

# НАФТОГАЗОПРОМИСЛОВЕ ОБЛАДНАННЯ

УДК 620.193 : 622.276

## УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ОЦІНКИ ДОВГОВІЧНОСТІ БУРИЛЬНИХ ТРУБ З УРАХУВАННЯМ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

### ЧАСТИНА 1. ПАРАМЕТРИ КРИВОЇ ВТОМИ БУРИЛЬНИХ ТРУБ ПРИ МАЛО- І БАГАТОЦИКЛОВИХ НАВАНТАЖЕННЯХ

*В.М. Івасів, В.І. Артим, В.В. Грицив, Р.В. Рачкевич*

*ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 40089,  
e-mail: grytsiv\_vv@mail.ru*

*Визначено параметри опору втомі бурильних труб ТБН-73Х9-К у складних режимах навантаження, а також побудовано графіки у формі кривої втоми без розриву і з урахуванням розриву між малоцикловою і багатоцикловою областями.*

*Ключові слова:* бурильні труби, надійність, довговічність, розрив кривої втоми, параметри кривої втоми.

*Определены параметры сопротивления усталости бурильных труб ТБН-73х9-К при сложных режимах нагружения, а также построены графики в форме кривой усталости без разрыва и с учетом разрыва между малоцикловой и многоцикловой областями.*

*Ключевые слова:* бурильные трубы, надежность, долговечность, разрыв кривой усталости, параметры кривой усталости.

*In the article the characteristics of resistance head the fatigue of pipe drills of TBN-73x9 are certain at difficult behaviors of lading, and also cards are built in form bent fatigue without a blowout and taking into account a break between low cycle and by high cycle bands.*

*Keywords:* drill pipes, fail-safety, endurance capability, dug up a bent fatigue, characteristics of bent fatigue.

На сьогоднішній день розвиток нафтогазовидобувної промисловості України значною мірою залежить від буріння глибоких та надглибоких свердловин. У зв'язку з цим зростають вимоги до надійності бурильних труб (БТ) та її елементів. Але не зважаючи на вдосконалення техніки і технології буріння, аварії із БТ все ще трапляються [1,2]. Отже, подальші дослідження в цій області є актуальними.

Науковці [3-5] розглядали проблематику визначення довговічності та залишкового ресурсу БТ від дії моменту згину, обумовленого як викривленням стовбура свердловини, так і втратою стійкості колони. Авторами роботи [6] вказано, що близько 85% аварій з бурильною колоною (БК) зумовлені втомним руйнуванням труб, з яких 45% припадає на розтягнуту частину колони. Підтвердженням цього є графік розподілу кількості відмов за глибиною свердловини (рис. 1). Подібна залежність подається в роботі [8], де на основі статистичного аналізу результатів дефектоскопії побудовано графік

розподілу дефектів сталевих бурильних труб від довжини колони (рис. 2).

У верхній частині колони дія моменту згину не суттєва. Основними причинами руйнувань у її верхній частині є корозійно-втомне пошкодження, викликане дією асиметричних циклів напружень розтягу. При цьому дані цикли напружень викликають багатоциклову корозійну втому за звичайних умов роботи колони. Проте в процесі буріння свердловини колони БТ нерідко зазнає і значних перевантажень, що виникають при затягуваннях у жолобах, прихопленні колони, порушенні технології проведення спуско-підіймальних операцій і т.д. Іноді сумарне напруження під дією перевантажень досягає значень границі плинності і, навіть, границі міцності матеріалів БТ. Такі навантаження здебільшого і є причиною їх статичного або малоциклового втомного руйнування. Так, наприклад, на свердловині 1-Південна Яблунів [9] для вивільнення прихопленої частини БК проводили її розходжування із зусиллям 2200 кН,

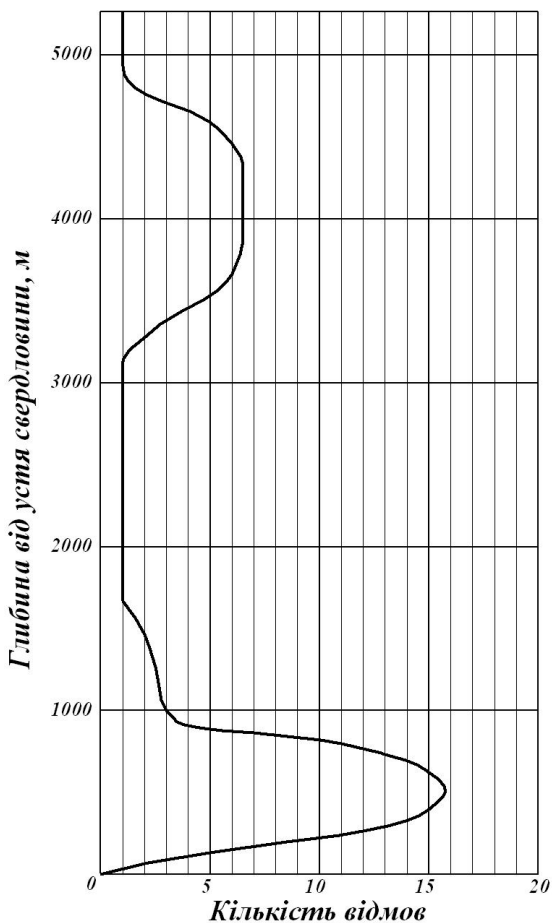


Рисунок 1 – Розподіл кількості відмов за глибиною свердловини [7]

що для БТ 127x9 мм (ГОСТ Р50278–92 ) групи міцності Е напруження в тілі труби перевищує границю плинності на 27%. У зв'язку з цим, для прогнозування довговічності БТ і, як наслідок, забезпечення їх надійності, необхідні теоретичні та експериментальні дослідження пошкоджуючої дії циклів напружень з високою асиметрією в області як багатоциклової, так і малоциклової втомі та їх сумісної дії, що і є метою роботи.

Першим етапом роботи є визначення параметрів кривої втомі натурних зразків елементів бурильної колони в мало- і багатоциклової областях. Найбільш достовірні їх значення можна отримати шляхом статистичної обробки результатів натурних експериментів, проведених на спеціальних установках, що імітують типові режими експлуатації об'єкта. Оскільки матеріальні витрати на виготовлення дослідних установок та натурних зразків елементів БК (особливо великих типорозмірів) є значними, то велику цінність представляють результати випробувань, проведені саме на натурних зразках.

Авторами робіт [10, 11] проведені унікальні дослідження втомної міцності натурних зразків бурильних труб.

Випробування проводилися на зразках двох типів: гладкої частини труби і тіла труби із замком. Важливість отриманих результатів (табл. 1) полягає у використанні схеми навантаження, яка уможливило проведення досліджень в умовах, близьких до експлуатаційних.

У [10] експериментальні зразки піддавали дії осьової розтягувальної сили, яка циклічно змінювалася (віднульовий цикл навантаження), а в [11] – запропоновано схему випробування для дослідження вібраційних нормальних напружень з малою амплітудою, що накладаються на значне зусилля розтягу (асиметричний цикл навантаження). Тому необхідним кроком для подальшого визначення параметрів опору втомі є приведення асиметричних циклів до еквівалентних за пошкоджуючою дією віднульових. Для цього скористаємося формулою, наведеною авторами роботи [12]:

$$\sigma_{ekv} = 2 \cdot \sigma_{\sigma} \frac{\psi_1}{1 + \psi_1},$$

де:  $\psi_1 = \frac{\sigma_{max}(1 - R)}{2 \cdot \sigma_{\sigma} - \sigma_{max}(1 + R)}$  – коефіцієнт ут-

чнення впливу асиметрії циклу;  $\sigma_{\sigma}$  – границя міцності матеріалу труб, МПа;  $R$  – коефіцієнт асиметрії;  $\sigma_{max}$  – максимальне напруження циклу, МПа;  $\sigma_{ekv}$  – еквівалентне максимальне напруження, МПа.

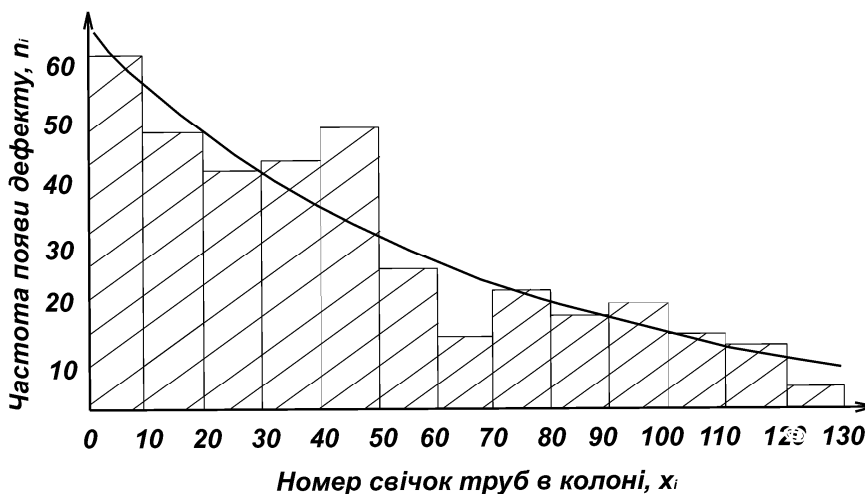


Рисунок 2 – Розподіл дефектів у сталевих бурильних трубах від довжини колони

Таблиця 1 – Втомні випробовування бурильних труб ТБН-73х9-К

Втомні випробовування [9]			Втомні випробовування [10]			
Номер зразка	Напруження $\sigma_{max}$ , МПа	Кількість циклів $N$	Номер зразка	Напруження $\sigma_{max}$ , МПа	Розмах напруження циклу $2\sigma_a$ , МПа	Кількість циклів $N$
1	511	3680	1	552,5	331	3000
2	511	3590	2	510	331	8000
3*	511	3100	3	364,3	331	60000
4*	511	3400	4	342	331	170000
5	511	3711	5*	342	331	148500
6	510	4019	6	552,5	65	20000
7*	420	6664	7	450	65	130000
8	420	7888	8	420	65	187000
9	420	7880	9	399	65	750000
10	420	8024	10*	399	65	680000
11	364	12100	11	395	65	>10 <sup>6</sup>
12	364,3	13891	12	552,5	44	62700
13	364,3	14000	13	510	44	130000
14*	364,3	11910	14	469	44	490000
15*	364,3	11079	15*	469	44	410000
-	-	-	16	456	44	>10 <sup>6</sup>

Примітка: \* – зразки другого типу

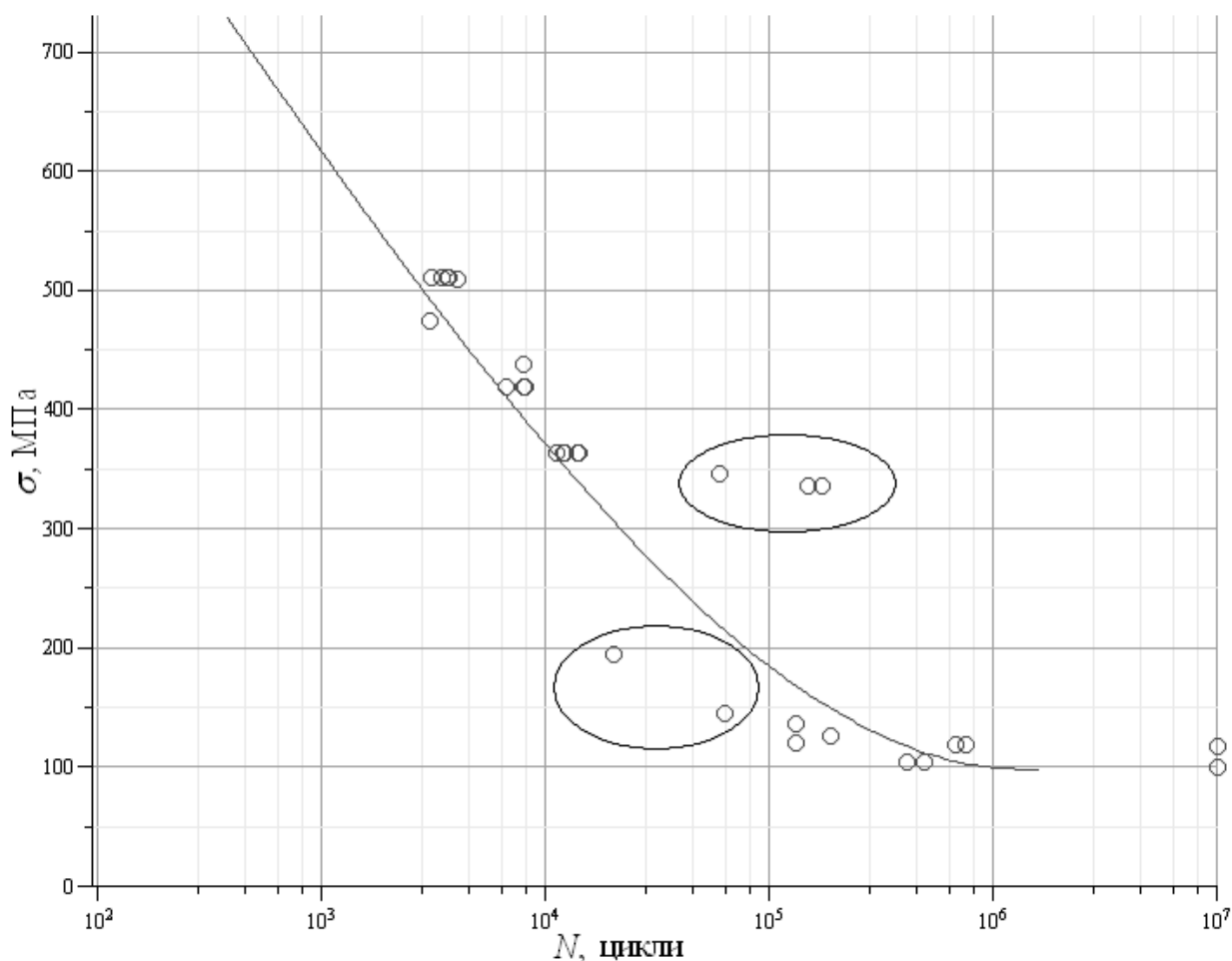
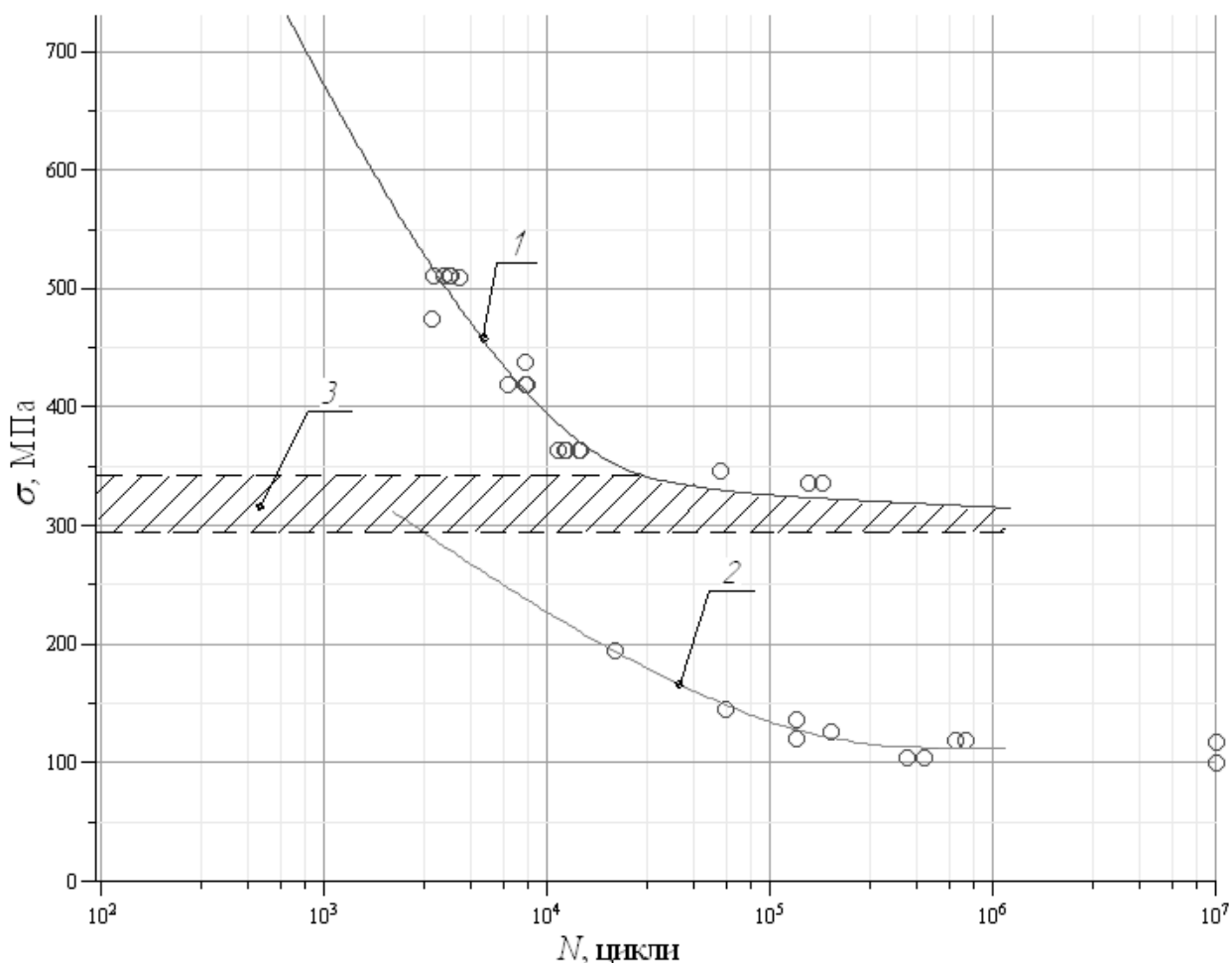


Рисунок 3 – Крива втоми бурильних труб ТБН-73х9-К



1 – крива втоми для малоциклової області; 2 – крива втоми для багатоциклової області;  
3 – зона розриву кривої втоми

**Рисунок 4 – Крива втоми бурильних труб ТБН–73х9–К із врахуванням розриву між малоцикловою і багатоцикловою областями**

Отримані результати із визначення довговічності значною мірою залежить від вибору рівняння кривої втоми. Згідно з [13, 14], для оцінки довговічності доцільно користуватися трипараметричним рівнянням вигляду:

$$N = \frac{Q}{\sigma_{ekv}} \ln \left\{ 1 + \left[ \exp \left( \frac{\sigma_{ekv} - \sigma_0}{V_0} \right) - 1 \right]^{-1} \right\},$$

де:  $N$  – кількість циклів до руйнування деталей, цикл;  $\sigma_0$  – границя витривалості при пульсуючому напруженні, МПа;  $V_0$  – параметр з розмірністю напруження, що характеризує кут нахилу кривої втоми, МПа;  $Q = N_0 \cdot \sigma_0$  – коефіцієнт витривалості, МПа·цикл;  $N_0$  – параметр, що характеризує кількість циклів до точки нижнього перегину кривої втоми, цикл.

За результатами розрахунків побудовано криву втоми (рис. 3) і визначено її параметри:  $Q = 2,37 \cdot 10^7$  МПа·цикл,  $\sigma_0 = 97,39$  МПа,  $V_0 = 141,71$  МПа. Як бачимо, деякі експериментальні точки мають значні відхилення від побудованої кривої. На нашу думку, це пов'язано із можливим розривом кривої втоми в перехідній зоні між малоцикловою та багатоцикловою областями.

Причинами виникнення розриву кривої втоми займалися В. Шабалін, Т. Вільямс, І. Морі та інші [15]. У своїх працях вони вказали, що розрив кривої втоми пов'язаний, здебільшого, із зміною структури матеріалу, частоти і виду навантаження, форми зразка, температури і стану поверхні. Тому слід враховувати випадки, коли перехідна зона не може чітко відповідати одній кривій втоми. Це важливо для визначення довговічності при випадкових навантаженнях, коли БК працює як у звичайних (багатоциклова область), так і в ускладнених (малоциклова область) умовах роботи.

Отже, в нашому випадку необхідно проводити побудову повної кривої втоми із розривом між малоцикловою і багатоцикловою областями. Для цього за допомогою методу середніх квадратів визначено їх параметри:

$$\begin{aligned} Q &= 2,8 \cdot 10^6 \text{ МПа} \cdot \text{цикл}, \quad \sigma_0 = 333,58 \text{ МПа}, \\ V_0 &= 219,2 \text{ МПа}; \\ Q &= 1,03 \cdot 10^7 \text{ МПа} \cdot \text{цикл}, \quad \sigma_0 = 112,49 \text{ МПа}, \\ V_0 &= 70,95 \text{ МПа}; \end{aligned}$$

За результатами розрахунків побудовано криву втоми (рис. 4).

Отже, за результатами проведених розрахунків визначено параметри опору втоми бури-

льних труб ТБН-73х9-К за складних режимів навантаження, а також побудовано графіки у формі кривої втоми без розриву (рис. 3) та із врахуванням розриву між малоцикловою і багатоцикловою областями (рис. 4). Подальші дослідження будуть спрямовані на розробку методики оцінки накопичення втомного пошкодження БТ та їх елементів в умовах комплексної дії багато- і малоциклової втоми, що дасть змогу суттєво зменшити кількість аварій із БТ і підвищити ефективність буріння, особливо глибоких і надглибоких свердловин.

### Література

1 Достижения в проектировании бурильной колонны с учетом усталостного износа: теория коэффициента кривизны и иллюстративный пример / [К. Джейсон, Н. Рейнольдс, Ш. Єлліс и др.] // Нефтегазовые технологии. – 2004. – №3. – С.16-18.

2 Янтурин А.Ш. Предупреждение аварий с колонами бурильных труб / А.Ш. Янтурин // Обзор. информ. –М.: ВНИИОЭНГ, 1989. – 52 с. – Сер. “Строительство скважин”.

3 Крижановский Е. И. Исследование и повышение усталости бурильных колонн при вращательном бурении скважин: автореф. дис. на стиск. уч. ст. док. тех. наук: спец. 05.15.07 / Е.И. Крижановский. – Москва, 1991. – 49 с.

4 Івасів В.М. Методи та засоби управління бурильною колоною для забезпечення її надійності: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук : спец. 05.05.12 «Машини нафтової та газової промисловості» / В.М. Івасів. – Івано-Франківськ, 1999. – 31с.

5 Копей Б.В. Научно-технологические методы комплексного повышения ресурса деталей свердловинного нефтегазового оборудования: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук: спец.05.15.07 / Б.В. Копей. – Івано-Франківськ, 1996.- 47с.

6 Осип Г.С. Некоторые вопросы аварийности бурильных труб / Г.С. Осип, Ю.А. Падавалов, В.Л. Папировский // Экспресс-информ. – 1984. – Вып. 10. – С. 12–15. – Сер. «Машины и нефтяное оборудование».

7 Симонянц Л.Е. О малоцикловом усталостном разрушении бурильных труб / Л.Е. Симонянц, К.И. Джафаров // Азербайджанское нефтяное хозяйство. – 1984. – №12. – С. 26 – 29.

8 Козаченко Н.И. Вопросы надежности бурильных колонн // Обзор. техн. и технол. геол. развед. работ; орг. производства. – М.: ВИЭМС, 1978. – 37 с.

9 Дубленич Ю.В. Опыт ликвидации сложных прихватов с помощью механизма ГУМ-162 / Ю.В. Дубленич, В.Д. Круглов, Н.М. Хлебников // Нефтяная и газовая промышленность. – 1984. – №1. – С. 26-27.

10 Джафаров К.И. Исследование закономерностей малоциклового усталости бурильных труб /К.И.Джафаров, Л. Е. Симонянц // Азербайджанское нефтяное хозяйство. – 1987. – №11. – С. 50 – 53.

11 Симонянц Л.Е. Влияние режима нагружения на усталостную прочность бурильных труб / Л.Е.Симонянц, К.И.Джафаров, И.И.Андрианов // Азербайджанское нефтяное хозяйство. – 1985. – №3, С. 51 – 54, 57.

12 Івасів В.М. Урахування напружень низького рівня при розрахунках довговічності деталей машин / [В.М. Івасів, В.І. Артим, П.В. Пушкар та ін.] // Машинознавство. – 2003. – №12. – С. 17-20.

13 Почтенный Е.К. Кинетическая теория механической усталости и ее приложения / Е.К. Почтенный. – Минск: Наука и техника, 1973. – 216 с.

14 Івасів В.М. Расчет усталостной прочности резьбовых соединений бурильных труб с учетом рассеяния их долговечности / В.М. Івасів // Тр. Всесоюз. науч.-исслед. ин-та разработки и эксплуатации нефтепромысловых труб. – 1978. – №10. – С. 18-21.

15 Іванова В.С. Природа усталости металлов / В.С. Іванова, В.Ф. Терентьев. – М.: Металлургия, 1975. – 456 с.

Стаття поступила в редакційну колегію  
26.02.10

Рекомендована до друку професором  
**Б.В.Копеєм**