

ПРОГНОЗУВАННЯ ЦИКЛІЧНОЇ ВИТРИВАЛОСТІ ШТОКІВ БУРОВИХ НАСОСІВ

Р. С. Яким

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 43024,
e-mail: public@nuing.edu.ua

Установлено залежність, яка об'єднує напруження і деформацію при циклічному напруженні розтягнення – стиснення, що дає можливість оцінювати усталостне пошкодження металів в процесі їх циклічного навантаження. При навантаженні на основне низькочастотне знакопеременне навантаження високочастотного в зоні руйнування проходять неоднорідні процеси упрочнення і разупрочнення. В цих умовах процес руйнування навантажених деталей характеризується виникненням не однієї магістральної тріщини, а цілої сітки тріщин, що в свою чергу приводить до процесам прискорення або зупинки руйнування. Тому зменшення величини амплітуди циклічного навантаження нижче межі усталості сприяє зниженню в'язкості руйнування.

Довговічність деталей машин нафтогазової промисловості при циклічному навантаженні в корозійноактивних робочих середовищах залежить не тільки від величини діючих напружень, але й від закону їх зміни: швидкості їх зміни за один цикл, частоти та коефіцієнта асиметрії циклу.

Закон зміни динамічних напружень, властивий більшості деталей бурового насоса, має вигляд трапецеоподібної кривої [1-4]. Зокрема, зміна навантаження на шток, що створюється тиском в циліндрі насоса, не співпадає з синусоїдальним законом зміни напружень, для якого границя втоми визначається класичним методом. Тому величину границі втоми σ , що приводиться в довідковій літературі, не можна використовувати в розрахунках деталей, що працюють в умовах динамічних навантажень і, зокрема, в середовищі корозійно-активних промислових розчинів. Спеціальних досліджень із встановлення нормативних показників для розрахунку штоків бурових насосів на циклічну міцність при динамічному характері навантаження не проводилось. Найбільш близькі до практичних спостережень результати дають розрахунки за кривою Веллера, отриманою випробуванням зразків в соловому кислому розчині. Число циклів приймають відповідним терміну служби штока за зношенням, але не менше ніж 500 год. [2].

Відповідно до цього існуючі розрахунки штоків бурових насосів двосторонньої дії ґрунтуються на теоретичному знаходженні: коефіцієнта запасу міцності за текучістю матеріалу штока [5], або запасу міцності, що враховує ефективний коефіцієнт концентрації напружень [6]. Це здебільшого не дає можливості провести

The dependence, which combines strain and deformation under the cyclic strain „tension and pressing”, is determined. It gives an opportunity to value the fatigued damage of metals in the process of their cyclic loading. When high-frequency alternative loading is put on the basis low-frequency one, the heterogeneous processes of strengthening and weakening take place in the destruction zone. Under these conditions the process of loaded details destruction is characterized by the formation not only of one main crack but a number of cracks. It causes the processes of acceleration or halt of destruction. For this reason the reduction of amplitude quantity of cyclic loading under the fatigue limit promotes the reduction of toughness destruction.

ґрунтовний аналіз впливу технологічних і особливо експлуатаційних факторів на довговічність штока.

Тому було поставлено завдання вивчити процес циклічного навантаження штока бурового насоса і розробити теоретичні основи прогнозування його довговічності.

Графічний аналіз осцилограм зміни динамічних навантажень на штоки бурових насосів, отриманий авторами [1-4], засвідчив, що для їх моделювання найбільше підходить періодична функція.

Відомо, що форма циклу зумовлює швидкість деформації, а також час перебування матеріалів під тим чи іншим видом деформації і тривалість дії середовища, хоч ці фактори інтегрально залежать від частоти. Важливе значення має також витримка під максимальним навантаженням. Тому вивчення параметрів циклу навантаження має ключове значення у встановленні довговічності натурних деталей.

Дослідження впливу параметрів циклу навантаження на довговічність деталей машин представлено в роботах [7-13].

В [7] встановлено, що в діапазоні частот 100?0,005 цикл/хв. довговічність зразків при синусоїдальній формі циклу менша, ніж у випадку трапецеоподібної чи прямокутної форми. Автори проводили випробування за схемою навантаження–розвантаження. Також встановлено, що зі зменшенням швидкості деформації вплив активного середовища зростає. Проте дослідження впливу трапецеоподібної форми циклу при навантаженні розтяг-стиск на довговічність деталей машин не проводились. Хоча при змінних режимах приймається лінійне сумування пошкоджень [8], максимумами циклів

реального навантаження не є статичними, а мають коливальний характер високої частоти. Крім цього, використання гіпотези про лінійне сумування пошкоджень спричинило до неможливості врахування історії навантаження та послідовності рівнів навантаження.

Відомо, що низькі значення частоти навантаження призводять до плавного суттєвого зниження довговічності [9]. Зокрема, згідно з [10] зменшення частоти циклів від 50 Гц до 1 Гц границя витривалості знижується на 1,1–1,5 рази, а довговічність до руйнування – в 3–8 разів.

Стомлювання матеріалів у першу чергу зумовлене процесами мікропластичної деформації в локальних об'ємах металу під дією циклічного навантаження, що в умовах мікрооднорідності матеріалу веде до генерації та росту мікрodefektів [11]. Їх накопичення та ріст призводять до зародження та поширення макротріщин. Встановлено [12], що при малих середніх деформаціях зразка в окремих його мікрооб'ємах залишкова деформація може досягати значних величин.

Статичне навантаження вище границі текучості спричинює значну деформацію всього об'єму зерен, в той же час як при швидкому знакозмінному навантаженні пластична деформація концентрується в локальних об'ємах. Під дією втомних навантажень утворення перших слідів зсуву починається, як правило, на поверхні зразка внаслідок полегшених умов деформування зерен в цій зоні і наявності концентрації напружень від мікронерівностей поверхні.

Характеристикою величини пластичної деформації при циклічному навантаженні служить ширина петлі деформування за півцикл [13]. Для матеріалів, що циклічно зміцнюються, залишкова деформація за півцикл зменшується з числом циклів і прямує до деякої сталої граничної величини. Для матеріалів, що циклічно знеміцнюються, ширина петлі і сумарна деформація збільшується з числом циклів. Для матеріалів циклічно стабільних ширина петлі гістерезису, починаючи з деякого півциклу, стає сталою і не залежить від числа циклів. Проте поділ матеріалів на ті, що циклічно зміцнюються і знеміцнюються та сталі, є умовним, оскільки для одних і тих же матеріалів залежно від режиму термічної обробки, рівня напружень і числа циклів навантаження може спостерігатися як зміцнення, так і знеміцнення. [12, 14].

В [15] встановлено, що швидкість росту макротріщини в циклічно деформованому тілі пов'язана не тільки з параметрами навантаження і міцнісними характеристиками матеріалу, а й параметрами, які враховують інтенсивність накопичення дефектів і несталість ширини петлі гістерезису зі збільшенням числа циклів навантаження.

Крім цього, при досить малих рівнях напружень площа петлі гістерезису не залежить від амплітуди навантаження, а залежить в першу чергу від швидкості навантаження. Це проявляється при напруженнях, в десятки разів менших, ніж границя витривалості металів [12].

Необхідно також врахувати той факт, що співвідношення між границями витривалості при розтягу-стиску на повітрі становить 0,7–0,8 [16]. Для корозійного середовища це співвідношення стає більшим за 1 [17]. Дане явище спричинене тим, що середовище в першу чергу знеміцнює поверхневий шар деталі. При довговічностях $5 \cdot 10^4 - 10^7$ циклів розвиток тріщини починається з дефекту на поверхні зразка. При $10^7 - 5 \cdot 10^7$ циклів розвиток тріщини починається з дефекту чи включення під поверхнею і понад $5 \cdot 10^7$ розвиток тріщини починається під поверхнею при відсутності видимого дефекту, при цьому часто джерело руйнування має специфічний вигляд, що називається „рибне око” [18–20]. Натомість в корозійних середовищах спостерігається значне зменшення граничних амплітуд зі збільшенням середнього напруження розтягу [21] (звуження діаграм граничних напружень в ділянці додатних і розширення в її ділянці від'ємних асиметричних циклів), що свідчить про недопустимість згладження в лінії максимумів і мінімумів циклів.

В [22] встановлено, що аустенітні сталі типу 18-8, оброблені термомеханічною пластичною деформацією (10% обтискання), мають меншу схильність до дії корозійного середовища (10% розчин H_2SO_4 при $t=60^\circ C$) порівняно з гартованими. При циклічних навантаженнях ± 100 МПа швидкість корозії зростає і з ± 200 МПа спадає. Одночасний вплив на сталь корозійного середовища і невеликих за величиною циклічних напружень (30–100 МПа) сприяє зниженню залишкових напружень, в результаті чого зменшується швидкість корозії. Різке збільшення швидкості корозії зі збільшенням величини циклічних напружень пов'язане з механічним ефектом [23]. Однак питання про вплив виду навантаження на опір корозійної втоми вивчений ще недостатньо [17].

Разом з тим в [24] встановлено, що при малоцикловій втомі корозійне середовище не сприяє зародженню тріщин втоми, проте суттєво збільшує швидкість їх розповсюдження. Зокрема, при зменшенні амплітуди від 100 цикл/хв. до 0,1 цикл/хв. спостерігали збільшення впливу морської води на утворення тріщин.

Зниження границі витривалості спостерігалось при регулярному і нерегулярному навантаженні зразків зі сталі 45 і 40X при довготривалих випробовуваннях (база становила $5 \cdot 10^8$ цикли) [25, 26].

Зі зменшенням рівня напружень зростає розсіювання довговічності, при цьому довговічність перестає відповідати нормальному закону розподілу [27]. Тому особливої уваги заслуговують максимуми циклів та їх асиметрія.

Відомо, що існує рівень напружень, нижче якого в матеріалі відсутнє накопичення втомних пошкоджень. Разом з тим, напруження, що лежать нижче границі витривалості σ_{-1} гладких зразків, визначеної на базі 10^7 циклів, беруть участь в накопиченні втомних пошкоджень, якщо на елементи конструкції діють нестатичні навантаження [28]. Теоретичні і експериментальні дослідження Когаєва В.П. засвідчу-

ють, що пошкодження, які призводить до зародження і росту тріщини, накопичується в ділянці деталі, де напруження перевищують значення $0,5\sigma_{-1}$.

Аналізуючи криві діаграм циклічної деформації, видно, що величина деформаційного зміцнення при циклічних випробуваннях знаходиться в залежності від амплітуди напруження. [29] Для великих амплітуд – область малих деформацій, спостерігається значне зміцнення. Відбувається накопичення малих пластичних деформацій. При малих амплітудах напружень в ділянці великих довговічностей ефект зміцнення є невеликий, а сумарна пластична деформація при руйнуванні має аномально велику величину. Проте руйнування в ділянці великих довговічностей не може бути пояснене простим сумуванням деформацій.

Дослідження, проведені авторами [30] на зразках зі сталей 20, 35Л, 45, 40Х при різних видах навантаження, показали коливання граници витривалості в межах $(0,53 \dots 0,85)\sigma_{-1}$, що вказує на можливість пошкоджуючої дії регулярних напружень на 20-45% нижче граници витривалості.

При розтягу–стиску напруження по перерізу об'єкта і за наявності концентратора напружень розподілені біль-менш рівномірно (у випадку гладкого зразка – рівномірно). Роль поверхневих шарів при цьому зменшується. [17] При зміні коефіцієнта асиметрії R від 1 (при розтягу) до -1 граничне напруження зменшується більш ніж у 2 рази. В корозійних середовищах, як правило, спостерігається значне зменшення граничних амплітуд зі збільшенням середнього напруження розтягу (звуження діаграми граничних напружень в області додатних і розширення її в області від'ємних асиметричних циклів). При одночасній дії циклічного навантаження і корозійного середовища частота навантаження відіграє особливо важливу роль. Характер впливу частоти на корозійну втому залежить перш за все від способу оцінки довговічності – часом чи числом циклів. У випадку, коли довговічність оцінюється часом до руйнування, висока частота навантаження здійснює шкідливий вплив через велику ефективність механічного фактора. При оцінці довговічності в числах циклів велику небезпеку має менша частота, оскільки в цьому випадку дія корозійного середовища на метал для одного і того ж числа циклів продовжується протягом більшого часу, ніж при високій частоті навантаження [31].

Збільшення частоти у визначеній мірі еквівалентне збільшенню швидкості деформування і навантаження. Накладання на повторні навантаження малої частоти невеликих за амплітудою вібрацій, але значно більшої частоти, може сильно знизити міцність і довговічність деталей [32]. Зокрема, накладання на основне низькочастотне знакопостійне навантаження ($n = 10$ цикл/хв., $\sigma_{\max} = (0,4?0,7) \sigma_{\text{розр.}}$, $\sigma_{\min} 0,1\sigma_{\text{розр.}}$) високочастотного навантаження малої амплітуди ($n = 2000$ цикл/хв., $\sigma_a = (0,05?0,125) \sigma_{\max}$, $\sigma_{\min} 0,1\sigma_{\text{розр.}}$) знижує довговічність зразків більш

ніж у 2 рази при незмінній сумарній величині амплітуди напруження.

Виходячи із сказаного вище, модель зміни напружень в штоці бурового насоса за даних умов повинна бути виражена кусково-неперервною періодичною функцією $f(x)$ з періодом $T=2l$.

Дану функцію можна представити у вигляді суми кінцевого числа гармонік

$$u_n = a_n \cdot \cos\left(\frac{n\pi x}{l}\right) + b_n \cdot \sin\left(\frac{n\pi x}{l}\right), \quad (1)$$

де $n = 0, 1, 2, 3, \dots$ того ж періоду $2l$.

Причому повинна виконуватися умова

$$f(x) = \begin{cases} 0, & -l < x < 0 \\ 1, & 0 < x < l \end{cases}, \quad (2)$$

крім цього,

$$-l < x < l.$$

Отримали тригонометричний ряд Фур'є

$$f(x) = R_\sigma a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \left(a_n \cos\left(\frac{n\pi x}{l}\right) + b_n \cdot \sin\left(\frac{n\pi x}{l}\right) \right), \quad (3)$$

де R_σ – коефіцієнт асиметрії циклу. В даному випадку, враховуючи, що співвідношення між значеннями напружень розтягу і стиску, що виникають в штоці бурового насоса У8-6МА, є в межах 0,9 амплітуди, а також рекомендації [32, 33], прийемо $R_\sigma = -0,1$

Розклад функції $f(x)$ кусково-гладкої в проміжку $\langle -l, l \rangle$ дає можливість отримати розклад

$$f(x) = R_\sigma + \frac{2}{\pi} \left(\sin\left(\frac{\pi x}{l}\right) + \frac{1}{3} \cdot \sin\left(\frac{3\pi x}{l}\right) + \frac{1}{5} \cdot \sin\left(\frac{5\pi x}{l}\right) + \dots \right). \quad (4)$$

Використовуючи програмний продукт Mathcad, було побудовано модель зміни напружень розтягу-стиску, яка представлена на рис. 1.

При проведенні лабораторних випробувань враховували параметри частоти та навантаження в циклі дії штока (табл. 1).

Внаслідок проведеного графічного аналізу осцилограм зміни динамічних навантажень на штоки бурових насосів та використовуючи дані [34], признавали ширину циклу $l=10$ і кількість гармонік $n=20$

$$f(x) = -0,1 + \frac{2}{\pi} \sum_{k=1}^{20} \frac{\sin\left((2k-1) \cdot x \cdot \frac{\pi}{10}\right)}{(2k-1)};$$

$$r1 = 20.$$

В [35] запропоновано оцінювати втомне пошкодження металів у процесі їх циклічного навантаження за характеристиками непружності, що досліджуються з використанням методу динамічної петлі гістерезису.

На основі рекомендацій [35, 36] для проведення лабораторних експериментів можна запропонувати устаткування, схема якого наведена на рис. 2.

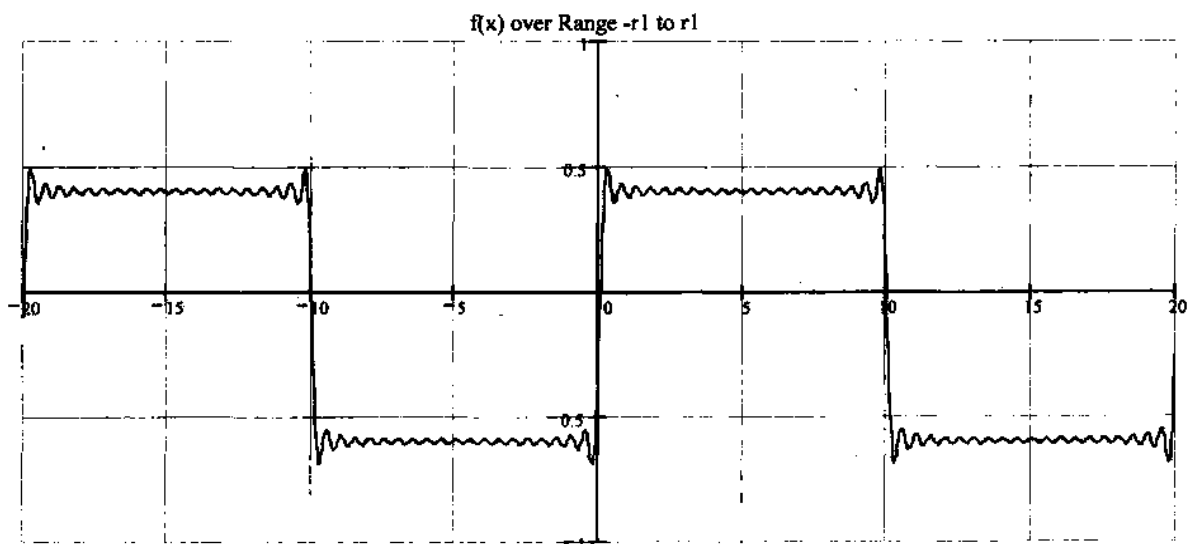
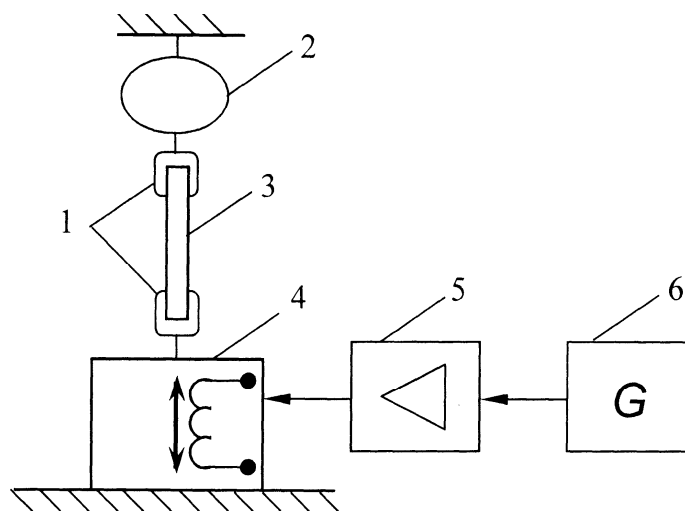


Рисунок 1 — Модель програмного навантаження зразка



1 – фіксатори зразка, 2 – пружний елемент силовимірювача, 3 – зразок, 4 – силозбуджувач, 5 – підсилювач сигналу, 6 – генератор сигналу

Рисунок 2 – Схема випробувальної машини зразків на розтяг–стиск

Таблиця 1 – Параметри циклів штока бурового насоса

Марка насоса	Число подвійних ходів поршня в 1 хв	Навантаження на шток, кН
У8-6МА2	66	300
НБТ-600	135	290

Змінну силу, виходячи з даних умов, можна отримати завдяки силозбуджувачу коливач на електромагнітній основі [37]. Це зумовлено тим, що вони володіють широким діапазоном робочих частот та їх здатністю формувати цикли навантаження у відповідності до зміни змінного струму, що підводиться до обмоток індуктивних котушок. Як силозбуджувач коливач амплітудою 10 мм в діапазоні частот 0,1-100 Гц

може бути використаний пристрій ЭДС-4, що розвиває ефективну змінну силу до 1500 Н, або ЭДС-5, що розвиває ефективну змінну силу до 5300 Н.

Оскільки непружна деформація за цикл є більш універсальним критерієм руйнування, ніж незворотна розсіяна за цикл енергія [38] то були проведені дослідження деформацій та напружень в дослідних зразках зі сталі 40Х, яка широко використовується для виготовлення штоків.

Напруження і деформації при досліджуваних циклічних напруженнях будуть визначені, якщо будуть знайдені відмічені верхньою рискою змінні величини.

На основі [14] для досліджуваних циклічних навантажень правомірним є використання рівняння, що пов'язує напруження і деформації,

$$\bar{\sigma}_{ij} - \bar{\sigma}\delta_{ij} = \frac{2\bar{\sigma}_u}{2\varepsilon_u} (\bar{\varepsilon}_{ij} - \bar{\varepsilon}\delta_{ij}),$$

$$(ij = x, y, z), \quad (5)$$

де $\bar{\sigma}_u$ – інтенсивність напружень $\bar{\sigma}_{ij}$

$$\bar{\sigma}_u = \frac{\sqrt{2}}{2} \left((\bar{\sigma}_{xx} - \bar{\sigma}_{yy})^2 + (\bar{\sigma}_{yy} - \bar{\sigma}_{zz})^2 + (\bar{\sigma}_{zz} - \bar{\sigma}_{xx})^2 + 6(\bar{\sigma}_{xy}^2 + \bar{\sigma}_{yz}^2 + \bar{\sigma}_{zx}^2) \right)^{1/2}; \quad (6)$$

$\bar{\varepsilon}_u$ – інтенсивність деформацій $\bar{\varepsilon}_{ij}$

$$\bar{\varepsilon}_u = \frac{\sqrt{2}}{3} \left((\bar{\varepsilon}_{xx} - \bar{\varepsilon}_{yy})^2 + (\bar{\varepsilon}_{yy} - \bar{\varepsilon}_{zz})^2 + (\bar{\varepsilon}_{zz} - \bar{\varepsilon}_{xx})^2 + 6(\bar{\varepsilon}_{xy}^2 + \bar{\varepsilon}_{yz}^2 + \bar{\varepsilon}_{zx}^2) \right)^{1/2}. \quad (7)$$

При цьому

$$\bar{\sigma}_u = 3K\bar{\varepsilon}, \quad (8)$$

де K – модуль об'ємної деформації

$$K = \frac{E}{3(1-2\nu)},$$

або

$$K = \Lambda + \frac{2}{3}G, \quad (9)$$

де: E – модуль пружності;

ν – коефіцієнт Пуассона;

Λ, G – коефіцієнти Ламе.

Припустимо, що $\bar{\sigma}_u$ є визначеною функцією $\bar{\varepsilon}_u$ та $\bar{\varepsilon}'_u$ величини інтенсивності деформацій при першому навантаженні,

$$\bar{\sigma}_u = \bar{\Phi}(\bar{\varepsilon}_u, \bar{\varepsilon}'_u). \quad (10)$$

Функція $\bar{\Phi}$ може бути визначена рівнянням кривої (рис. 3), яка знаходиться на діаграмі циклічного гістерезису, що пов'язує напруження і деформацію при досліджуваному навантаженні. Отримали з достовірністю $R^2=0,98$ рівняння лінії апроксимації

$$\sigma = -2,609 + 1,972 \cdot 10^4 \varepsilon - 2,202 \cdot 10^6 \varepsilon^2 + 6,801 \cdot 10^7 \varepsilon^3. \quad (11)$$

Оскільки розглядуваний фрагмент є частиною нижньої гілки петлі гістерезису, початок її знаходиться у верхній точці, де відбувається старт розвантаження.

Проведені випробування також дали можливість оцінити візуально площину, по якій безпосередньо відбувалося руйнування. Вивчення форми зламу дослідного зразка (рис. 4) засвідчило, що по його краях (поверхневі шари зразка) знаходиться тонка гладка зона, що утворилася в результаті ефекту зсуву. В середині площини зламу спостерігається неоднорідна великозерниста ділянка, яка свідчить про те, що процес руйнування тут проходив шляхом відриву. Неоднорідність зони руйнування

може бути пояснена накопиченням дислокацій та порожнин в локальних об'ємах металу.

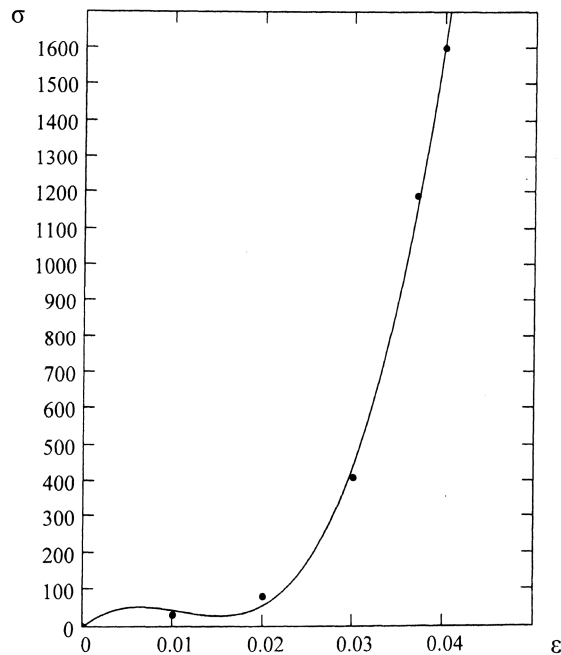


Рисунок 3 – Лінія апроксимації нижньої гілки петлі циклічного гістерезису



Рисунок 4 – Зовнішній вигляд форми зламу зразка

Отже, в перерізі руйнування є ділянки матеріалу, що циклічно зміцнюються, та ділянки, що циклічно знеміцнюються. Проте загалом зона зламу засвідчує про переважаючий крихкий характер руйнування.

В результаті досліджень встановлено залежність, яка пов'язує напруження і деформацію при циклічному навантаженні розтяг-стиск. Це дає можливість оцінювати втомне пошкодження металів у процесі їх циклічного навантаження. При накладанні на основне низькочастотне знакозмінне навантаження високочастотного в зоні руйнування проходять неоднорідні процеси зміцнення і знеміцнення. За даних умов процес руйнування навантажених деталей характеризується не утворенням однієї магістральної тріщини, а цілої сітки тріщин, що в свою чергу

призводити до процесів прискорення чи уповільнення руйнування. Тому зменшення величини амплітуди циклічного навантаження нижче границі втоми призводить до зниження в'язкості руйнування.

Оскільки, крім циклічного навантаження, шток бурового насоса зазнає гідро-абразивного впливу, то в подальшому варто б вивчити дію циклічних напружень на зносостійкість в умовах гідро-абразивного впливу.

Література

1. Николич А.С. Основания модернизации насосного комплекса буровых установок. // Нефтепромысловое машиностроение: Обзорная информация. Серия ХМ-3. Центральный институт научно-технической информации и технико-экономических исследований по химическому и нефтяному машиностроению. – 1990. – 59 с.
2. Николич А.С. Поршневые буровые насосы. – М.: Недра, 1973. – 224 с.
3. Ливак И.Д. Исследование трехпоршневых буровых насосов и усовершенствование конструкций клапанных групп: Дис... канд. техн. наук: 05.15.07. – Ивано-Франковск, 1996. – 224 с.
4. Чаплинский С.С. Моделирование работы клапанів трипоршневих бурових насосів для підвищення ефективності їх проектування та експлуатації: Дис... канд. техн. наук: 05.05.12. – Івано-Франківськ, 2004. – 200 с.
5. Ильский А.Л., Миронов Ю.В., Чернобыльский А.Г. Расчет и конструирование бурового оборудования. – М.: Недра, 1985. – 452 с.
6. Северинчик Н.А. Машины и оборудование для бурения скважин. – М.: Недра, 1986. – 368 с.
7. Карпенко Г.В., Кобзарук А.В. Влияние формы цикла на малоцикловую долговечность стали в морской воде // Физико-химическая механика материалов. – 1976. – Т.12. – №2. – С.81-84.
8. Расчет на прочность деталей машин: Справочник / И.А.Биргер, Б.Ф.Шор, Г.Б.Иосилевич. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1979. – 702 с.
9. Kikukava S. Relatiochip between Ferguency-and Temperature-Effects on Fatigue // Papers ISME 1967 Semi-International Simposium 4 th – 8 th September. – 1967. – №1. – p.55-64.
10. Олейник Н.В. Выносливость деталей машин. – К.: Техніка, 1979. – 200 с.
11. Трощенко В.Г. Усталость и неупругость металлов. – К.: Наукова думка, 1971. – 268 с.
12. Трощенко В.Т. Деформирование и разрушение металлов при многоцикловом нагружении. – К.: Наукова думка, 1981. – 334 с.
13. Фридман Я.Б. Механические свойства металлов: Изд. 3-е перераб. и доп.: В двух частях. Часть 2. Механические испытания. Конструкционная прочность. – М.: Машиностроение, 1974. – 368 с.
14. Москвитин В.В. Пластичность при переменных нагружениях. – М.: Издательство Московского университета, 1965. – 264 с.
15. Панасюк В.В., Силованюк В.П. Розрахункова модель утомного руйнування матеріалів // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2003. – № 3. – С. 43-54.
16. Гребенник В.М. Усталостная прочность и долговечность металлургического оборудования – М.: Машиностроение, 1969. – 256 с.
17. Олейник Н.В., Магденко А.Н., Скляр С.П. Сопротивление усталости материалов и деталей машин в коррозионных средах. – К.: Наукова думка, 1987. – 200 с.
18. Деев Н.А. Исследование феноменологии и механизма усталостного разрушения низкоотпущенных высокопрочных сталей: Дис. к.т.н. 05.16.01 – металловедение и термическая обработка металлов – Львов: Физико-механический институт АНУССР, 1976. – 128 с.
19. Chai G. On the formation of subsurface non-defect fatigue crack origin in „fish eye” // Proceedings of Third International Conference on Very high cycle fatigue. Ritsumeikan University, Kusatsu, – Japan. – 2004. – p.24-31.
20. Kazuaki Shiozawa, Seiichi Nishino, Yuuichi Morii / Subsurface crack initiation and propagation mechanism of high-strength steel in very cycle fatigue regime // Proceedings of Third International Conference on Very high cycle fatigue. Ritsumeikan University, Kusatsu, –Japan. – 2004. – p.85-92.
21. Похмурский В.И. Коррозионная усталость металлов. – М.: Металлургия, 1985. – 206 с.
22. Иванов С.С. О влиянии циклических напряжений на скорость коррозии в кислой среде // Физико-химическая механика материалов. – 1977. – Т. 13. – № 5. – С.108-109.
23. Гутман Э.М. Механохимия металлов и защита от коррозии. – М.: Металлургия, 1974. – 232 с.
24. Кобзарук А.В. Влияние частоты нагружения на долговечность стали в морской воде // Физико-химическая механика материалов. – 1975. – Т.11. – № 2. – С. 98-100.
25. Когаев В.П., Петрова И.М. Оценка долговечности при программном нагружении и Больших базах испытания. // Машиностроение. – 1973. – № 3. – С. 51-56.
26. Когаев В.П., Вандышев В.П., Петрова И.М. Накопление усталостных повреждений и вероятностные методы расчета деталей машин на усталость при варьировемых амплитудах напряжений / Сб. Прочность материалов и конструкций. – К.: Наукова думка, 1975. – С.26-33.
27. D.Gary Harlow, Robert P.Wei, Tatsuo Sakai, Noriyasu Oguma. Crack growth based probability modelin of S-N response. // Proceedings of Third International Conference on Very high cycle fatigue. Ritsumeikan University, Kusatsu, –Japan. – 2004. – p.542-552.
28. Когаев В.П. Расчеты на прочность при напряжениях переменных во времени. – М.: Машиностроение, 1993. – 363 с.

29. Бернштейн М.Л., Займовский В.А.
Структура и механические свойства металлов.
– М.: Металлургия, 1970. – 472 с.

30. Колованов Л.В., Петрова И.М. Особенности циклической прочности конструктивных сталей в области длительной долговечности // Вестник машиностроения. – 1998. – № 9. – С. 3-13.

31. Романив В.В. Влияние коррозионной среды на циклическую прочность металлов. – М.: Наука, 1969. – 220 с.

32. Марин Н.И. Статическая выносливость элементов авиационных конструкций. – М.: Машиностроение, 1968. – 161 с.

33. Золотаревский С.М. Механические свойства металлов – М.: Металлургия, 1983. – 352 с.

34. Школьник Л.М. Методика усталостных испытаний: Справочник. – М.: Металлургия, 1978. – 304 с.

35. Методы исследования сопротивления металлов деформированию и разрушению при циклическом нагружении / Трощенко В.Т., Грязнов Б.А., Стрижало В.А., Хамаза Л.А., Шемеган Ю.М. – К.: Наукова думка, 1974. – 257 с.

36. Кузьменко В.А. Звуковые и ультразвуковые колебания при динамических испытаниях материалов. – К.: Издательство АН УССР, 1963. – 152 с.

37. Испытательная техника: справ. в 2-х кн. / Под ред. В.В.Клюева. – М.: Машиностроение, 1982. – 560 с.

38. Трощенко В.Т., Шестопап Л.Ф. Исследование закономерностей усталостного разрушения и неупругого деформирования металлов при кручении // Проблемы прочности. – 1972. – № 5. – С.15-23.

УДК 502.064.3

ОЦІНКА ПАЛИВНО-ЕНЕРГЕТИЧНОГО ТА ПРИРОДНО-РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ІВАНО-ФРАНКІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ ДЛЯ РОЗРОБКИ СТРАТЕГІЇ ЇЇ РОЗВИТКУ

Я.О.Адаменко, М.М.Николяк, Д.О.Зорін

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (0342) 505942,
e-mail: ecology@nung.edu.ua

Рассмотрен потенциал минерально-сырьевых, земельных, климатических, водных, биологических ресурсов Ивано-Франковской области. Предложены принципы экологической безопасности хозяйственной деятельности области. Приведена схема создания компьютерной информационно-руководящей системы государственного управления состоянии окружающей среды и рационального природопользования в условиях экологических ограничений рекреационной зоны.

The potential of mineral raw material, soil, climatic, water, biological resources of the Ivano-Frankivsk are studied. The principals of environmental safety of industrial activity are offered for the region. The scheme of construction of the computer information and decision making system of state management of the environmental state and rational nature use is given under the conditions of environmental limits of recreational area.

1 Природно-ресурсний потенціал

Природно-ресурсний потенціал (ПРП) – це сукупність природних умов і ресурсів, які є на даній території в наявності або прогноуються на певну розрахункову перспективу. Головні компоненти ПРП: мінерально-сировинні, земельні, кліматичні, водні та біологічні ресурси.

1.1 Мінерально-сировинні ресурси Івано-Франківської області

Територія області відноситься до трьох тектонічних структур: Східноєвропейської платформи, Передкарпатського передового прогину і складчастої системи Українських Карпат. Відповідно до тектонічного районування корисні копалини розподілені таким чином:

– на платформі – неметалеві (кам'яна і калійна солі, гіпс, ангідрит, сірка, фосфорити, мергелі, глини, піски скляні та будівельні, торф);

– у Передкарпатському прогині – горючі або паливні (газ, нафта, буре вугілля, торф, менілітові сланці, озокерит);

– у складчастій області Українських Карпат: а) горючі (нафта у піднадвиговому комплексі, менілітові сланці); б) неметалеві (пісковики, мармури); в) металеві (невеликі прояви залізних і марганцевих руд, міді, цинку, срібла і золота).

У всіх трьох зонах розповсюджені мінеральні води.

Ресурси корисних копалин можна об'єднати в кілька груп:

1. Паливно-енергетичну (нафта, газ, буре вугілля, торф).

2. Хімічну (кам'яна та калійна солі, сірка, фосфорити).

3. Будівельних матеріалів (гіпс, мергелі, мармури, пісковики, піски скляні та будівельні, глини).

4. Бальнеологічну (озокерит, мінеральні води).

Територія родовищ корисних копалин загалом невелика, за винятком нафти, газу, гіпсів та глин. Ступінь розвіданості сировинних ресурсів Івано-Франківської області задовільний,