

QEYRİ-MÜNTƏZƏM YÜKLƏMƏ ZAMANI METALKONSTRUKSİYALARIN YORĞUNLUQ UZUNÖMÜRLÜLÜYÜ

Giriş: Qeyri-müntəzəm tsiklik yükləmələrdə uzunömürlülüyün proqnozlaşdırılması zədələnmələrin cəmlənməsi metodu ilə əlaqədardır. Mühəndis hesablamalarında ən çox tənqid olunan hipotez zədələnmələrin xətti cəmlənməsi hipotezidir. Mövcud hesabı metodlar qeyri-müntəzəm yükləmələr zamanı tsiklik uzunömürlülüyün təcrübi tədqiqini tələb edirdi. Bu təcrübələrin nəticələri yorğunluq zədələnmələrinin toplanması qanunauyğunluğunun aşkar olunmasına kömək edir. Bu cür metodların məhdudluğu onların əmək tutumlu və baha başa gəlməsi, daha çox vaxt aparması, yorğunluq möhkəmliyi parametrlərinin paylanması ilə əlaqədardır. Qeyd etmək lazımdır ki, hesabi metodikalarda uzunömürlülüyün təyində yorğunluq müqaviməti xarakteristikaların statistik təbiətini nəzərə almaq lazımdır.

Məsələnin qoyuluşu: Qeyri-müntəzəm yükləmələrdə uzunömürlülüyün hesablama metodikası zədələnmələrin cəmlənməsi hipotezinə əsaslanır. Bu sahədə ən çox yayılmış hipoteza Mayner tərəfindən irəli sürülmüş zədələnmələrin xətti cəmlənməsi hipotezidir [1]. Bu hipotezin müsbət cəhəti hesabi düsturlarda ancaq müntəzəm yükləmələr üçün yorğunluq əyrisindən istifadə olunmasıdır [2, 3, 4, 5]. Xətti hipotezin məğzi ondan ibarətdir ki, tsikl gərginliklərinin təsir ardıcılığından asılı olmayaraq, zədələnmələrin cəmlənməsi xətti qanun üzrə dəyişmiş olur. Əgər yükləmə zamanı eyni amplitudalı n sayda tsikllər mövcuddursa, onda onların yaratdığı zədələnmələ-

rin miqdarı $\frac{n}{N}$ olacaqdır.

Tsiklik yükləmələrdə iki gərginliklərin səviyyəsi σ_{a_1} və σ_{a_2} olarsa, müvafiq olaraq uyğun tsikllər sayı n_1 və n_2 qəbul edilir. Zədələnmələrin qiyməti bu zaman $\frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2}$ kimi hesablanır. Burada N_1 və N_2 - σ_{a_1} və σ_{a_2} gərginliklərin təsiri altında dağılma tsikllər sayıdır. Belə ikipilləli yükləmələrdə dağılma şərti aşağıdakı kimi qəbul edilir:

$$\frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} = 1 \quad (1)$$

Çoxpilləli yükləmələrdə axırıncı düsturu belə şəkildə yazmaq olar:

$$\sum_{i=1} \frac{n_i}{N_i} = 1 \quad (2)$$

Proqramlı blok yükləmələrində ümumi tsikllər sayı (N_n) belə təyin edilir:

$$\frac{1}{N_n} = \sum_{i=1}^r \frac{t_i}{N(\sigma_i)} \quad (3)$$

Burada $t_i - \sigma_i$ gərginliyinə uyğun nisbi tsikllər sayıdır; $N(\sigma_i)$ – müntəzəm yükləmədə σ yükləmə səviyyəsinə uyğun uzunömürlülükdür; r – blokda ki səviyyələrin sayıdır.

Təsadüfi yükləmələrdə yükün paylanması kəsilməz sıxlıq funksiyası $P(\sigma)$ şəklində verilir, uzunömürlüyün proqnozlaşdırılması belə tövsiyyə edilir:

$$dn(\sigma) = N_c P(\sigma) d\sigma, \quad (4)$$

Burada $dn(\sigma) - \sigma$ - dan $(\sigma + d\sigma)$ - ya uyğun amplitud yükləmələrinə aid olan N_c dağılma tsikllərinin sayıdır. Zədələnmələrin toplanmasının xətti hipotezin nəzərə alsaq, N_c üçün aşağıdakı düsturu alırıq:

$$\frac{1}{N_c} = \int_{\sigma_{\min}}^{\sigma_{\max}} \frac{P(\sigma)}{N(\sigma)} \cdot d\sigma. \quad (5)$$

Burada $\sigma_{\max}$ – yükləmə zamanı maksimal yük; $\sigma_{\min}$ – minimal zədələyici yüküdür.

Məsələnin həlli: Müasir dövrdə çoxlu sayda zədələnmələrin toplanması hipotezləri irəli sürülmüşdür ki, bu da maşın hissələrin uzunömürlülüğünün proqnozlaşdırılması keyfiyyətinin yaxşılaşdırılmasına kömək edir.

(3) düsturuna əsasən həddi vəziyyət o nisbi uzunömürlülüğün cəmi aşağıdakı kimi təyin edilir:

$$a = N_n \sum_{i=1}^r \frac{t_i}{N(\sigma_i)} = 1. \quad (6)$$

Daha sonra Serensen-Koqayev tərəfindən korrektə edilmiş xətti hipotez irəli sürülmüşdür:

$$a_p = \frac{\frac{\sigma_{\max} \cdot \zeta}{\sigma_{-1}} - K}{\frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{-1}} - K}. \quad (7)$$

Burada $\zeta = \sum_{i=1}^m \frac{\sigma_i}{\sigma_{\max}} \cdot t_i$; $0 < k < 1$ – zədələyici gərginliklərin aşağı sərhədini göstərir.

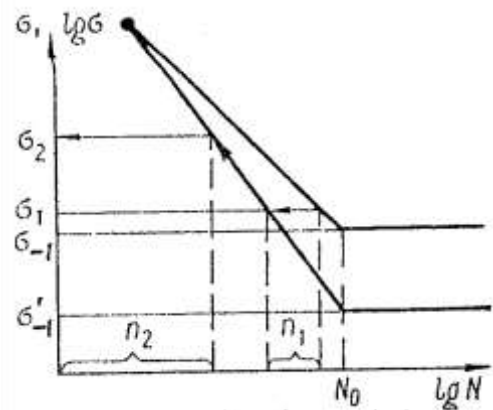
ζ – əmsalını hesablayarkən amplitudu $\sigma_{\max} = k \cdot \sigma_{-1}$ qiymətindən kiçik gərginliklər nəzərə alınmır (təcrübələrə əsasən $k=0.5$ qəbul edilir). Nisbi uzunömürlülüğün hesablanması zamanı σ_{-1} -dən böyük olan bütün amplitudalar nəzərə alınır [5, 6].

Bir sıra işlərdə yorğunluq zədələnməsinin cəmlənməsi yekun dözümlülük həddinin qiymətinin aşağı düşməsi ilə izah olunur. Xüsusi halda S.V.Serensen tərəfindən irəli sürülmüş asılılıq aşağıdakı kimi təklif olunur [7]:

$$\sigma'_{-1} = \sigma_{-1} \left[1 - \frac{n}{N(\sigma)} k \left(\frac{\sigma}{\sigma_{-1}} - 1 \right) \right], \quad (8)$$

Burada k – təcrübədə təyin olunan əmsaldır.

Zədələnmələrin toplanması nəzəriyyəsinə bəzi metodiki əlavələr olunmuşdur [8]. Bu metodikaya görə zədələnməmiş və tsiklik yüklənmiş nümunələrdə yorğunluq ayrıləri düzxətli şəkildə təklif edilir (loqarifmik və yarımloqarifmik koordinat sistemlərində) və onlar bir nöqtədə kəsişirlər. Düzxətlərin kəsişmə nöqtəsinin absisi dəyişmir. İkipilləli yükləmələr üçün uzunömürlülük hesablanması alqoritmi şəkil 1-də verilmişdir:



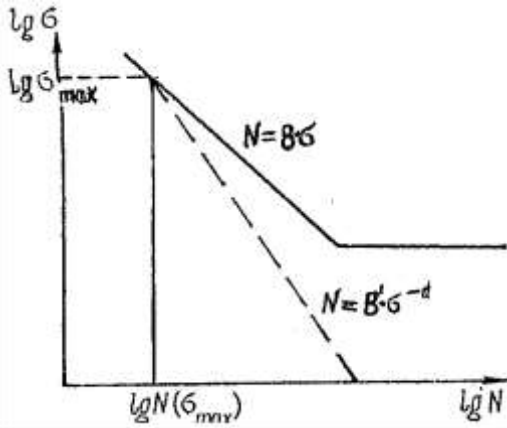
Şəkil 1. Menson və Sott hipotezləri üzrə ikipilləli yükləmələrdə uzunömürlülüğün hesabı

Artıq yükləmələrdə dözümlülük həddinin aşağı düşməsinə nəzərə almaq üçün sadələşdirilmiş metodika irəli sürülür. Bunun üçün xətti hipotezlərin nisbətindən istifadə edilir, ancaq yekun dözümlülük həddi sınıma nöqtəsindən sıfır gərginliklərə qədər davam edir.

Korten və Dolan [9] tərəfindən irəli sürülən hipotez proqramlı blok yüklənməsi üçün hesabi nisbət:

$$N_n = \frac{N(\sigma_{\max}) \sigma_{\max}^d}{\sum_{i=1}^r t_i \cdot \sigma_i^d}, \quad (9)$$

kimi qəbul edilir. Burada d – parametrdir. Blokdakı bütün yükləmələrin səviyyəsi üzrə cəmlənmə yerinə yetirilir. [9] sayılı ədəbiyyatda Korten – Dolan hipotezinin sadə interpretasiyası təklif edilmişdir (şəkil 2).



Şəkil 2. Korten–Dolan hipotezləri üzrə hesabi nisbətlərin qrafiki interpretasiyası.

Bu interpretasiyaya görə (9) nisbəti zədələrin cəmlənməsinin xətti hipotezindən alınır, ancaq müntəzəm yükləmədə yekun yorğunluq əyrisi (bütöv xətt), qırıq-qırıq xətlə müşahidə olunan yorğunluq əyrisi ilə əvəz olunur. Əgər yekun yorğunluq əyrisi tənliyini aşağıdakı şəkildə etsək:

$$N(\sigma) = B \cdot \sigma^{-b}, \quad (10)$$

Onda dəyişən yorğunluq əyrisi isə bu şəkildə qəbul edilir.

$$N'(\sigma) = B' \sigma^{-d}, \quad B' = B \sigma_{\max}^{d-b} \quad (11)$$

Burada B' – (10) və (11) sayılı tənliklərə uyğun əyrilərin nöqtəsində yerləşir ($\sigma = \sigma_{\max}$). (9) və (11) ifadələrindən Korten-Dolan hipotezlərinin hesabı nisbətini xətti toplanması şəkildə belə yazmaq olar:

$$\frac{1}{N_n} = \sum_{i=1}^r \frac{t_i}{N'(\sigma_i)}. \quad (12)$$

Qeyd etmək lazımdır ki, $N'(\sigma)$ ifadəsinə daxil olan parametrlər blokdakı maksimal yüklərdən asılıdır.

Bir sıra ədəbiyyatlarda zədələnmələrin toplanmasının zədələnmələrin toplanmasının xətti qanuna tabe olmaması irəli sürülür [11]. Bu müəlliflərin fikrincə konstruksiya materiallarını seçərkən artıq yükləmələrə: həssaslıq xüsusiyyətini nəzərə almaq lazımdır.

İndiki vaxt ümumi qəbul edilmiş zədələnmələrin toplanması hipotezi mövcud deyil. Adekvat hipotezlərin seçilməsi istifadə olunan materialların xarakteristikaları və yükləmə parametrləri nəzərə alınmaqla seçilir.

Bir çox əsərlərdə təsadüfi yükləmələr zamanı yorğunluq təcrübələrinin nəticələri zədələnmələrin toplanması xətti hipotezlərinin hesabı uzunömürlülükləri ilə tutuşdurulur. Bəzi hallarda isə müxtəlif müəlliflərin aldığı nəticələr bir-birinə uymaması görünür və baxmayaraq ki, təcrübə zamanı eyni materiallardan və eyni yükləmə şəraitindən istifadə edilmişdir. [10] sayılı ədəbiyyatda zədələnmə çatın uzunluğu l ilə xarakterizə olunur. Sürətin dəyişməsinin tsikllər sayından (n) asılı olaraq təyin olunması aşağıdakı düsturlarla müəyyən olunur:

$$\frac{dl}{dn} = C_0 \Delta k^m, \quad \Delta k = \Delta \sigma \sqrt{C \cdot l}, \quad (13)$$

Burada $C_0 m$ – material üçün sabitlərdir; Δk – gərginlik intensivliyi əmsalıdır; $\Delta \sigma$ – nominal gərginliyin dəyişməsidir; C – nümunənin həndəsəsindən və çatın uzunluğundan asılı olan əmsaldır.

l_i və l_0 parametrlərini çatın başlanğıc və kritik uzunluqları kimi qəbul edib, dağılmaya qədər tsikllər sayını müəyyən edirik:

$$N = \frac{1}{C_0 \Delta \sigma^m} \int_{l_i}^{l_c} \frac{dl}{[C(l)]^{\frac{m}{2}} \cdot l^{\frac{m}{2}}}. \quad (14)$$

(13) düsturunda dözümlülük həddinin qiymətini nəzərə almaq olar. Əgər $\Delta k < k_{th}$

olarsa, $\frac{dl}{dn} = 0$ alırıq. Burada k_{th} – gərginlik intensivliyi əmsalının həddi qiymətidir.

Beləliklə, indiki zaman mövcud olan təkliflərdə qeyri-müntəzəm yükləmələri nəzərə almaqla uzunömürlülük hesabına ehtiyatla ya-

naşılır. Kifayət qədər təcrübi məlumatlar əsasında adekvat hesabı metodikanın müəyyən materiallar üçün keçmək və onların emal edilməsi üsulları müəyyən olmalıdır.

NƏTİCƏ

1. Mövcud olan zədələnmələrin cəmlənməsi metodlarından heç biri bütünlükdə etibarlı deyil və fiziki olaraq kifayət qədər əsaslandırılmaya malik deyildir. Fiziki tərəfdən tanınmış, daha düzgün istiqamətləri nəzərə alan metod Kerten – Dolan metodudur. Ancaq bu hər iki metodların inkişaf etdirilməsi və dəqiqləşdirilmələr aparılmalıdır.
2. Qeyri-stasionar rejimlərdə uzunömürlülüyn toplanması hesabında xassələrin dəyişməsi irsini qəbul etməli və ümumiləşdirilmiş yorğunluq diaqramına əsaslandırılmalıdır. Yalnız belə yanaşma geniş fiziki və hesabi ümumiləşdirmələr üçün daha sərfəlidir.

ƏDƏBİYAT

1. Miner M.A. Cumulative damage in fatigue. Appl. Muh, 1945, 12 N1, pp.159-164
2. Биргер И.А. Детерминированные и статистические модели суммирования повреждений - Пробл. прочности, 1978, №11, с.3-11
3. Болотин В.В. Статистические методы в строительный механике. М. Стройиздат, 1965. 279 с.
4. Когаев В.П. Расчеты на прочность при напряжениях, переменных во времени. – М.: Машиностроение, 1977. 232 с.
5. Серенсен С.В., Когаев В.П., Шнейдерович Р.М. Несущая способность и расчеты деталей машин на прочность. - М.: Машиностроение, 1975. 488 с.
6. Серенсен С.В., Когаев В.П. Вероятностные методы расчета на прочность при переменных нагрузках. – В кн: Механическая усталость в статистическом аспекте. М.: Наука, 1971. с.117-134
7. Серенсен С.В., Козлов Л.А. Линейная интерпретация накопления повреждений и характеристики сопротивления усталости и длительному статистическому разрушению. - Завод.мат. 1958, №11, с. 1378

8. Трощенко В.Т., Шатт Г. Методика прогнозирования долговечности индивидуальных образцов в условиях многоступенчатого циклического нагружения. Пробл. прочности, 1979, №6, с.3-5
9. Corten H.T., Dolan T.J. Cumulative fatigue damage. –In: Intern.conf. fatigue materials London. Inst mech.eng., 1956
10. Spitver R., Corten H. Effect of loading sequence on cumulative fatigue damage. – Proc.ASTM, 1961, 61, p.341-345
11. Гелинов В.Н. О физических основах методов суммирования повреждаемости при нестационарных режимах нагружения. В.кн.: Прочность металлов при циклических нагрузках. М.: Наука, 1957, с. 36-49

UOT: 622.654.22

**Qafarov F.M., Rəhimova M.S.,
Quliyev Q.A.**

*Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye
Universiteti*

**Qeyri-müntəzəm yükləmə zamanı
metalkonstruksiyaların yorğunluq
uzunömürlülüğü**

rahimova_mahluqa@mail.ru

XÜLASƏ

Məqalədə qeyri-müntəzəm yükləmələrdə müxtəlif tipli zədələnmələrin cəmlənməsi hipotezləri əsasında maşın hissələrinin uzunömürlülüğü hesabı metodukaları analiz edilmişdir.

Məqalədə zədələnmələrin xətti toplanması hipotezinin daha geniş istifadə edildiyi qeyd edilir. Bu hipotezin üstünlüyü və çatışmayan cəhətləri qeyd edilir. Bununla bərabər qeyd edilir ki, maşın hissələrinin yorğunluq zədələnmələrinin xətti toplanması qanunu qeyri-stasionar tsikli təcrübələrdə özünü doğrultmur.

Yorğunluq zədələnmələrinin qeyri-xətti toplanması hipotezindən də istifadə olunmasını təklif edən bir sıra alimlər mövcuddur. Qeyd olunan hipotezlərdən əlavə yorğunluq həd-

dinin aşağı düşməsinə xarakterizə edən ideyalar da mövcuddur. Təcrübələr vasitəsilə isbat olunmuşdur ki, qeyd olunan hipotezlərin hər birinin müsbət və çatışmayan cəhətləri vardır. Təcrübədə bu hipotezlərin heç biri özünü tam doğrultmur.

Açar sözlər: zələlənmələrin toplanması hipotezi, çətin əmələgəlməsi, yorğunluq əyrisi, loqarifmik sistemdə, qeyri-müntəzəm yükləmələrdə, materialın fiziki-mexaniki xassələri, yorğuluq həddi, baza tsikllər sayı, uzunömürlülük, hesabı metodlar, proqnozlaşdırma.

УДК: 622.654.22

**Гафаров Ф.М., Рагимова М.С.,
Гулиев Г.А.**

Азербайджанский Государственный
Университет Нефти и Промышленности

**Усталостная долговечность
металлических конструкций при
нерегулярном нагружении**

АННОТАЦИЯ

В статье анализируются методы расчета долговечности деталей машин на основе гипотез накопления различных видов повреждений при неравномерных нагрузках.

В статье отмечается, что более широко используется гипотеза линейного накопления травм. Отмечены преимущества и недостатки этой гипотезы. В то же время отмечается, что закон линейного накопления усталостной поврежденности деталей машин не оправдывается в экспериментах с нестационарным циклом.

Ряд ученых предлагает использовать также гипотезу о нелинейном накоплении усталостных повреждений. Помимо указанных гипотез, существуют также представления, характеризующие снижение порога утомляемости. Экспериментально доказано, что каждая из упомянутых гипотез имеет как положительные, так и отрицательные стороны. На практике ни одна из этих гипотез не подтверждается полностью.

Ключевые слова: гипотеза накопления

повреждений, трещинообразование, кривая усталости, логарифмическая система, неравномерное нагружение, физико-механические свойства материала, предел выносливости, число базовых циклов, долговечность, методы расчета, прогнозирование.

UDC: 622.654.22

**Gafarov F.M., Rakhimova M.S.,
Quliyev Q.A.**

Azerbaijan State Oil and Industry University

**Fatigue life of metal
Structures under irregular load**

ABSTRACT

The article analyzes methods for calculating the durability of machine parts based on the hypotheses of accumulation of various types of damage under uneven loads.

The article notes that the hypothesis of linear accumulation of injuries is more widely used. The advantages and disadvantages of this hypothesis are noted. At the same time, it is noted that the law of linear accumulation of fatigue damage to machine parts is not justified in experiments with a non-stationary cycle.

A number of scientists also propose to use the hypothesis of non-linear accumulation of fatigue damage. In addition to these hypotheses, there are also ideas that characterize a decrease in the fatigue threshold. It has been experimentally proved that each of the mentioned hypotheses has both positive and negative aspects. In practice, none of these hypotheses is fully confirmed.

Keywords: damage accumulation hypothesis, crack formation, fatigue curve, logarithmic system, uneven loading, physical and mechanical properties of the material, endurance limit, number of basic cycles, durability, calculation methods, forecasting.

*Məqaləyə AMEA-nın Riyaziyyat və
Mexanika İnstitutunun professor,
f.r.e.d. Q. Əliyev rəy vermişdir.*