

УДК 620:178.3

DOI 10.47049/2226-1893-2023-1-135-146

**МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ СЕРЕДНЬОГО ТА ІНДИВІДУАЛЬНОГО ЗНАЧЕНЬ  
ГРАНИЦІ ВИТРИВАЛОСТІ НА ОСНОВІ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИПРОБУВАНЬ  
ПРИ СТУПІНЧАСТОМУ НАВАНТАЖЕННІ**

**А.В. Конопльов**

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

**О.М. Шумило**

к.т.н., доценти кафедри «Машинознавство»

**О.М. Кононова**

к.т.н., доценти кафедри «Машинознавство»

**Н.І. Чередарчук**

к.т.н., доцент кафедри «Математика, фізика та астрономія»

**В.В. Галевський**

старший викладач кафедри «Машинознавство»

**В.О. Юстов**

аспірант кафедри «Машинознавство»

*Одеський національний морський університет, Одеса, Україна*

**Анотація.** Розглянуто та вирішено завдання, пов'язане з експериментальним визначенням границі витривалості об'єктів, схема випробувань яких заснована на ступінчастому збільшенні навантаження.

Реальні випробування об'єктів на опір втомі було запропоновано замінити на імітаційне моделювання. Для цього було розглянуто конкретний приклад та проведено розрахунки, які дозволили зробити узагальнення та на їх основі запропонувати новий підхід до визначення границі витривалості.

Запропонований варіант простий і дозволяє знаходити не тільки середню величину границі витривалості, але й індивідуальні значення кожного випробуваного об'єкта.

**Ключові слова:** моделювання процесу випробувань, ступінчасте навантаження об'єктів, границя витривалості.

UDC 620:178.3

DOI 10.47049/2226-1893-2023-1-135-146

**METHOD FOR DETERMINING THE AVERAGE  
AND INDIVIDUAL VALUES OF THE ENDURANCE LIMIT BASED  
ON THE RESULTS OF TESTS UNDER STEPPED LOADING**

**A. Konoplov**

Doctor of Technical Sciences, Professor,  
Head of the Department of «Machine Science»

**O. Shumylo**

PhD Associate Professor of the Department of «Machine Science»

**O. Kononova**

PhD Associate Professor of the Department of «Machine Science»

**N. Cheredarchuk**

PhD Associate Professor  
of the Department of «Mathematics, Physics and Astronomy»

**V. Halevskyi**

Senior Lecturer of the Department of «Machine Science»

**V. Yustov**

Postgraduate student of the department «Machine Science»

*Odessa National Maritime University, Odessa, Ukraine*

**Abstract.** *The problem associated with the experimental determination of the endurance limit of objects, the test scheme of which is based on a stepwise increase in load, has been considered and solved.*

*Real testing of objects for fatigue resistance was proposed to be replaced by simulation modeling. For this, a specific example was considered and calculations were carried out, which made it possible to make generalizations and, on their basis, propose a new approach to determining the endurance limit.*

*The proposed version is simple and allows you to find not only the average value of the endurance limit, but also the individual values of each tested object.*

**Keywords:** *simulation of the testing process, stepped loading of objects, endurance limit.*

**Вступ.** Високі вимоги до надійності сучасних машин при одночасному зниженні їх маси ставлять нові завдання в галузі дослідження міцності сталевих деталей, що працюють в умовах динамічних навантажень. Важлива роль при цьому відводиться експериментальним методам, які в багатьох випадках є єдиним засобом розв'язання таких завдань [1].

Експериментальні методи завжди містять розрахункову складову, тому їх іноді називають експериментально-розрахунковими. До теперішнього часу розроблено багато таких методів [2] і вони відрізняються один від одного як схемами проведення випробувань, так і способами обробки експериментальних даних. При цьому зауважимо, що одній схемі може відповідати безліч способів обробки експериментальних результатів. Ця обставина відкриває можливість розвитку нових розрахункових методик, заснованих на інших вихідних передумовах. У даній роботі буде розглянуто саме такий випадок, тобто коли на основі відомої схеми одного з методів визначення границі витривалості запропоновано інший підхід до обробки експериментальних даних.

Розглянемо один із методів визначення границі витривалості умовних сталевих об'єктів (зразків, деталей, моделей, конструкцій і таке інше), у якому використовується принцип ступінчастого навантаження [3]. Експериментальна частина цього методу полягає у проведенні випробувань певної кількості об'єктів (зазвичай 10-15 штук) при стаціонарному навантаженні на декількох рівнях напружень, перший з яких приймають свідомо нижче за очікувану границю витривалості. Експеримент проводять на випробувальному устаткуванні, що забезпечує необхідний режим навантаження за нормальних умов. Базу випробувань приймають відповідно до стандарту –  $10^7$  циклів. Надалі після того, як об'єкт відпрацює базове число циклів без руйнування, рівень навантаження підвищують на фіксовану величину  $\Delta_{\sigma(\tau)}$  і випробування продовжують вже на наступному рівні. Дотримуючись такої схеми проведення випробувань кожен об'єкт доводять до руйнування. Руйнування відбудеться у разі, коли рівень напруження перевищить границю витривалості даного об'єкта. Схему проведення таких випробувань представлено на рис. 1 [3].

На даному рисунку горизонтальними та похилими стрілками показана послідовність проведення випробувань. Руйнування об'єкта на схемі позначено вертикальною стрілкою. Довговічність до руйнування на найвищому рівні навантаження відповідає значенню  $N_5$ .

Наведена схема може бути представлена наочніше і простіше з урахуванням того, що розглянутий метод називається методом ступінчастого збільшення навантаження (рис. 2).

Результати випробувань та обчислень подають на нормальному ймовірнісному папері в координатах  $\sigma(\tau) - P$ , де  $\sigma(\tau)$  це рівень напружень;  $P$  – ймовірність неруйнування об'єктів на даному рівні напруження після базового числа циклів).

Отримані таким чином точки на графіку апроксимують прямою лінією (рис. 3).

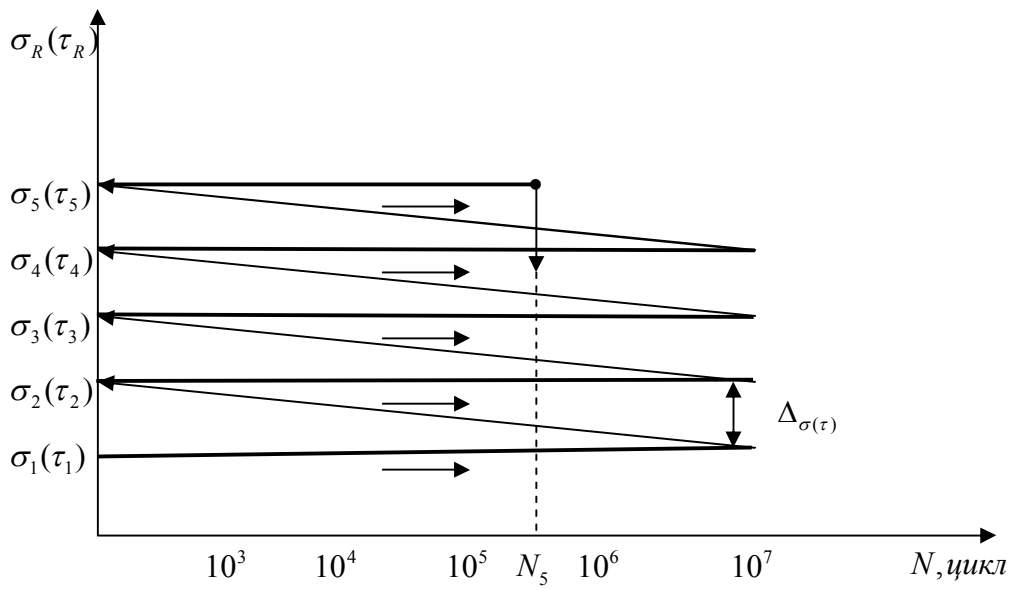


Рис. 1. Схема проведення випробувань відповідно до методу ступінчастого збільшення навантаження

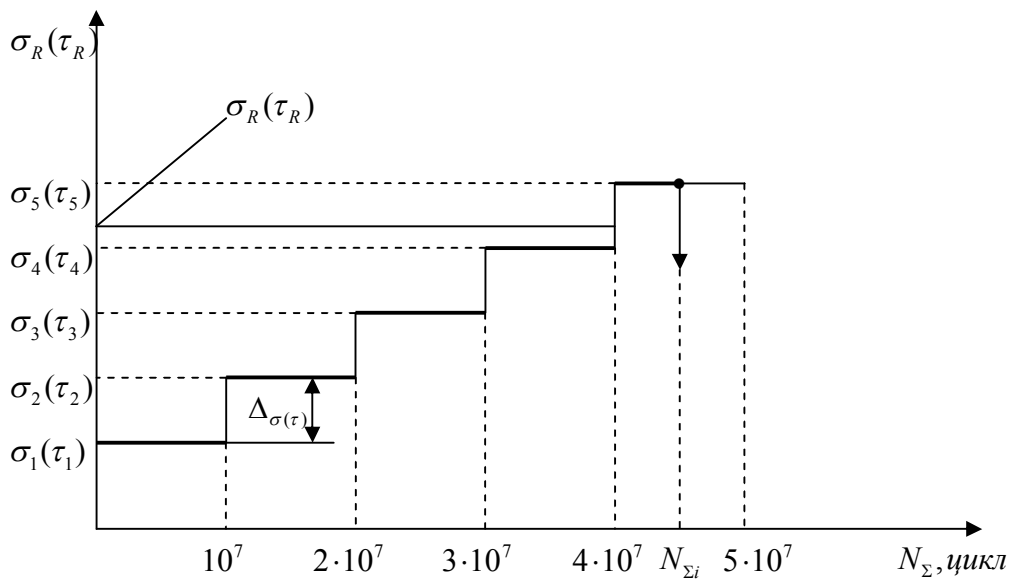


Рис. 2. Альтернативний варіант схеми проведення випробувань об'єктів методом ступінчастого збільшення навантаження

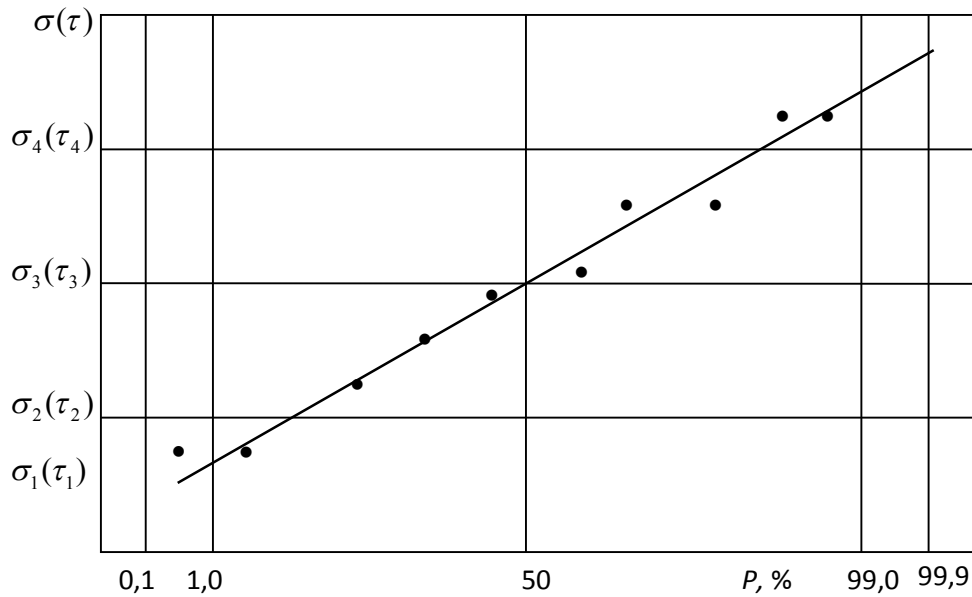


Рис. 3. Графічне подання результатів випробувань методом ступінчастого навантаження на нормальному ймовірнісному папері

За даним графіком визначають середнє значення границі витривалості та її стандартне відхилення.

Основним недоліком розглянутого методу слід вважати вплив «тренування» на втомну міцність об'єктів. Крім того, свою частку в похибку методу вносить припущення про можливість лінійної апроксимації результатів експерименту на ймовірнісному папері. Метод також має обмеження, яке полягає в тому, що він дозволяє знаходити лише середнє значення границі витривалості.

**Метою статті** є розробка такого підходу до обробки експериментальних даних, який дозволив би визначати не лише середні величини границі витривалості, а й індивідуальні їх значення. Також у статті вирішується завдання спрощення процесу обробки експериментальних даних та відмова від використання нормального ймовірнісного паперу без втрати точності методу.

**Виклад основного матеріалу.** Для оцінки точності розглянутого методу скористаємося віртуальним моделюванням процесу випробувань на опір втомі. Для цього розглянемо конкретний приклад, задавшись середнім значенням границі витривалості умовних об'єктів, рівним 200 МПа та її стандартним відхиленням – 15 МПа (7,5 %).

Прийmemo кількість віртуально випробуваних об'єктів, яка дорівнює 30. Для отримання картини розподілу границь витривалості цих об'єктів скористаємося

методом генерування випадкових чисел у програмному полі MS Excel. В результаті розрахунку за допомогою цього методу отримуємо розподіл границь витривалості відповідно до нормального закону (табл. 1).

Таблиця 1

*Розподіл границі витривалості, отриманий на основі методу генерування випадкових чисел у програмному полі MS Excel*

| Номер об'єкта | $\sigma_R(\tau_R)$ , МПа | Номер об'єкта | $\sigma_R(\tau_R)$ , МПа |
|---------------|--------------------------|---------------|--------------------------|
| 1             | 227,68                   | 16            | 190,00                   |
| 2             | 173,45                   | 17            | 177,48                   |
| 3             | 189,29                   | 18            | 196,28                   |
| 4             | 187,18                   | 19            | 192,17                   |
| 5             | 205,44                   | 20            | 210,36                   |
| 6             | 189,76                   | 21            | 192,76                   |
| 7             | 188,69                   | 22            | 204,39                   |
| 8             | 198,99                   | 23            | 209,70                   |
| 9             | 177,39                   | 24            | 200,48                   |
| 10            | 204,95                   | 25            | 225,98                   |
| 11            | 206,32                   | 26            | 169,35                   |
| 12            | 190,16                   | 27            | 170,78                   |
| 13            | 177,67                   | 28            | 200,64                   |
| 14            | 208,98                   | 29            | 202,71                   |
| 15            | 200,26                   | 30            | 220,84                   |

Середнє арифметичне значення границі витривалості, знайдене за даними табл. 1 становить 196,34 МПа, тобто відрізняється від прийнятого на 3,66 МПа (1,8 %). Очевидно, що зі збільшенням кількості об'єктів ця похибка буде наближатися до нуля.

Різниця між рівнями напружень  $\Delta\sigma(\Delta\tau)$  (див. рис. 1) приймемо згідно з рекомендаціями [3] рівною приблизно 70 % від стандартного відхилення (в даному випадку 10 МПа). За даними табл. 1 визначимо ймовірність неруйнування об'єктів після напрацювання при базовому числі циклів на кожному рівні напружень. Мінімальний рівень напружень  $\sigma(\tau)$  приймемо з урахуванням мінімального значення границі витривалості  $\sigma_R(\tau_R)$ , що дорівнює 170 МПа. Результати розрахунку представлені в табл. 2.

Таблиця 2

Розрахункові значення ймовірності неруйнувань  
на прийнятих рівнях напружень

|                                       |      |      |      |      |      |     |     |
|---------------------------------------|------|------|------|------|------|-----|-----|
| Рівень напружень $\sigma(\tau)$ , МПа | 170  | 180  | 190  | 200  | 210  | 220 | 230 |
| Кількість неруйнувань                 | 29   | 24   | 20   | 14   | 4    | 2   | 0   |
| Ймовірність неруйнувань, %            | 97,6 | 80,0 | 66,7 | 47,7 | 13,3 | 6,7 | 0   |

Для визначення середнього значення границі витривалості за розглянутим методом сформуємо впорядковані дані для відображення їх на нормальному ймовірнісному папері (табл. 3).

Таблиця 3

Упорядковані дані для нанесення їх на нормальний ймовірнісний папір

| Номер $q$ | Номер випробування $n_i$ | Границя витривалості $\sigma_R$ , МПа | Положення точки на осі ординат $\frac{100 \cdot q}{n+1}$ , % | Номер $q$ | Номер випробування $n_i$ | Границя витривалості $\sigma_R$ , МПа | Положення точки на осі ординат $\frac{100 \cdot q}{n+1}$ , % |
|-----------|--------------------------|---------------------------------------|--|-----------|--------------------------|---------------------------------------|--|
| 1         | 26                       | 169,35                                | 3,23   | 16        | 8                        | 198,99                                | 51,68  |
| 2         | 27                       | 170,78                                | 6,46   | 17        | 15                       | 200,26                                | 54,91  |
| 3         | 2                        | 173,45                                | 9,69   | 18        | 24                       | 200,48                                | 58,14  |
| 4         | 9                        | 177,39                                | 12,92  | 19        | 28                       | 200,64                                | 61,37  |
| 5         | 17                       | 177,48                                | 16,15  | 20        | 29                       | 202,71                                | 64,60  |
| 6         | 13                       | 177,67                                | 19,38  | 21        | 22                       | 204,39                                | 67,83  |
| 7         | 4                        | 187,18                                | 22,61  | 22        | 10                       | 204,95                                | 71,06  |
| 8         | 7                        | 188,69                                | 25,84  | 23        | 5                        | 205,44                                | 74,29  |
| 9         | 3                        | 189,29                                | 29,07  | 24        | 11                       | 206,32                                | 77,52  |
| 10        | 6                        | 189,76                                | 32,30  | 25        | 14                       | 208,98                                | 80,75  |
| 11        | 16                       | 190,00                                | 35,53  | 26        | 23                       | 209,70                                | 83,98  |
| 12        | 12                       | 190,16                                | 38,76  | 27        | 20                       | 210,36                                | 87,21  |
| 13        | 19                       | 192,17                                | 41,99  | 28        | 30                       | 220,84                                | 90,44  |
| 14        | 21                       | 192,76                                | 45,22  | 29        | 25                       | 225,98                                | 93,67  |
| 15        | 18                       | 196,28                                | 48,45  | 30        | 1                        | 227,68                                | 96,90  |

Використовуючи дані табл. 3, будемо залежність границі витривалості від ймовірності неруйнування об'єктів на нормальному ймовірнісному папері (рис. 4).

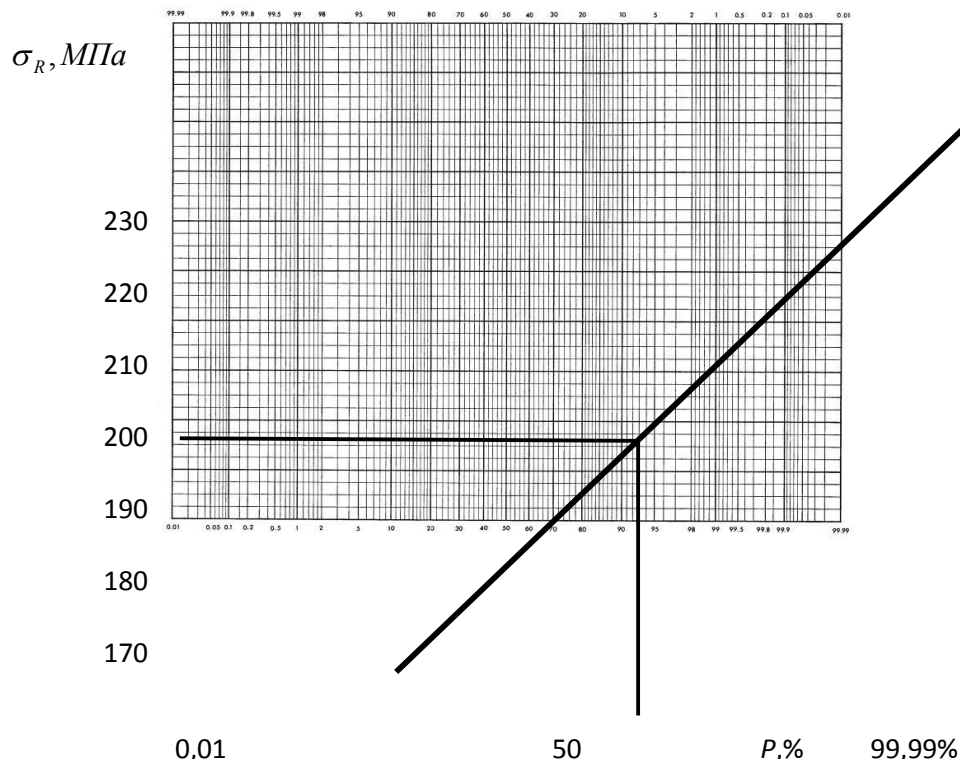


Рис. 4. Подання результатів, наведених у табл. 3, на нормальному ймовірнісному папері

Як видно з графіка, середньоїмовірної границя витривалості виявилася рівною прийнятому середньому значенню (200 МПа), що свідчить про правомірність вихідних передумов цього методу.

Для визначення границі витривалості за допомогою запропонованого підходу до обробки вихідних даних, значення  $\sigma_R(\tau_R)$ , наведені у табл. 1, представимо у вигляді варіаційного ряду. Потім визначимо ті рівні напружень  $\sigma(\tau)$ , на яких ці об'єкти могли б зруйнуватися при проведенні випробувань. З метою спрощення формул границю витривалості об'єктів записуватимемо лише випадку дії нормальних напружень, тобто. замість запису  $\sigma_R(\tau_R)$  у формулах залишатимемо тільки  $\sigma_R$ . Крім того, визначимо величини напружень, які являють собою різниці між руйнівними напруженнями і реальними значеннями меж витривалості, за формулою

$$\Delta\sigma_P = \sigma_P - \sigma_R. \quad (1)$$



Визначимо також середні значення величин  $\bar{\sigma}_R$ ,  $\bar{\sigma}_P$  і  $\Delta\bar{\sigma}_P$ . Результати розрахунків приведені в табл. 4.

Таблиця 4

Розрахункові значення величин  $\sigma_R$ ,  $\sigma_P$ ,  $\Delta\sigma_P$ ,  $\bar{\sigma}_R$ ,  $\bar{\sigma}_P$  і  $\Delta\bar{\sigma}_P$

| Номер об'єкта   | Границя витривалості $\sigma_R$ , МПа | Рівень напружень, при якому об'єкт зруйнується $\sigma_P$ , МПа | Різниця напружень $\Delta\sigma_P = \sigma_P - \sigma_R$ , МПа |
|---|---------------------------------------|---|--|
| 1   | 169,35                                | 170   | 0,65   |
| 2   | 170,78                                | 180   | 9,22   |
| 3   | 173,45                                | 180   | 6,55   |
| 4   | 177,39                                | 180   | 2,61   |
| 5   | 177,48                                | 180   | 2,52   |
| 6   | 177,67                                | 180   | 2,33   |
| 7   | 187,18                                | 190   | 2,82   |
| 8   | 188,69                                | 190   | 1,31   |
| 9   | 189,29                                | 190   | 0,71   |
| 10  | 189,76                                | 190   | 0,24   |
| 11  | 190,00                                | 200   | 9,91   |
| 12  | 190,16                                | 200   | 9,84   |
| 13  | 192,17                                | 200   | 7,83   |
| 14  | 192,76                                | 200   | 7,24   |
| 15  | 196,28                                | 200   | 3,72   |
| 16  | 198,99                                | 200   | 1,01   |
| 17  | 200,26                                | 210   | 9,74   |
| 18  | 200,48                                | 210   | 9,52   |
| 19  | 200,64                                | 210   | 9,36   |
| 20  | 202,71                                | 210   | 7,29   |
| 21  | 204,39                                | 210   | 5,61   |
| 22  | 204,95                                | 210   | 5,05   |
| 23  | 205,44                                | 210   | 4,56   |
| 24  | 206,32                                | 210   | 3,68   |
| 25  | 208,98                                | 210   | 1,02   |
| 26  | 209,70                                | 210   | 0,30   |
| 27  | 210,36                                | 220   | 9,64   |
| 28  | 220,84                                | 230   | 9,16   |
| 29  | 225,98                                | 230   | 4,02   |
| 30  | 227,68                                | 230   | 2,32   |
| Середнє значення $\bar{\sigma}_R$ , $\bar{\sigma}_P$ і $\Delta\bar{\sigma}_P$ | 196,34                                | 201,33  | 4,99   |

З таблиці видно, що середнє значення різниці  $\Delta\bar{\sigma}_P$  прагне величини  $\bar{\Delta}_{\sigma_R} / 2 = 10/2 = 5$ . Воно відрізняється від  $\Delta\bar{\sigma}_P$  всього на 0,2 %.

Визначимо середнє значення границі витривалості  $\bar{\sigma}_R$  за даними табл. 4, скориставшись формулою (1)

$$\bar{\sigma}_R = \bar{\sigma}_P - \bar{\Delta}_{\sigma_R} / 2 = 201,33 - 5,0 = 196,33 \text{ МПа} . \quad (2)$$

Результат практично збігся з вихідним значенням границі витривалості (196,34 МПа), що свідчить про правильність вибору вихідних передумов запропонованого підходу до визначення границі витривалості. З метою ширшої перевірки були проведені розрахунки для значень  $\Delta\sigma$  рівних 2,5 МПа, 5,0 МПа і 7,5 МПа. Їхні результати представлені в табл. 5.

Таблиця 5

Розрахункові значення границь витривалості  $\bar{\sigma}_{R(2,5)}$ ,  $\bar{\sigma}_{R(5,0)}$ ,  $\bar{\sigma}_{R(7,5)}$  і їх похибок

$\delta_{\sigma_{R(2,5)}}$ ,  $\delta_{\sigma_{R(5,0)}}$ ,  $\delta_{\sigma_{R(7,5)}}$  при  $\Delta\sigma = 2, 5 \text{ МПа}; 5,0 \text{ МПа}$  у  $7,5 \text{ МПа}$

| $\bar{\sigma}_R$ ,<br>МПа | $\bar{\sigma}_{R(2,5)}$ ,<br>МПа | $\delta_{\sigma_{R(2,5)}}$ ,<br>% | $\bar{\sigma}_{R(5,0)}$ ,<br>МПа | $\delta_{\sigma_{R(5,0)}}$ ,<br>% | $\bar{\sigma}_{R(7,5)}$ ,<br>МПа | $\delta_{\sigma_{R(7,5)}}$ ,<br>% |
|---------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| 196,34                    | 196,42                           | 0,04                              | 196,50                           | 0,08                              | 196,50                           | 0,08                              |

Аналізуючи дані табл. 5, можна констатувати, що вибір величини ступеня між рівнями напружень практично не впливає на точність запропонованого підходу до визначення середнього значення границі витривалості. Крім того, він дозволяє знаходити індивідуальні значення границь витривалості  $\sigma_{Ri}$  кожного (і-того) випробуваного об'єкта за формулою, аналогічною формулі (2).

$$\sigma_{Ri} = \sigma_{Pi} - \Delta\sigma / 2 , \quad (3)$$

де  $\sigma_{Pi}$  – рівень напруження, при якому сталося руйнація для і-того об'єкта.

Результати розрахунку індивідуальних значень границь витривалості  $\sigma_{Ri}$  та її відносних похибок  $\delta_{\sigma_{Ri}}$  представлені у табл. 6.

Таблиця 6

Розрахункові значення індивідуальних границь витривалості  $\sigma_{Ri}$ ,  $\bar{\sigma}_{Ri}$   
та їх відносних похибок  $\delta_{\sigma_{Ri}}$ ,  $\bar{\delta}_{\sigma_{Ri}}$

| Номер<br>об'єкта   | $\sigma_R$ ,<br>МПа | $\sigma_R^{und.}$ ,<br>МПа | $\delta_{\sigma_{Ri}}$ ,<br>% | Номер<br>об'єкта | $\sigma_R$ ,<br>МПа | $\sigma_{Ri}$ ,<br>МПа | $\delta_{\sigma_{Ri}}$ ,<br>% |
|--|---------------------|----------------------------|-------------------------------|------------------|---------------------|------------------------|-------------------------------|
| 1  | 169,35              | 165,0                      | -2,57                         | 16               | 198,99              | 195,0                  | -2,01                         |
| 2  | 170,78              | 175,0                      | 2,47                          | 17               | 200,26              | 205,0                  | 2,37                          |
| 3  | 173,45              | 175,0                      | 0,89                          | 18               | 200,48              | 205,0                  | 2,25                          |
| 4  | 177,39              | 175,0                      | -1,35                         | 19               | 200,64              | 205,0                  | 2,17                          |
| 5  | 177,48              | 175,0                      | -1,40                         | 20               | 202,71              | 205,0                  | 1,13                          |
| 6  | 177,67              | 175,0                      | -1,50                         | 21               | 204,39              | 205,0                  | 0,30                          |
| 7  | 187,18              | 185,0                      | -1,16                         | 22               | 204,95              | 205,0                  | 0,02                          |
| 8  | 188,69              | 185,0                      | -1,96                         | 23               | 205,44              | 205,0                  | -0,21                         |
| 9  | 189,29              | 185,0                      | -2,27                         | 24               | 206,32              | 205,0                  | -0,64                         |
| 10   | 189,76              | 185,0                      | -2,51                         | 25               | 208,98              | 205,0                  | -1,90                         |
| 11   | 190,00              | 185,0                      | -2,63                         | 26               | 209,70              | 205,0                  | -2,24                         |
| 12   | 190,16              | 195,0                      | 2,55                          | 27               | 210,36              | 215,0                  | 2,21                          |
| 13   | 192,17              | 195,0                      | 1,47                          | 28               | 220,84              | 225,0                  | 1,88                          |
| 14   | 192,76              | 195,0                      | 1,16                          | 29               | 225,98              | 225,0                  | -0,43                         |
| 15   | 196,28              | 195,0                      | -0,65                         | 30               | 227,68              | 225,0                  | -1,18                         |
| Середнє значення $\bar{\sigma}_R$ , $\bar{\sigma}_{Ri}$ і $\bar{\delta}_{\sigma_{Ri}}$ |                     |                            |                               |                  | 196,33              | 196,0                  | -0,17                         |

### Висновки

1. Запропоновано новий підхід до обробки експериментальних даних, одержуваних шляхом випробувань об'єктів на опір втомі при ступінчастому збільшенні навантаження.

2. Отримано залежність визначення індивідуальних значень границі витривалості кожного випробуваного об'єкта.

3. Проведено порівняння точності існуючого та запропонованого підходів до визначення границі витривалості. Встановлено, що запропонований підхід не поступається точністю, проте з точки зору обробки експериментальних даних він більш простий.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Олейник Н.В., Скляр С.П. Ускоренные испытания на усталость. – К.: Наук. думка, 1985. – 304 с.
2. Степнов М. Н. Статистические методы обработки результатов механических испытаний: Справочник. – М.: Машиностроение, 1985. – 232 с.
3. Коллинз Дж. Повреждение материалов в конструкциях. Анализ. Предсказание. Предотвращение. – М.: Мир, 1984. – 624 с.

## REFERENCES

1. Oleinik N.V., Sklyar S.P. Uskorennie ispitaniya na ustalost' [Accelerated Fatigue Tests]. Kiev: Naukova dumka (Scientific thought), 1985. – 304 l.
2. Stepnov M.N. Statisticheskie metody obrabotki rezultatov mechanicheskikh ispitani. [Statistical methods for processing the results of mechanical tests]. Spravochnik. – M.: Mashinostroenie (Directory. – M.: Mechanical Engineering), 1985. – 232 l.
3. Kollinz Dg. Povreghdenie materialov v konstrukciyah. Analiz. Predskazanie. Predotvrashenie. [Damage to materials in structures. Analysis. Prediction. Prevention.] – M.: Mir, 1984. – 624 l.

*Стаття надійшла до редакції 10.01.2023*

**Посилання на статтю: Конопльов А.В., Шумило О.М., Кононова О.М., Чердарчук Н.І., Галевський В.В., Юстов В.О.** Метод визначення середнього та індивідуального значень границі витривалості на основі результатів випробувань при ступінчастому навантаженні // Вісник Одеського національного морського університету: Зб. наук. праць, 2023. № 1 (68). С. 135-146. DOI 10.47049/ 2226-1893-2023-1- 135-146.

*Article received 10.01.2023*

**Reference a JournalArtic: Konoplov A., Shumylo O., Kononova O., Cheredarchuk N., Halevskiy V., Yustov V.** Method for determining the average and individual values of the endurance limit based on the results of tests under stepped loading // Herald of the Odessa national maritime university. Coll. scient. works, 2023. № 1 (68). 135-146. DOI 10.47049/ 2226-1893-2023-1-135-146.