

УДК 621. 539. 376

Желдубовский¹ А.В., к.т.н.; Погребняк¹ А.Д., к.т.н.; Регульский¹ М.Н., к.т.н.; Сердитов² А.Т., к.т.н.

1 – Институт механики им. С.П.Тимошенко НАН Украины, г.Киев, Украина;

2 – НТУУ «Киевский политехнический институт», г.Киев, Украина

К ОЦЕНКЕ ЗАПАСА ПРОЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН, ПОДВЕРЖЕННЫХ АСИММЕТРИЧНОМУ НАГРУЖЕНИЮ, С УЧЕТОМ КОНЦЕНТРАЦИИ НАПРЯЖЕНИЙ

Zheldubovsky¹ A., Pogrebnyak¹ A., Regulsky¹ M., Serditov² A.

1 – S.P.Timoshenko Institute of Mechanics NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine;

2 – National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine (serditov.at@gmail.com)

TO RESERVE ESTIMATES STRENGTH MACHINE PARTS SUBJECT ASYMMETRIC LOADING IN VIEW OF STRESS CONCENTRATION

Рассматривается методика расчета запаса прочности деталей машиностроительных конструкций, подверженных совместному воздействию статических и циклических нагрузок. Основное внимание уделяется оценке максимальных предельных напряжений, при асимметричном нагружении конструкционных материалов, с учетом концентрации напряжений как одного из основных факторов, присущих реальным конструктивным элементам. Используются ранее разработанные модели предельного состояния конструкционных материалов в форме степенных трансцендентных функций. Предложенный подход обеспечивает более корректный расчет запаса прочности при выполнении проектных работ. Ключевые слова: запас прочности; асимметричное нагружение; концентрация напряжений; предельное состояние.

Создание машиностроительных конструкций тесно связано с необходимостью совершенствования методов расчета на прочность. Эта задача особенно актуальна применительно к деталям, подверженным воздействию циклических нагрузок, вызывающих преждевременное разрушение в связи с развитием процесса усталости металла. Результатам исследования сопротивления усталости посвящены многочисленные работы отечественных и зарубежных ученых [1-3, 7, 8, 16, 17 и др.].

Экспериментально установлено, что характеристики сопротивления усталости конструкционных материалов существенно зависят от многих факторов, в первую очередь от условий и характера нагружения, в частности от асимметрии действующих нагрузок, а также от концентрации напряжений. В связи с этим, методы расчета элементов конструкций на прочность должны отражать проявление конструктивных, технологических и эксплуатационных факторов и учитывать их влияние.

Постановка задачи. Расчеты на прочность деталей машин базируются на сопоставлении определяемых запасов прочности с допускаемыми их величинами, выступающими в качестве нормативных характеристик.

Величины допускаемых напряжений и запасов прочности устанавливаются, как правило, на основе систематизации обширного фактического материала по конструированию, детального анализа эксплуатации созданных конструкций, исследования свойств применяемых материалов.

Запас прочности n детали определяется как отношение предельных (максимальных) напряжений σ_{\max} , характеризующих несущую способность материала, к напряжениям σ_d , действующим в деталях в эксплуатационных условиях, т.е.

$$n = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_d} . \quad (1)$$

При простых видах циклического нагружения, например, при растяжении-сжатии или изгибе, σ_{\max} представляет собой предел выносливости детали при растяжении-сжатии или изгибе, определяемый путем испытаний лабораторных полированных образцов с учетом влияния различного рода факторов.

Напряжения σ_d , возникающие в проектируемых элементах конструкций в процессе эксплуатации, устанавливаются на основе опыта эксплуатации конструкций, подобных проектируемой, путем расчета или тензометрирования.

Учитывая существенное влияние концентрации напряжений и асимметрии циклического нагружения на характеристики сопротивления усталости, возникает необходимость в уточнении методики определения

максимальных напряжений в материале при воздействии указанных факторов с целью повышения точности прочностных расчетов.

Рассмотрим метод оценки запаса прочности детали, подверженной воздействию асимметричного циклического нагружения с учетом концентрации напряжений.

Исходные соотношения. Необходимость учета асимметрии нагружения в прочностных расчетах машиностроительных конструкций была сформулирована в 30-х годах прошлого столетия [19]. Решение этой задачи требует проведения большого объема трудоемких экспериментальных исследований. В связи с этим предпринимались попытки косвенного определения необходимых для расчета характеристик. В качестве первых предложений косвенного учета влияния асимметрии нагружения на допускаемые напряжения при воздействии циклических нагрузок явились рекомендации использования линейной зависимости максимального напряжения цикла от его среднего напряжения, т.е. зависимости Гудмана [2, 16].

Несколько позже было предложено использовать для определения допускаемых напряжений при одноосном напряженном состоянии диаграмму Смита [14], общий вид которой представлен на рис. 1.

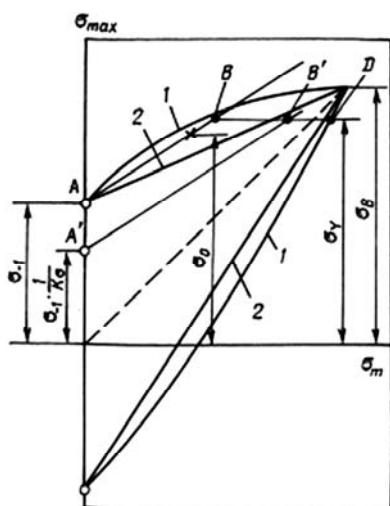


Рис. 1. Общий вид диаграммы Смита

Диаграмма Смита характеризует зависимость максимального напряжения от среднего напряжения цикла. Линии 1 отражают параболическую зависимость максимальных напряжений асимметричного цикла от статической компоненты (зависимость Гербера); линии 2 – линейную зависимость Гудмана.

В работе [14] дана схематизированная диаграмма Смита, представленная двумя прямолинейными отрезками АВ и ВД. Первый отражает пределы усталости при асимметричном нагружении, второй – предел текучести исследуемого материала. Построение схематизированной диаграммы предполагает экспериментальное определение предела усталости при симметричном цикле σ_{-1} , предела усталости при отнулевом цикле – при изменении напряжений от нуля до максимума σ_0 – и предела текучести σ_y .

Для использования в расчетной практике диаграммы Смита в ней необходимо также отразить влияние концентрации напряжений как одного из важнейших факторов, определяющих характеристики сопротивления усталости материала. При асимметричном нагружении учет концентрации напряжений осуществляется через снижение амплитуды циклических напряжений σ_r , согласно выражению

$$\sigma_{rH} = \frac{\sigma_r}{k_\sigma}, \quad (2)$$

где k_σ – эффективный коэффициент концентрации напряжений.

На диаграмме Смита влияние концентрации напряжений отражается за счет уменьшения амплитуд асимметричного цикла путем умножения их на величину $\frac{1}{k_\sigma}$, что отражает линия А'В'. В этом случае запасом

прочности при асимметричном нагружении считается отношение напряжения по диаграмме Смита к максимальному напряжению, действующему в детали с учетом концентрации напряжений и других факторов, влияющих на сопротивление материала циклическим нагрузкам. Детальная методика использования диаграммы Смита для оценки запаса прочности детали при асимметричном нагружении приведена в работе [14].

Вместе с тем, как показывает опыт, известные подходы не обеспечивают точности расчетов запаса прочности из-за отсутствия учета взаимного влияния основных факторов, определяющих предельное состояние конструкционных материалов под действием циклических нагрузок, в частности, асимметрии цикла нагружения и концентрации напряжений.

В работах [4-6], предложены модели предельного состояния конструкционных материалов в форме степенной трансцендентной функции. Применительно к одноосному асимметричному нагружению модели записываются в виде выражений

$$\frac{\sigma_r}{\sigma_n} - \left[\cos \left(\frac{\pi \sigma_m}{2 \sigma_B} \right) \right]^\lambda = 0 \quad (3)$$

и

$$\frac{\sigma_r}{\sigma_n} - \frac{2}{\pi} \left[\arccos \left(\frac{\sigma_m}{\sigma_B} \right) \right]^\xi = 0, \quad (4)$$

где λ и ξ – коэффициенты чувствительности материала к асимметрии нагружения, определяемые путем разрешения соотношений (3) и (4) относительно них.

Таким образом, задаваясь комбинацией напряжений σ_r и σ_m асимметричного цикла, определяем значения λ и ξ . С этой целью предпочтительно воспользоваться соотношением σ_r и σ_m , отражающим отнулевой цикл, при котором $\sigma_r = \sigma_m$. При этом условии более четко проявляется реакция материала на совместное воздействие статических и циклических напряжений. В этом случае для определения значений λ и ξ получаем выражения вида

$$\lambda = \frac{\lg \sigma_r^0 - \lg \sigma_n}{\lg \left[\cos \left(\frac{\pi \sigma_m^0}{2 \sigma_B} \right) \right]} \quad \text{и} \quad \xi = \frac{\lg \frac{\sigma_r^0}{\sigma_n} - \lg \frac{2}{\pi}}{\lg \left[\arccos \left(\frac{\sigma_m^0}{\sigma_B} \right) \right]} \quad (5)$$

Здесь σ_r^0 и σ_m^0 – амплитуда, и статическая компонента отнулевого цикла напряжений в базовом единичном эксперименте ($\sigma_r^0 = \sigma_m^0$); σ_n и σ_B – предел ограниченной усталости при симметричном цикле нагружения, соответствующий долговечности n^0 в базовом эксперименте, и предел прочности соответственно. Соотношения напряжений σ_r^0 и σ_m^0 выбираются таким образом, чтобы разрушение испытуемых образцов происходило в области многоциклового усталости ($n \geq 10^5$ циклов). При определении значений λ и ξ , которые, по сути, являются материальными константами исследуемого материала, в базовом эксперименте целесообразно испытать 2-3 образца, что обеспечит надежность их определения.

Опыт предварительных расчетов показал, что зависимость (3), как правило, хорошо описывает предельное состояние пластичных материалов, зависимость (4) – малопластичных, хрупких материалов.

Расчет предельных амплитуд напряжений. Для расчета зависимости максимальных (предельных) амплитуд напряжений σ_r от статической составляющей цикла напряжений σ_m воспользуемся моделями предельного состояния (3) и (4). При этом максимальные (предельные) амплитуды σ_r приобретают смысл σ_{\max} в выражении (1) для коэффициента запаса прочности. Значения величин, необходимых для расчета предельных диаграмм – пределов прочности σ_B , пределов ограниченной усталости σ_n , характеристик напряжений от нулевого цикла, параметров λ и ξ приведены в табл. 1.

Таблица 1

Значения величин, необходимых для расчета предельных диаграмм

Материал	σ_B , МПа	σ_r^0	σ_m^0	σ_n	λ, ξ
		МПа			
Сталь Э10	368,4	142,2	142,2	202,5	1,40 (λ)
Сталь 1Х2М	532,0	230,1	245,2	278,9	1,68 (ξ)
Сплав ВЖЛ12У	900,0	200,0	200,0	287,5	0,52 (ξ)

На рис. 2, в качестве примера, представлены расчетные диаграммы предельных амплитуд цикла

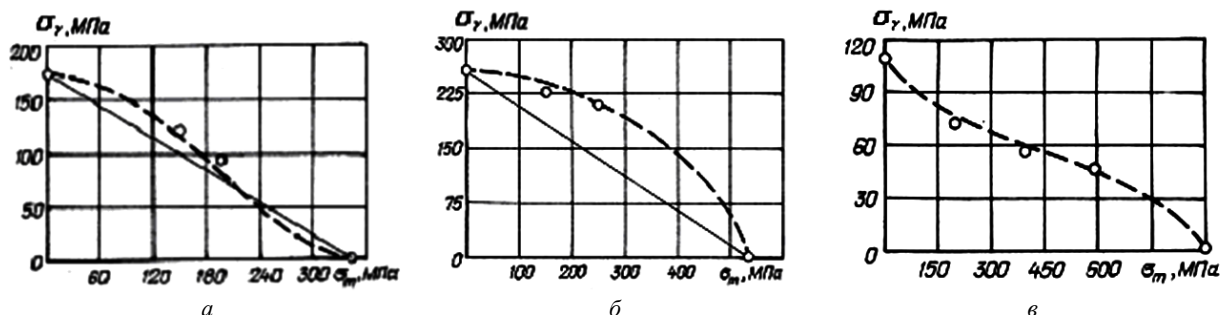


Рис. 2. Диаграммы предельных амплитуд цикла напряжений гладких образцов стали Э10 (а), стали 1Х2М (б) и жаропрочного никелевого сплава ВЖЛ12У (в) в условиях одноосного асимметричного циклического растяжения-сжатия

напряжений (линии) углеродистой, легированной сталей и жаропрочного сплава, испытанных при асимметричном нагружении, которые сопоставлены с результатами экспериментальных исследований (точки).

Предельная диаграмма стали Э10 рассчитывалась с использованием зависимости (3), стали 1Х2М и сплава ВЖЛ12У – зависимости (4). Экспериментальные данные заимствованы из работ [4, 9, 18].

Выполненные построения показали удовлетворительное согласование рассчитанных диаграмм предельных амплитуд напряжений с экспериментальными данными.

Характерной особенностью моделей (3) и (4), в отличие от известных зависимостей, является то обстоятельство, что они, обладая определенной гибкостью, позволяют описать достаточно надежно предельное состояние широкого круга конструкционных материалов, отличающихся различными механическими свойствами.

Модели (3) и (4) позволяют также учесть влияние концентрации напряжений на предельное состояние материалов совместно с асимметрией цикла нагружения путем их преобразования в следующие зависимости:

$$\frac{\sigma_{rH}}{\sigma_{nH}} - \left[\cos \left(\frac{\pi \sigma_m}{2 \sigma_B} \right) \right]^\lambda = 0 \quad (6)$$

и

$$\frac{\sigma_{rH}}{\sigma_{nH}} - \frac{2}{\pi} \left[\arccos \left(\frac{\sigma_m}{\sigma_B} \right)^\xi \right] = 0, \quad (7)$$

где σ_{rH} и σ_{nH} – пределы ограниченной усталости при асимметричных и симметричном циклах образцов с концентратором напряжений, соответственно.

Показатель степени λ , исходя из (6), определяется по данным базового единичного эксперимента в условиях отнулевого цикла напряжений при испытании образцов с концентратором напряжений исследуемой геометрии и расчета по формуле

$$\lambda = \frac{\lg \sigma_{rH}^0 - \lg \sigma_n^0}{\lg \left[\cos \left(\frac{\pi \sigma_m^0}{2 \sigma_B} \right) \right]}. \quad (8)$$

Аналогично определяется значение показателя ξ из выражения (7).

Естественно, что геометрия концентратора напряжений в базовом эксперименте должна отвечать геометрии концентратора напряжений в проектируемой детали.

Рис. 3 иллюстрирует использование зависимости (7) для расчета и построения диаграмм предельных

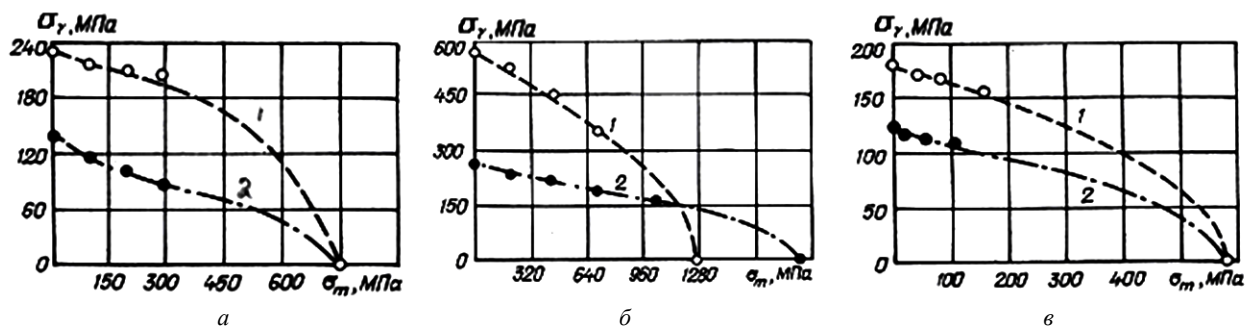


Рис. 3. Диаграммы предельных амплитуд цикла напряжений гладких (1) и надрезанных (2) образцов стали 2 (а), стали Э16 (б) и стали St52 (в) в условиях одноосного асимметричного циклического растяжения-сжатия

амплитуд цикла напряжений образцов ряда конструкционных материалов с концентраторами напряжений. Данные, необходимые для расчета предельных диаграмм, представлены в табл. 2. Экспериментальные данные заимствованы из работ [12, 15].

Таблица 2

Данные, необходимые для расчета предельных диаграмм

Материал	σ_B , МПа	σ_r^0	σ_m^0	σ_n	ξ
		МПа			
Сталь 2, гладкий образец	754,4	203,9	203,9	220,7	1,74
Сталь 2, надрез	754,4	111,9	111,9	137,3	0,74
Сталь Э16, гладкий образец	1275,3	441,4	441,4	569,0	1,00
Сталь Э16, надрез	1863,9	236,6	236,6	264,7	0,87
Сталь St52, гладкий образец	579,8	153,7	153,7	178,1	1,17
Сталь St52, надрез	579,8	106,0	106,0	119,6	1,02

В данном случае также получено хорошее согласование результатов расчета предельных амплитуд цикла напряжений (линии) с экспериментальными данными (точки) с использованием модели (7). Погрешность расчета предельных амплитуд асимметричного цикла напряжений, как правило, не превышает 10%.

Сравнительный анализ вариантов описания предельного состояния конструкционных материалов (Гудмана, Зодерберга, Гербера, Одингга и др.) и предложенного в работах [4-6] показал преимущество последнего в обеспечении точности расчетных оценок предельных амплитуд цикла напряжений при асимметричном нагружении. Это позволяет в выражении (1) для оценки запаса прочности при расчетах несущей способности деталей машин напряжение σ_{\max} выразить через напряжение σ_{rH} , обеспечивающее учет асимметрии нагружения и концентрации напряжений, что способствует повышению надежности расчетов на прочность создаваемых конструкций. При этом выбор напряжения σ_{rH} согласовывается с предполагаемыми величинами напряжений асимметричного нагружения в эксплуатационных условиях. Модели (6) и (7) позволяют также рассчитать некоторый диапазон значений запаса прочности n и осуществить выбор необходимого значения n , учитывая особенности условий нагружения в эксплуатации.

При необходимости, используя разработанную методику, можно учесть при определении запаса прочности влияние масштабного фактора, коррозионной среды и других факторов.

Выводы. Предложена методика оценки запаса прочности, для использования в расчетной практике элементов конструкций, подверженных асимметричному циклическому нагружению, с учетом концентрации напряжений, характерной для создаваемых конструкций. В основу разработанной методики заложены модели предельного состояния, базирующиеся на степенных трансцендентных функциях. Модели обеспечивают хорошее согласование результатов расчета предельного состояния конструкционных материалов с экспериментальными данными при минимальном объеме предварительных исследований.

Анотація. Розглядається методика розрахунку запасу міцності деталей машинобудівних конструкцій, що працюють в умовах спільного впливу статичних і циклічних навантажень. Головна увага приділяється визначенню максимальних граничних напружень при асиметричному навантаженні конструкційних матеріалів з урахуванням концентрації напружень як одного з головних факторів, що притаманний реальним конструкційним елементам. Використовуються розроблені раніше моделі граничного стану конструкційних матеріалів у формі степеневих трансцендентних функцій. Запропонований підхід забезпечує більш коректний розрахунок запасу міцності при виконанні проектних робіт.

Ключові слова: запас міцності; асиметричне навантаження; концентрація напруження; граничний стан.

Abstract. The method of calculation of margin of safety of details of the machine-building designs subject to joint influence of static and cyclic loadings is considered. The main attention is paid to an assessment of the maximum limit tension, characteristic for asymmetric loading of constructional materials, taking into account concentration of tension as one of the major factors inherent in real constructive elements. Used previously developed model the limit state of structural materials in the form of power of transcendental functions. The models provide a good agreement of the results of calculation of the limit state of structural materials with the experimental data with a minimum of preliminary studies. The offered approach provides more correct calculation of margin of safety at implementation of project works.

Keywords: a margin of safety; asymmetric loading; stress concentration; limit state.

Библиографический список использованной литературы

1. Афанасьев Н.Н. Статистическая теория усталостной прочности металлов. – Киев: Изд-во АН УССР. – 1953. – 128 с.
2. Вейбулл В. Усталостные испытания и анализ их результатов / Пер. с англ. под ред. С.В.Серенсена. – М.: Машиностроение. – 1964. – 276 с.
3. Гаф Г.Дж. Усталость металлов. Пер. с англ. под ред. Н.А. Шапошникова. М.-Л.: Гл. редакция литературы по черной металлургии. – 1935. – 304 с.
4. Голуб В.П., Погребняк А.Д. Высокотемпературное разрушение материалов при циклическом нагружении. – Киев: Наук. думка, 1994. – 228 с.
5. Голуб В.П., Крижановский В.И., Погребняк А.Д. Метод расчета усталостной прочности металлических и композитных материалов при асимметричном многоцикловом нагружении // Прикл. механика, 2004. – Том 40, № 11. – С. 106-116.
6. Голуб В.П., Крижановский В.И., Погребняк А.Д., Кочеткова Е.С. Усталостная прочность металлических и композитных материалов при асимметричном растяжении-сжатии // Прикл. механика, 2006. – Том 42, № 1. – С. 48-58.
7. Давиденков Н.Н. Динамическая прочность и хрупкость металлов // Избр. труды: В 2-х томах. – Киев: Наук. думка, 1981. – Том 1.- 704 с.
8. Иванова В.С. Усталостное разрушение металлов. – М.: Металлургиздат, 1963. – 258 с.
9. Кузьменко В.А., Троян И.А., Цимбалыстый Я.И. и др. Влияние частоты нагружения, температуры и асимметрии цикла на выносливость теплостойких сталей 1X2M и X18H9. Сообщение 1 // Пробл. прочности. – 1981. – №2. – С. 30-36.
10. Одинг И.А. Допускаемые напряжения в машиностроении и циклическая прочность металлов. Изд. 4-е. – М.: Машгиз. – 1962. – 260 с.

11. *Писаренко Г.С., Яковлев А.П., Матвеев В.В.* Справочник по сопротивлению материалов. Изд. 2-ое. Киев: Наук. думка, 1988. – 736 с.
12. *Подолов И.В.* Расчет допускаемых напряжений для черных металлов в машиностроении (Действительный запас прочности). Изд. 3-е, перераб. и дополн. – М.: Оборонгиз. – 1947. – 486 с.
13. *Серенсен С.В.* Гипотезы прочности при переменной нагрузке // Известия АН СССР, ОТН. – 1938, № 8-9. – С. 3-16.
14. *Серенсен С.В.* Определение запаса прочности при расчете деталей машин // Вестник машиностроения, 1943. – № 6. – С. 6-14.
15. *Ужик Г.В.* Прочность сталей при одновременном действии постоянных и переменных нагрузок // Изв. АН СССР. ОТН. – 1949. – №5. – С. 657-665.
16. *Форрест П.* Усталость металлов / Пер. с англ. под ред. С.В.Серенсена. – М.: Машиностроение, 1968. – 352 с.
17. *Хейвуд Р.Б.* Проектирование с учетом усталости / Пер. с англ. под ред. чл.-кор. АН СССР И.Ф.Образцова. – М.: Машиностроение, 1969. – 504 с.
18. *Цимбалистый Я.И.* Исследование неупругости и усталости металлов при асимметричных циклах высокочастотного растяжения-сжатия // Автореферат канд.диссертации. – Киев, 1977. – 20 с.
19. *Soderberg C.R.* Factor of safety and working stresses // Trans. ASME. – 1930. – Vol. 30, pp. 13-28.

References

1. *Afanas'ev N.N.* Statisticheskaja teorija ustalostnoj prochnosti metallov. Kiev: Izd-vo AN USSR. 1953. 128 p.
2. *Vejbull V.* Ustalostnye ispytaniya i analiz ih rezul'tatov. Per. s angl. pod red. S.V.Serensena. Moscow: Mashinostroenie. 1964. 276 p.
3. *Gaf' G.Dzh.* Ustalost' metallov. Per. s angl. pod red. N.A. Shaposhnikova. M.-L.: Gl. redakcija literatury po chernoj metallurgii. 1935. 304 p.
4. *Golub V.P., Pogrebnjak A.D.* Vysokotemperaturnoe razrushenie materialov pri ciklicheskom nagruzhennii. Kiev: Nauk. dumka, 1994. – 228 p.
5. *Golub V.P., Krizhanovskij V.I., Pogrebnjak A.D.* Metod rascheta ustalostnoj prochnosti metallicheskih i kompozitnyh materialov pri asimmetrichnom mnogociklovom nagruzhennii. Prikl. mehanika, 2004. Tom 40, no 11. P. 106-116.
6. *Golub V.P., Krizhanovskij V.I., Pogrebnjak A.D., Kochetkova E.S.* Ustalostnaja prochnost' metallicheskih i kompozitnyh materialov pri asimmetrichnom rastjazhenii-szhatii. Prikl. mehanika, 2006. Tom 42, no 1. P. 48-58.
7. *Davidenkov N.N.* Dinamicheskaja prochnost' i hrupkost' metallov. Izbr. trudy: V 2-h tomah. Kiev: Nauk. dumka, 1981. Tom 1. 704 p.
8. *Ivanova V.S.* Ustalostnoe razrushenie metallov. Moscow: Metallurgizdat, 1963. 258 p.
9. *Kuz'menko V.A., Trojan I.A., Cimbalistyj Ja.I. i dr.* Vlijanie chastoty nagruzhennija, temperatury i asimmetrii cikla na vynoslivost' teplostojkikh stalej 1H2M i H18N9. Soobshhenie 1. Probl. prochnosti. 1981. No2. P. 30-36.
10. *Oding I.A.* Dopuskaemye naprjazhenija v mashinostroennii i ciklicheskaja prochnost' metallov. Izd. 4-e. Moscow: Mashgiz. 1962. 260 p.
11. *Pisarenko G.S., Jakovlev A.P., Matveev V.V.* Spravochnik po soprotivleniju materialov. Izd. 2-oe. Kiev: Nauk. dumka, 1988. 736 p.
12. *Podolov I.V.* Raschet dopuskaemyh naprjazhenij dlja chernyh metallov v mashinostroennii (Dejstvitel'nyj zapas prochnosti). Izd. 3-e, pererab. i dopoln. Moscow: Oborongiz. 1947. 486 p.
13. *Serensen S.V.* Gipotezy prochnosti pri peremennoj nagruzke. Izvestija AN SSSR, OTN. 1938, no 8-9. P. 3-16.
14. *Serensen S.V.* Opredelenie zapasa prochnosti pri raschete detalej mashin. Vestnik mashinostroenija, 1943. No 6. P. 6-14.
15. *Uzhik G.V.* Prochnost' stalej pri odnovremennom dejstvii postojannyh i peremennyh nagruzok. Izv. AN SSSR. OTN. 1949. No 5. P. 657-665.
16. *Forrest P.* Ustalost' metallov. Per. s angl. pod red. S.V.Serensena. Moscow: Mashinostroenie, 1968. 352 p.
17. *Hejvud R.B.* Proektirovanie s uchedom ustalosti. Per. s angl. pod red. chl.-kor. AN SSSR I.F.Obrazcova. Moscow: Mashinostroenie, 1969. 504 p.
18. *Cimbalistyj Ja.I.* Issledovanie neuprugosti i ustalosti metallov pri asimmetrichnyh ciklah vysokochastotnogo rastjazhenija-szhatija. Avtoreferat kand.dissertacii. Kiev, 1977. 20 p.
19. *Soderberg C.R.* Factor of safety and working stresses. Trans. ASME. 1930. Vol. 30, pp. 13-28.

Подана до редакції 26.10.2015