

## Impact Factor:

ISRA (India) = 1.344	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 0.829	ПИИИ (Russia) = 0.234	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 3.860	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 2.031	

SOI: [1.1/TAS](#) DOI: [10.15863/TAS](#)

## International Scientific Journal Theoretical & Applied Science

p-ISSN: 2308-4944 (print) e-ISSN: 2409-0085 (online)

Year: 2017 Issue: 04 Volume: 48

Published: 10.04.2017 <http://T-Science.org>

### SECTION 7. Mechanics and machine construction.

#### Dossymbek Jakiyayev

Associate Professor, Ph.D.,  
Head of the department «Mechanics and Engineering»  
Taraz State University named after M.Kh.Dulati,  
Kazakhstan  
[kaf\\_mim206@mail.ru](mailto:kaf_mim206@mail.ru)

#### Sagat Zhunisbekov

doctor of technical Sciences, Professor, academician of  
the National Engineering Academy of the Republic of  
Kazakhstan, Professor of the Department «Mechanics and  
Engineering», Taraz State University named after  
M.Kh.Dulati, Kazakhstan  
[tar-ti@mail.ru](mailto:tar-ti@mail.ru)

#### Bauyrzhan Jakiyayev

Teacher, master  
Taraz State University named after M.Kh.Dulati,  
Kazakhstan  
[kaf\\_mim206@mail.ru](mailto:kaf_mim206@mail.ru)

## THE PREDICTION OF DURABILITY OF STEEL STRUCTURAL ELEMENTS IN COMPLEX HETEROGENEOUS STRESS STATE

**Abstract:** The article presents a statistical model of many-cycle fatigue of structural elements, which is generalized to any complex heterogeneous stress state under the General conditions of nonstationary loading.

**Key words:** cyclic loading, durability, complex nonuniform stress state.

**Language:** Russian

**Citation:** Jakiyayev D, Zhunisbekov S, Jakiyayev B (2017) THE PREDICTION OF DURABILITY OF STEEL STRUCTURAL ELEMENTS IN COMPLEX HETEROGENEOUS STRESS STATE. ISJ Theoretical & Applied Science, 04 (48): 8-14.

**Soi:** <http://s-o-i.org/1.1/TAS-04-48-2> **Doi:**  <https://dx.doi.org/10.15863/TAS.2017.04.48.2>

УДК 539.385

### ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ СЛОЖНОМ НЕОДНОРОДНОМ НАПРЯЖЕННОМ СОСТОЯНИИ

**Аннотация:** В статье рассмотрена статистическая модель многоциклового усталости конструктивных элементов, которая обобщена на любое сложное неоднородное напряженное состояние при общих условиях нестационарного нагружения.

**Ключевые слова:** циклическое нагружение, долговечность, сложное неоднородное напряженное состояние.

#### Введение

Вопросы оценки многоциклового усталостных повреждений элементов конструкций и деталей машин в условиях сложного напряженного состояния и нестационарного нагружения являются наиболее сложными. Традиционные расчеты на усталость основаны на сравнении напряжений в наиболее опасных точках конструкции с пределом выносливости материала, найденном путем испытаний лабораторных образцов. Слабые стороны такого подхода к оценке сопротивления усталости известны давно. В зонах высоких градиентов напряжений мы недооцениваем

сопротивление конструкции, а в случае малых градиентов, но больших физических объемов (намного превышающих объемов используемых лабораторных образцов) наоборот переоцениваем. Для того, чтобы результаты расчета приближались к действительности, были созданы полуэмпирические приемы корректировки расчетных данных, связанные со введением эффективных коэффициентов концентрации напряжений и масштабных коэффициентов. Эти приемы могут быть использованы в частных случаях, а в самом общем случае конструкции, работающей в произвольном напряженном состоянии, они не



## Impact Factor:

ISRA (India) = 1.344	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 0.829	ПИИЦ (Russia) = 0.234	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 3.860	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 2.031	

применимы. Осознание этого факта привело к появлению статистических моделей усталостного разрушения, позволяющих в принципе учесть теоретически как влияние градиентов напряжений, так и влияние абсолютных размеров детали. Один из практически удобных вариантов статистического расчета, связанного в первую очередь с работами В. П. Когаева и некоторых других исследователей, введен в ГОСТ 25.504-82. Этот метод основан на модели слабого звена по Вейбуллу. Указанный метод успешно обслуживает расчеты стержневых конструктивных элементов с различными концентраторами напряжений, а также в значительной степени и расчеты пластин и оболочек с отверстиями, работающих в безмоментном напряженном состоянии, так как в зоне концентрации напряжений около отверстия всегда доминирует одно главное напряжение.

Лежащая в основе этого метода статистическая теория подобия и известные вероятностные методы расчета на усталость при однопараметрическом и двухпараметрическом напряженном состоянии связаны в общем случае с рядом допущений, таких как учет при вычислении критерия подобия в условиях сложного напряженного состояния только первого главного напряжения, независимость формы критерия подобия от механических свойств материала детали и образцов, возможность раздельного определения критериев подобия по нормальным и касательным напряжениям в случае одновременного изгиба и кручения вала, возможность раздельного определения эквивалентных режимов нагружения по нормальным и касательным напряжениям в указанном случае вала, если нагружение является нестационарным. Эти допущения вносят в расчет определенные погрешности, которые проявляются в различной степени в зависимости от вида циклического напряженного состояния и характера нагружения.

В данной работе дано обобщение статистической модели многоциклового усталости конструктивных элементов, лежащей в основе ГОСТа 25.504-82, на любое сложное неоднородное напряженное состояние при общих условиях нестационарного циклического нагружения.

### Материалы и методы

Для прогнозирования распределения долговечности конструктивного элемента, работающего при сложном напряженном состоянии и нестационарном нагружении, применима детерминированная энергетическая модель усталостного разрушения элемента материала, предложенная в работах [1,2]. Эта модель используется в сочетании со

статистической моделью Вейбулла [3]. В указанных работах построено энергетическое уравнение многоциклового усталостного повреждения, имеющее в общем случае следующий вид

$$P(N) = \frac{\sigma_{max}(N)}{\bar{\sigma}_p} + \sum_{k=1}^N Y(H_k, R_k), \quad (1)$$

где  $P(N)$  - поврежденность, накопившаяся к  $N$ -му циклу нагружения;  $\sigma_{max}(N)$  - максимальное напряжение цикла на момент определения  $P$ ;  $\bar{\sigma}_p$  - истинное сопротивление разрыву;  $R_k$  - коэффициент асимметрии  $k$ -го цикла;  $H_k$  - безразмерный параметр, зависящий от необратимой работы деформирования, совершаемой в каждом цикле нагружения.

Данное кинетическое уравнение основано на гипотетической модели материала, связь параметров которой с реальным материалом осуществляется через экспериментальные кривые усталости. По кривым усталости заданных вероятностей разрушения могут быть построены графики функции  $\varphi(H, R)$ , отвечающее тем же вероятностям разрушения. Это обстоятельство используется в дальнейшем при построении статистической модели усталостного разрушения [4,5,6,7,8,9,10], основанной на данной детерминированной модели усталостного разрушения элемента материала и статистической теории «слабого звена» по Вейбуллу.

В теории Вейбулла предполагается, что разрушения в ряде единичных объемов  $V_0$  являются независимыми событиями и вероятность разрушения в объеме  $V_i$ , на которые разбиваются весь объем детали, определяется по формуле

$$P_i = 1 - (1 - P_0)^{V_i/V_0}, \quad (2)$$

где  $P_0$  - вероятность разрушения единичного объема  $V_0$ . Объем  $V_i$  должен быть достаточно малым для того, чтобы считать напряженное состояние в его пределах однородным. Тогда вероятность разрушения в объеме всей детали  $V$  находится по формуле

$$P_V = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_i), \quad (3)$$

где  $n$  - количество объемов  $V_i$  в объеме детали.

## Impact Factor:

ISRA (India) = 1.344	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 0.829	ПИИЦ (Russia) = 0.234	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 3.860	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 2.031	

Сформулируем особенности предложений статистической модели усталостного разрушения. При детерминированном напряженном состоянии параметры  $H$  и  $R$  являются также детерминированными величинами. Однако функция  $\varphi(\chi, R)$  не является детерминированной, а зависит еще и от заданной вероятности разрушения. Поврежденность в единичном объеме определяется как функция заданной вероятности по формуле (1). Если при  $P = 1$  дана долговечность  $N_p$ , то получается зависимость, по которой можно подобрать вероятность разрушения в единичном объеме. Вероятность разрушения в условной ячейке, объем которой может быть меньше или больше единичного находится по формуле (2), а вероятность разрушения всей детали по формуле (3).

Для построения кривой распределения долговечности конструкционного элемента, работающего в сложном неоднородном напряженном состоянии, необходимо прежде всего располагать данными о сопротивлении материала в линейном однородном напряженном состоянии. Эти исходные данные получают путем испытаний на усталость гладких цилиндрических образцов при растяжении – сжатии с различными коэффициентами асимметрии цикла. Объем материала, находящегося в зоне разрушения, принимается за единичный  $V_0$ . На основании этих кривых равных вероятностей усталостного разрушения цилиндрических образцов строятся графики функции  $\varphi(H, R)$ , относящиеся к единичному объему материала  $V_0$  и отвечающие тем же вероятностям разрушения.

Алгоритм расчета на усталость конструкций, работающих при сложном неоднородном напряженном состоянии в самых общих условиях циклического нестационарного нагружения, представляется в следующем виде. Расчет начинается с определения напряженного состояния конструкции, зависящего от одного или нескольких параметров нагрузки, изменяющихся во времени по индивидуальным циклическим законам. Однако на режим нагружения накладывается то ограничение, что

весь режим нагружения может быть разбит на блоки одинаковых циклов.

Если для расчета напряжений используется некоторый способ дискретизации сплошного тела, например МКЭ, то одновременно с напряжениями в каждой ячейке находятся приведенный коэффициент асимметрии  $R_{np}$  и величина  $H$ .

Для наиболее напряженной области конструкции определяется градиент величины  $H$

$$G_H = \sqrt{\left(\frac{\partial H}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial H}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial H}{\partial z}\right)^2}, \quad (4)$$

и по этому градиенту находятся оптимальные (по составлению с экспериментальными данными) размеры, используемые в расчетах на усталость. Если найденные оптимальные размеры ячейки не совпадают с теми размерами, которые использовались в расчетах напряжений, то производится повторная разбивка конструкции на ячейки оптимальных размеров. В том случае, когда в расчетах на усталость применяются экстраполяция размеров ячейки на ноль, выбор оптимальных размеров ячейки не нужен. Расчеты на усталость производятся при двух любых размерах ячейки, одним из которых может быть тот, который применялся в расчете по МКЭ.

Далее устанавливается напряженное состояние для центра каждой ячейки, используемой в расчетах на усталость, и для этой ячейки находятся значения  $H$  и  $R_{np}$  на каждой ступени нагружения.

Дальнейшие расчеты направлены на построение кривой распределения долговечности конструкции. Выбирается наиболее напряженная ячейка, т.е. та, для которой величина  $H$  является максимальной, и задавая некоторую вероятность разрушения  $P_0$ , определяется величина  $\varphi(H, R_{np})$  на каждой ступени нагружения по графикам  $\varphi(H, R)$ , отвечающим определенным вероятностям разрушения  $P_0$  единичного объема материала  $V_0$ , или из выражения

## Impact Factor:

<b>SISRA (India)</b> = 1.344	<b>SIS (USA)</b> = 0.912	<b>ICV (Poland)</b> = 6.630
<b>ISI (Dubai, UAE)</b> = 0.829	<b>ПИИЦ (Russia)</b> = 0.234	<b>PIF (India)</b> = 1.940
<b>GIF (Australia)</b> = 0.564	<b>ESJI (KZ)</b> = 3.860	<b>IBI (India)</b> = 4.260
<b>JIF</b> = 1.500	<b>SJIF (Morocco)</b> = 2.031	

$$\varphi(H, R_{np}) = \left( 1 - \frac{(H+2)C_2}{(1-R_{np})\bar{\sigma}_p} \right) B^{-1} \exp \left[ \frac{(H+2)^2 C_2^2 a^2 (1+R_{np})}{8\epsilon(1-R_{np})} + \frac{(H+2)C_2 a}{2(1-R_{np})} \right] \sqrt{\frac{(H+2)^2 C_2^2 a^2 (1+R_{np})^2}{16\epsilon^2} + \frac{(\ln A - \ln B)(1-R_{np}^2)}{\epsilon} + (1-R_{np})^2}, \quad (5)$$

где  $A$ ,  $B$ ,  $a$  и  $\epsilon$  – параметры, зависящие от вероятности  $P_0$  и описывающие кривую усталости при симметричном цикле.

Вероятность разрушения в этой ячейке находится по формуле (2).

Далее для наиболее напряженной ячейки вычисляется число циклов до разрушения, причем в общем случае сначала находится число целых блоков до разрушения  $n$ , для чего служит неравенства

$$\sum_{k=1}^n \varphi(H_k, R_k) \cdot N_k < 1 - \sigma_{max} / \bar{\sigma}_p \quad (6)$$

$$\sum_{k=1}^{n+1} \varphi(H_k, R_k) \cdot N_k > 1 - \sigma_{max} / \bar{\sigma}_p,$$

а затем определяется количество циклов до разрушения в последнем  $n+1$  блоке

$$N_{n+1} = \frac{1 - \sigma_{max} / \bar{\sigma}_p - \sum_{k=1}^n \varphi(H_k, R_k) \cdot N_k}{\varphi(H_{n+1}, R_{n+1})} \quad (7)$$

В каждой из остальных ячеек подбирается вероятность разрушения с таким расчетом, чтобы при имеющихся значениях  $H$ ,  $R_{np}$  и  $\varphi(H, R_{np})$  на каждый ступени нагружения суммарное число циклов до разрушения каждой ячейки равнялось бы числу разрушающих циклов, найденных для наиболее напряженной ячейки. Вероятность разрушения конструкции при найденном числе циклов до разрушения определяется согласно (3).

Для построения кривой распределения долговечности конструкции при заданном режиме нагружения достаточно определить вероятности разрушения при двух значениях долговечности, отложить величины этих вероятностей и долговечностей на вероятностной сетке, соответствующей распределению Вейбулла, и соединить полученные точки прямой линией.

Особенностью предложенной статистической модели является учет совместного действия этих компонентов циклических напряжений, которые в общем

случае могут изменяться во времени по индивидуальным законам. Примерами напряженного состояния, при котором необходимо учитывать совместное действие всех компонентов напряжений могут служить задача о контакте двух упругих тел и расчет флинцевого соединения. В этих случаях рекомендации существующих методов расчета не находят никакого применения, в то время как предложенная теория позволяет построить статистический расчет на усталость.

С целью экспериментальной проверки статистической модели были поставлены испытания на усталость пластинчатых образцов стали 45 с круглым и эллиптическим отверстиями и испытания на усталость лабораторных образцов той же стали на циклическое растяжение-сжатие. Результаты последних испытаний приняты за базовые при определении сопротивления усталости материала, а результаты испытаний пластин как конструктивных элементов, работающих в сложном неоднородном напряженном состоянии, использованы для сопоставления теории с прямыми опытными данными. Пластинчатые образцы имели ширину 60 мм, отверстие имело диаметр 12 мм, оси эллипса составляли 12 мм и 8 мм. Теоретические коэффициенты концентрации напряжений в области упругого деформирования составляли 2,512 и 3,33 соответственно для крупного и эллиптического отверстия. Эти образцы испытывались на циклическое растяжение-сжатие при стационарном нагружении с коэффициентами асимметрии цикла  $R$ , равными  $-1,0$  и  $-0,3$ . При этом фиксировалась долговечность, при которой трещина, возникавшая в устье концентратора, достигала длины 0,3-1,0 мм. При долговечности порядка миллиона циклов опытные и расчетные данные совпадали, если расчет проводился с разбивкой рабочей части образцов с круглым отверстием на ячейки размером 0,5 мм для  $R = -1,0$  и 0,7 мм для  $R = -0,3$ . Для образцов с эллиптическим отверстием указанное совпадение наблюдается при размерах ячейки 0,3 мм для  $R = -1,0$  и  $R = -0,3$  [11,12].

Уменьшение размеров ячейки до нуля приводит к нижним значениям пределов выносливости, которые, однако, все еще выше расчетной кривой усталости для наиболее

## Impact Factor:

ISRA (India) = 1.344	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 0.829	РИИЦ (Russia) = 0.234	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 3.860	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 2.031	

напряженной точки конструкции. При анализе этих результатов следует, прежде всего, отметить, что влияние размеров условных ячеек на расчет долговечностей при заданных вероятностях разрушения в теории подобия, принятой ГОСТом 25.504-82, не рассматривается. Рекомендательный там расчет с нашей точки зрения предполагает экстраполяцию ячеек на ноль. С другой стороны может быть поставлен вопрос: почему в рамках теории Вейбулла наилучшее совпадение с опытом получается при некотором конечном размере ячейки, зависящего к тому же от градиента напряжений. Можно полагать, что тот факт связан с допущением теории о том, что разрушения отдельных элементов материала являются независимыми событиями. Едва ли такое допущение применимо к очень малым объемам. Скорее всего, это можно сказать лишь о каких-то конечных объемах, содержащих достаточное количество кристаллических зерен. С другой стороны объем должен быть настолько мал, чтобы напряженное состояние в его пределах приближенно можно было бы считать однородным.

Так как влияние напряженного состояния на процесс накопления повреждений оценивается в предлагаемой теории параметром  $N$ , то и градиенты всех компонентов напряжений естественно оценивать в расчете на усталость градиентом обобщенного параметра  $N$ . На основании проведенных опытов в работах [11,12] установлена зависимость оптимальных (по сопоставлению с экспериментальными данными) размеров условной ячейки от градиента напряжений, оцениваемого градиентом параметра  $N$ . С уменьшением градиента  $N$  влияние задаваемых размеров условной ячейки на расчетные долговечности оказывается достаточно слабой. С уменьшением градиента  $N$  влияние задаваемых размеров ячеек стирается.

Таким образом, условие подобия распределений долговечностей двух конструктивных элементов, работающих в различных напряженных состояниях, оказывается в общем случае зависимым от механических свойств материала. Распределение долговечности конструктивного элемента может быть

построено согласно предложенной модели и в общем случае многокомпонентного нестационарного циклического нагружения. Для этого общего случая в известной литературе никаких рекомендаций не содержится.

Сравним результаты расчета эффективных коэффициентов концентрации напряжений, а также данные об оптимальных размерах ячейки с теоретическими и экспериментально-теоретическими рекомендациями различных авторов (см. табл.1).

### Заключение

Данные об оптимальных размерах ячейки могут быть сопоставлены с рекомендациями по размерам структурных параметров, введенных некоторыми авторами. Значения структурного параметра, полученные по формулам М. Д. Леонова, В.В. Новожилова, оказываются значительно большими, чем оптимальные размеры ячейки, установленные на основании наших расчетов и опытов. Значения эффективных коэффициентов концентрации напряжений  $K_{\sigma}$ , вычисленные по рекомендациям Г. Нейбера, П. Куна, Р. Петерсона, Р. Хейвуда, В. П. Когаева расходятся между собой не очень сильно. Так для образцов с круглым отверстием наименьшее значение  $K_{\sigma}$ , по Хейвуду расходятся с наибольшим по Петерсону примерно на 20%, для образцов с эллиптическим отверстием – на 28%. Расхождения с нашими экспериментальными и расчетными значениями  $K_{\sigma}$  также не очень велико. Таким образом, в случае концентратора в виде отверстия все указанные рекомендации подтверждаются опытом.

Однако следует иметь в виду, что указанные рекомендации распространяются на случай учета местных напряжений в зоне конструктивного концентратора, где всегда доминирует одно главное напряжение, но не распространяются на общий случай неоднородного напряженного состояния. Отметим также, что перечисленные рекомендации различных авторов никак не учитывают влияние асимметрии цикла нагружения.

**Impact Factor:**

<b>ISRA (India) = 1.344</b>	<b>SIS (USA) = 0.912</b>	<b>ICV (Poland) = 6.630</b>
<b>ISI (Dubai, UAE) = 0.829</b>	<b>РИИЦ (Russia) = 0.234</b>	<b>PIF (India) = 1.940</b>
<b>GIF (Australia) = 0.564</b>	<b>ESJI (KZ) = 3.860</b>	<b>IBI (India) = 4.260</b>
<b>JIF = 1.500</b>	<b>SJIF (Morocco) = 2.031</b>	

**Таблица 1**

**Значения эффективного коэффициента концентрации напряжений и структурного параметра материала, определенных по рекомендациям различных авторов.**

Авторы рекомендаций	Образцы с круглым отверстием				Образцы с эллиптическим отверстием			
	R = - 1,0		R = - 0,3		R = - 1,0		R = - 0,3	
	$K_{\sigma}$	С структурный параметр, мм.	$K_{\sigma}$	С структурный параметр, мм.	$K_{\sigma}$	С структурный параметр, мм.	$K_{\sigma}$	С структурный параметр, мм.
Г. Нейбер	2,180*	0,480	-	-	2,630*	0,480	-	-
П. Кун	2,320*	0,130	-	-	2,910*	0,130	-	-
Р. Петерсон	2,460*	0,210	-	-	3,160*	0,210	-	-
Р. Хейвуд	$\frac{2,200}{*}$ 2,040	0,082	-	-	$\frac{2,670}{*}$ 2,470	0,082	-	-
М.Я. Леонов	2,020**	1,260*	1,950**	1,380*	-	-	-	-
В.В. Новожилов	2,020**	1,350*	1,950**	1,650*	2,560**	0,830*	2,520**	0,900*
В.П. Когаев	2,200*	-	-	-	2,740*	-	-	-
Наши данные по определению оптимального размера ячейки	2,020**	0,5*	1,950**	0,7*	2,560**	0,3*	2,520**	0,3*
Наш расчет при экстраполяции и размера ячейки в ноль	2,110*	-	2,200*	-	2,640*	-	2,760*	-

*Примечание:*

1. Звездочками отмечены величины, которые определялись расчетным путем в соответствии с рекомендациями различных авторов.

2. Двумя звездочками отмечены наши экспериментальные значения эффективного коэффициента концентрации напряжений.

**References:**

- Pawlov PA (1983) Ein Energiomodell der hochzyklischen Ermüdung und seine praktische Anwendung. Technische Mechanik, 4, 1983, Heft 1.
- Pavlov PA, Malibekov AK (1986) Mnogociklovaja ustalost' uglerodistyh stalej pri ploskom naprjazhennom sostojanii. Soobshhenie 1 i 2. Problemy prochnosti, 1986, №6, p.55-60, №8, p.41-45.
- Vejbull V (1964) Ustalostnye ispytaniya i analiz ih rezul'tatov. – М.: Mashinostroenie, 1964.
- Pavlov PA, Dzhakijaev DK (1985) Prognozirovanie mnogociklovyh ustalostnyh povrezhdenij stali pri slozhnom neodnorodnom

## Impact Factor:

<b>ISRA (India) = 1.344</b>	<b>SIS (USA) = 0.912</b>	<b>ICV (Poland) = 6.630</b>
<b>ISI (Dubai, UAE) = 0.829</b>	<b>PIHII (Russia) = 0.234</b>	<b>PIF (India) = 1.940</b>
<b>GIF (Australia) = 0.564</b>	<b>ESJI (KZ) = 3.860</b>	<b>IBI (India) = 4.260</b>
<b>JIF = 1.500</b>	<b>SJIF (Morocco) = 2.031</b>	

- naprjazhenom sostojanii. //10  
Vsesojuzn.nauchno-tehn. konf. po  
konstrukcionnoj prochnosti dvigatelej: Tez.  
dok.- Kujbyшев, 1985.
5. Dzhakijaev DK, Malibekov AK, Kasymov UT (1998) Prognozirovaniye dolgovechnosti konstrukcionnyh jelementov pri mnogokomponentnom nestacionarnom ciklicheskom nagruzhении. Nauka i obrazovanie Juzhnogo Kazahstana. 1998.№ 4.
  6. Dzhakijaev DK, Malibekov AK, Egemkulov GT (2002) Jeksperimental'no teoreticheskaja ocenka ustalostnoj prochnosti konstrukcionnyh jelementov pri nestacionarnyh silovyh vozdeystvijah. Nauka i obrazovanie Juzhnogo Kazahstana, 2002, №30.
  7. Dzhakijaev DK, Kasymov UT (2005) Jeksperimental'no-teoreticheskaja ocenka soprotivlenija ustalosti stal'nyh konstrukcionnyh jelementov pri slozhnom neodnorodnom naprjazhenom sostojanii.// Aktual'nye problemy mehaniki i mashinostroenija: Trudy mezhdunar. nauchnoj konf. -Almaty, 2005.
  8. Malibekov AK, Dzhakijaev DK (2008) O metodike rascheta dolgovechnosti na osnovy jenergeticheskoy modeli mnogociklovyh ustalosnyh povrezhdenij //Mehanika i modelirovanie processov tehnologii -2008, №2
  9. Dzhakijaev DK (2011) O ocenke dolgovechnosti stal'nyh konstrukcionnyh jelementov v uslovijah ciklicheskogo nagruzhenija// Mehanika i modelirovanie processov tehnologii – 2011, №2
  10. Dzhakijaev DK, Nusipali RK (2015) Ocenka ciklicheskoj prochnosti po jenergeticheskoy modeli razrushenija materiala Teoreticheskaya i prikladnaya nauka. Theoretical & Applied Science. Materials jf the International Scientific Practikal Conference: Industry & Technology Europe, France, Lyon, 30.05.2015
  11. Dzhakijaev DK (2012) Mnogociklovaja ustalost' stal'nyh konstrukcionnyh jelementov pri slozhnosti neodnorodnom naprjazhenom sostojanii v uslovijah stacionarnogo simmitrichnogo cikla nagruzhenija. Materialy mezhdunar. nauchno-prakt. konf «VII Dulatovskie chtenija», Taraz, 2012.
  12. Dzhakijaev DK (2012) Jeksperimental'no-teoreticheskaja ocenka mnogociklovoj ustalosti stal'nyh konstrukcionnyh jelementov pri slozhnom neodnorodnom naprjazhenom sostojaniem v uslovijah stacionarnogo nesimmetricheskogo cikla nagruzhenija. Materialy mezhdunar.nauchno-prak.konf «Urkumbaevskie chtenija» Vodnye resursy i puti ih racional'nogo ispol'zovanija v sovremennyh uslovijah, Taraz, 2012.

