

Расчетная оценка остаточного ресурса прочности машин

© Х.Б. Киштыков

Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова,
Нальчик, 360004, Россия

Кратковременные перегрузки, которые испытывают машины, могут вызывать повреждение или разрушение конструкции. В этих условиях важно оценить характеристики сопротивления усталости машины, их остаточный ресурс. Для этого в инженерной практике широко используют метод однократных перегрузок (с высокого уровня на низкий), позволяющий моделировать режим неблагоприятного нерегулярного нагружения. Однократные перегрузки на уровне, превышающем исходный предел выносливости, до некоторого числа циклов снижают предел выносливости и остаточный ресурс долговечности конструкций. Предложенные в литературе эмпирические зависимости относительного снижения пределов выносливости от коэффициента перегрузки и циклового отношения дают полное снижение вторичного предела выносливости при цикловом отношении, равном единице. Это не согласуется с результатами опытов, свидетельствующих о существовании предельного снижения вторичных пределов выносливости. Формула, позволяющая несколько скорректировать эти зависимости и описать предельное снижение вторичных пределов выносливости, также при некоторых условиях дает полное снижение вторичных пределов выносливости или теряет физический смысл. Зависимость, предложенная для титановых сплавов, хотя и дает предельное снижение вторичных пределов выносливости, отличное от нуля, но определяет аномальный характер асимптотической кривой, не соответствующий многочисленным опытными данным и математическим моделям повреждения. Ранее автором была разработана математическая модель однократных перегрузок и на ее основе проведена расчетная оценка остаточного ресурса долговечности машин по результатам статистических испытаний лабораторных образцов. В данной работе эта модель использована для расчетной оценки остаточного ресурса прочности машин. Предложены расчетные зависимости, удовлетворительно описывающие результаты экспериментов и свободные от указанных недостатков. Предложенные зависимости могут быть рекомендованы для внедрения в практику инженерных расчетов.

Ключевые слова: однократная перегрузка, математическая модель, остаточный ресурс прочности, предельное снижение прочности

Введение. Обычно машины работают при значительно пониженных напряжениях по сравнению с исходным пределом выносливости материала и могут выдержать неограниченное число циклов. Однако в силу объективных причин (ухабы на дорогах, порывы ветра и воздушные ямы, стыки и изгибы рельсов, волнения зеркала водной поверхности и т. п.) машины испытывают кратковременные перегрузки, вследствие чего возможно повреждение или разрушение конструк-

ции. Поэтому необходимо оценить остаточный ресурс характеристик сопротивления усталости. В инженерной практике для этого широко используют метод однократных перегрузок $\sigma_1 > \sigma_2$, позволяющий моделировать режим неблагоприятного нерегулярного нагружения. Здесь σ_1 — высокий уровень напряжения, на котором образцы испытывают перегрузки, σ_2 — уровни напряжения, при которых испытываются образцы после предварительной перегрузки на высоком уровне σ_1 . Однократные перегрузки на высоком уровне $\sigma_1 > \sigma_+$ до числа циклов n_1 снижают предел выносливости и остаточный ресурс долговечности конструкций. Здесь σ_+ — верхняя граница рассеяния первичных пределов выносливости.

Цель настоящей работы — применение математического моделирования однократных перегрузок при проведении расчетной оценки остаточного ресурса прочности машин.

Постановка задачи. В статье [1] приводилась расчетная оценка остаточного ресурса долговечности машин при однократных перегрузках по результатам статистических испытаний лабораторных образцов. В данной статье рассматривается использование математической модели однократных перегрузок, приведенной в работе [1], для расчетной оценки остаточного ресурса прочности машин.

Снижение предела выносливости от однократных перегрузок $\sigma_1 > \sigma_2$ характеризуют эмпирическими зависимостями типа

$$\Delta\sigma_w / \sigma_{w1} = f(n_1 / N_1, K_1), \quad (1)$$

где $\Delta\sigma_w = \sigma_{w2} - \sigma_{w1}$ — абсолютное снижение вторичного предела выносливости, определяемое разностью вторичного и первичного пределов выносливости; N_1 — число циклов работы до повреждения на уровне σ_1 при регулярном нагружении; $K_1 = \sigma_1 / \sigma_{w1}$ — коэффициент перегрузки.

Расчеты по уравнениям типа (1), предложенным Д. Ненгу [2], Д.Н. Решетовым [3] и Д.И. Гольцевым [4]:

$$\Delta\sigma_w / \sigma_{w1} = n_1 / N_1 \cdot (\sigma_1 / \sigma_{w1} - 1) \cdot 1 / (\sigma_1 / \sigma_{w1} - n_1 / N_1);$$

$$\Delta\sigma_w / \sigma_{w1} = n_1 / N_1 \cdot (\sigma_1 / \sigma_{w1} - 1) \cdot 1 / \left[\sigma_1 / \sigma_{w1} - (n_1 / N_1)^2 \right];$$

$$\Delta\sigma_w / \sigma_{w1} = 1 - \sigma_1 / \sigma_{w1} \cdot \sqrt[m]{(1 - n_1 / N_1) / \left[(\sigma_1 / \sigma_{w1})^m - n_1 / N_1 \right]},$$

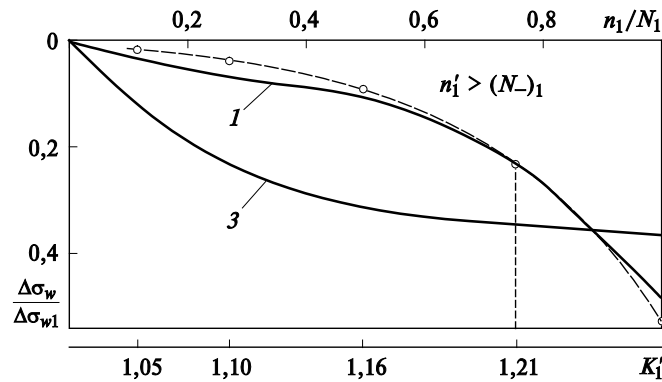
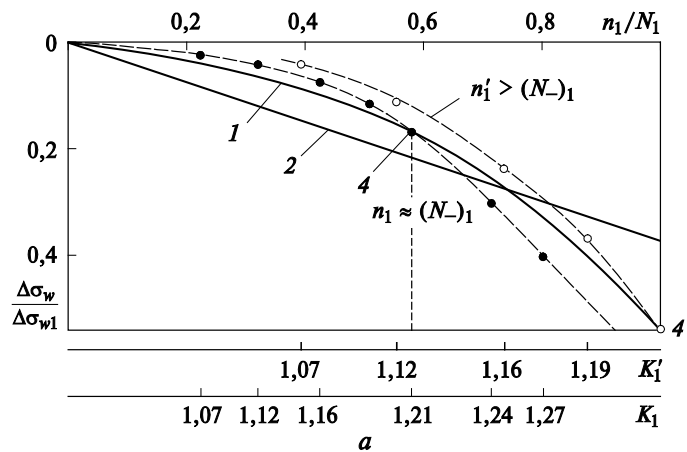
дают полное снижение вторичного предела выносливости: $\sigma_{w2} \rightarrow 0$ при $n_1 / N_1 \rightarrow 1$. Это не согласуется с рядом опытов, свидетельству-

ющих о существовании предельного снижения вторичных пределов выносливости до значений $\sigma_{w2} \geq (0,5...0,7)\sigma_{w1}$.

Предложенная в работе [5] формула

$$\Delta\sigma_w / \sigma_{w1} = K(K_1 - 1)n_1 / N_1 \quad (2)$$

позволяет несколько скорректировать вышеприведенные зависимости и описать предельное снижение вторичных пределов выносливости (прямая 2 на рисунке *a*). Здесь K — параметр, зависящий от типа стали. Но формула (2) при $n_1 / N_1 = 1$ и определенных значениях K_1 также дает значение $\sigma_{w2} = 0$ или теряет физический смысл ($\sigma_{w2} < 0$).



б

Зависимости относительного снижения пределов выносливости для образцов из стали 38ХНМА (*a*) и титанового сплава (*б*) при однократной смене амплитуд напряжений $\sigma_1 \geq \sigma_2$ и $n_1 \geq (N_-)_1$ (где $(N_-)_1$ — нижняя граница рассеивания долговечности образцов) по коэффициенту перегрузки K_1 :

1 — экспериментальные при $K_1 = 1,21 = \text{const}$; 2 и 3 — расчетные, полученные по формулам (2) и (3) соответственно

Для титановых сплавов предложена зависимость [6]

$$\Delta\sigma_w / \sigma_{w1} = 10 \cdot \sigma_{w1} / \sigma_T \cdot n_1 / N_1 \cdot (K_1 - 1) \cdot e^{-K_1(n_1/N_1)}, \quad (3)$$

где σ_T — предел текучести материала.

Формула (3) дает предельное снижение σ_{w2} , отличное от нуля, но определяет аномальный характер асимптотической кривой (кривая 3 на рисунке б), не соответствующий многочисленным опытным данным и математическим моделям повреждения.

Методические особенности и результаты работы. Обычно закономерности типа (1) определяют по первичным и вторичным кривым усталости, близким к медианным (вероятность $P \approx 0,5$), без четкого разделения процесса усталости на две стадии даже при испытаниях образцов с надрезами [7]. В работе [8] было дано теоретическое обоснование совпадения по форме вторичных кривых усталости с первичными до малых вероятностей ($P \geq 0,05$), получившее экспериментальное подтверждение в работах [9, 10].

Поскольку зависимости типа (1) получаются сравнением вторичных кривых усталости с первичными, запишем их математические аналоги:

$$(\sigma_1 - \sigma_{\infty w1})^m N_1 = C; \quad (4)$$

$$(\sigma_1 - \sigma_{\infty w2})^m (N_1 - n_1) = C. \quad (5)$$

В уравнениях (4) и (5), описывающих соответственно первичную и вторичную кривые усталости, приняты следующие обозначения: σ_1 — высокий уровень напряжения ($\sigma_{\infty w1} < \sigma_1 < \sigma_m$); $\sigma_{\infty w1}$ — значение предела выносливости на бесконечности при стационарном нагружении; m — показатель степени; C — константа материала; $\sigma_{\infty w2}$ — значение вторичного предела выносливости на бесконечности после n_1 циклов работы на уровне σ_1 .

Совместное решение уравнений (4) и (5) дает следующее выражение для оценки снижения вторичных пределов выносливости:

$$\Delta\sigma_w / \sigma_{\infty w1} = \left(\sigma_1 / \sigma_{\infty w1} - \sigma_{\infty w2} / \sigma_{\infty w1} \right) \left[(1 - n_1 / N_1)^{1/m} - 1 \right]. \quad (6)$$

При полном исчерпании долговечности ($n_1 / N_1 = 1$) вторичный предел выносливости принимает свое предельное значение $\sigma_{\infty w2} = \sigma_0$

при любых значениях σ_1 вплоть до σ_{w1}^{∞} . Поэтому уравнение (6) для случая предельного снижения вторичных пределов выносливости примет вид

$$\left(\Delta\sigma_w / \sigma_{w1}^{\infty} \right)_{\lim} = \left(1 - \sigma_0 / \sigma_{w1}^{\infty} \right) \left[\left(1 - n_1 / N_1 \right)^{1/m} - 1 \right],$$

или

$$\left(\Delta\sigma_w / \sigma_{w1}^{\infty} \right)_{\lim} = \sigma_0 / \sigma_{w1}^{\infty} - 1, \quad (7)$$

где σ_0 — напряжение начала текучести поверхностного слоя или старта дислокаций [8].

При рассмотрении этой задачи в вероятностном аспекте предполагается, что величинам $N_1(P)$ и $N_2(P)$ отвечает вполне определенная «кривая усталости» с $P = \text{const}$ и пределом выносливости $\sigma_w^{\infty}(P)$.

Случайные реализации подобных кривых усталости с параметром P , изменяющимся от 0 до 1, заполняют область рассеяния. При этом уравнения (4)–(7) примут вид:

$$\left[\sigma_1 - \sigma_{w1}^{\infty}(P) \right]^m N_1(P) = C;$$

$$\left[\sigma_1 - \sigma_{w2}^{\infty}(P) \right]^m [N_1(P) - n_1] = C;$$

$$\begin{aligned} \Delta\sigma_w(P) / \sigma_{w1}^{\infty}(P) &= \left[\sigma_1 / \sigma_{w1}^{\infty}(P) - \sigma_{w2}^{\infty}(P) / \sigma_{w1}^{\infty}(P) \right] \times \\ &\times \left\{ \left[1 - n_1 / N_1(P) \right]^{1/m} - 1 \right\}; \end{aligned} \quad (8)$$

$$\left[\Delta\sigma_w(P) / \sigma_{w1}^{\infty}(P) \right]_{\lim} = \sigma_0(P) / \sigma_{w1}^{\infty}(P) - 1. \quad (9)$$

Соответствие полученных расчетных зависимостей опытным данным проверялось на примере двух контрастных материалов: довольно однородной по структуре стали 38ХНМА и крайне неоднородного титанового сплава [11, 12]. Результаты указанной проверки представлены на рисунке. Опишем методику проверки по работам [9, 10].

Пересечение распределений $P(N_1 | \sigma_1)$, $P(\sigma_{w1})$, $P(\sigma_{w2})$ горизонталью $P = \text{const}$ дает три числа, которые вместе со значениями σ_1 и n_1 обеспечивают получение одной точки функциональной зависимости (8) для заданного параметра P . Изменяя положения секущей горизонтали $P = \text{const}$, получим непрерывный ряд значений статистик, определяющих непрерывное множество точек (8). Кривая, проходящая через это множество точек, представляет функциональную зависимость (8) с непрерывно изменяющимся коэффициентом перегрузки $K_1(P)$.

Для получения детерминистской зависимости (8) при $P = \text{const}$ необходимо изменять n_1 . С этой целью рассматривались два варианта испытаний образцов из стали: $n_1 \approx (N_-)_1$ и $n'_1 > (N_-)_1$. Соответствующие зависимости (8) с постоянно изменяющимся коэффициентом перегрузки показаны на рисунке *a* штриховыми линиями: $K_1 \neq \text{const}$ при n_1 и $K'_1 \neq \text{const}$ при n'_1 .

Линия, проведенная через точки $K_1 = K'_1 = \text{const}$ кривых n_1 и n'_1 (на рисунке *a* линия *l*, проходящая через точки 4 и 4' с $K_1 = K'_1 = 1,21$), есть квазидетерминистская зависимость с $K_1 = \text{const}$. Можно получить множество таких детерминистских зависимостей с различными значениями коэффициента $K_1 = \text{const}$, в том числе и для титанового сплава (см. рисунок *б*). (Чтобы не заслонить основной результат работы, на рисунке приводится только по одной кривой.) Эти зависимости при $n_1 / N_1 = 1$ фиксируют предельное снижение прочности, вычисленное по формуле (9). Получены численные значения указанного снижения прочности при различной длительности нагружения $n_1 \geq (N_-)_1$.

Наибольшее предельное снижение прочности имеет место при нагружении до нижней границы рассеяния $n_1 \approx (N_-)_1$, что соответствует и максимальному значению коэффициента перегрузки K_1 . Однако в связи с условностью распределения $P(\sigma_0)$ [8–10] полученные оценки предельного снижения прочности также являются условными (за исключением точки 4' (см. рисунок *a*), полученной экспериментально).

Исследование распределения $P(\sigma_0)$ имело принципиальное научное и практическое значение и было рассмотрено в работе [13]. Это исследование позволило несколько скорректировать и уточнить ход кривых при $K_1 = \text{const}$. Расположение таких кривых достаточно плотное, и положение каждой последующей линии предопределяется

положением предыдущей. Это исключает получение значительных ошибок при оценке снижения прочности.

Автором также была выполнена проверка и установлена возможность описания предложенными зависимостями снижения вторичных пределов выносливости довольно однородной по структуре стали 45 и крайне неоднородной стали 20ГСЛ с мелкими литейными дефектами различных размеров на фоне основного металла [14] (здесь эти результаты не приводятся).

Заключение. Подытоживая результаты работы, отметим, что предложенные расчетные зависимости позволяют учесть нелинейные закономерности накопления повреждений, удовлетворительно описывают экспериментально полученные данные, свободны от недостатков, характерных для применяемых в настоящее время формул, и могут быть рекомендованы для внедрения в практику инженерных расчетов при оценке остаточного ресурса прочности машин.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Киштыков Х.Б. Математическая модель однократных перегрузок и расчетная оценка остаточного ресурса долговечности машин. *Наука, техника и технология нового века (НТТ-2003). Материалы Всерос. научно-технич. конф.* Нальчик, Каб.-Балк. гос. ун-т, 2003, с. 215–222.
- [2] Henry D.L. A theory of fatigue damage accumulation in steel. *Transactions of the ASME*, 1955, vol. 77, no. 6, pp. 101–113.
- [3] Серенсен С.В., ред. *Справочник машиностроителя. Т. 3.* Москва, Машгиз, 1962, 654 с.
- [4] Гольцев Д.И. Приближенная оценка предела выносливости конструкционных материалов. *Вопросы динамики и динамической прочности. Сб. ст.* Рига, Изд-во АН Латв. ССР, 1955, с. 65–73.
- [5] Когаев В.П. *Расчеты на прочность при напряжениях, переменных во времени.* Москва, Машиностроение, 1977, 232 с.
- [6] Всеволодов Г.Н., Курнаева Н.Н., Лошакова Н.И. Влияние однократной перегрузки на усталостную прочность. *Прочность судовых конструкций. Тр. Ленинградского кораблестроительного института.* Ленинград, 1975, вып. 100, с. 23–27.
- [7] Ральцевич Н.В. Влияние циклических перегрузок на усталостную прочность двух марок стали и сплава титана. *Строительная механика; сварка; прочность конструкций и материалов; технология. Сб. тр.* Изд-во МВССО СССР, Ленинград, 1971, с. 113–121.
- [8] Вагапов Р.Д. Статистическая конкретизация детерминистской модели повреждения на первой стадии усталости. *Динамика и прочность упругих и гидроупругих систем.* Москва, Наука, 1975, с. 121–136.
- [9] Вагапов Р.Д., Киштыков Х.Б., Шадрин В.П. Вторичные области рассеивания и распределения пределов усталости при однократной смене амплитуд напряжений. *Динамика и прочность упругих и гидроупругих систем.* Москва, Наука, 1975, с. 136–143.

- [10] Киштыков Х.Б. Расчетно-графический метод построения вторичных областей рассеивания и вторичных распределений пределов выносливости и планирования статистического эксперимента при однократных перегрузках. *Вестник КБГУ. Сер. Технические науки*. Нальчик, 1994, вып. 1, с. 67–73.
- [11] Киштыков Х.Б. Вероятностно-детерминистская оценка сопротивления усталости крупногабаритных объектов техники из титанового сплава. *Качество. Инновации. Образование*, 2015, № 7, с. 40–46.
- [12] Киштыков Х.Б. Экспериментальное обоснование двухкомпонентной статистической модели крупногабаритной поковки из титанового сплава. *Качество и жизнь*, 2017, № 1, с. 63–67.
- [13] Киштыков Х.Б. Методика оценки вероятностного порога совпадения по форме вторичных кривых усталости с первичными и распределения минимального повреждающего напряжения. *Известия Кабардино-Балкарского государственного университета*, 2013, т. III, № 3, с. 53–59.
- [14] Вагапов Р.Д., Шадрин В.П. Экспериментальное обоснование двухкомпонентной статистической модели литого тела. *Механика*. Куйбышев, Политехн. ин-т, 1974, с. 76–81.

Статья поступила в редакцию 18.11.2019

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Киштыков Х.Б. Расчетная оценка остаточного ресурса прочности машин. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2019, вып. 11.
<http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2019-11-1932>

Киштыков Хасим Батгалович — канд. техн. наук, доцент кафедры «Технология и оборудование автоматизированного производства» Кабардино-Балкарского государственного университета им. Х.М. Бербекова. Область научных интересов: развитие вероятностно-детерминистской механики усталостного повреждения и разрушения твердого тела, разработка конструкций и исследование методов повышения надежности машин и аппаратов пищевых производств.
e-mail: h.kishtykov@kbsu.ru

Estimation of the residual strength resource of machines

© Kh.B. Kishtykov

Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov,
Nalchik, 360004, Russia

For objective reasons, machines experience short-term overload, which can lead to damage or destruction of the structure. Under these conditions, it is important to estimate the residual resource of machine fatigue characteristics. For this purpose in engineering practice the method of single overloads (from a high level to low) is widely used. The method allows simulating a mode of adverse irregular loading. Single overload at a level exceeding the initial endurance limit for a certain number of cycles reduces the endurance limit and the residual resource of the structure durability. The empirical dependences proposed in the literature for estimating the relative decrease in endurance limits from the overload coefficient and the cyclic ratio give a complete decrease in the secondary endurance limit at a cyclic ratio equal to one. This is inconsistent with experimental results indicating the existence of a marginal reduction in secondary endurance limits. The formula allowing to correct slightly these dependences and to describe marginal decrease of secondary endurance limits, also under some conditions gives full decrease of secondary endurance limits or loses physical sense. Although the dependence proposed for titanium alloys gives a marginal reduction in the secondary endurance limits other than zero, it determines the anomalous nature of the asymptotic curve which does not correspond to numerous experimental data and mathematical models of damage. Earlier, the author has developed a mathematical model of single overloads and on its basis he has performed an estimation of the residual resource of machine durability based on the results of statistical tests of laboratory samples. In this paper, this model is used to estimate the residual structural strength of machines. The calculated dependences are proposed that satisfactorily describe the experiment and are free from the above shortcomings. These relations can be recommended for implementation in the practice of engineering calculations.

Keywords: single overload, mathematical model, residual structural strength, marginal strength reduction

REFERENCES

- [1] Kishtykov Kh.B. Matematicheskaya model odnokratnykh peregruzok i raschetnaya otsenka ostatochnogo resursa dolgovechnosti mashin [Mathematical model of single-stage overloads and calculation of residual lifetime of machines]. *Materialy Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii "Nauka, tekhnika i tekhnologiya novogo veka (NTT-2003)* [Proceedings of the All-Russian scientific and technical conference "Science, engineering and technology of new century" (SET-2003)]. Nalchik, Kabardino-Balkarskiy Gosudarstvennyy Universitet Publ., 2003, pp. 215–222.
- [2] Henry D.L. *Transactions of the ASME*, 1955, vol. 77, no. 6, pp. 101–113.
- [3] Serensen S.V., red. *Spravochnik mashinostroitelya* [Handbook of a mechanical engineer.]. In 6 vols. Vol. 3. Moscow, Mashgiz Publ., 1962, 651 p.
- [4] Goltsev D.I. Priblizhennaya otsenka predela vynoslovosti konstruktsionnykh materialov [An approximate assessment of the endurance limit of structural materials]. In: *Voprosy dinamiki i dinamicheskoy prochnosti. Sbornik trudov*

- [Issues of dynamics and dynamic strength. Collection of research papers]. Riga, Academy of Sciences of the Latvian SSR Publ., 1955, pp. 65–73.
- [5] Kogaev V.P. *Raschety na prochnost pri napryazheniyakh, peremennykh vo vremeni* [Strength calculations at time-variable stresses]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1977, 232 p.
- [6] Vsevolodov G.N., Kurnaeva N.N., Loshakova N.I. Vliyanie odnokratnoy peregruzki na ustalostnuyu prochnost [Effect of single overload on fatigue strength]. *Trudy Leningradskogo korablestroitel'nogo instituta. Vypusk 100. Prochnost sudovykh konstruksiy* [Proceedings of the Leningrad Shipbuilding Institute. No. 100. Strength of ship structures]. Leningrad, 1975.
- [7] Raltsevich N.V. Vliyanie tsiklicheskikh peregruzok na ustalostnuyu prochnost dvukh marok stali i splava titana [The effect of cyclic overloads on the fatigue strength of two grades of steel and titanium alloy]. *Trudy Leningradskogo korablestroitel'nogo instituta. Vypusk 75 Stroitel'naya mekhanika, svarka, prochnost konstruksiy i materialov, tekhnologiya* [Proceedings of the Leningrad Shipbuilding Institute. No. 75. Structural mechanics, welding, strength of structures and materials, technology]. Leningrad, MVSSO SSSR Publ., 1971, pp. 113–121.
- [8] Vagapov R.D. Statisticheskaya konkretizatsiya deterministskoy modeli povrezhdeniya na pervoy stadii ustalosti [Statistical concretization of the deterministic model of damage at the first stage of fatigue]. In: *Dinamika i prochnost uprugikh i gidrouprugikh system* [Dynamics and strength of elastic and hydroelastic systems]. Moscow, Nauka Publ., 1975, pp. 121–136.
- [9] Vagapov R.D., Kishtykov Kh.B., Shadrin V.P. Vtorichnye oblasti rasseivaniya i raspredeleniya predelov ustalosti pri odnokratnoy smene amplitudy napryazheniy [Secondary areas of dispersion and distribution of fatigue limits with a single change in stress amplitudes]. In: *Dinamika i prochnost uprugikh i gidrouprugikh system* [Dynamics and strength of elastic and hydroelastic systems]. Moscow, Nauka Publ., 1975, pp. 136–143.
- [10] Kishtykov Kh.B. *Vestnik Kabardino-Balkarskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Seriya: Tekhnicheskie nauki (Bulletin of Kabardino-Balkarian State University. Series: Engineering Sciences)*, 1994, no. 1, pp. 67–73.
- [11] Kishtykov Kh.B. *Kachestvo. Innovatsii. Obrazovanie — Quality. Innovations. Education*, 2015, no. 7, pp. 40–46.
- [12] Kishtykov Kh.B. *Kachestvo i zhizn — Quality and Life*, 2017, no. 1, pp. 63–67.
- [13] Kishtykov Kh.B. *Izvestiya Kabardino-Balkarskogo Gosudarstvennogo Universiteta — News of Kabardino-Balkarian State University*, 2013, vol. III, no. 3, pp. 53–59.
- [14] Vagapov R.D., Shadrin V.P. Eksperimentalnoe obosnovanie dvukhkompontnoy ststisticheskoy modeli litogo tela [Experimental substantiation of two-component statistical model of cast body]. In: *Mekhanika* [Mechanics]. Kuybyshev, Kuybyshev Polytechnic Institute Publ., 1974, pp. 76–81.

Kishtykov Kh.B., Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Department of Technology and Equipment of Automated Production, Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov. The field of activity is the teaching the discipline “Technological equipment of food production”. Scientific interests: development of probabilistic-deterministic mechanics of fatigue damage and destruction of a solid body, design development and research of methods of increasing reliability of machines and apparatuses of food production. e-mail: h.kishtykov@kbsu.ru