необхідно випробувати відповідно 16, 34 і 72 елементів. У той же час мінімальна кількість випробуваних елементів, при якому може бути реалізований метод, дорівнює двом.

3.4. Висновки

1. При оцінці похибок визначення руйнівних напружень, їх розмахів варіювання і дисперсій розрахунки доцільно проводити за різними кореляційними залежностями, з метою отримання осереднених величин.

2. Незалежно від швидкості збільшення навантаження, значення розмахів варіювання руйнівних напружень і границі витривалості практично збігаються.

3. Дисперсії цих величин $(S_{\sigma_R}^2)$ і $(S_{\sigma_p}^{CW})^2$ є однорідними.

4. При збільшенні границі витривалості похибка оцінки руйнівних напружень зменшується, причому це зменшення тим більше, чим вище початкове напруження.

5. При плануванні експерименту можна використовувати залежність необхідної кількості елементів n від максимальної відносної похибки руйнівного напруження Δ_{σ_p} . Відповідно до цієї залежності для досягнення низької, середньої і високої точностей оцінки руйнівного напруження необхідно випробувати відповідно 16, 34 і 72 елементів.

6. Мінімальна кількість випробуваних елементів, при якому може бути реалізований метод, дорівнює двом.

РОЗДІЛ 4

ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ І ПЕРЕВІРКА РОЗРОБЛЕНОГО МЕТОДУ НА ЗРАЗКАХ І ЕЛЕМЕНТАХ КОЛІНЧАСТОГО ВАЛА ДВЗ

4.1 Перевірка однорідності дисперсій руйнівних напружень і границі витривалості, а також їх розмахів варіювання за результатами випробувань гладких і надрізаних зразків

Перевірку розробленого методу непрямої порівняльної оцінки границі витривалості відновлених колінчастих валів ДВЗ здійсимо на гладких і надрізаних зразках, результати випробувань яких наведені в роботі [60]. Гладкі зразки мали виточку в формі тора, а надрізані - кільцеву канавку в середній частині. (Рис. 4.1) [60].

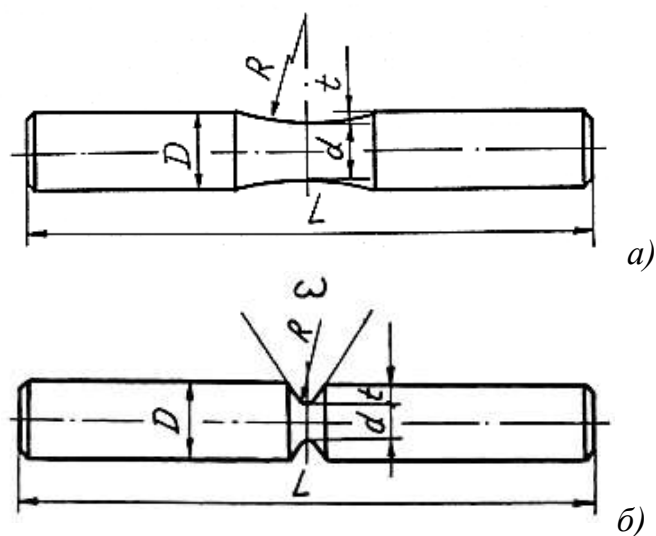


Рисунок 4.1 - Зразки для випробувань на опір втоми: а) - гладкий зразок; б) - зразок з надрізом (концентратором напружень)

Глибина надрізу t для всіх видів зразків була прийнята однаковою, а радіус заокруглення R у дна канавки і кут розкриття ω - різними. При цьому кути розкриття ω розраховувалися за залежністю Г. Нейбера [27]

$$\omega = \arcsin \frac{\sqrt{E^2 + (E^2 + F)(F - 1) - E}}{E^2 + F}, \quad (4.1)$$

де $E = t/R - 1$; $F = \rho t(2a + t)/aR^2$.

Зразки виготовлялися з металу однієї плавки, що забезпечувало стабільність їх характеристик міцності. Заготовки піддавалися термообробці, а остаточною операцією було шліфування, при якому глибина і швидкість різання були мінімальними. Завдяки цьому забезпечувалася стабільність виготовлення зразків. Це дало можливість істотно знизити розсіювання довговічності до руйнування при проведенні випробувань зі зростаючим навантаженням і звести до мінімуму випадкову складову при оцінці похибки розробленого методу. Геометричні розміри кільцевої виточки приймалися з урахуванням охоплення широкого діапазону критерія подібності втомного руйнування L/G (L - периметр, або частина периметра небезпечного перерізу, прилеглого до зони максимальних напружень; G - відносний градієнт першого головного напруження).

Такий підхід дозволяє переносити результати експерименту на реальні деталі різних форм, розмірів і технологій виготовлення в широкому діапазоні границі витривалості, включаючи колінчаті вали ДВЗ, в тому числі і відновлені.

Теоретичний коефіцієнт концентрації напружень V - образної виточки визначали за залежністю Г. Нейбера [60].

$$\alpha_\sigma = 1 + (\alpha_f - 1)(\alpha_t - 1) / \sqrt{(\alpha_f - 1)^2 + (\alpha_t - 1)^2}, \quad (4.2)$$

де $\alpha_f = 1 + 2\sqrt{t/\rho}$ і $\alpha_t = \frac{3(1 + \sqrt{a/\rho + 1})(3a/\rho + 4,3 - 0,4\sqrt{a/\rho + 1})}{4[3(a/\rho + 1) + 2,2\sqrt{a/\rho + 1} + 1,3/(1 + \sqrt{a/\rho + 1})]}$ - теоретичні коефіцієнти концентрації напружень при згині циліндричних зразків з незначною і глибокою кільцевими виточками відповідно; t - глибина надрізу; $a = 0,5d$ - половина діаметру робочого перерізу.

Контроль геометричних розмірів виточки здійснювали за допомогою інструментального мікроскопа. Твердість зразків в межах кожної з сформованих партій не відрізнялася більш ніж на $\pm 2\text{HRB}$. Всього було сформовано 4 партії зразків, характеристики яких представлені в табл. 4.1 [60].

Таблиця 4.1

Геометричні характеристики зразків

Тип зразка	Форма робочої частини	Розміри, мм					ω
		L	D	D	t	R	
I	гладкий	130	18	10	4	30	-
III	гладкий	130	18	15	1,5	75	-
IV	з надрізом	130	18	15	1,5	0,3	$55^{\circ}28'$
V	з надрізом	226	12	7,5	2,25	1,0	$80^{\circ}08'$

Таблиця 4.2

Результати прискорених випробувань при незмінній швидкості збільшення навантаження [60]

№ п/п	α , Па/цикл	σ_1 , МПа	n_C , цикл	σ_P , МПа	σ_{R}^{yc} , МПа
1	2	3	4	5	6
сталь 45					
Зразки I типу					
1	100	240	535200	293,5	253,8
2			541300	294,1	254,4
3			593700	299,4	259,7
4			608100	300,8	261,1

Продовження таблиці 4.2

1	2	3	4	5	6
5			683200	308,3	268,6
6			346300	304,6	265,0
7			366100	306,6	267,1
1	200	225	359400	296,9	251,2
2			411400	307,3	261,6
3			412600	307,5	261,8
4			415100	308,2	262,5
5			418000	308,6	262,9
Зразки II типу					
1	50	180	1320600	246,0	219,7
2			1329200	246,5	220,2
3			1362000	248,1	221,8
4			1402800	250,1	223,8
5			1442300	252,1	225,8
6			168200	258,4	228,1
7			193200	259,7	230,2
Зразки IV типу					
1	100	120	778700	197,9	155,0
2			860600	206,1	163,1
3			903400	210,3	167,3
4			909000	210,9	167,9
1	200	120	508300	221,6	153,7
2			518600	223,7	155,8
3			547400	229,5	161,6
4			561800	232,4	164,5

Продовження таблиці 4.2

1	2	3	4	5	6
1	400	120	304200	241,7	127,0
2			308200	243,3	128,6
3			311900	244,8	130,1
4			313500	245,4	130,7
5			330800	252,3	137,6
6			217000	256,8	141,3
1	600	120	234400	260,6	164,1
2			235400	261,2	164,7
3			237800	262,7	166,2
4			240600	264,4	167,9
Сталь 40 X					
Зразки І типу					
1	50	280	596600	309,8	282,4
2			682600	314,1	286,7
3			811500	320,6	293,2
4			863400	323,2	295,8
5			866500	323,3	295,9
6			885800	324,3	296,9
7			903800	325,2	297,8
8			1007400	330,4	303,0
9			1031700	331,6	304,2
10			1120600	336,0	308,6
Зразки ІІІ типу					
1	50	160	509400	185,5	139,3
2			631800	191,6	145,4

Продовження таблиці 4.2

1	2	3	4	5	6
3			810300	200,6	154,4
4			1133300	216,7	170,5
Зразки IV типу					
1	50	130	1218200	190,9	157,2
2			1629200	211,5	177,8
3			1632800	211,6	177,9
4			1672200	213,6	179,9
5			1773700	218,7	185,0
6			457000	212,9	178,7

За даними табл. 4.2 розрахуємо значення $S_{\sigma_R}^2$, $S_{\sigma_P}^2$ і визначимо їх однорідність за критерієм згоди F за формулою [83]

$$F = \frac{S_{\max}^2}{S_{\min}^2}, \quad (4.3)$$

де $S_{\max}^2$ і $S_{\min}^2$ - максимальні і мінімальні значення величин $S_{\sigma_R}^2$ і $S_{\sigma_P}^2$ відповідно.

Результати розрахунку представлені в табл. 4.3.

Таблиця 4.3

Результати розрахунку дисперсії границі витривалості $S_{\sigma_R}^2$ і руйнівних

напружень $S_{\sigma_P}^2$

Сталь 45, зразки I типу				
α	$S_{\sigma_P}^2$, МПа ²	$S_{\sigma_R}^2$ МПа ²	$F_{\max} = S_{\max}^2 / S_{\min}^2$	F_{tab}

100	34,01	34.51	1,01	5,82
200	24,48	24,48	1,00	9,60
Сталь 45, зразки II типу				
50	30,66	16,00	1,92	5,82
Сталь 45, зразки IV типу				
100	35,92	35,36	1,02	15.40
200	25,10	25,10	1,00	15.40
400	34,49	31,58	1,09	7,15
600	2,88	2,88	1,00	15,40
Сталь 40X, зразки I типу				
50	61,82	61.82	1,00	4,03
Сталь 40X, зразки III типу				
50	184,07	184,07	1,00	15,40
Сталь 40X, зразки IV типу				
50	93,31	92,75	1.01	7.15

Порівняння значень F з табличними F_{tab} підтверджує однорідність дисперсій $S_{\sigma_R}^2$ і $S_{\sigma_P}^2$ для всіх типів зразків.

4.2 Планування обсягу експерименту

Метод порівняльної оцінки втомної міцності елементів колінчастих валів ДВЗ передбачає проведення випробувань як мінімум двох елементів до руйнування при однаковій, лінійно зростаючій швидкості збільшення навантаження від початкових напружень, які не перевищують їх границі витривалості. При статистичній оцінці їх характеристик опору втомі кількість випробовуваних елементів необхідно збільшувати в залежності від необхідної точності. В цьому випадку випробовують дві партії елементів, втомні характеристики яких порівнюються.

Реалізація методу не передбачає попередньої побудови похилої ділянки кривої втоми і визначення границі витривалості розрахунковим або експериментальним способом.

Порівняльні випробування допускають, що випробовувані колінчасті вали ДВЗ (їх окремі елементи) геометрично ідентичні, проте способи відновлення цих елементів можуть бути різними, що призведе до відмінності їх границь витривалості. Визначити цю відмінність можна, як правило, тільки експериментально.

Розрахуємо кількість зразків, які необхідно випробувати для забезпечення необхідної точності і статистичної надійності оцінки руйнівних напружень за залежністю [83]:

$$n = V_{\sigma_p}^2 U_{1-\alpha/2}^2 / \Delta_{\sigma_p}^2, \quad (4.4)$$

де Δ_{σ_p} - відносна похибка, яка приймається як допуск оцінки середнього значення руйнівного напруження; $U_{1-\alpha/2}$ - квантиль рівня ймовірності P (Статистична надійність, що представляє собою ймовірність неперевищення фактичної похибки при оцінці середнього значення руйнівного напруження допуску Δ_{σ_p}); α - рівень значущості.

Відповідно до рекомендацій [83] приймемо значення V_{σ_p} , Δ_{σ_p} і α відповідно рівними 0,02; 0,02 і 0,05 і визначимо за формулою (4.4) необхідну кількість елементів

$$n = V_{\sigma_p}^2 U_{1-\alpha/2}^2 / \Delta_{\sigma_p}^2 = 0,02^2 \cdot 2^2 / 0,02^2 = 4$$

При проведенні експерименту кількість зразків брали рівним 4 - 10 штук.

4.3 Схема експериментальної установки і методика проведення випробувань зразків

Випробування зразків на опір втомі зі зростаючим навантаженням проводилися на модернізованій машині НУ - 3000, схема якої представлена на рис. 4.2

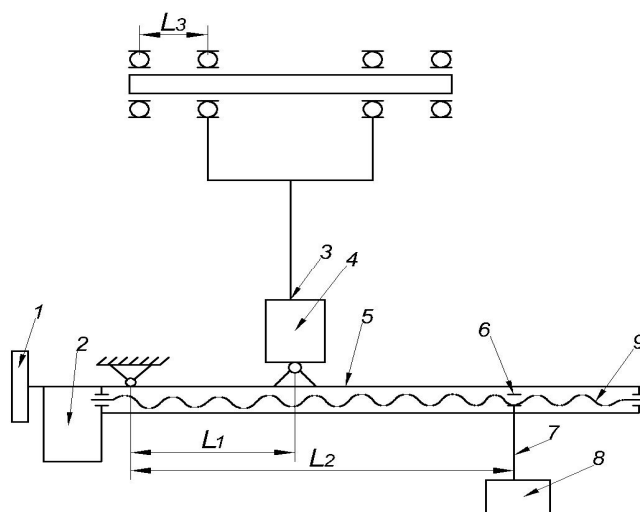


Рисунок 4.2. - Кінематична схема установки для випробувань на опір втомі зі зростаючою амплітудою напруження при симетричному згині з обертанням зразків.

Зразок закріплювали в патрони двох шпинделів, які, обертаючись від електродвигуна, одночасно поверталися відносно опор. Частота навантаження становить 3000 циклів / хв. Збільшення амплітуди напруження здійснювалося за допомогою спеціального пристосування, яке дозволяло збільшувати її дискретно. Для цього був застосований кроковий електродвигун.

Пристрій складається з полого важеля 5, який шарнірно закріплений до станини установки. Система важеля врівноважувалася противагою 1, яка має можливість переміщатися по горизонталі. Початкове навантаження на зразок встановлювали за допомогою вантажу 4. Збільшення амплітуди напруження здійснювали переміщенням вантажу 8, що встановлювали на рухомій підвісі 7. Переміщення вантажу відбувалося за рахунок обертання ходового гвинта 9, відносно гайки 6, що переміщується. Його обертання здійснювалося імпульсним двигуном 2, який кінематично був з'єднаний з механічним лічильником машини. Випробування зразка вважалося закінченим після його руйнування і спрацювання кінцевого вимикача.

Необхідне зусилля від ваги вантажу 8 при необхідній швидкості збільшення амплітуди напруження α визначали за залежністю [27]

$$F = \alpha \frac{\pi d^3 l_1 n_1}{16 l_3 V_{\dot{\alpha} \delta}} = 1277 \alpha d^3, \text{ (Н)}, \quad (4.5)$$

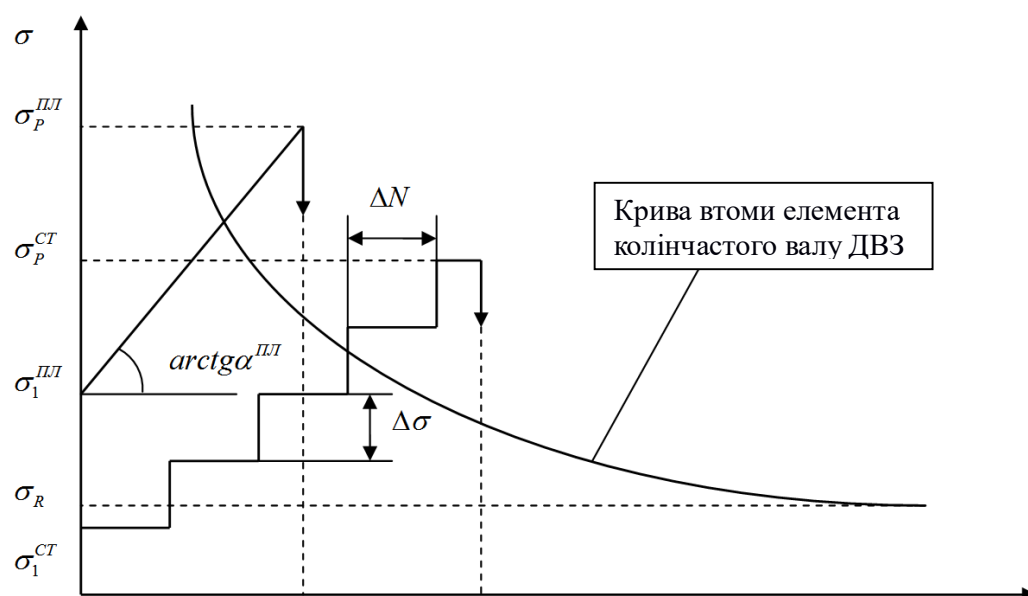
де l_1 - фіксована відстань між шарнірами кріплення важеля (125 мм); l_2 - плече переміщається підвіски; l_3 - відстань між віссю опори шпинделя і віссю підвішеної сережки ($l_3 = 100$ мм); d_1 - діаметр зразка в робочому перерізі; n_1 - частота навантаження зразка ($n_1 = 3000$ циклів / хв).

Напруження, при якому відбувалося руйнування, визначали за формулою

$$\sigma_p = \sigma_1 + \alpha n_c. \quad (4.6)$$

4.4 Визначення граничних швидкостей збільшення амплітуди напруження при проведенні експерименту

З метою економії часу випробування елементів відновлених колінчастих валів ДВЗ проводять при максимально можливій швидкості навантаження. При цьому сам режим навантаження може бути ступінчастим або плавним. Схема цих видів навантажень представлена на рис. 4.3.



$$n_c^{ПЛ} \quad n_c^{СТ} \quad N$$

Рис. 4.3 Схема плавного і ступінчастого режимів навантаження при випробуваннях на опір втоми

На схемі введені наступні позначення: σ_R - границя витривалості; $\sigma_1^{СТ}$ і $\sigma_1^{ПЛ}$ - початкове напруження; $\Delta\sigma$ і ΔN - збільшення напруження і числа циклів на кожному ступені навантаження відповідно; $\sigma_P^{СТ}$ і $\sigma_P^{ПЛ}$ - напруження, при яких сталися руйнування; $n_c^{ПЛ}$ і $n_c^{СТ}$ - сумарні числа циклів до руйнування. Індеси «СТ» і «ПЛ» відносяться відповідно до ступінчастого і плавного режимів навантаження.

З наведеної схеми випливає, що швидкість навантаження при плавному збільшенні навантаження буде дорівнювати $\alpha^{ПЛ} = d\sigma/dN$, а при ступінчастому $\alpha_{СТ} = \Delta\sigma/\Delta N$ (Крім останнього ступеня, де відбулося руйнування). Ступінчастий режим навантаження з практичної точки зору більш простий, оскільки не вимагає спеціального навантажувального пристрою і може здійснюватися в ручному режимі, проте при розрахунках зручніше користуватися величиною $\alpha^{ПЛ}$. Ця умова призвела до розробки методів перерахунку параметрів ступінчастого режиму навантаження в плавний [53].

Граничні швидкості навантаження можна визначити, ґрунтуючись на лінійній гіпотезі додавання накопичених втомних пошкоджень і рівнянні кривої втоми. Так для степеневого рівняння і рівняння Вейбулла ці залежності мають вигляд [61]

$$\alpha_{\max}^C = \left[(10^{C_c} / N_{H.2})^{(m_c+1)/m_c} - \sigma_1^{m_c+1} \right] / \left[(m_c + 1) 10^{C_c} \right]; \quad (4.7)$$

$$\alpha_{\max}^W = \left[(10^{C_w} / N_{H.2})^{(m_w+1)/m_w} - (\sigma_1 - \sigma_R)^{m_w+1} \right] / \left[(m_w + 1) 10^{C_w} \right], \quad (4.8)$$

где $\alpha_{\max}^C$ и $\alpha_{\max}^W$ - максимальні значення швидкостей збільшення амплітуди напруження для степеневого рівняння кривої втоми і Вейбулла відповідно;

параметри m_C , C_C , m_W і C_W представлені раніше (індекси «С» і «W» відносяться відповідно до степеневих рівнянь і Вейбулла); $N_{нг}$ - довговічність, що визначає межу переходу з області багатоциклової в область малоциклової втоми ($N_{нг} = 5 \cdot 10^4 - 2 \cdot 10^5$ цикл.) [89].

Важливим моментом при плануванні прискорених випробувань зі зростаючим навантаженням є вибір початкового напруження σ_1 . Оскільки накопичення втомних пошкоджень, відповідно до лінійної гіпотези, починається тільки тоді, коли ця величина стане більшою за границю витривалості σ_R . Отже, якщо $\sigma_1 \leq \sigma_R$ приймають $\sigma_1 = \sigma_R$ і формули (4.7) і (4.8) представляють в такому вигляді

$$\alpha_{\max}^C = \left[(10^{C_C} / N_{н.з})^{(m_C+1)/m_C} - \sigma_R^{m_C+1} \right] / [(m_C + 1) 10^{C_C}]; \quad (4.9)$$

$$\alpha_{\max}^W = \left[(10^{C_W} / N_{н.з})^{(m_W+1)/m_W} \right] / [(m_W + 1) 10^{C_W}]. \quad (4.10)$$

Таким чином, завдання щодо визначення максимальних швидкостей збільшення навантаження ділиться на дві частини, які розглянемо окремо. Спочатку розглянемо випадок, коли $\sigma_1 \leq \sigma_R$.

Невідомі параметри степеневих рівнянь кривої втоми m_C і C_C визначатимемо за допомогою кореляційних залежностей (2.17) - (2.18) [51], а параметри рівняння Вейбулла знайдемо за емпіричними залежностями (2.15) - (2.16) [36].

Для визначення граничних швидкостей приймемо діапазон зміни границі витривалості 100 - 500 МПа і знайдемо значення $\alpha_{\max}$ за формулами (4.7) і (4.8). При цьому параметри m_C , C_C , m_W і C_W будемо знаходити відповідно до рівностей (2.15) - (2.18). Результати розрахунку представлені в табл. 4.4.

Таблиця 4.4

Розрахункові значення $\alpha_{\max}^C$, $\alpha_{\max}^W$ і їх відносні відхилення δ_α

σ_R , МПа	m_C	C_C	$\alpha_{\max}^C$	m_W	C_W	$\alpha_{\max}^W$	δ_α , %
100	4,10	14,29	336,89	1,16	7,50	676,55	95,10
200	6,80	21,91	379,92	0,99	7,07	613,61	61,5
300	9,50	29,93	389,69	0,91	6,88	625,096	60,4
400	12,20	38,25	393,03	0,85	6,78	664,38	69,0
500	14,90	46,81	393,97	0,81	6,71	719,54	82,6

Відповідно до даних таблиці 4.4 побудовані залежності величин $\alpha_{\max}^C$ і $\alpha_{\max}^W$, а також відносної похибки δ_α від границі витривалості (рис. 4.5 і 4.6).

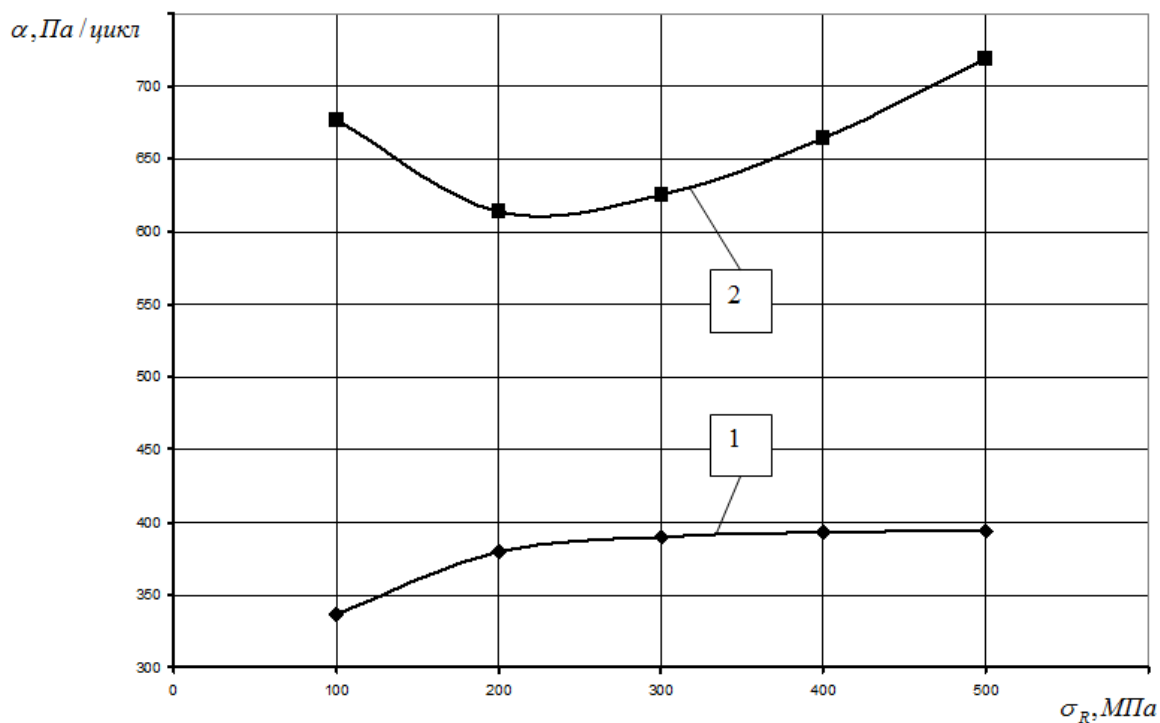


Рисунок 4.5 - Зміна величин $\alpha_{\max}^C$ і $\alpha_{\max}^W$ в залежності від границі витривалості (за даними табл. 4.4): 1 - відповідно до залежності що відповідає степеневому рівнянню ; 2 - відповідно до залежності що відповідає рівнянню Вейбулла

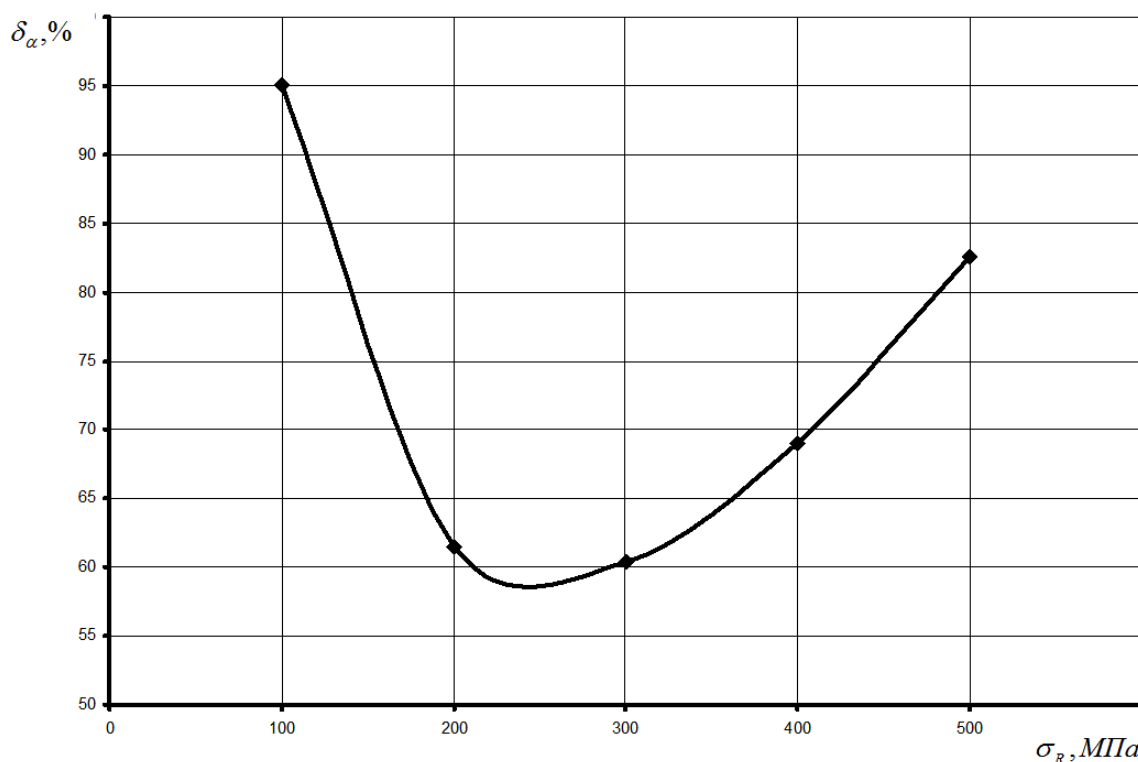


Рисунок 4.6 - Зміна відносного відхилення δ_α в залежності від границі витривалості (за даними табл. 4.4)

Як видно з графіка (рис. 4.6), мінімальне значення відхилення відповідає границі витривалості, значення якого близько до 240 МПа. Це пояснюється тим, що кореляційні залежності (2.15) - (2.18) отримані для масивів експериментальних даних, більшість з яких знаходяться в діапазоні значень границі витривалості 200 - 300 МПа.

Велика розбіжність величин $\alpha_{\max}^C$ і $\alpha_{\max}^W$ (до 95%) пояснюється тим, що рівняння Вейбулла при прийнятій однаковій межі мало і багатоциклової втоми призводить до завищення значень граничних напружень $\sigma_{\text{гр}}^C$ і $\sigma_{\text{гр}}^W$, як це показано на рис. 4.7.

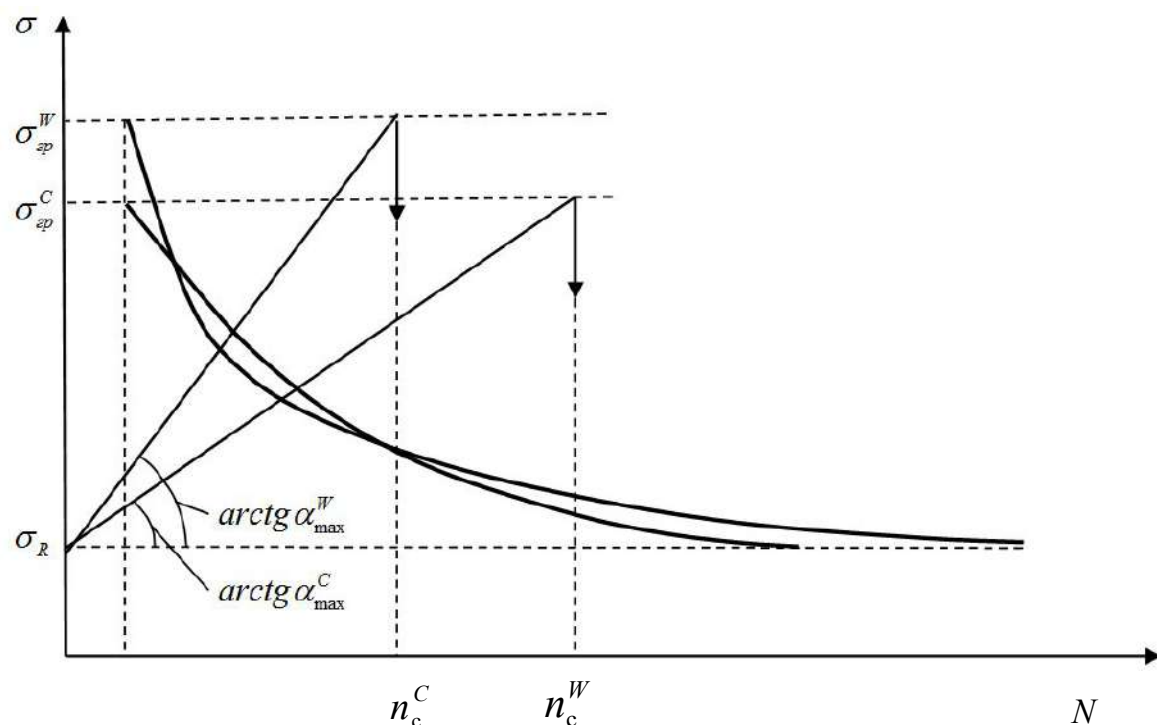


Рисунок 4.7 - Схема, яка пояснює розбіжності швидкостей $\alpha_{\max}^C$ і $\alpha_{\max}^W$

Початкове напруження σ_1 при прискорених випробуваннях на опір втомі призначається апріорі і може виявитися більшим границі витривалості. В цьому випадку необхідно додатково досліджувати вплив зазначеного параметра на величину максимальної швидкості збільшення навантаження.

В рамках цього завдання були визначені максимальні значення швидкостей $\alpha_{\max}^C$ і $\alpha_{\max}^W$ в залежності від величини початкового навантаження σ_1 . При цьому були використані ті ж кореляційні залежності (2.15) - (2.18). Діапазон зміни границі витривалості σ_R приймався рівним 100 - 500 МПа, тобто, як і в попередньому випадку. Очевидно, що граничні значення $\alpha_{\max}^C$ і $\alpha_{\max}^W$ дорівнюватимуть нулю при виконанні умов $\sigma_1 = \sigma_{sp}^C$ і $\sigma_1 = \sigma_{sp}^W$. Розрахунок проведено за залежностями (4.5) і (4.6). Його результати представлені в табл. 4.5.

Таблиця 4.5

Розрахункові значення максимальних швидкостей $\alpha_{\max}^C$ і $\alpha_{\max}^W$

$\bar{\sigma}_R = 100 \text{ МПа}$										
$\sigma_1, \text{ МПа}$	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
$\alpha_{\max}^C, \text{ Па/цикл}$	337	323	302	275	238	189	126	46	-	-
$\alpha_{\max}^W, \text{ Па/цикл}$	675	667	654	635	609	577	538	492	438	377
$\bar{\sigma}_R = 200 \text{ МПа}$										
$\sigma_1, \text{ МПа}$	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300
$\alpha_{\max}^C, \text{ Па/цикл}$	374	365	353	336	315	287	250	203	142	66
$\alpha_{\max}^W, \text{ Па/цикл}$	609	597	576	547	510	465	412	350	280	203
$\bar{\sigma}_R = 300 \text{ МПа}$										
$\sigma_1, \text{ МПа}$	310	320	330	340	350	360	370	380	390	400
$\alpha_{\max}^C, \text{ Па/цикл}$	385	379	370	359	344	324	298	265	222	168
$\alpha_{\max}^W, \text{ Па/цикл}$	620	604	580	548	506	456	399	333	259	178
$\bar{\sigma}_R = 400 \text{ МПа}$										
$\sigma_1, \text{ МПа}$	410	420	430	440	450	460	470	480	490	500
$\alpha_{\max}^C, \text{ Па/цикл}$	389	385	378	369	358	343	323	297	264	222
$\alpha_{\max}^W, \text{ Па/цикл}$	658	641	616	581	539	488	430	364	281	211

$\bar{\sigma}_R = 500 \text{ МПа}$										
$\sigma_1, \text{ МПа}$	510	520	530	540	550	560	570	580	590	600
$\alpha_{\max}^C, \text{ Па/цикл}$	391	387	382	375	365	353	337	316	290	255
$\alpha_{\max}^W, \text{ Па/цикл}$	713	695	669	634	592	542	485	421	350	273

Залежності максимальних швидкостей $\alpha_{\max}^C$ і $\alpha_{\max}^W$ від рівня початкового навантаження σ_1 , що перевищує границю витривалості, представлені на рис.4.8

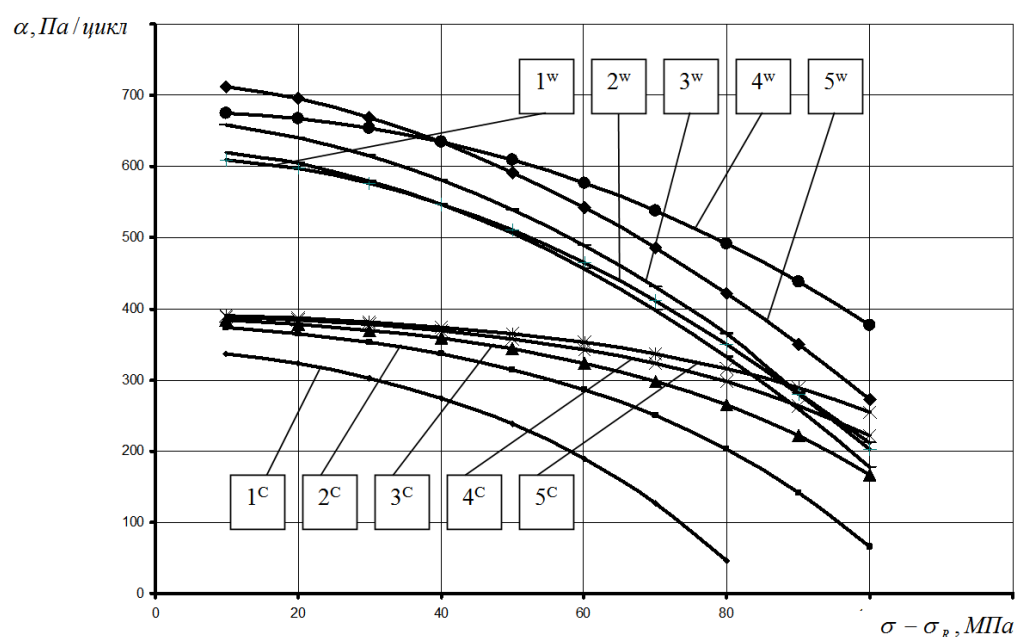


Рис. 4.8 Залежності максимальних швидкостей $\alpha_{\max}^C$ і $\alpha_{\max}^W$ від рівня початкового навантаження ($\sigma_1 - \sigma_R$): криві $1^C - 5^C$ і $1^W - 5^W$ побудовані відповідно для границь витривалості 100, 200, 300, 400 і 500 МПа

Проведене дослідження показало, що величини максимально допустимих швидкостей $\alpha_{\max}^C$ і $\alpha_{\max}^W$ при $\sigma_1 \leq \sigma_R$ для степеневого рівняння не перевищують 400 Па / цикл, а Вейбулла - 750 Па / цикл. Враховуючи, що степеневе рівняння, як правило, має більш високий коефіцієнт кореляції, ніж

рівняння Вейбулла, орієнтуватися слід саме на нього і призначати ці швидкості в межах 300 - 400 Па / цикл.

У випадку, коли початкове навантаження перевищує границю витривалості, розмах варіювання руйнівних напружень змінюється, як в залежності від швидкості росту напружень, так і від рівня циклічної міцності елементів (зокрема від границі витривалості). У зв'язку з цим, при проведенні порівняльних випробувань не слід призначати $\sigma_1 > \sigma_R$. В крайньому випадку, таке перевищення може бути незначним, а саме – від 10 до 12%).

4.5 Застосування розробленого методу для порівняльної оцінки границі витривалості відновлених колінчастих валів ДВЗ

Для проведення натурних випробувань відновлених колінчастих валів ДВЗ або їх елементів на опір втомі потрібне спеціальне дороге устаткування. Слід також врахувати і те, що самі колінчаті вали ДВЗ мають чималу вартість. Цим пояснюється те, що в літературі не часто трапляються результати їх випробувань. Більшість же з опублікованих результатів випробувань цих елементів отримано при випробуваннях зі стаціонарним навантаженням. Поряд з цим є і інша причина невеликої кількості таких даних, а саме, відсутність надійних прискорених методів. Деякі результати випробувань натурних деталей є в роботах В.Т. Трощенко, В. Вейбулла, Л.М. Школьника, І.В. Кудрявцева, Н.Є. Наумченкова, Н.В. Олійника, Г.В. Ужика, В.М. Ридченкова, А.С. Єфімова, В.М. Вдячного та ін. Окремо питання випробувань на опір втомі розглянуті в монографії М.Е. Гарфа [11].

Натурні випробування великогабаритних колінчастих валів ДВЗ потужних суднових дизелів, тракторів і вантажних автомобілів проводять з метою контролю якості їх втомних характеристик. При цьому окремо розглядаються питання, пов'язані з випробуваннями відновлених валів. Саме для таких деталей найчастіше застосовують прискорені методи, в тому числі засновані на випробуваннях зі зростаючим навантаженням. Обумовлено це

тим, що до теперішнього часу розроблено багато ефективних способів відновлення деталей, причому їх характеристики опору втомі практично не поступаються новим. До них можна віднести електродугову наплавку в середовищі вуглекислого газу з видуванням тріщин, широкошарову наплавку з використанням порошкового дроту, вібродугове наплавлення в воднево-кислому середовищі, детонаційне напилення Al_2O_3 і ряд інших. Активний пошук інших, більш досконалих способів відновлення деталей продовжується і в даний час [19, 83]. Оцінити ефективність того чи іншого способу відновлення можна тільки на основі проведення порівняльних втомних випробувань. Найбільш раціонально це можна зробити з використанням розробленого прискореного методу.

Покажемо застосування розробленого методу на конкретному прикладі і порівняємо втомні характеристики нових і відновлених колінчастих валів тракторів і автомобілів. Ці деталі мають великі габарити, тому їх випробування замінюють випробуванням окремих колін (елементів), вирізаних з цілого валу (рис. 4.9)

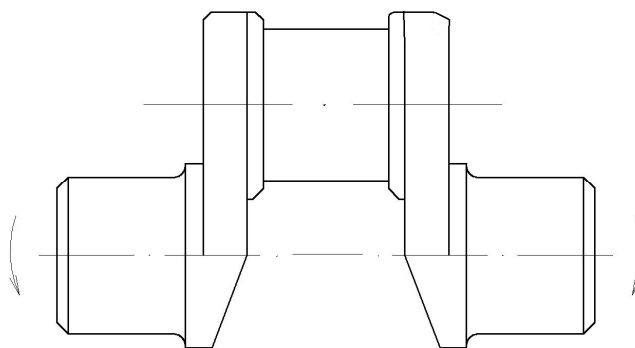


Рисунок 4.9. - Елемент колінчастого вала ДВЗ, вирізаний з цілої деталі.

При проведенні випробувань ідентичність експлуатаційних і стендових випробувань при цьому зберігається. Як і в експлуатації руйнування відбувається в найбільш слабких місцях - щоках від напружень згину. Такий прийом дозволяє з одного вала отримати кілька колін, що дає можливість

економити ці деталі. Нижче в таблиці 4.6 представлені результати випробувань нових та відновлених колінчастих валів ДВЗ за даними роботи [44]. Ці випробування проводилися з метою оцінки впливу методу відновлення на границю витривалості. Границі витривалості як нових, так і відновлених валів визначалися за методом «вгору - вниз».

Таблиця 4.6

Результати тривалих і прискорених випробувань, а також розрахункові значення різниць границі витривалості колінчастих валів Д-54 (нових і відновлених) за даними роботи 34 [Крамаренко, Балаковської 34 канд. дис.].

№ п/п	σ_P^H , МПа Д-54 (нові)	σ_P^B , МПа Д-54 (відновл.)	$\sigma_P^H - \sigma_P^B$ МПа	α , Па/цикл	$(\sigma_R^{\text{дл}})_{\text{нов.}} - (\sigma_R^{\text{дл}})_{\text{відновл.}}$ МПа	$\delta_{\text{абс.}}$, МПа
1	130	125	5	40	8	-3
2	160	165	5	80	8	-3
3	180	170	10	170	8	2
4	230	200	30	350	8	22
Середні значення			12,5		8	4,5

Абсолютну похибку $\delta_{\text{абс.}}$ визначали за формулою

$$\delta_{\text{абс.}} = (\sigma_R^{\text{дл}})_{\text{нов.}} - (\sigma_R^{\text{дл}})_{\text{відновл.}} \quad (4.11)$$

Щоб визначити, наскільки отримані в табл. 4.6 значення можливі для порівняльної оцінки границі витривалості, розрахуємо відносну середню похибку $\delta_{\text{відн.}}$ за залежністю

$$\delta_{\text{відн.}} = \frac{\bar{\Delta}\sigma_P - \bar{\Delta}\sigma_R}{(\sigma_R)_{\text{нов.}}} 100\% = \frac{12,5 - 8,0}{86} 100\% = 5,2\%.$$

Дану похибку можна вважати можливою, оскільки допустима відносна похибка визначення границі витривалості становить 12% [66].

4.6 Висновки

1. Експериментальна перевірка проведена на зразках, випробуваних при різних швидкостях збільшення амплітуди напруження, показала, що у всіх випадках однорідність дисперсій $S_{\sigma_R}^2$ і $S_{\sigma_P}^2$ підтверджується, а розмахи варіювання величин σ_R і σ_P практично збігаються.

2. Граничні швидкості навантаження можна визначити, ґрунтуючись на лінійній гіпотезі додавання накопичених втомних пошкоджень і рівнянні кривої втоми. Проведене дослідження показало, що величини максимально допустимих швидкостей $\alpha_{\max}^C$ і $\alpha_{\max}^W$ при $\sigma_1 \leq \sigma_R$ для степеневого рівняння не перевищують 400 Па / цикл, а Вейбулла - 750 Па / цикл. Одже степеневе рівняння, як правило, має більш високий коефіцієнт кореляції, ніж рівняння Вейбулла, орієнтуватися слід саме на нього і призначати ці швидкості в межах 300 - 400 Па / цикл.

3. У випадку, коли початкове навантаження перевищує границю витривалості, розмахи варіювання руйнівних напружень змінюються, як в залежності від швидкості росту напружень, так і від рівня циклічної міцності елементів (зокрема від границі витривалості). У зв'язку з цим, при проведенні порівняльних випробувань не слід призначати $\sigma_1 > \sigma_R$. В такому випадку, перевищення може бути незначним (10-12%).

4. Перевірка запропонованого методу на нових і відновлених колінчастих валах ДВЗ показала, що його похибку можна вважати можливою, оскільки вона не перевищує допустиму величину для прискорених методів. У той же час даний метод економічніше інших існуючих порівняльних методів, оскільки для його реалізації необхідно випробувати в граничному випадку всього 2 вала.

ВИСНОВКИ

В результаті проведеного дослідження вирішено важливу науково-технічну задачу, яка полягає в розробці методу порівняльної оперативної оцінки втомної міцності відновлених колінчастих валів ДВЗ при відпрацюванні технологій їх ремонту. Її розв'язання базується на непрямій оцінці границі витривалості за результатами випробувань елементів колінчастих валів ДВЗ зі зростаючим навантаженням. Основні висновки, наукові та практичні результати дисертаційної роботи:

1. Проведено аналіз сучасних способів відновлення зношених поверхонь колінчастих валів ДВЗ і прискорених методів їх випробувань на опір втомі. В результаті було встановлено, що для розв'язання поставленої задачі найбільш ефективними є методи непрямого визначення характеристик опору втомі.

2. Теоретично обґрунтована можливість використання руйнівного напруження для непрямой порівняльної оцінки втомної міцності відновлених колінчастих валів ДВЗ, а також можливість застосування кореляційних залежностей між параметрами кривої втоми і границею витривалості при розрахунковій оцінці руйнівних напружень цих деталей. На цій основі розроблено прискорений метод порівняльної непрямой оцінки втомної міцності відновлених колінчастих валів ДВЗ, що відрізняється від відомих більшою точністю та економічністю.

3. Проведено оцінку впливу можливих перегинів і розривів експериментальної кривої втоми відновлених колінчастих валів ДВЗ на величину розрахункових значень руйнівних напружень при лінійно зростаючому навантаженні. Обґрунтовано застосування складеної кривої втоми з метою уточнення значень розрахункових руйнівних напружень при імітації випробувань відновлених колінчастих валів ДВЗ зі зростаючим навантаженням.

4. Проведено аналіз точності розробленого методу з урахуванням впливу швидкості збільшення навантаження, а також випадкової і систематичної складових похибки.

5. Проведена перевірка точності розробленого прискореного методу на лабораторних зразках і елементах відновлених колінчастих валів ДВЗ за опублікованими в літературних джерелах даними, яка підтвердила його розрахункову високу точність.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Агеев, Е.В. Повышение качества ремонта и восстановления деталей современных транспортных систем// Известия ТулГУ. Серия: Технические науки. - 2011. - Вып. № 3. - С. 503-509.
2. Агеева Е.В. Особые условия технической эксплуатации и экологическая безопасность автомобилей. – Курск. - КГТУ. - 2008. - 256 с.
3. Агеев Е.В., Агеева Е.В. Теоретические аспекты технической эксплуатации автомобилей. - Курск, 2013. – 256 с.
4. Алтухов А.Ю. Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом комплексе// Воронеж. - сб. науч. трудов по материалам ежегод. конф. Выпуск 2. – 2015. - С. 328-333.
5. Балаковский О. Б. Расчёт накопленного повреждения при ускоренных испытаниях на усталость методами возрастающей нагрузки // Прикладная механика. – 1982. – № 9. – С. 90-94.
6. Балаковский О. Б. Расчёт предельного накопления повреждения при ускоренной оценке пределов выносливости деталей машин // Второй Всесоюзный съезд по теории машин и механизмов: Тезисы докладов. Одесса, 14 – 18 сент. 1982 г. – Киев: Наук. Думка, 1982. – Ч. 1. – С. 36.
7. Балацкий Л. Т. Прочность прессовых соединений. – К.: Техніка, 1982. – 152 с.
8. Бегагоен И. А., Руденко Г. А., Антонюк О. И. Исследование и методика ускоренных испытаний на выносливость ступенчато-увеличивающейся нагрузкой // Изв. вузов. Машиностроение. – 1970. – № 2. – С. 19-24.
9. Бекбулатов Р. С. Колотников М. Е. Сипухин И. Г. К вопросу об оценке выносливости лопаток компрессора ускоренным методом // Проблемы прочности. – 1981. – № 1. – С. 68-70.

10. Бондарев С.А. Методы восстановления коленчатых валов автомобильных двигателей// Современные материалы, техника и технологии, Юго-западный госуниверситет, Курск, №2(5), 2016, стр. 42-46.
11. Гарф М. Э. Испытания на усталость применительно к задачам оптимизации конструкций. – К.: Наук. думка, 1985. – 176 с.
12. Горшенина Е.Ю. Двухпроволочная наплавка коленчатых валов// Саратов. - Молодые ученые - науке и производству: сб. науч. тр. СГТУ. - 2007. - С. 34-38.
13. Гребенник В.М. Усталостная прочность и долговечность металлургического оборудования// Справочник. М.: Машиностроение. – 1969. – 256 с.
14. Джонсон Н., Лион Ф. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке. Методы обработки данных.: Пер. с англ. М.: Мир, 1980. – 610 с.
15. Дронов В. С. Об одной аппроксимации вычислений ускоренной оценки предела выносливости по методу Локати / Тульский политехн. ин-т. – Тула, 1981. – 19 с. – Деп. в ВИНТИ 27 авг. 1981, № 4229 – 81 Деп.
16. Ефимов А. С., Морозов Б. А. О применении ускоренных методов к определению пределов выносливости крупных деталей // Заводская лаборатория. – 1969. – № 7. – С. 840 – 843.
17. Жук Е. И. О применении методов Про и Локати // Заводская лаборатория . – 1970. – № 1. – С. 87 – 89.
18. Иванова В. С. Усталостное разрушение металлов. – М.: Металлургиздат, 1963. – 256 с.
19. Какуевицкий В.А., Рагуцкий И.В. Влияние остаточных напряжений на усталостную прочность коленчатых валов, восстановленных наплавкой // Сварочное производство. – 1967. - № 2. – С. 24 – 27.

20. Кибакон А. Г., Коноплев А. В., Олейник В. Н. Выбор уровня напряжения испытания при регулярном режиме нагружения // Проблемы техники. – 2002. – № 2. – С. 42-48.
21. Когаев В. П. Расчёты на прочность при напряжениях, переменных во времени. – М.: Машиностроение, 1977. – 232 с.
22. Когаев В. П., Махутов Н. А., Гусенков А. П. Расчёты деталей машин на прочность и долговечность. – М.: Машиностроение, 1985. – 224 с.
23. Коллинз Дж. Повреждение материалов в конструкциях. Анализ. Предсказание. Предотвращение. – М.: Мир, 1984. – 624 с.
24. Коноплёв А. В. Повышение точности построения кривой усталости при использовании трехпараметрического уравнения Вейбулла // Вісник ОНМУ. – 2007. – № 22. – С. 131-136.
25. Коноплёв А. В. Определение индивидуальных характеристик сопротивления усталости // Вісник ОНМУ. – 2007. – № 21. – С. 89-96.
26. Коноплёв А. В. Метод контроля предела выносливости, основанный на использовании параметров кривой усталости // Вісник ОНМУ. – 2008. – № 25. – С. 184-191.
27. Коноплёв А.В. Экспериментально-расчётные методы определения предела выносливости деталей машин. Создание их единой классификации: Дис...доктора техн. наук. – К., 2013. – 301 с.
28. Коноплёв А. В. Сравнительная оценка двух методов определения индивидуальных пределов выносливости// Проблемы техники. – 2010. – № 3. – С. 114-119.
29. Коноплёв А.В., Галевский В.В., Кононова О.Н., Рожко Е.К. Экспериментальная проверка метода ускоренной оценки долговечности судовых гребных валов. Тези доповідей другої міжнародної науково-технічної конференції «Перспективні технології для забезпечення безпеки

життєдіяльності та довголіття людини» 2019, Одеса, 15-16 травня 2019 р., С. 45-49.

30. Коноплёв А. В., Кононова О. Н. Повышение точности построения кривых усталости // Вісник ОНМУ. – 2010. – № 30. – С. 117-122.

31. Коноплёв А.В., Кононова О.Н., Иоргачёв В.Д. Анализ точности метода ускоренной оценки предела выносливости// Проблемы техніки .- 2014. - №4. - С. 28-32.

32. Коноплёв А.В., Кононова О.Н., Евдокимов В.Д. Анализ точности метода ускоренного определения предела выносливости// Проблемы техніки. – 2014. - № 3. - С. 17-25.

33. Коноплёв А.В., Кононова О.Н., Рожко Е.К. Оценка систематической погрешности коэффициента относительной долговечности // Вісник ОНМУ. – 2018. – № 54. – С. 99-105.

34. Коноплёв А.В., Кононова О.Н., Чередарчук Н.И., Сологуб В.О., Рожко Е.К. Обзор и анализ способов восстановления гребных валов // Вісник ОНМУ. – 2018. – № 57. – С. 143-149.

35. Коноплёв А. В. , Кононова О.Н., Чередарчук Н. И.,Сологуб В. О. Использование уточнённого коэффициента относительной долговечности при оценке усталостной прочности восстановленных гребных валов. Тези доповідей другої міжнародної науково-технічної конференції «Перспективні технології для забезпечення безпеки життєдіяльності та довголіття людини» 2019, Одеса, 15-16 травня 2019 р., С. 38 - 41.

36. Коноплёв А. В., Селюкова Е. В. Определение предела выносливости деталей машин методом Про с учётом взаимосвязи между его параметрами // Детали машин: Респ. межвед. науч.-техн. сб. – 1988. – Вып. 40. – С. 102-104.

37. Коноплёв А. В., Стариков М. А. О корреляционных зависимостях между параметрами кривых усталости // Вісник ОНМУ. – 2008. – № 24. – С. 115-122.

38. Коноплёв А. В., Кононова О.Н., Галевский В.В., Рожко Е.К., Чередарчук Н.И., Сологуб В.О. Косвенная оценка пределов выносливости деталей судовых механизмов по результатам сравнительных испытаний// Матеріали II міжнародної науково-практичної конференції кафедри СЕУіТЕ навчально-наукового інституту морського флоту Одеського національного морського університету Одеса, Квітень. – 2020. - С. 30 - 35.

39. Коноплёв А. В., Чередарчук Н.И., Галевский В.В., Кононова О.Н., Рожко Е.К., Сологуб В.О. Определение разрушающих напряжений по параметрам двухзвенного наклонного участка составной кривой усталости// Тезисы докладов международной научно-технической конференции «Modern engineering and innovative technologies» Одесса, май 2020, С. 30 - 35.

40. Коршунов, В.Я. Оценка энергетической эффективности способов восстановления шеек коленчатых валов при ремонте двигателей // Вестник Брянского государственного технического университета. - 2015. - № 1. - С. 25-27.

41. Кравцов Т. Г., Стальниченко О. И., Олейник Н. В. Восстановление деталей наплавкой и оценка их прочности. – Киев: Вища школа, 1994. – 250 с.

42. Красильников А. М., Коноплёв А. В., Гайошко Л. А. Эффект выносливости или демпфирующие соединения, передачи, детали. – Одесса: Астропринт. – 2006. – 424 с.

43. Применение вариаторов в современном автомобилестроении/ Кретов Р.А., Горохов А. А.// В сборнике: Юность и знания - гарантия успеха Сборник научных трудов Международной

научно-технической конференции. Ответственный редактор Разумов М.С.. Курск, 2014. С. 192-196.

44. Крамаренко О.Ю., Балаковский О.Б. Методика ускоренной оценки рассеяния пределов выносливости // Завод. Лаборатория. – 1071. – №3. – С. 343-350.

45. Кудрявцев И.В., Савина Н.М., Плишкин Н.Н. Усталостная прочность моделей гребных валов // судостроение. – 1966. – № 4. – С. 43 – 46.

46. Новиков Е.П. Методы переработки алюминиевых отходов автомобильного производства // Будущее науки - 2015 : сб. науч. статей 3-й Межд. науч.-практ. конф. в 2 томах (Том 2). - Курск: ЮЗГУ - 2015 - С. 287-293.

47. Новиков Е.П. К вопросу о переработке алюминиевых отходов электроэрозионным диспергированием // Современные материалы, техника и технологии : науч.- практ. журнал №1. - Курск: ЮЗГУ - 2015 - С. 168-173.

48. Новиков Е.П. Изучение формы и морфологии порошка, полученного из отходов алюминия методом электроэрозионного диспергирования // Известия ЮЗГУ. Серия: техника и технологии. - 2015. - №4 (17). – С. 172-179.

49. Новиков Е.П., Стратулат А.Н., Севостьянов-Орловский А.Л. Восстановление и упрочнение деталей автомобилей: учебное пособие/ государственный технический университет.- Орел, 2006. - 336 с

50. Олейник В. Н. Определение характеристик усталости деталей машин расчётным путём // Детали машин: Респ. межвед. науч.-техн. сб. – 1986. – Вып. 43. – С. 100-106.

51. Олейник Н. В. Выносливость деталей машин. – К.: Техніка, 1979. – 200 с.

52. Олейник Н. В. Высокопроизводительные испытания на усталость и оценка индивидуальных характеристик сопротивления. – Одесса: Астропринт, 1999. – 182 с.
53. Олейник Н. В., Греченко П.И., Скляр С.П. Определение характеристик усталости методом возрастающей нагрузки // Львов: изд. ФМИ им. Г.В. Карпенко АН УССР. - 1985. – 48 с. (препринт №82).
54. Олейник Н. В. Несущая способность элементов конструкций при циклическом нагружении. – К.: Наук. думка, 1986. – 240 с.
55. Олейник Н. В., Кобаков А. Г. Оперативная оценка сопротивления усталости материалов и деталей. – Одесса: Астропринт, 1998. – 142 с.
56. Олейник Н. В., Коноплев А. В. Скляр С.П. Оценка сопротивления усталости деталей машин на основе метода Про // Львов: изд. ФМИ им. Г.В. Карпенко АН УССР. - 1985. – 48 с. (препринт №103).
57. Олейник Н. В., Коноплев А. В. Определение предела выносливости восстановленных при ремонте деталей методом ступенчатого нагружения / Одес. ин.-т инж. мор. флота. – Одесса, 1988. – 18 с. – Деп. в «Мортехинформреклама», № 858 – МФ 88.
58. Олейник В. Н., Коноплев А. В. О связях между параметрами различных моделей кривых усталости // Надёжность и долговечность машин и сооружений: Респ. межвед. сб. – 1991. – Вып. 19. – С. 40-48.
59. Олейник Н. В., Какуевецкий В. А., Коноплев А. В. Ускоренная оценка предела выносливости новых и восстановленных коленчатых валов // Заводская лаборатория. – 1991. – № 6. – с. 49-50.
60. Олейник Н. В., Коноплев А. В., Кобаков А. Г. Методы ускоренного определения характеристик сопротивления усталости в практических приложениях. – Одесса: Астропринт, 2000. – 138 с.

61. Олейник Н. В., Курочкин Л. Я. сопротивление усталости стальных конструкций в морской воде. – Одеса: Астропринт, 1999. – 166 с.
62. Олейник Н. В., Магденко А. Н., Скляр С. П. Сопротивление усталости материалов и деталей машин в коррозионных средах. – К.: Наук. думка, 1987. – 200 с.
63. Олійник М. В., Омельченко Ю. М., Немчук О. О. Конструкційна міцність деталей за результатами випробувань і розрахунків. – Одесса: Астропринт, 1999. – 152 с.
64. Олійник М. В., Севрюков В. В., Стальніченко О. І. Конструкційна міцність і відновлення деталей – Одесса: Аудиторія, 2000. – 192 с.
65. Олейник Н. В., Скляр С. П. Ускоренные испытания на усталость. – К.: Наук. думка, 1985. – 304 с.
66. Олійник М. В., Стальніченко О. І., Шемшур М. А. Визначення опору втомленості відновлених судових деталей. – Одеса: Астропринт, 1998. – 176 с.
67. Олейник Н. В., Степуренко Ю. В., Курочкин Л. Я. Сопротивление усталости конструкционных сталей в различных рабочих средах. – Одеса: Астропринт, 2000. – 278 с.
68. Олейник Н. В., Сторожев В. П. Ускоренные испытания восстановленных деталей судовых технических средств // Морской транспорт. Сер. «Судоремонт». 1991. – Вып. 5(636) – 24 с.
69. Почтенный Е. К. Прогнозирование долговечности и диагностика усталости деталей машин. – Минск: Наука и техника, 1983. – 246 с.
70. Почтенный Е. К. Кинетическая теория механической усталости и её приложения. – Минск: Наука и техника, 1973. – 214 с.

71. Решетов Д.Н. работоспособность и надёжность деталей машин. М.: Высшая школа. – 1974. – 206 с.
72. Рогожкина А. Е., Гусева З. А. Влияние абсолютных размеров детали на кривую усталости // Вестник машиностроения. – 1963. – № 6. – С. 37-38.
73. Руденко П. А. Методика определения предела выносливости при ограниченном количестве испытываемых образцов // Детали машин: Респ. межвед. науч. – техн. сб. – 1981. – № 32. – С. 65-68.
74. Рыбалка К. П. К вопросу о выборе форсированного режима при определении долговечности методами ускоренных испытаний // Прочность и надёжность элементов конструкций. – К.: Наук. Думка, 1982. – С. 128-131.
75. Рябов Б. А. Бишко М. Д. Связь между параметрами кривых усталости в логарифмических и полулогарифмических координатах // Детали машин: Респ. межвед. науч. – техн. сб. – 1990. – Вып. 50. – С. 57-60.
76. Серенсен С. В., Когаев В. П., Шнейдерович Р. М. Несущая способность и расчёт деталей на прочность. – М.: Машиностроение, 1975. – 488 с.
77. Скляр С. П. Опытная оценка сопротивления усталости деталей машин ускоренным методом // Детали машин: Респ. межвед. науч. – техн. сб. – 1992. – № 54. – С. 79-82.
78. Смирнов Н. В., Дунин-Барковский И. В. Курс теории вероятностей и математической статистики. – М.: Наука, 1969. – 512 с.
79. Соболев В. Л. Совершенствование методики ускоренной оценки пределов выносливости при испытаниях со ступенчато изменяющейся нагрузкой // Заводская лаборатория – 1977. – № 11. – С. 1401-1405.
80. Соболев В. Л., Евстратова С. П. Сравнительная оценка точности различных методов ускоренных испытаний на усталость // Вестник Машиностроения. – 1970. – № 10. – С. 45-49.

81. Сопротивление усталости крупных литых и сварнолитых конструкций с чёрной поверхностью / М. Я. Белкин, Н. М. Савина, Б. К. Коваленко и др. // Вопросы прочности крупных деталей машин. – М.: Машиностроение. – 1976. – С. 122-129.
82. Стальниченко О.И., Иоргачёв Д.В., Иоргачёв В.Д. Технологии восстановления и упрочнения деталей судов технического флота. – Одесса: Изд-во ОНМУ. – 2019. – 240 с.
83. Степнов М. Н. Статистические методы обработки результатов механических испытаний: Справочник. – М.: Машиностроение, 1985. – 232 с.
84. Степнов М. Н., Евстратова С. П. Ускоренная оценка характеристик сопротивления усталости на основании результатов испытаний с возрастающей амплитудой напряжения // Заводская лаборатория. – 1976. – № 10. – С. 1238-1241.
85. Степнов М. Н., Шухмин Ю. А. Оценка дисперсии усталостных свойств лёгких сплавов модифицированным методом Про // Заводская лаборатория. – 1967. – № 9. – С. 1118-1122.
86. Степнов М. Н., Шухмин Ю. А. О применении ускоренных методов Про и Энмото для оценки характеристик усталости лёгких сплавов и их рассеяния // Механическая усталость в статистическом аспекте. М.: Наука, 1969. – С. 81-92.
87. Технологическое обеспечение качества восстановленных коленчатых валов дизельных двигателей / А.С.Денисов, В.В. Погораздов, Б.Ф. Тугушев, Е.Ю. Горшенина // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2010. № 4 (49). С. 49-54.
88. Трощено В. Т. Деформирование и разрушение металлов при многоцикловом нагружении // К.: Наукова думка, 1981 – 344 с.
89. Трощенко В. Т. Прочность металлов при переменных нагрузках. – Киев: Наук. Думка, 1978. – 174 с.

90. Трощенко В. Т. Деформационные критерии усталостного разрушения металлов // Прочность материалов и конструкций. – К.: Наук. думка, 1975. – С. 42-55.
91. Трощенко В. Т., Сосновский Л. А. Сопротивление усталости металлов и сплавов. – К.: Наук. думка, 1987. – Ч.1. – 504 с.
92. Трощенко В. Т., Хамаза Л. А., Цыбанев Г. В. Методы ускоренного определения пределов выносливости металлов на основе деформационных и энергетических критериев. – Киев: Наук. думка, 1979. – 174 с.
93. Трощенко В. Т., Хамаза Л.А., Цыбанев Г. В. Об ускоренном определении пределов выносливости металлов по характеристикам циклических неупругих деформаций // Прогнозирование прочности материалов и конструкционных элементов машин большого ресурса. К.: Наук. думка, 1977 – С. 102-113.
94. Удодов Ф. П., Москалёва Е. М., Гнездилов В. М. Влияние длительности ступени на оценки пределов выносливости стальных сварных конструкций // Проблемы прочности. – 1982. – № 9. – С. 23-28.
95. Фомичев П. А. Оценка влияния уровней напряжений, меньших исходного предела усталости металла на точность линейного суммирования повреждений // Прочность конструкций летательных аппаратов. – 1978. – № 5. – С. 93-99.
96. Форрест П. Усталость металлов. – М.: Машиностроение, 1968. – 352 с.
97. Фрайфельд В. Э., Сорокин О. В. Прогнозирование длительной прочности с помощью метода ступенчатого нагружения образцов// Проблемы прочности. – 1979. – № 4. – С. 41-43.
98. Шварёв В.В. Ускоренные испытания на выносливость ступенчато увеличивающейся нагрузкой// Изв. вузов. Машиностроение. – 1964. - №3. – С. 47-55.

99. Школьник Л. М. Методика усталостных испытаний. – М.: Металлургия, 1978. – 304 с.
100. Школьник Л. М., Марков Д. П., Усова Л. А. Метод ускоренной оценки предела выносливости при ступенчатом нагружении // Заводская лаборатория. – 1981. – № 6. – С. 95-96.
101. Шухмин Ю. А. О применении одного ускоренного метода определения предела выносливости к лёгким конструкционным сплавам // Заводская лаборатория. – 1971. – № 6. – С. 705-707.
102. Шумило А.Н. Оценка циклической прочности деталей судовых машин по уравнениям подобия усталостного разрушения / Шумило А.Н., Кононова О.Н. // Проблеми техніки. – 2009. – № 2. – С. 108-113.
103. Шумило О.М., Кононова О.М. Обґрунтований вибір матеріалу для деталей машин, що підлягають в експлуатації циклічному навантаженню// Тези доповідей І Міжнародної науково-практичної конференції “ Європейська наука ХХІ століття: Стратегія і перспективи розвитку – 2006”. – Том 22. Технічні науки. – Дніпропетровськ: Наука і освіта, 2006. – С. 80-85.
104. Aviles R. Analisis de Fatiga en Maquinas. – Bilbao: Paraninfo, 2005. – 445 p.
105. Brand A., Faure L. Accelerated fatigue tests of gear teeth. – In: Proc. Int. symp. gear. and power transm. (Tokyo, Aug. 30 – Sept. 3 1981). 1981. – S.1. S. a. vol. 1. – P. 413-420.
106. Dengel D., Harig H. Estimation of the fatigue limit by progressive lyincreasing load tests // Fatigue Eng. Mater. and struct. – 1980. – № 2. – P. 113-128.
107. Derringer George C. Consideration in single and multiple stress accelerated life testing. // J. Qual. Technol. – 1982. – № 3. – P. 130-134.

108. Grigorov O. V., Konoplev A. V. Individual fatigue limits definition using modernized Weibull equation parameters // Annals of the University of Petrosani, Mechanical Engineering. – № 13. – 2011. – P. 51-54.
109. Harry R. Joubert F., Goma A. Measuring the actual endurance limit of one specimen using a nondestructive method // Trans. ASME, J. Eng. Mater. and Technol. – 1981. – № 1. – P. 71-76.
110. Спасов Б., Атанасов И. Някои разсъждения върху ускорения метод на Про за определяне на границата на якостната умора // Машиностроение. – 1978. – № 4. – С. 163-165.

ДОДАТОК А

Міністерство освіти і науки України
Одеський національний морський університет

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з наукової роботи

Одеського національного
морського університету



Олексій НЕМЧУК

« 12 » 2020 р.

МЕТОДИКА

НЕПРЯМИЙ МЕТОД ПОРІВНЯЛЬНОЇ ОЦІНКИ ГРАНИЦІ ВИТРИВАЛОСТІ ВІДНОВЛЕНИХ КОЛІНЧАСТИХ ВАЛІВ ДВЗ

(Розроблена в рамках виконання дисертаційної роботи)

Розглянуто і схвалено на засіданні
науково-технічної ради ННФІПІ ОНМУ
Протокол № « 6 » від « 16 » « 12 » 2020 р.

Одеса - 2020

Методика розроблена в Одеському національному морському університеті ст. викладачем Чередарчук Н. І.

1. Загальні положення

1.1. Справжню методику слід застосовувати для проведення порівняльних випробувань на опір втомі елементів відновлених колінчастих валів ДВЗ при:

чистому вигині нерухомих (закріплених на випробувальній установці) елементів колінчастих валів ДВЗ

температурі навколишнього середовища в межах робочих температур ДВЗ;

різній механічній, термічній і термомеханічній обробці, наплавленні, напиленні, гальванічних покриттях;

при відсутності корозійного середовища.

1.2. Методика дозволяє прискорено проводити порівняльну оцінку втомної міцності відновлених колінчастих валів ДВЗ шляхом проведення випробувань їх окремих елементів при безперервно зростаючому навантаженні.

2. Терміни, визначення та позначення

2.1. Терміни, визначення та позначення, які є загальними для всіх методів випробувань на опір втомі відповідно до ДСУ 2444 - 94 «Опір втомі (терміни та визначення)».

2.2. Позначення величин, необхідних для визначення різниці границь витривалості елементів відновлених колінчастих валів ДВЗ наведені в табл. 1.

Таблиця 1.

Найменування Величини	позначення	Одиниця виміру	Примітка
Число циклів до руйнування при випробуваннях при стаціонарному навантаженні	N	Цикл.	рис.1
Число циклів до руйнування елементів колінчастих валів ДВЗ при випробуванні зі зростаючим навантаженням	n_{c1}, n_{c2}	Цикл.	рис.1
Границі витривалості відновлених колінчастих валів	σ_{R1} і σ_{R2}	МПа	рис.1
Початкові напруження, при яких проводяться випробування моделей	σ_{11} і σ_{12}	МПа	рис.1
Руйнівне напруження	σ_{P1} і σ_{P2}	МПа	рис.1
Швидкість збільшення амплітуди напруження	α	Па / цикл	рис.1

2.3. Для моделей з обліцовками всі напруження зазначені в табл.1. виражаються в номінальних величинах.

3. Форма, розміри і виготовлення зразків і моделей

3.1. Форма, розміри і вимоги до технологічних процесів виготовлення стандартних зразків відповідно до ГОСТ 2860 - 85.

3.2. Вимоги до форми, розмірів і виготовлення елементів колінчастих валів визначаються завданнями досліджень.

4. Проведення випробувань

4.1. Призначають початкове напруження в інтервалі $0 - \sigma_R$ і випробовують два елементи колінчастого вала ДВЗ відновлених за різними технологіями при лінійно зростаючому навантаженні до руйнування.

4.2. За лічильником фіксують довговічність до руйнування n_c .

4.3. Частота циклів і критерії руйнування елементів - за ГОСТ 2860 - 85.

5. Обробка результатів випробувань

5.1. Знаходять значення руйнівних напружень σ_{p1} і σ_{p2} за формулами

$$\sigma_{p1} = \sigma_{11} + \alpha n_{c1}, \quad (1)$$

$$\sigma_{p2} = \sigma_{11} + \alpha n_{c2}. \quad (2)$$

5.2. Проводять порівняння руйнівних напружень σ_{p1} і σ_{p2} , беручи до уваги, що $\sigma_{p1} - \sigma_{p2} = \sigma_{R1} - \sigma_{R2}$ роблять висновок про втомну міцність порівнюваних колінчастих валів, відновлених за різними технологіями.

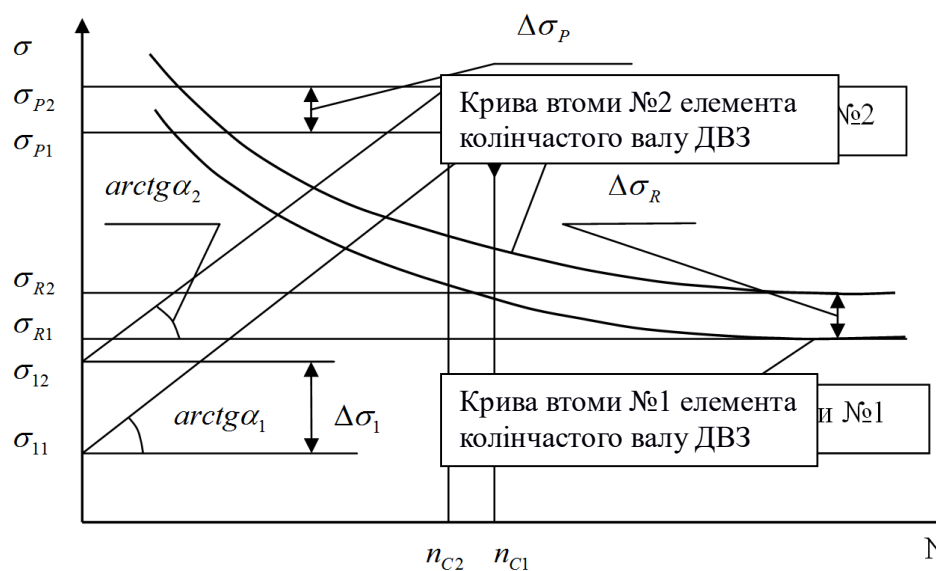


Рис. 1 Схема проведення порівняльних випробувань двох елементів при однаковій швидкості збільшення амплітуди напруження від різних початкових рівнів навантаження

ДОДАТОК Б

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з наукової роботи

Одеського національного
морського університету

Олексій НЕМЧУК



» « 12 » 2020 р.

АКТ ВИКОРИСТАННЯ
РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ
ЧЕРЕДАРЧУК НАТАЛІЇ ІВАНІВНИ
В НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ
ОДЕСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО МОРСЬКОГО УНІВЕРСИТЕТУ

Цей акт підтверджує, що результати дисертаційного дослідження здобувача кафедри «Машинознавство» Чередарчук Наталії Іванівни, яке представлено до захисту на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.20 - Експлуатація та ремонт засобів транспорту, використовуються при проведенні лекційних і практичних занять з дисциплін «Технічне обслуговування і ремонт суднових технічних засобів», «Організація та технологія судноремонту» та «Міцність суднових двигунів внутрішнього згоряння» в процесі підготовки бакалаврів і в дипломному проектуванні магістрів Навчально-наукового інституту морського флоту за спеціальністю 271 Річковий та морський транспорт.

Узгоджено
директор навчально-наукового
інституту морського флоту
к.т.н., професор ОНМУ

Олександр ШУМИЛО

Завідувач кафедри ТОРС
к.т.н., професор ОНМУ

Юрій НИКИФОРОВ

Завідувач кафедри СЕУ та ТЕ
д.т.н., професор

Роман ВАРБАНЕЦЬ

ДОДАТОК В

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з наукової роботи

Одеського національного
морського університету

Олексій НЕМЧУК



« 6 » « 12 » 2020 р.

ДОВІДКА

Про використання в навчальному процесі Одеського національного морського університету (м. Одеса) результатів одержаних в процесі виконання дисертаційного дослідження здобувача кафедри «Машинознавство» Чередарчук Наталії Іванівни, на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.20 - Експлуатація та ремонт засобів транспорту.

Отримані результати наукових досліджень здобувача кафедри «Машинознавство» Чередарчук Наталії Іванівни використовуються при викладанні дисциплін «Прискорені методи випробувань деталей машин на опір втомі», «Експериментальні методи випробувань деталей машин на опір втомі» в процесі підготовки докторів філософії (PhD) за спеціальністю 131 Прикладна механіка.

Завідувач кафедри «Машинознавство»
д.т.н., професор

Анатолій КОНОПЛЬОВ

ДОДАТОК Г

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з наукової роботи

Одеського національного
морського університету

Олексій НЕМЧУК

» « 12 » 2020 р.

ДОВІДКА

Про використання в навчальному процесі Одеського національного морського університету (м. Одеса) результатів одержаних в процесі виконання дисертаційного дослідження здобувача кафедри «Машинознавство» Чередарчук Наталії Іванівни, на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.20 - Експлуатація та ремонт засобів транспорту.

Отримані результати наукових досліджень здобувача кафедри «Машинознавство» Чередарчук Наталії Іванівни використовуються при викладанні дисципліни «Оперативна оцінка якості конструкторських рішень при проектуванні машин» в процесі підготовки магістрів за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування.

Декан факультету портового інжинірингу
к.т.н., професор ОНМУ

Олександр КІБАКОВ

ДОДАТОК Д

ПРИВАТНЕ АКЦІОНЕРНЕ
ТОВАРИСТВО «ІСРЗ»

Україна, 68093, Одеська обл., м. Чорноморськ,
с. Малодолінське, вул. Космонавтів, 59-Б
Ідентифікаційний код 32333962
Тел.: +38 048 712 65 65
Факс: +38 048 717 58 70
E-mail: market@isrz.net
www.isrz.net

PRIVATE STOCK COMPANY
«ISRY»

Ukraine, 68093, Odesa region, Chornomorsk,
Malodolynske village, 59-B, Kosmonavtiv Street
Identification code 32333962
Tel.: +38 048 712 65 65
Fax: +38 048 717 58 70
E-mail: market@isrz.net
www.isrz.net



АКТ

використання результатів дисертаційної роботи Наталії Іванівни Чередарчук на тему:
«Метод порівняльної непрямої оцінки границі витривалості відновлених колінчастих валів двигунів внутрішнього згоряння»

Даний акт підтверджує, що результати дисертаційної роботи Чередарчук Н. І. у вигляді методики були передані для впровадження в ПрАТ «ІСРЗ» для відпрацювання нових технологій відновлення зношених поверхонь колінчастих валів двигунів внутрішнього згоряння.

Використання методики методу порівняльної непрямої оцінки границі витривалості відновлених колінчастих валів двигунів внутрішнього згоряння в рамках дисертаційної роботи є ефективним.

Методика передбачає проведення порівняльних випробувань окремих елементів колінчастого валу на згин при циклічному навантаженні. Методика дозволяє здійснити порівняльну оцінку границі витривалості відновлених колінчастих валів ДВЗ прискореним методом з похибкою, що не перевищує 5%.

Застосування методики істотно скорочує час випробувань та дозволить мінімізувати кількість випробовуваних елементів (деталей).

Запропонований метод дозволить здійснювати вибір найбільш раціональних технологій ремонту колінчастих валів двигунів внутрішнього згоряння.

Заступник голови правління
з виробництва ПрАТ «ІСРЗ»

Є.І. Жолтиков



ІСО 9001:2015
Система управління
Сертифікована ОС РУРС
Номер сертифікату:
20.557.180



ISO 9001:2015
Management system
Certified by RSRD
Certificate Number:
20.557.180

ДОДАТОК Е

SC PRESTIGE Ltd.

Ukraine ,Odessa region, Chernomorsk, Str. Truda 11, of.3, phones (04868) 34097, 34037, (0482)362612
fax (0482) 304077, 362612 E-mail: prest@prest.com.ua

«16» грудня 2020 р.

АКТ

використання результатів дисертаційної роботи Н.І. Чередарчук

**«МЕТОД ПОРІВНЯЛЬНОЇ НЕПРЯМОЇ ОЦІНКИ ГРАНИЦІ ВИТРИВАЛОСТІ
ВІДНОВЛЕНИХ КОЛІНЧАСТИХ ВАЛІВ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ »**

Результати дисертаційної роботи Чередарчук Наталії Іванівни у вигляді методики були передані для впровадження в судновласну компанію ООО «СК ПРЕСТИЖ» для відпрацювання нових технологій відновлення зношених поверхонь колінчастих валів ДВЗ.

Методика передбачає проведення порівняльних випробувань окремих елементів колінчастого валу на згин при циклічному навантаженні. Методика дозволяє здійснити порівняльну оцінку границі витривалості відновлених колінчастих валів ДВЗ прискореним методом з похибкою, що не перевищує 5%.

Даний акт не є підставою для отримання грошових коштів з фінансового фонду підприємства.

Директор ООО СК ПРЕСТИЖ



Колесников В.Н.

ДОДАТОК Є

**TRUST SHIP SERVICE****SHIPS REPAIR SERVICE & SEA CARGO SHIPPING**

e-mail: TSService.Odessa@gmail.com

mobile: +38 (095) (098) 474 88 77

**АКТ ВИКОРИСТАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ
ДИСЕРТАЦІЙНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ****НАТАЛІЇ ІВАНІВНИ ЧЕРЕДАРЧУК НА ТЕМУ:****«МЕТОД ПОРІВНЯЛЬНОЇ НЕПРЯМОЇ ОЦІНКИ ГРАНИЦІ
ВИТРИВАЛОСТІ ВІДНОВЛЕНИХ КОЛІНЧАСТИХ ВАЛІВ ДВИГУНІВ
ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ»**

Результати дисертаційної роботи Чередарчук Наталії Іванівни у вигляді методики були передані для впровадження в судноремонтну компанію ТОВ «Траст Шіп Сервіс» для відпрацювання нових технологій відновлення зношених поверхонь колінчастих валів ДВЗ.

Методика передбачає проведення порівняльних випробувань окремих елементів колінчастого валу на згин при циклічному навантаженні. Методика дозволяє здійснити порівняльну непряму оцінку границі витривалості відновлених колінчастих валів ДВЗ. Даний метод дозволить набагато скоротити час випробувань.

Даний акт не є підставою для отримання грошових коштів з фінансового фонду компанії.

Директор «Траст Шіп Сервіс»

« 17 » серпень 2020 р.

Горі Жураковський