

ТРИБОФАТИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ ЛАКОКРАСОЧНОГО ПОКРЫТИЯ

А.А. Алиев

a.aliyev@naa.edu.az

Национальная академия авиации, г. Баку, Азербайджан

Аннотация

Рассмотрена проблема определения долговечности тонких полимерных пленок (покрытий) на подложке. Разработана методика определения долговечности лакокрасочного покрытия с помощью трибофатических (износоусталостных) испытаний по схеме нагружения шар–полуплоскость, как эквивалентной по напряженно-деформированному состоянию замены комбинированной схемы изгиб–растяжение. С учетом отсутствия у полимеров предела выносливости предложено использовать эмпирическую зависимость типа $\sigma_{RN} = f(\sigma_b, N)$ для описания усталостных кривых полимерных пленок взамен существующих уравнений типа $\varepsilon = f(\sigma_{-1}, N)$. На примере полиэфируретанового лакокрасочного покрытия толщиной 50 мкм экспериментально определены его характеристики долговечности при частоте $\nu = 4$ Гц и диапазоне нормальных нагрузок 1...50 Н. Предложены регрессионные зависимости эквивалентного напряжения от числа циклов нагружения, позволяющие прогнозировать ограниченную выносливость полиэфируретанового лакокрасочного покрытия

Ключевые слова

Лакокрасочное покрытие, усталость, ограниченный предел выносливости, тонкая пленка, трибофатические испытания, напряженно-деформированное состояние, изгиб, растяжение, долговечность, усталость, полиэфируретановый лак

Поступила в редакцию 05.04.2017
© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018

Введение. Защитные лакокрасочные покрытия (ЛКП) машин и агрегатов в процессе их эксплуатации претерпевают периодическое воздействие растягивающих и изгибающих нагрузок, вызывающих усталостные микроразрывы и отслоение пленки. Поэтому при выборе лакокрасочных материалов помимо статических характеристик в тонкопленочном состоянии [1] возникает необходимость определения и усталостной прочности покрытий на их основе.

Стандартизированная методика определения долговечности тонких полимерных пленок пока отсутствует [2], но поскольку любая нагрузка при достаточно большом числе циклов нагружения может привести к усталостному разрушению полимеров, прогнозирование долговечности ЛКП сводится к определению предела ограниченной выносливости σ_{RN} при некотором числе циклов N [3–5].

В работах [6–8] для симметричного цикла нагружения при изгибе предложена следующая зависимость долговечности ЛКП (подложка–плоские образцы из сплава Д16):

$$\sigma = \sigma_0 [1 - \exp(-\alpha / \varepsilon - N_0 / N)], \quad (1)$$

где σ_0 — прочность покрытия при $N = 0$ (по физическому смыслу соответствует σ_b); ε — степень деформации покрытия; α — константа, характеризующая материал покрытия; N_0 — константа, характеризующая скорость падения прочности; N — число циклов нагружения.

В случае малоциклового ($N < 10^4$ циклов) нагружения процесс описывают уравнением Коффина — Мэнсона, выражающим зависимость амплитуды деформации от числа циклов до разрушения $\varepsilon_a = f(N)$, так как напряжения находятся в зоне текучести и поэтому практически не изменяются [9]:

$$\varepsilon_a = \ln \frac{1}{1 - \psi_b} N^{-m} + \frac{\sigma_{-1}}{E}, \quad (2)$$

где ε_a — амплитуда деформации; ψ_b — относительное сужение, соответствующее достижению предела прочности σ_b ; m — показатель степени, зависящий от отношения $\sigma_{0,2} / \sigma_b$ ($m = 0,1 \dots 0,85$); σ_{-1} — предел выносливости; E — модуль Юнга.

Однако для решения прочностных задач зачастую необходим простой оценочный расчет по определению числа циклов N , выдерживаемых материалом при заданной эксплуатационной нагрузке. Этой цели удовлетворяют уравнения усталостных кривых типа $\sigma = f(N)$, полученные эмпирическим путем. Кроме того, в уравнение Коффина — Мэнсона и аналогичные ему (уравнение Лэнджера — Гросса, Стоуэлла, Конвея и др.) входит параметр σ_{-1} , который у полимерных материалов фактически отсутствует.

Одной из разновидностей усталостных испытаний системы подложка — ЛКП является трибофатические (износоусталостные) испытания металлополимерных сопряжений, где на упругое полимерное покрытие через стальной шарик-индентор радиусом R прилагается вертикальная нагрузка F_N , создающая в пленке двухосное напряженное состояние (рис. 1). Шарик, возвратно-поступательно перемещаясь по поверхности ЛКП с частотой ν , вызывает перед собой симметрично-циклические волны деформации (троппи).

Схожесть кинетики процесса трибофатических испытаний (двухосное напряженное состояние) с комбинированными испытаниями изгиб + растяжение [10, 11] позволяет ставить задачу перехода от испытаний полимеров к аналогичному режиму трибофатического нагружения [12, 13].

Как правило, для получения достоверных результатов усталостные испытания проводят на десятках одинаковых образцов. Важным преимуществом трибофатической схемы является возможность многократного повторения испы-

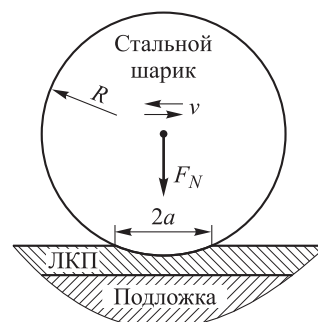


Рис. 1. Упрощенная схема трибофатического нагружения

таний на разных участках одного и того же плоского образца с покрытием при относительно малых амплитудах перемещения индентора (шарика).

Максимальные нормальные напряжения в центре мгновенного пятна контакта [14]

$$\sigma = \frac{3}{2} \frac{F_N}{\pi a^2}, \tag{3}$$

здесь F_N — вертикальная нагрузка;

$$a = \left(\frac{3}{2} \frac{F_N R}{E^*} \right)^{\frac{1}{3}} \tag{4}$$

— радиус области контакта, где R — радиус шарика, E^* — приведенный модуль упругости первого рода,

$$\frac{1}{E^*} = \frac{1}{2} \left(\frac{1-\mu_1^2}{E_1} + \frac{1-\mu_2^2}{E_2} \right), \tag{5}$$

E_1 и E_2 — модули Юнга; μ_1 и μ_2 — коэффициенты Пуассона стального шарика и поверхности (слоя ЛКП).

Максимальные касательные напряжения в зоне контакта

$$\tau_{\max} \approx \sigma/3. \tag{6}$$

Уравнение (1) отражает кинетику усталостного повреждения при двухосном напряженном состоянии, поэтому необходимо его привести к эквивалентному по усталостной повреждаемости одноосному напряженному состоянию [15, 16]:

$$\sigma_{\text{экр}} = 2\tau_{\max} \approx 2\sigma/3. \tag{7}$$

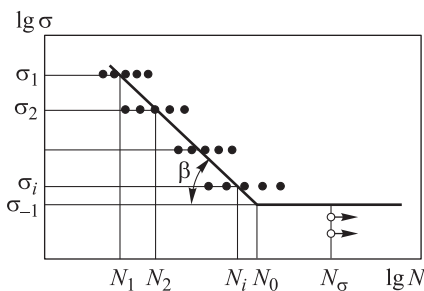


Рис. 2. Кривая усталости и ее характеристики, используемые при расчете деталей [9]

Другим основным параметром является угол наклона β ($m = \text{ctg } \beta$), определяемый графически по кривой усталости в логарифмических координатах (рис. 2) [9].

Параметр, характеризующий угол наклона кривых усталости, определяют по формуле

$$m = \text{ctg } \beta = \frac{\lg N_1 - \lg N_2}{\lg \sigma_2 - \lg \sigma_1}. \tag{8}$$

$\sigma_{RN} = f(N)$ с помощью трибофатических испытаний для дальнейшего использования полученной регрессионной зависимости в расчетах на усталость.

Материалы и методы. В качестве исследуемого ЛКП был выбран антикоррозионный двухкомпонентный полиэфируретановый (ПЭУ) лак, разработанный

Целью настоящей работы является экспериментальное определение и прогнозирование ограниченной выносливости ЛКП

ный Национальной академией авиации (г. Баку, Азербайджан) [17, 18]. Лак готовили в следующей последовательности: к 100 масс. ч. компонента *A* добавляли 20 масс. ч. компонента *B* и перемешивали в течение 2...3 мин. Нанесение композиции на образец (пластина Д16 размером 40×100×1 мм) проводилось при комнатной температуре кистью в один слой, время полного отверждения 12 ч. Некоторые механические свойства ПЭУ лака [19, 20]: модуль Юнга $E_2 = 30$ МПа; предел прочности $\sigma_b = 8,16$ МПа; коэффициент Пуассона $\mu_2 = 0,35$; толщина покрытия $h_0 \approx 50$ мкм.

Для расчета задавали следующие параметры шарика: диаметр 9,5 мм, модуль Юнга стали $E_1 = 220\,000$ МПа, коэффициент Пуассона $\mu_1 = 0,27$.

Отсюда приведенный модуль упругости первого рода равен

$$\frac{1}{E^*} = \frac{1}{2} \left(\frac{1-\mu_1^2}{E_1} + \frac{1-\mu_2^2}{E_2} \right) = \frac{1}{2} \left(\frac{1-0,27^2}{220\,000} + \frac{1-0,35^2}{30} \right) \approx 0,0147 \geq E^* = 68 \text{ МПа.}$$

Испытания велись на трибомашине UMT-2 TriboLab (BRUKER, США) в условиях возвратно-поступательного движения.

Поскольку продукты разрушения поверхностных слоев перетираются и накапливаются на площадках фактического контакта, это приводит к усилению их абразивного действия и многократному увеличению напряжений в нижележащих слоях пленки [21–23]. В этой связи при испытаниях целесообразно фиксировать начальное значение нормальной нагрузки F_N и динамику ее изменения, пошагово повышая начальную нагрузку в каждом новом испытании. Начальные нагрузки составляли $F_N = 1; 5; 10; 20$ и 50 Н при постоянной частоте перемещения образца $\nu = 4$ Гц. Выбранная частота обеспечивает форсированные испытания при приемлемой амплитуде перемещения шарика (в пределах нескольких миллиметров для более полного использования поверхности образца). На образце выбирались 10 участков 5×5 мм для проведения испытаний.

В процессе непрерывно фиксировались время t , износ w , фактическая нагрузка F_N в зоне контакта. За критерий разрушения принимали число циклов N до полного истирания слоя покрытия вплоть до подложки в зоне контакта ($w = h_0$).

Число циклов рассчитывали по формуле $N = tv$. После истирания покрытия на испытуемом участке шарик перемещали на следующий участок для повторных испытаний. Полученные экспериментальные значения использовали для расчета напряженного состояния в зоне контакта для построения графической зависимости поцикловое изменения $\sigma = f(N)$.

Результаты исследований и их обсуждение. Результаты трибофатических испытаний $\sigma = f(N)$ до полного разрушения ЛКП в зоне контакта приведены на рис. 3.

Обобщение полученных экспериментальных данных определения долговечности и вывод на их основе расчетных зависимостей можно выразить уравнением типа

$$\sigma_{RN} = \sigma_B - A \ln N, \quad (9)$$

откуда

$$N = \exp((\sigma_B - \sigma_{RN}) / A), \quad (10)$$

где A — экспериментальная константа материала, характеризующая скорость падения выносливости.

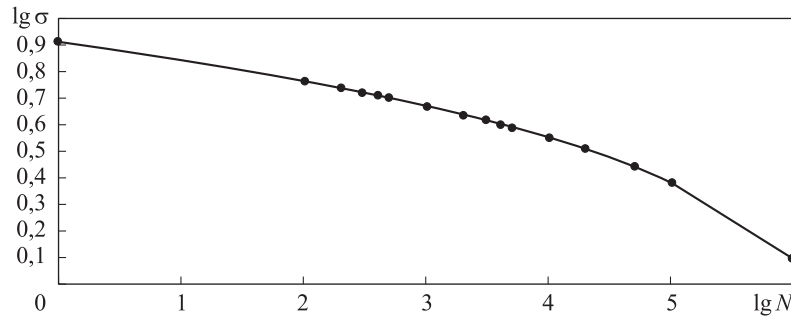


Рис. 3. Графическая зависимость ограниченной выносливости ПЭУ пленки от числа циклов в логарифмических координатах

В нашем случае выражения (9) и (10) (при коэффициенте корреляции $r^2 = 0,994$) примут вид

$$\sigma_{RN} = 8,16 - 0,5 \ln N; \quad N = \exp((8,16 - \sigma_{RN}) / 0,5).$$

Параметр, характеризующий угол наклона кривой усталости,

$$m = \operatorname{ctg} \beta = \frac{\lg N_1 - \lg N_2}{\lg \sigma_2 - \lg \sigma_1} = \frac{\lg 1000 - \lg 2000}{\lg 4,36 - \lg 4,71} = 9,06.$$

Выводы. 1. Циклические напряжения от эксплуатационных нагрузок вызывают преждевременное усталостное разрушение ЛКП, что требует проведения расчета на долговечность. Регламентированные нормативы по определению сопротивления усталости ЛКП отсутствуют.

2. Для построения кривой усталости предложено проведение трибофатических испытаний ЛКП при нагружении типа шар-полуплоскость, сочетающих касательные и нормальные напряжения с последующим расчетом эквивалентного по повреждаемости напряжения.

3. Существующие уравнения малоцикловых усталостных кривых содержат в себе предел выносливости σ_{-1} , который у полимерных материалов фактически отсутствует. Для простого оценочного прогнозирования долговечности ЛКП результаты испытаний предложено представлять в виде зависимости предела ограниченной выносливости σ_{RN} от некоторого числа циклов N .

4. Экспериментально определены характеристики долговечности ПЭУ ЛКП толщиной 50 мкм при частоте $\nu = 4$ Гц и диапазоне нормальных нагрузок 1; 5; 10; 20 и 50 Н.

5. На основе полученных данных предложены регрессионные зависимости эквивалентного напряжения от числа циклов нагружения, позволяющие прогнозировать ограниченную выносливость ПЭУ ЛКП: $\sigma_{RN} = 8,16 - 0,5 \ln N$, а также определен параметр наклона кривой $m = 9,06$.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 14236–81. Пленки полимерные. Метод испытания на растяжение. М.: Издательство стандартов, 1989. 10 с.
2. Koleske J.V. Paints and coating testing manual. ASTM, 1995. 689 p.
3. Айнбиндер С.Б., Тюнина Э.Л., Цируле К.И. Свойства полимеров в различных напряженных состояниях. М.: Химия, 1981. 231 с.
4. Бабаевский П.К., Кулик С.Г. Трещиностойкость отвержденных полимерных композиций. М.: Химия, 1991. 336 с.
5. Ярцев В.П. Прогнозирование работоспособности полимерных материалов в деталях и конструкциях зданий и сооружений. Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2001. 101 с.
6. Воронин И.В., Кондрашов Э.К. Влияние циклических разрушений на свойства полимерных покрытий // ЛКМ. 1980. № 5. С. 26–27.
7. Воронин И.В., Кондрашов Э.К. Долговечность адгезионных связей полимерных покрытий // Лакокрасочные материалы и их применение. 1991. № 1. С. 25–26.
8. Воронин И.В., Кондрашов Э.К. Влияние циклического изгиба на свойства полимерных покрытий // Механика композиционных материалов и конструкций. 1980. № 2. С. 353–355.
9. Нагорный В.М. Техническая диагностика машин. Сумы: Изд-во СумГУ, 2006. С. 167–168.
10. Тушинский Л.И., Плохов А.В. Исследование структуры и физико-механических свойств покрытий. М.: Наука, 1986. С. 42.
11. ГОСТ 30638–99. Трибофатика. Термины и определения. Минск: Межгосударственный Совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1999. 22 с.
12. Бартнев Г.М., Лаврентьев В.В. Трение и износ полимеров. Л.: Химия, 1972. С. 31.
13. Петрова И.М., Москвитин Г.В., Гриб В.В. Влияние износа на накопление усталостных повреждений // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2006. Т. 72. № 11. С. 49–52.
14. Джонсон К. Механика контактного взаимодействия / пер. с англ. М.: Мир, 1989. 510 с.
15. Огар П.М., Дейнеко А.А., Шур Д.Д. Контакт жесткой сферической неровности с упруго-пластическим полупространством // Системы. Методы. Технологии. 2009. № 4. С. 17–19.
16. Селиванов К.С. Оценка прочности материала поверхности при его испытании методом «скретч-тест» // Вестник УГАТУ. 2015. Т. 19. № 1 (67). С. 100–106.
17. Уплотнительный компаунд. Патент AR I 2006 0022. 14.04.2006. А.М. Пашаев, А.Ш. Мехтиев, Т.И. Низамов и др.
18. Исследование возможности применения полиэфируретанового компаунда для защиты материалов деталей авиационной техники / С.А. Каримова, Л.И. Авдюшкина, Е.А. Ефимова, Т.И. Низамов, А.А. Алиев // Труды ВИАМ. 2015. № 4.
DOI: 10.18577/2307-6046-2015-0-4-10-10 URL: http://viam-works.ru/ru/articles?art_id=805
19. Пашаев А.М., Джанахмедов А.Х., Алиев А.А. Определение долговечности лакокрасочных покрытий с использованием трибофатических испытаний // Вестник Азербайджанской Инженерной Академии. 2017. Т. 9. С. 7–14.

20. Пашаев А.М., Ахундов З.С., Разумовский С.Д. Озоностойкое покрытие на полиэфируретановой основе // Лакокрасочные материалы и их применение. 2014. № 8. С. 43–45.
21. Махутов Н.А. Конструкционная прочность, ресурс и техногенная безопасность. В 2 ч. Ч. 1: Критерии прочности и ресурса. Новосибирск: Наука, 2005. 494 с.
22. Москвитин Г.В., ред. Методы упрочнения поверхностей деталей машин. М.: Красанд, 2008. С. 91.
23. Воронин Н.А. Механика контактного взаимодействия жесткой сферы с упруго-пластичным топокомпозитом // Materials Physics and Mechanics. 2015. Т. 22. № 1. С. 20–29.

Алиев Акпер Алиназар оглы — ведущий инженер-конструктор конструкторского бюро НИИ Национальной академии авиации (Азербайджан, AZ 1045, г. Баку, Мардакянский пр-т, д. 30).

Просьба сослаться на эту статью следующим образом:

Алиев А.А. Трибофатические испытания лакокрасочного покрытия // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. 2018. № 1. С. 92–100.
DOI: 10.18698/0236-3941-2018-1-92-100

TRIBO-FATIGUE TESTING OF PAINT COATING

A.A. Aliyev

a.aliyev@naa.edu.az

National Aviation Academy, Baku, Azerbaijan

Abstract

Protective paint coatings (PC) of machines and aggregates undergo periodic influence of tensile and bending loads causing fatigue cracks and film peeling during operation. Therefore there is a need to determine fatigue strength of coatings to choose proper paint materials. It is known that any load with a large number of loading cycles can lead to fatigue destruction of polymers, that is why for a simple PC lifetime prediction the problem can be reduced to determining the fatigue strength σ_{RN} as the value of stress by which a failure occurs after N cycles: $\sigma_{RN} = f(N)$. One of fatigue testing methods of the "substrate-coating" system is a tribo-fatigue testing of "metal-polymer" interfaces, where a vertical load is applied to the elastic polymer coating by indenter (steel ball), which causes a biaxial stress-strain state (SSS) in the film. Kinetics of the process of tribological testing (biaxial state) is similar to combined "stretch-bend" testing. To obtain reliable results, fatigue tests for bending are carried out on dozens of identical samples. An important advantage of the tribo-fatigue scheme is the possibility of repeated testing at different areas of the same coated sample at relatively small

Keywords

Paint coating, fatigue, fatigue strength, thin film, tribo-fatigue testing, stress-strain state, bending, stretching, durability, polyester-urethane

amplitudes of the indenter reciprocation. To obtain the " $\sigma_{RN} - N$ " function the complex SSS is converted into a fatigue damage equal uniaxial state. As a sample coating we used an anticorrosive two-component polyester-urethane lacquer (PUL) developed by National Aviation Academy (Baku, Azerbaijan). Generalization of the obtained experimental data on the PUL durability determination (with the correlation coefficient $r^2 = 0,994$) makes it possible to describe these data with equation $\sigma_{RN} = 8,16 - 0,5 \ln N$ or $N = \exp((8,16 - \sigma_{RN}) / 0,5)$, parameter of inclination angle of the fatigue curve is $m = 9,06$

Received 05.04.2017

© BMSTU, 2018

REFERENCES

- [1] GOST 14236–81. Plenki polimernye. Metod ispytaniya na rastyazhenie [State standard 14236–81. Polymer films. Tensile test method]. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1989. 10 p.
- [2] Koleske J.V. Paints and coating testing manual. ASTM, 1995. 689 p.
- [3] Aynbinder S.B., Tyunina E.L., Tsirule K.I. Svoystva polimerov v razlichnykh napryazhennykh sostoyaniyakh [Properties of polymers in different stress states]. Moscow, Khimiya Publ., 1981. 231 p.
- [4] Babaevskiy P.K., Kulik S.G. Treshchinostoykost' otverzhenykh polimernykh kompozitsiy [Crack resistance of hardened polymer composites]. Moscow, Khimiya Publ., 1991. 336 p.
- [5] Yartsev V.P. Prognozirovanie rabotosposobnosti polimernykh materialov v detalyakh i konstruktsiyakh zdaniy i sooruzheniy [Working ability forecasting of polymers in parts and structures of buildings and installations]. Tambov, TSTU Publ., 2001. 101 p.
- [6] Voronin I.V., Kondrashov E.K. Impact of periodic destruction on properties of polymer coatings. *LKM*, 1980, no. 5, pp. 26–27 (in Russ.).
- [7] Voronin I.V., Kondrashov E.K. Life duration of adhesion bond in polymer coatings. *Lakokrashochnye materialy i ikh primeneniye*, 1991, no. 1. pp. 25–26 (in Russ.).
- [8] Voronin I.V., Kondrashov E.K. Impact of cyclic bending on properties of polymer coatings. *Mekhanika kompozitsionnykh materialov i konstruktsiy*, 1980, no. 2, pp. 353–355 (in Russ.).
- [9] Nagornyy V.M. Tekhnicheskaya diagnostika mashin [Technical diagnostics of machines]. Sumy, SumGU Publ., 2006, pp. 167–168.
- [10] Tushinskiy L.I., Plokhov A.V. Issledovanie struktury i fiziko-mekhanicheskikh svoystv pokrytiy [Research on structure and physical-mechanical properties of coatings]. Moscow, Nauka Publ., 1986, p. 42.
- [11] GOST 30638–99. Tribofatika. Terminy i opredeleniya [State standard 30638–99. Tribo-fatigue. Terms and definitions]. Minsk, Interstate Council for Standardization, Metrology and Certification Publ., 1999. 22 p.
- [12] Bartenev G.M., Lavrent'ev V.V. Trenie i iznos polimerov [Friction and wearing of polymers]. Leningrad, Khimiya Publ., 1972, p. 31.
- [13] Petrova I.M., Moskvitin G.V., Grib V.V. Effect of wearing on accumulation of fatigue damages. *Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov* [Industrial Laboratory. Materials Diagnostics], 2006, vol. 72, no. 11. pp. 49–52 (in Russ.).

- [14] Johnson K.L. Contact mechanics. Cambridge University Press, 1985. 452 p.
- [15] Ogar P.M., Deyneko A.A., Shchur D.D. Contact of spherical asperity with elastoplastic half space. *Sistemy. Metody. Tekhnologii* [Systems. Methods. Technologies], 2009, no. 4, pp. 17–19 (in Russ.).
- [16] Selivanov K.S. Assessment of surface material strength on trials by scratch-test method. *Vestnik UGATU*, 2015, vol. 19, no. 1 (67), pp. 100–106 (in Russ.).
- [17] Uplotnitel'nyy kompaund [Sealing compound]. Patent AR I 2006 0022. 11.04.2006. A.M. Pashaev, A.Sh. Mekhtiev, T.I. Nizamov, et al.
- [18] Karimova S.A., Avdyushkina L.L., Efimova E.A., Nizamov T.I., Aliev A.A. Investigation of the potential application of polyester urethane compound to protect the materials of aviation hardware parts. *Trudy VIAM* [Proceedings of VIAM], 2015, no. 4 (in Russ.).
DOI: 10.18577/2307-6046-2015-0-4-10-10
Available at: http://viam-works.ru/ru/articles?art_id=805
- [19] Pashaev A.M., Dzhanakhmedov A.Kh., Aliev A.A. Life duration prediction of lacquer coatings using tribo-fatigue tests. *Vestnik Azerbaydzhanskoy Inzhenernoy Akademii* [Herald of the Azerbaijan Engineering Academy], 2017, vol. 9, pp. 7–14.
- [20] Pashaev A.M., Akhundov Z.S., Razumovskiy S.D. Ozone resistance polyester urethane protective coating. *Lakokrasochnyye materialy i ikh primeneniye* [Russian Coatings Journal], 2014, no. 8, pp. 43–45 (in Russ.).
- [21] Makhutov N.A. Konstruktsionnaya prochnost', resurs i tekhnogennaya bezopasnost'. V 2 ch. Ch. 1. Kriterii prochnosti i resursa [Structural strength, operational life and technogenic safety. In 2 p. P. 1. Strength and operational life criterion]. Novosibirsk, Nauka Publ., 2005. 494 p.
- [22] Moskvitin G.V., red. Metody uprochneniya poverkhnostey detaley mashin [Hardening method for machine parts surface]. Moscow, Krasand Publ., 2008, p. 91.
- [23] Voronin N.A. The mechanics of contact interaction of a rigid sphere with an elastic-plastic topocomposite. *Materials Physics and Mechanics*, 2015, vol. 22, no. 1, pp. 20–29 (in Russ.).

Aliyev A.A. — Leading Design Engineer, Design Bureau, Scientific Research Institute of National Aviation Academy (Mardakyanskiy prospekt 30, Baku, AZ 1045 Azerbaijan).

Please cite this article in English as:

Aliyev A.A. Tribo-Fatigue Testing of Paint Coating. *Vestn. Mosk. Gos. Tekh. Univ. im. N.E. Bauman, Mashinostr.* [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Mech. Eng.], 2018, no. 1, pp. 92–100 (in Russ.). DOI: 10.18698/0236-3941-2018-1-92-100