

**К.С. Барандич, асист.**  
**С.П. Вислоух, к.т.н., доц.**  
Національний технічний університет України «КПІ»

## МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ЦИКЛІЧНОЇ ДОВГОВІЧНОСТІ МАТЕРІАЛУ ДЕТАЛЕЙ, ЩО ПРАЦЮЮТЬ В УМОВАХ ЗМІННИХ НАВАНТАЖЕНЬ

*У статті показано, що визначення циклічної довговічності деталей від технологічних умов їх обробки потребують значних часових та економічних витрат. У зв'язку з цим розглядаються питання створення методики, що дозволяє використовувати математичну модель циклічної довговічності для одного конструкційного матеріалу, що отримана шляхом проведення експериментальних досліджень, для всіх матеріалів даної класифікаційної групи. Методика передбачає врахування реальних параметрів (хімічного складу та фізико-механічних характеристик) матеріалів класифікаційної групи, до якої відноситься досліджуваний матеріал. Вона базується на визначенні відносних коефіцієнтів узагальнених властивостей, що враховують особливості кожного матеріалу даної класифікаційної групи, методами багатовимірного статистичного аналізу – факторного аналізу даних. Представлено результати втомних випробувань зразків зі сталі 40Х ГОСТ 4543-71, що дозволило отримати математичну залежність циклічної довговічності вказаного матеріалу від режимів токарної обробки та напруження циклу. Визначено відносні коефіцієнти узагальнених властивостей для конструкційних легованих хромистих сталей та здійснено корегування створеної математичної моделі з метою її використання для інших матеріалів даної класифікаційної групи.*

**Ключові слова:** циклічна довговічність; втомні випробування; багатовимірний статистичний аналіз; факторний аналіз; коефіцієнт узагальнених властивостей матеріалу.

**Вступ. Постановка проблеми.** Найбільш розповсюдженим і небезпечним випадком руйнування деталей машин є втомне руйнування, що є причиною виходу з ладу більше 70 % всіх технічних засобів. Дослідженнями [3–6; 12, с. 193–227; 14, с. 139–147; 17] доведено, що надійність роботи технічних засобів значною мірою залежить від стану поверхневого шару матеріалу деталей, особливо тих, що працюють в умовах змінних навантажень. Крім того, кількість циклів до руйнування деталей суттєво залежить від умов їх експлуатації – амплітудного напруження циклу.

Формування поверхневого шару деталей, в основному, відбувається шляхом обробки різанням, що супроводжується пластичною деформацією, нагріванням та структурними перетвореннями матеріалу деталей [8, с. 148–152, 202–216; 9, с. 59–216]. Таким чином, утворюється поверхневий шар деталі з певними за знаком та величиною залишковими напруженнями, глибиною та ступенем зміцнення, а також шорсткістю поверхні [3; 5; 15, с. 55–62], значення яких суттєво впливає на втомні властивості матеріалу деталі. Для встановлення впливу технологічних факторів на циклічну довговічність конструкційного матеріалу, з якого виготовлена деталь, та отримання відповідних математичних залежностей необхідно виконати довготривалі та трудомісткі експериментальні дослідження. При випробуванні конструкційних матеріалів на втому [13, с. 12] для побудови кривої розподілення довговічності, оцінки середнього значення і середньоквадратичного відхилення логарифма довговічності на заданому рівні напружень необхідно дослідити не менше 10 однакових зразків до повного руйнування або утворення макротріщин.

Отримані в результаті проведення експериментальних досліджень емпіричні математичні моделі можуть бути використані для визначення циклічної довговічності лише одного досліджуваного конструкційного матеріалу.

**Мета роботи.** У зв'язку з тим, що втомні випробування конструкційних матеріалів потребують значних витрат часу та ресурсів, поставлене завдання розробки методики визначення циклічної довговічності матеріалу деталі шляхом використання математичної залежності циклічної довговічності конкретного конструкційного матеріалу від технологічних умов її обробки, яка отримана в результаті проведення та обробки результатів експериментальних досліджень одного матеріалу класифікаційної групи, до якої належить досліджуваний матеріал, на основі застосування методів багатовимірного статистичного аналізу.

**Викладення основного матеріалу.** Вирішити поставлене завдання пропонується за допомогою врахування реальних властивостей (хімічного складу та фізико-механічних характеристик) матеріалів однієї класифікаційної групи з використанням методів багатовимірного статистичного аналізу. Таким ефективним інструментарієм є факторний аналіз даних, що дозволяє спростити розв'язання задачі шляхом стиснення множини початкових даних про матеріали класифікаційної групи в значно меншу кількість латентних змінних без втрати інформативності [7, с. 546–572; 11, с. 52–89; 16, с. 5–77].

Задача факторного аналізу полягає в тому, щоб представити властивості матеріалів класифікаційної групи в вигляді матриці  $y_{ij}$  розмірності  $(m \times n)$ , де  $i$  – об'єкт дослідження (конструкційний матеріал),  $j$  – характеристика відповідного об'єкта (конструкційного матеріалу), у вигляді схованих гіпотетичних факторів. З метою врахування розмірності властивостей об'єктів дослідження доцільно їх нормувати, тобто надати як  $y_{ij}$ , де  $y_{ij}$  – нормоване значення  $j$ -ої властивості  $i$ -го об'єкта. Найпростішою моделлю для опису кожного з параметрів може слугувати лінійна модель:

$$y_{ij} = a_{i1}f_1 + a_{i2}f_2 + \dots + a_{ij}f_j + \dots + a_{in}f_n, \quad i = 1, 2, 3, \dots, m, \quad (1)$$

де кожний з параметрів лінійно залежить від  $n$  некорельованих між собою компонентів (латентних факторів)  $f_1, f_2, \dots, f_j, \dots, f_n$ ,  $a_{ij}$  – вклад  $j$ -ої латентної змінної у відповідну компоненту (властивість об'єкта). Важливою властивістю методу є те, що всі компоненти розташовуються в порядку зменшення їх внеску в сумарну дисперсію розходжень параметрів.

При визначенні кількості факторів (латентних змінних) в роботі [16, с. 5–77] застосовано правило, яке дозволяє залишати фактори з власними числами кореляційної матриці факторів, що мають значення більше одиниці. Таким чином, із (1) отримано залежність початкових властивостей об'єктів від  $k$  некорельованих між собою компонентів (латентних факторів):

$$y_{ij} = a_{i1}f_1 + a_{i2}f_2 + \dots + a_{il}f_l + \dots + a_{ik}f_k; \quad i = 1, 2, 3, \dots, m; \quad j = 1, 2, 3, \dots, n; \quad (2)$$

$$l = 1, 2, 3, \dots, k; \quad k < n,$$

де  $a_{il}$  – вклад  $l$ -ої латентної змінної в  $j$ -ту компоненту (властивість об'єкта).

Це простий спосіб визначення кількості латентних змінних добре зарекомендував себе, оскільки зазвичай дає результати, які збігаються з тими, що очікує дослідник. Крім того, цей метод був ретельно перевірений на модельних штучних даних [1; 2; 11, с. 52–89].

Отже, відповідно до методики факторного аналізу, спочатку необхідно створити масив початкової інформації, що містить дані про хімічний склад та фізико-механічні характеристики конструкційних матеріалів класифікаційної групи, до якої належить досліджуваний матеріал. Отриманий масив інформації методами факторного аналізу стискається з визначенням латентних факторів, які відображають початковий інформаційний масив, але у зменшеному вигляді.

Методика врахування реальних характеристик матеріалів класифікаційної групи, до якої відноситься досліджуваний матеріал, полягає у визначенні коефіцієнтів узагальнених властивостей, що враховують особливості кожного матеріалу. При цьому в розрахунковій формулі відповідних коефіцієнтів відібрані латентні змінні використовуються зі своїми ваговими коефіцієнтами, що вказують на їх вклад в загальну інформативність всієї сукупності латентних змінних у вигляді дисперсії.

Згідно з запропонованою методикою визначення коефіцієнтів узагальнених властивостей матеріалів класифікаційної групи, спочатку розраховується проміжний коефіцієнт  $K_{i \ l}$  за формулою:

$$K_{i \ l} = 1 - \frac{K_{il} - K_{i \ \bar{n} \ \bar{a} \ \bar{d}}}{K_{i \ \max} - K_{i \ \min}}; \quad i = 1, 2, 3, \dots, m; \quad l = 1, 2, 3, \dots, k, \quad (3)$$

де  $K_{il}$  –  $l$ -та латентна властивість  $i$ -го об'єкта;  $K_{i \ \bar{n} \ \bar{a} \ \bar{d}}$ ,  $K_{i \ \max}$ ,  $K_{i \ \min}$  – середнє, найбільше та найменше значення латентних властивостей відповідно.

Після обчислення  $K_{i \ l}$  визначаються значення проміжних коефіцієнтів  $KD_i$  для всіх об'єктів (конструкційних матеріалів) класифікаційної групи та сумарної дисперсії факторів  $SD$  за формулами:

$$KD_i = \sum_{l=1}^k K_{i \ l} D_l \quad (4)$$

та

$$SD = \sum_{l=1}^k D_l, \quad (5)$$

де  $D_l$  – дисперсійний вклад  $l$ -ої латентної властивості.

Коефіцієнт узагальнених властивостей кожного матеріалу класифікаційної групи  $K_{mi}$  визначається як:

$$K_{i \ i} = \frac{KD_i}{SD}. \quad (6)$$

Для визначення відносного коефіцієнта узагальнених властивостей конструкційного матеріалу з класифікаційної групи обирається еталонний матеріал, над яким проводилися втомні випробування. Відношення коефіцієнтів узагальнених властивостей досліджуваного та еталонного матеріалу вказує на відмінність властивостей конструкційних матеріалів даної класифікаційної групи.

Використання запропонованої методики врахування реальних властивостей конструкційних матеріалів наведено на прикладі визначення циклічної довговічності деталей, що виготовлені з конструкційних легованих хромистих сталей.

Згідно з методикою [13] проведено втомні випробування зразків зі сталі 40Х ГОСТ 4543-71, що оброблялися точінням на різних режимах різання. За результатами виконаних експериментальних досліджень методами регресійного аналізу даних отримано адекватну математичну залежність циклічної довговічності матеріалу від режимів токарної обробки та напруження циклу у вигляді:

$$N(S, V, \sigma) = e^{(14.437 + 0.0048V + 13.006S - 13.19\sigma + 0.002VS - 0.002V\sigma - 5.9415\sigma + 0.0000004V^2 + 2.929S^2 + 3.013\sigma^2)}, \quad (7)$$

де  $V$  – швидкість різання, м/хв.;  $S$  – подача, мм/об.;  $\sigma$  – напруження циклу, МПа.

Початковими даними для реалізації факторного аналізу та методики визначення коефіцієнтів узагальнених властивостей матеріалів класифікаційної групи, до якої належить сталь 40Х, є хімічний склад (табл. 1), режими термообробки (табл. 2), від яких суттєво залежать фізико-механічні характеристики матеріалів (табл. 3).

Таблиця 1

Хімічний склад конструкційних легованих хромистих сталей

Марка сталі	C, %	Mn, %	S, %	P, %	Cr, %	Si, %	Ni, %	Cu, %	N, %
15X	0,18	0,7	0,035	0,035	1,0	0,37	0,3	0,3	0,008
15XA	0,17	0,7	0,025	0,025	1,0	0,37	0,3	0,3	0,008
20X	0,23	0,8	0,035	0,035	1,0	0,37	0,3	0,3	0,008
30X	0,32	0,8	0,035	0,035	1,1	0,37	0,3	0,3	0,008
30XPA	0,33	0,8	0,025	0,025	1,3	0,37	0,3	0,3	0,008
35X	0,39	0,8	0,035	0,035	1,1	0,37	0,3	0,3	0,008
38XA	0,42	0,8	0,025	0,025	1,1	0,37	0,3	0,3	0,008
40X	0,44	0,8	0,035	0,035	1,1	0,37	0,3	0,3	0,008
45X	0,49	0,8	0,035	0,035	1,1	0,37	0,3	0,3	0,008
50X	0,54	0,8	0,035	0,035	1,1	0,37	0,3	0,3	0,008

Критерієм вибору кількості латентних змінних, які з необхідною інформативністю характеризують матеріали групи, прийнято власні значення кореляційної матриці початкових даних, що перевищують 1, та накопичена дисперсія факторів, яка більше 90 %. Із таблиці 4, де наведено значення власних векторів кореляційної матриці початкових даних та відповідні їм часткові і накопичені дисперсії, видно, що для групи конструкційних легованих хромистих сталей 4 латентні змінні враховують 93 % інформації, яка міститься в матриці початкових даних.

Таблиця 2

Режими термообробки конструкційних легованих хромистих сталей

Марка сталі	Гартування			Відпуск	
	температура, °C		середовище охолодження	температура, °C	середовище охолодження
	1-го гартування або нормалізації	2-го гартування			
15X	880	770–820	Вода або мастило	180	Повітря або мастило
15XA	880	770–820	Вода або мастило	180	Повітря або мастило
20X	880	770–820	Вода або мастило	180	Повітря або мастило
30X	860	–	Мастило	500	Вода або мастило

30ХРА	900	860	Мастило	200	Повітря
35Х	860	–	Мастило	500	Вода або мастило
38ХА	860	–	Мастило	550	Вода або мастило
40Х	860	–	Мастило	500	Вода або мастило
45Х	840	–	Мастило	520	Вода або мастило
50Х	830	–	Мастило	520	Вода або мастило

Таблиця 3

Фізико-механічні характеристики конструкційних  
легованих хромистих сталей

Марка сталі	E, МПа	G, МПа	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$\sigma_T$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа	$\delta$ , %	$\psi$ , %	KCU, кДж/м <sup>2</sup>	НВ
15Х	215000	83000	7830	490	690	12	45	690	179
15ХА	200000	77000	7850	500	700	12	45	700	179
20Х	216000	83000	7830	635	780	11	40	590	179
30Х	208000	83000	7820	685	880	12	45	690	187
30ХРА	200000	77000	7850	1275	1570	9	40	490	241
35Х	214000	83000	7850	735	910	11	45	690	197
38ХА	196000	83000	7850	785	930	12	50	880	207
40Х	214000	85000	7850	785	980	10	45	590	217
45Х	206000	78000	7820	835	1030	9	45	490	229
50Х	207000	78000	7820	885	1080	9	40	390	229

Таблиця 4

Власні значення кореляційної матриці початкових даних та відповідні їм індивідуальні та накопичені дисперсії групи конструкційних легованих хромистих сталей

№ латентної змінної	Початкові власні значення кореляційної матриці			Відібрані власні значення кореляційної матриці		
	значення	дисперсія кожної латентної змінної, %	сумарна дисперсія, %	значення	дисперсія кожної латентної змінної, %	сумарна дисперсія, %
1	6,200	44,282	44,282	6,200	44,282	44,282
2	3,968	28,343	72,625	3,968	28,343	72,625
3	1,834	13,102	85,728	1,834	13,102	85,728
4	1,019	7,280	93,008	1,019	7,280	93,008
5	0,511	3,649	96,657			
6	0,306	2,187	98,844			
7	0,089	0,636	99,480			
8	0,057	0,407	99,886			
9	0,016	0,114	100,000			
10	3,319E-16	2,370E-15	100,000			
11	3,336E-17	2,383E-16	100,000			
12	1,869E-17	1,335E-16	100,000			
13	-2,379E-17	-1,700E-16	100,000			
14	-2,539E-16	-1,814E-15	100,000			

У результаті стиснення масиву початкової інформації методами факторного аналізу отримано значення факторних навантажень на компоненти для класифікаційної групи конструкційних легованих хромистих сталей (табл. 5). На основі використання цих даних отримано латентні змінні для матеріалів класифікаційної групи, які надано в таблиці 6. Це дало можливість визначити узагальнені коефіцієнти, які враховують хімічний склад та фізико-механічні властивості матеріалів.

Таблиця 5

*Факторні навантаження на компоненти для характеристик конструкційних легованих хромистих сталей*

Характеристика матеріалів	Факторні навантаження			
	1	2	3	4
E, МПа	-0,367	0,810	0,037	0,421
G, МПа	-0,536	0,284	0,692	0,330
$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	0,006	-0,690	0,262	0,487
$\sigma_T$ , МПа	0,959	-0,122	0,122	0,178
$\sigma_B$ , МПа	0,952	-0,144	0,043	0,207
$\delta$ , %	-0,883	-0,351	0,128	0,037
$\psi$ , %	-0,455	-0,433	0,605	-0,396
KCU, кДж/м <sup>2</sup>	-0,677	-0,553	0,459	0,005
HВ	0,950	0,016	0,146	-0,145
C, %	0,640	0,307	0,491	-0,431
Mn, %	0,603	0,306	0,588	0,037
S, %	-0,189	0,964	0,128	-0,013
P, %	-0,189	0,964	0,128	-0,013
Cr, %	0,871	-0,235	0,189	0,233

Значення розрахованих коефіцієнтів узагальнених властивостей для класифікаційної групи конструкційних легованих хромистих сталей наведено в таблиці 7. Оскільки математична залежність циклічної довговічності від режимів токарної обробки визначалася на зразках зі сталі 40X, даний матеріал обрано як еталонний і відносно нього визначено відносні коефіцієнти узагальнених властивостей матеріалів даної класифікаційної групи (табл. 7).

Таблиця 6

*Результати стиснення початкової інформації про хімічний склад та фізико-механічні характеристики конструкційних легованих хромистих сталей*

Матеріал	Латентні властивості матеріалів			
	1	2	3	4
15X	-1,35222	0,33743	-0,68478	0,28964
15XA	-0,93546	-1,49985	-1,54586	-0,43188
20X	-0,63406	0,88406	-0,51765	1,03803
30X	-0,48851	0,40759	0,46798	-0,3087
30XPA	1,9725	-1,06507	-0,62992	1,36681
35X	-0,25526	0,30973	0,93282	0,79282
38XA	-0,2146	-1,62724	1,61836	-0,87978
40X	0,12051	0,53806	1,13993	0,7812
45X	0,74805	0,69949	-0,10406	-1,61514
50X	1,03906	1,01582	-0,67683	-1,033

Таблиця 7

*Узагальнені та відносні коефіцієнти властивостей для конструкційних легованих хромистих сталей*

Марка сталі	Узагальнені коефіцієнти властивостей матеріалів	Відносні коефіцієнти узагальнених властивостей матеріалів
15X	1,155236	0,964301
15XA	1,045567	0,872758
20X	1,129624	0,942922
30X	1,090127	0,909953
30XPA	0,927003	0,77379
35X	1,234588	1,030537
38XA	1,050261	0,876676
40X	1,198004	1
45X	0,790049	0,659471
50X	0,738517	0,616456

Відповідно до визначених відносних коефіцієнтів властивостей матеріалів  $K_a$  здійснено корегування створеної математичної моделі (7):

$$N(S, V, \sigma) = K_a \cdot e^{(14,437 + 0,0048V + 13,006S - 13,19\sigma + 0,002VS - 0,002V\sigma - 5,941S\sigma + 0,0000004V^2 + 2,929S^2 + 3,013\sigma^2)}. \quad (8)$$

На рисунку 1 представлено графічні залежності циклічної довговічності сталі 40X від напруження циклу за режиму токарної обробки  $V = 120$  м/хв.;  $S = 0,12$  мм/об.;  $t = 0,3$  мм, для якої виконувалися випробування на втому, та сталі 30XPA, для якої здійснювалося корегування отриманої математичної моделі шляхом врахування відносного коефіцієнта узагальнених властивостей даного матеріалу.

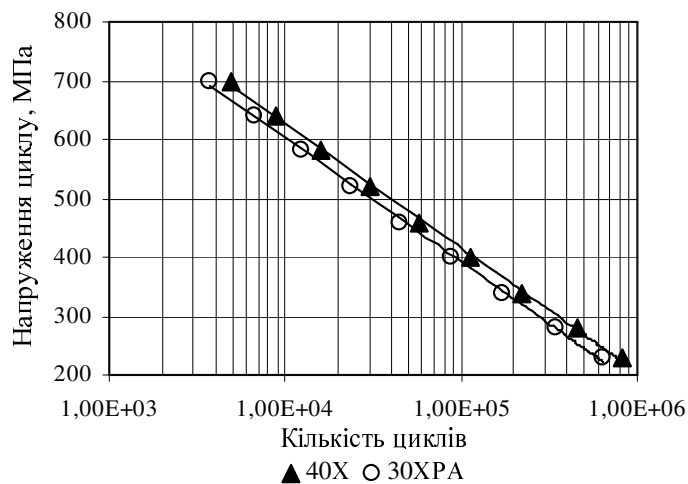


Рис. 1. Графічна залежність циклічної довговічності від напруження циклу за режиму токарної обробки  $V = 120$  м/хв.;  $S = 0,12$  мм/об.;  $t = 0,3$  мм конструкційних легованих хромистих сталей 40X та 30XPA

#### Висновки:

1. У результаті аналізу літературних джерел встановлено, що на циклічну довговічність матеріалу деталей, які працюють в умовах знакозмінних навантажень, впливають напруження циклу та якість поверхневого шару, що характеризується режими обробки.

2. Для отримання математичної залежності циклічної довговічності матеріалу деталей від технологічних умов їх виготовлення необхідні експериментальні дослідження, які вимагають значних матеріальних та часових витрат.

3. Запропонована методика визначення циклічної довговічності матеріалу деталі шляхом проведення експериментальних досліджень з одним матеріалом класифікаційної групи та використанням можливостей факторного аналізу даних, що дозволяє використовувати отримані результати (математичну модель) для інших матеріалів цієї групи з врахуванням їх властивостей (хімічного складу та фізико-механічних характеристик), що значно зменшує витрати на відповідні дослідження.

4. Надана методика врахування реальних властивостей конструкційних матеріалів з проведенням експериментальних досліджень з одним матеріалом класифікаційної групи та перенесенням отриманих результатів на інші матеріали групи рекомендується для інших видів досліджень.

## Список використаної літератури:

1. Antonyuk V.S. Information technology in deciding of technological problems in instrument making and machine engineering / V.S. Antonyuk, S.P. Vysloukh // Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні : зб. наук. пр. / відп. ред. З.А. Стоцько. – Львів : вид-во Львівської політехніки, 2013. – № 760. – С. 101–105.
2. The increasing of initial data informativeness in solving technological tasks / V. Antonyuk, S. Vysloukh, M. Filippova, O. Voloshko // Przemysl, Nauka i Studia. – NR 3 (48). – 2012. – Pp. 114–120.
3. Guo Y.B. Surface integrity characterization and prediction in machining of hardened and difficult-to-machine alloys: a state-of-art research and analysis / Y.B. Guo, W. Li, I.S. Jawahir // Machining Science and Technology. – 2009. – Vol. 4. – Pp. 437–470.
4. Jadhav P.V. Effect of surface roughness on fatigue life of machined component of Inconel 718 / P.V. Jadhav, D.S. Mankar // Bharati Vidyapeeth Deemed University College of Engineering (Pune), International Conference. – Vol. 11. – 2010. – 11 p.
5. A review of surface integrity in machining and its impact on functional performance and life of machined products / R.M'Saoubi, J.C. Outeiro, H. Chandrasekaran, Dillon Jr. O.W., Jawahir I.S. // Int. J. Sustainable Manufacturing. – Vol. 1. – 2008. – Pp. 203–236.
6. Modeling of white and dark layer formation in hard machining of AISI 52100 bearing steel / D. Umbrello, A.D. Jayal, S. Carusol et al. // Machining Science and Technology. – Vol. 14. – 2010. – Pp. 128–147.
7. Прикладная статистика: Классификация и снижение размерности : Справ. изд. / С.А. Айвазян, В.М. Бухштабер, И.С. Енюков, Л.Д. Мешалкин ; под ред. С.А. Айвазяна. – М. : Финансы и статистика, 1989. – 607 с.
8. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов / В.Ф. Бобров. – М. : Машиностроение, 1975. – 344 с.
9. Васин С.А. Резание материалов: Термомеханический подход к системе взаимосвязей при резании : учебник / С.А. Васин, А.С. Верещака, В.С. Кушнер. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 448 с.
10. Верещака А.С. Резание материалов : учебник / А.С. Верещака, В.С. Кушнер. – М. : Высш. шк., 2009. – 535 с.
11. Вислоух С.П. Інформаційні технології в задачах технологічної підготовки приладо- та машинобудівного виробництва : монографія / С.П. Вислоух. – К. : НТУУ «КПІ», 2011. – 488 с.
12. Маталин А.А. Технология машиностроения : учебник / А.А. Маталин. – СПб. : Лань, 2008. – 512 с.
13. Расчеты и испытания на прочность в машиностроении. Методы механических испытаний металлов. Методы испытаний на усталость : ГОСТ 25.502-79. – Взамен ГОСТ 23026-78 и ГОСТ 2860-65; введ. 1981-01-01. – М. : Гос. комитет СССР по стандартам ; М. : Изд-во стандартов, 1986. – 36 с.
14. Сулима А.М. Поверхностный слой и эксплуатационные свойства деталей машин / А.М. Сулима, В.А. Шулов, Ю.Д. Ягодкин. – М. : Машиностроение, 1988. – 240 с.
15. Инженерия поверхности деталей / кол. авт. ; под ред. А.Г. Сулова. – М. : Машиностроение, 2008. – 320 с.
16. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ : / Дж.О. Ким, Ч.У. Мьюллер, У.Р. Клекка и др. ; пер. с англ. ; под ред. И.С. Енюкова. – М. : Финансы и статистика, 1989. – 215 с.
17. Урядов С.А. Влияние технологий обработки на сопротивление усталости деталей машин / С.А. Урядов // Справочник. Инженерный журнал. – 2009. – № 9. – С. 8–11.

БАРАНДИЧ Катерина Сергіївна – асистент, інженер I категорії кафедри виробництва приладів Приладобудівного факультету Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут».

Наукові інтереси:

– технологічне забезпечення експлуатаційних властивостей деталей.

Тел.: (044) 204–96–18.

E-mail: Barandichk@ukr.net

ВИСЛОУХ Сергій Петрович – кандидат технічних наук, доцент кафедри виробництва приладів Приладобудівного факультету Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут».

Наукові інтереси:

– аналіз даних, математичне моделювання та оптимізація параметрів і процесів.

Тел.: (044) 204-96-18.

E-mail: [vsp1@ukr.net](mailto:vsp1@ukr.net)

Стаття надійшла до редакції 18.11.2015