

КАЧЕСТВО ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ

12 декабря 2002 г., 15.00 – 18.00
17-й учебный корпус БНТУ
аудитория 512

Руководители секции:

Соломахо В.Л. – д.т.н., профессор

Кусакин Н.А. – к.т.н., доцент

Серенков П.С. – к.т.н., доцент

Секретарь: **Станкевич М.В.** – к.т.н., доцент

УДК 620.178.16; 620.178.3

В.Н Корешков¹⁾, Л.А. Сосновский²⁾

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ СТАНДАРТОВ ПО ТРИБОФАТИКЕ

¹⁾Государственный комитет по стандартизации, метрологии и сертификации

²⁾НПО Трибофатика, Гомель, Беларусь
Минск, Беларусь

Введение. Современное общество не может жить без стандартов, ибо стандарты наводят порядок там, где его не было; способствуют взаимопониманию в тех случаях, когда оно затруднено; требуют высокого качества продукции везде, где ее производят.

Вопросы стандартизации в любой области деятельности могут решаться либо "в начале пути", либо после того как наступит всеобщее признание и сформируется "сумма знаний". Стандартизация в начале пути в ряде случаев предпочтительнее - она позволяет избежать в будущем многих ненужных разночтений. Она с самого начала ориентирует на получение в разных организациях сопоставимых данных с тем, чтобы "собрать все, что есть у всех" и далее разрабатывать новые стандарты или совершенствовать существующие.

Первый стандарт по трибофатике создан "в начале пути" в Беларуси и посвящен терминологии (СТБ 994-95, разработчик – НПО "Трибофатика"); он введен в действие с июня месяца 1996 г. На его основе в 1999 г. был утвержден и с 1.01. 2000 г. введен в действие межгосударственный стандарт ГОСТ 30 638-99 "Трибофатика. Термины и определения" (разработчики – НПО "Трибофатика", Гомель; ИМАШ им. А.А. Благонравова РАН, Москва; Институт проблем прочности НАН Украины, Киев). Этот стандарт

переведен на китайский язык (переводчик – профессор Гао Ван-Чжэн) и представлен в ISO для возможного утверждения в качестве международного.

Развитие исследований по трибофатике [1-5] привело к тому, что стало ясно: в этой новой и бурно развивающейся области потребуются создать свою, особую систему стандартов [6-14]. И такая система формируется [15-19] по четырем направлениям: 1) терминология, 2) методы износоусталостных испытаний, 3) машины для износоусталостных испытаний, 4) силовые системы. Ниже дается краткий анализ состояния и перспектив разработки государственных стандартов по каждому из этих направлений.

1. Терминология. Стандарт "Трибофатика. Термины и определения" создан впервые в Республике Беларусь, поскольку здесь разработаны методологические и теоретические основы трибофатики [1-5]. Все термины записаны на трех языках - белорусском, русском и английском. А их определения даются на двух языках - белорусском и русском. Алфавитные указатели позволяют легко находить термин на любом из трех языков. В государственном стандарте все термины записаны на трех языках – русском, английском, немецком.

Основные принципы, которыми руководствовались разработчики стандарта, таковы:



Рисунок 1. Трибофатика как область деятельности

(1) Как писал Планк, наука находит понятия, с которыми она работает, не готовыми, она впервые их искусственно создает и только постепенно совершенствует. Эту мысль убедительно подтверждает и иллюстрирует первое понятие стандарта: ТРИБОФАТИКА (трибос - греч. трение; fatigue - франц. усталость). В литературе [1-5] можно найти несколько определений этого понятия. В стандарте СТБ 994-95 дано следующее его толкование: "Трибофатика - область деятельности, направленной на установление принципов и методов оценки и повышения надежности силовых систем машин и оборудования в условиях комплексного воздействия повторно-переменных нагрузок и процессов трения в любых его проявлениях" (рис. 1).

Во-первых, здесь устанавливается, что трибофатика - "область деятельности", что справедливо по самой своей сути. Во-вторых, всякая область деятельности должна иметь ясную цель - она сформулирована в определении

("установление принципов и методов оценки и повышения надежности"). В-третьих, конкретная область деятельности должна иметь свой предмет изучения (исследования) - и он точно указан ("силовые системы машин и оборудования"). И, наконец, в-четвертых, всякая область деятельности должна характеризоваться определенными условиями - и они конкретно очерчены в стандарте ("в условиях комплексного воздействия повторно-переменных нагрузок и процессов трения в любых его проявлениях"). Повторно-переменной называется "механическая нагрузка, изменяющаяся во времени по любому закону", а под "трением в любых его проявлениях" понимается как внешнее трение при скольжении, качении, фреттинге (проскальзывании), ударе и др., так и внутреннее трение (при нейтронном облучении и т.д.). Отсюда следует, что трибофатика как область деятельности представляется весьма широкой и содержательной (см. рис. 1), а ее предмет изучения - это наиболее сложные и ответственные для современной техники "узлы трения, которые воспринимают и транзитно передают повторно-переменную нагрузку". Их называют "силовыми системами". Долговечность силовых систем лимитируется "износоусталостными повреждениями", которые определяются как "повреждения, обусловленные кинетическим взаимодействием явлений усталости, трения в любых его проявлениях, изнашивания и (или) эрозии". Закономерности возникновения и развития этих повреждений изучают в процессе "износоусталостных испытаний", которые реализуются на "машинах для износоусталостных испытаний".

В межгосударственном стандарте ГОСТ 30638-99 дано лаконичное определение трибофатики как "науки об износоусталостных повреждениях и разрушении силовых систем машин и оборудования".

(2) Как отмечал Лобачевский, "первые понятия, с которых начинается какая-либо наука, должны быть ясны и приведены к самому меньшему числу. Тогда только они могут служить прочным и достаточным основанием учения".

По-существу, содержание всего стандарта базируется на небольшой группе фундаментальных терминов. Она состоит лишь из шести понятий, являющихся общими для данной области деятельности. Вот эти понятия: трибофатика, силовая система, износоусталостное повреждение, прямой эффект ("влияние процессов и условий трения и изнашивания на изменение характеристик сопротивления усталости силовой системы и (или) ее элемента"), обратный эффект ("влияние повторно-переменных напряжений [деформаций] на изменение характеристик трения и изнашивания силовой системы и (или) ее элемента"), износоусталостные испытания.

(3) При работе над стандартом "Трибофатика. Термины и определения" были установлены не только фундаментальные понятия, общие для всей области деятельности, но и основные понятия, общие для отдельных разделов трибофатики. Эти термины дают жизнь многочисленным понятиям, связным, например, с видами "поверхностного повреждения" или "объемного разрушения" (см. Рис. 1).

(4) Терминосистема стандарта ГОСТ 30638-99 классифицирована тематически и представлена в 2-х разделах:

1. Общие понятия.
2. Виды и характеристики сопротивления износоусталостным повреждениям.

При составлении СТБ 994-95 и ГОСТ 30638-99 приняты во внимание многочисленные литературные источники (книги, журналы, статьи, материалы конференций и др.), но в первую очередь - терминологические стандарты.

(5) Особой заботой разработчиков стандарта была, конечно, систематизация новых терминов, предложенных в связи с развитием трибофатики. Круг интересов трибофатики весьма широк (см. рис. 1), и подсистема новых терминов в некоторых своих частях пока еще не является общепризнанной. Поэтому для стандарта были отобраны лишь основные и необходимые (по мнению разработчиков) термины. Тот факт, что специалисты организаций, приславших отзывы на проект стандарта, в подавляющем большинстве случаев разделили точку зрения разработчиков стандарта, дает основание считать, что в первом приближении найдено приемлемое решение проблемы.

(6) Стандарт ГОСТ 30638-99 регламентирует не только применение терминов, но и обозначение основных величин, характеристик, показателей, коэффициентов, параметров и критериев, а также их единицы измерения. Чтобы оценить трудность этой проблемы, достаточно сказать, что в стандарт включено около 50 обозначений. Это превышает число букв в трех алфавитах (русский, латинский, греческий). Поэтому широко применяются соответствующие индексы, которые, как правило, несут определенную смысловую нагрузку.

Основной принцип обозначений - сохранить традиционность их использования в научной и технической литературе. Например, символ A применяется для площади, F - для силы, N - для долговечности, p - для контактного давления, σ и τ - для нормальных и касательных напряжений, K - для различных коэффициентов и т.д. Если в литературе имеются разночтения (а это случается весьма часто), то принимается волевое решение. Так, коэффициент трения в литературе обозначают либо f , либо ν , либо μ . В стандарте принят символ f , тогда как ν - это частота, а μ - обычное обозначение коэффициента Пуассона.

В необходимых случаях основные понятия иллюстрируются соответствующими рисунками и графиками, что способствует более полному их определению и, следовательно, пониманию.

(7) Разработка стандарта на основные понятия - вообще дело трудное, ответственное и деликатное.

Огромные трудности состоят в том, чтобы предложить систему действительно основных понятий. Это означает, во-первых, что из всего многообразия терминов, используемых в данной области человеческой деятельности, необходимо выделить наиболее значимые и часто употребляемые. Это означает, во-вторых, что все отобранные термины надо представить в виде взаимосвязанной и непротиворечивой системы с соответствующими перекрестными ссылками.

Немалая ответственность состоит в том, что многочисленные понятия, введенные в стандарт, являются обязательным для применения "в документах всех видов, учебниках, учебных пособиях, научно-технической и справочной литературе". Поэтому из стандарта следует исключить саму возможность неоднозначности толкования того или иного термина - это, во-первых. Во-вторых, определения терминов должны быть и лаконичными, и точными, и понятными. Что касается деликатности, то речь идет, во-первых, о том, что личные претензии и субъективные привязанности разработчиков должны быть принесены в жертву - во имя выяснения истины. И, во-вторых, необходимо проявить наибольшее внимание к мнению специалистов, не принимавших участия в разработке стандарта. Это, конечно, не означает, что при принятии решения по спорному вопросу победа определяется большинством голосов, но это означает, что принятое решение должно быть хорошо мотивированным.

(8) Если говорить об эксплуатационной надежности современных машин и оборудования с точки зрения механики, износоусталостные повреждения - это явления, которые дают до 90% отказов их основных узлов. Учитывая, что наиболее ответственные и массовые узлы машин и оборудования - это силовые системы, становится оче-

видной необходимость тесного взаимодействия трибологов и прочнистов для решения важнейшей проблемы: повышения надежности силовых систем по критериям трибофатики при одновременном снижении затрат труда, средств и материалов в сферах производства и эксплуатации. Что это, возможно, доказывают материалы международных симпозиумах по трибофатике (г. Гомель 1993 г., г. Москва 1995 г., г. Пекин 2000 г., г. Тернополь 2002 г.), на которых совместно обсуждали указанную проблему и трибологи, и прочнисты.

В этой связи можно надеяться, что ввод в действие данного стандарта в определенной мере способствует достижению и развитию взаимопонимания между двумя крупными школами специалистов.

2. Методы износоусталостных испытаний. Для экспериментальной оценки взаимного и совместного влияния процессов трения и механической усталости на работоспособность материалов и моделей силовых систем в сложных условиях нагружения разработаны специальные методы износоусталостных испытаний.

В результате испытаний определяют количественные характеристики сопротивления ИУП. Эти характеристики могут быть использованы:

- при выборе конструкционных материалов для силовых систем и обосновании конструктивно-технологических решений;
- при контроле качества материалов;
- при расчетах на этапе проектирования силовых систем;
- при сертификации силовых систем по критерию ИУП;
- при конструировании и создании материалов с заданными физико-механическими свойствами для обеспечения требуемых характеристик сопротивления ИУП.

Один из путей разработки методов комплексных (износоусталостных) испытаний – совмещение известных методов испытания на механическую усталость и методов испытания на трение и изнашивание.



Рисунок 2. Формирование методов износоусталостных испытаний при главном вращательном движении: КМУ – контактно-механическая усталость; ФМУ – фрикционно-механическая усталость; ФУ – фреттинг-усталость

На рисунке 2 в качестве примера показан принцип такого формирования в том случае, когда базовым методом испытания на усталость принимают изгиб с вращением. Заметим, что вращательное движение наиболее характерно для современных машин, поэтому методы, представленные на рисунке 2, являются практически важными.

Используя подобный подход, достигают той цели, что на машинах, предназначенных для износоусталостных испытаний, можно проводить и обычные испытания либо на механическую усталость, либо на трение и изнашивание в определенных условиях (рисунок 3).

К настоящему времени разработаны и введены в

действие два межгосударственных стандарта на методы износоусталостных испытаний [16, 19]. В 2002 г. ПО "Гомсельмаш" и НПО ТРИБОФАТИКА заканчивают разработку стандарта по методам испытания на фрикционно-механическую усталость. В плане – создание стандартов по методам испытания на коррозионно-механическую, эрозионно-механическую и фреттинг-усталость.

Главное и принципиальное достоинство разрабатываемых методов износоусталостных испытаний – это использование во всех (без исключения) схемах испытаний единого образца стандартных размеров (диаметр 10 мм). При этом устанавливается и стандартная частота испытаний $3000 \frac{1}{\text{мин}}$. Тем самым обеспечивается сравнимость экспериментальных результатов, получаемых в различных условиях испытаний.

3. Машины для износоусталостных испытаний. Развитие трибологии привело к созданию специального класса испытательного оборудования – машин для испытаний на трение и изнашивание. Развитие механики усталостного разрушения также обусловило создание специального класса испытательного оборудования – машин для усталостных испытаний. Развитие трибофатики потребовало создания нового класса испытательного оборудования – машин для износоусталостных испытаний материалов и моделей силовых систем.

Автоматизированные машины серии СИ настольного типа разработаны в НПО ТРИБОФАТИКА при сотрудничестве с ведущими институтами Академий наук России (Институт машиноведения им. А.А. Благонравова), Беларуси (Научный Центр проблем механики машин) и Украины (Институт проблем прочности), а также с производственным объединением "ГОМСЕЛЬМАШ" и его головным специальным конструкторским бюро (ГСКБ ПО ГОМСЕЛЬМАШ). Они были созданы применительно к запросам различных групп потребителей. Так, машина СИ-01 служит для испытаний на фрикционно-механическую усталость, СИ-02 – для испытаний на контактно-механическую усталость, а СИ-03 представляет собой полнокомплектную машину для испытаний на фрикционно-механическую и контактно-механическую усталость.

Машина СИ-03-М, кроме того, предназначена для испытания моделей зубчатых зацеплений. На всех машинах можно проводить традиционные испытания на трение при скольжении и качении, на механическую и фреттинг-усталость.

Испытательные машины серии СИ являются многоцелевыми и построены по блочно-модульному принципу. Это обеспечивает их высокую экономичность и сравнительно низкую стоимость. Различные методы испытаний реализуют, применяя набор сменных модулей.

Модульный принцип построения позволяет на одной машине реализовать не только традиционные (в том числе и стандартные) методы испытаний, но и проводить оригинальные исследования моделей силовых систем (например, колесо/рельс; вал/втулка и т. д.).

В машинах серии СИ нет механических передач. Это позволяет не только избавиться от потерь мощности, но и значительно снизить погрешность испытаний.

Машины серии СИ имеют информационно-управляющую систему, построенную на базе ПЭВМ. С ее помощью задают и точно исполняют многообразные режимы испытаний, а также измеряют все необходимые параметры во времени – изгибную и контактную нагрузку, частоту вращения, линейный износ (либо смещение осей пары трения), температуру в зоне контакта, характеристики вибрации, момент (силу) трения, число циклов нагружения и др.

На машинах серии СИ контактные и изгибные нагрузки предусмотрено регулировать в широком диапазоне. Это позволяет одинаково успешно проводить испытания металл-металлических, металл-полимерных и полимер-полимерных моделей силовых систем.

При разработке машин серии СИ использовано 10 изобретений.

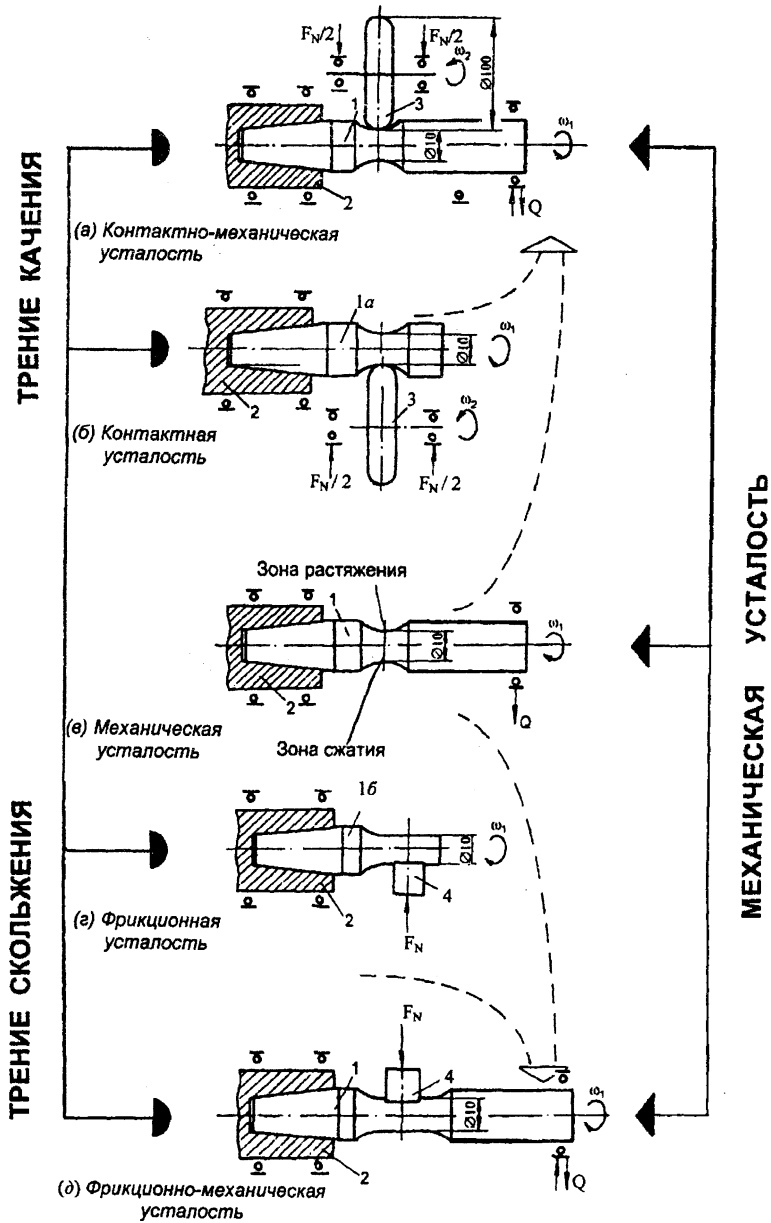


Рисунок 3 – Типичные схемы износоусталостных испытаний: 1, 1а, 1б – образец; 2 – шпиндель испытательной машины; 3, 4 – контрообразец; Q – изгибающая нагрузка; F_N – контактная нагрузка; ω_1 , ω_2 – скорость вращения образца, контрообразца

Таблица 1 – Технические характеристики

Наименование показателей	Значение		
	Машина СИ-01	Машина СИ-02	Машина СИ-03–М
Основная модель силовой системы (пары трения)	Цилиндр-колодка	Цилиндр-ролик	Цилиндр-колодка, цилиндр-ролик
Диаметр рабочей части образца, мм	10	10	10
Размеры контробразца, мм	10×10×11,5	∅ 100	10×10×11,5 ∅ 100
Режим смазки	капельный		
Диапазон частот вращения образца, мин ⁻¹	40–4000*	3000	600–6000
Диапазон частот вращения контробразца, мин ⁻¹	–	50–500	50–500
Диапазон изгибающих нагрузок, Н	70–700	70–700	10–800
Диапазон контактных нагрузок, Н	10–500	10–1000	10–2000
Предел допускаемой погрешности измерения нагрузок, %	2	2	1
Диапазон измерения суммарного износа образца и контробразца, мкм	10–2000	10–3000	10–4000
Предел допускаемой погрешности измерения суммарного износа образца и контробразца, %, не более	± 3	± 3	± 1
Диапазон измерения момента трения, Н м: – при трении скольжения – при трении качения	0,01–1,2 –	– 0,2–20	0,01–1,5 0,2–30
Предел допускаемой погрешности измерения момента трения, %, не более	3	3	2
Установленная мощность электрооборудования, кВт	2,0	2,5	2,0

По требованию заказчика машины серии СИ могут быть оснащены устройствами для испытаний:

- в вакууме, в различных жидких средах;
- при низких и высоких температурах;
- при воздействии мощного лазерного излучения;
- при воздействии потока твердых частиц, двухфазных сред и др.

Технические характеристики машин серии СИ приведены в таблице 1 на рисунке 4 показан общий вид машины СИ–03–М.

Машины серии СИ успешно используются в научно-исследовательских институтах, на производственных предприятиях и в университетах.

Лаборатория трибофатики двойного подчинения – Институту механики и надежности машин Национальной Академии наук Беларуси и Республиканскому конструкторскому унитарному предприятию "Головное специализированное конструкторское бюро по зерноуборочным и кормоуборочным машинам" работает в испытательном центре конструкторского предприятия в г. Гомеле с 1995 г. и оснащена всеми модификациями машин серии СИ для износоусталостных испытаний материалов и моделей силовых систем.



Рисунок 4 – Универсальная машина СИ-03-М

В составе ЦЗЛ ПО "ГОМСЕЛЬМАШ" в 1998 г. организована Лаборатория износоусталостных испытаний, которая оснащена четырьмя машинами СИ-03-М.

В Институте механики и надежности машин НАН Беларуси (г. Минск) с 1997 г. работает Лаборатория №6 (трибофатики), оснащенная полнокомплектной машиной СИ-03.

Для выполнения лабораторных работ по курсу "Основы трибофатики",

включенному в учебные планы Белорусского государственного университета транспорта (г. Гомель), созданы специальные (неавтоматические) модификации машин для испытаний на фрикционно-механическую и контактно-механическую усталость, которые отличаются простотой управления и относительно низкой стоимостью. Эти машины могут быть использованы и для выполнения лабораторных работ по таким учебным дисциплинам, как сопротивление материалов, детали машин, расчет и проектирование машин и оборудования, основы трибологии (трение и износ в машинах) и др.

На основании длительного опыта эксплуатации машин серии СИ Научный центр механики машин НАНБ (ныне – Институт механики и надежности машин НАН Беларуси) разработал сначала белорусский, а затем и межгосударственный стандарт ГОСТ 30755-2001 "Трибофатика. Машины для износоусталостных испытаний. Общие технические требования" [17]. Технические характеристики всех модификаций машин серии СИ соответствуют требованиям этого стандарта.

В дальнейшем планируется создать несколько стандартов по системам измерения, применяемых на машинах серии СИ.

4. Силовые системы. По результатам исследований, в соответствии с Государственным планом стандартизации Республики Беларусь (тема 3.07.0110-99), разработан, утвержден в установленном порядке и введен в действие стандарт Беларуси СТБ 1234-2000 «Трибофатика. Силовые системы. Статистические показатели качества и их определение».

Стандарт устанавливает статистические показатели качества силовой системы по критерию сопротивления износоусталостным повреждениям и связанные с ними статистические показатели брака и риска, регламентирует правила и процедуры оценки указанных показателей.

Статистические показатели качества силовой системы применяются в общем

комплексе работ по управлению качеством продукции машиностроения при крупносерийном производстве - для обеспечения требуемого уровня качества и надежности ответственных узлов, работающих в условиях контактно-механической усталости, фреттинг-усталости, фрикционно-механической усталости.

Из большого количества характеристик механических свойств материалов и сопротивления ИУП для анализа качества и риска применения силовых систем принимается лишь ограниченное их число $x_i, i = 1, 2, \dots, n$, например: σ_{-1}, p_f, τ_f – пределы выносливости при механической, контактной и фрикционной усталости; $\sigma_{-1p}, p_{f\sigma}, \sigma_{-1\tau}, \tau_{f\sigma}$ – предельные напряжения при контактно-механической и фрикционно-механической усталости; $I_p, I_\tau, I_{\sigma p}, I_{\sigma\tau}$ – интенсивность изнашивания при контактной, фрикционной, контактно-механической и фрикционно-механической усталости; $\sigma_T, \sigma_b, \delta, \psi$ – основные характеристики свойств материала при растяжении и др.

Статистический показатель качества устанавливает два уровня оценки качества силовой системы, определяемые:

- комплексными статистическими показателями, которые относятся к свойствам силовой системы как целого - к ее сопротивлению контактно-механической усталости, фреттинг-усталости, фрикционно-механической усталости;
- единичными статистическими показателями, которые относятся к свойствам отдельных элементов силовой системы - к их сопротивлению механической, контактной и фрикционной усталости.

Таблица 2 – Статистические показатели качества силовых систем

Износоусталостное повреждение	Характеристики сопротивления износоусталостным повреждениям	Статистические показатели			Уровень показателей качества
		качества	нарушения качества	риска	
Контактно-механическая усталость: а) прямой эффект б) обратный эффект	σ_{-1p}	$\Pi(\sigma_{-1p})$	$D(\sigma_{-1p})$	$\rho(\sigma_{-1p})$	Комплексные
	$p_{f\sigma}$	$\Pi(p_{f\sigma})$	$D(p_{f\sigma})$	$\rho(p_{f\sigma})$	
	$I_{\sigma p}$	$\Pi(I_{\sigma p})$	$D(I_{\sigma p})$	$\rho(I_{\sigma p})$	
Фрикционно-механическая усталость: а) прямой эффект б) обратный эффект	$\sigma_{-1\tau}$	$\Pi(\sigma_{-1\tau})$	$D(\sigma_{-1\tau})$	$\rho(\sigma_{-1\tau})$	
	$\tau_{f\sigma}$	$\Pi(\tau_{f\sigma})$	$D(\tau_{f\sigma})$	$\rho(\tau_{f\sigma})$	
	$I_{\sigma\tau}$	$\Pi(I_{\sigma\tau})$	$D(I_{\sigma\tau})$	$\rho(I_{\sigma\tau})$	
Фреттинг-усталость	σ_{-1q}	$\Pi(\sigma_{-1q})$	$D(\sigma_{-1q})$	$\rho(\sigma_{-1q})$	Единичные
Механическая усталость	σ_{-1}	$\Pi(\sigma_{-1})$	$D(\sigma_{-1})$	$\rho(\sigma_{-1})$	
Фрикционная усталость	τ_f	$\Pi(\tau_f)$	$D(\tau_f)$	$\rho(\tau_f)$	
	I_τ	$\Pi(I_\tau)$	$D(I_\tau)$	$\rho(I_\tau)$	
Контактная усталость	p_f	$\Pi(p_f)$	$D(p_f)$	$\rho(p_f)$	
	I_p	$\Pi(I_p)$	$D(I_p)$	$\rho(I_p)$	

Стандарт регламентирует процедуры количественного определения 36 статистических показателей, которые относятся к 12 наиболее важным характеристикам сопротивления износоусталостным повреждениям (таблица 2).

Согласно стандарту СТБ 1234–2000 статистический показатель качества по данной характеристике x_i механических свойств или сопротивления ИУП есть вероятность того, что ее величина будет больше нормативного значения x_i^* (рисунок 5):

$$\Pi(x_i) = P(x_i \geq x_i^*) = \int_{x_i^*}^{\infty} p(x_i) dx_i = \frac{1}{\sqrt{2\pi} S_{\bar{x}_i}} \int_{x_i^*}^{\infty} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{x_i - \bar{x}_i}{S_{\bar{x}_i}} \right)^2 \right] dx_i$$

Тогда статистический показатель нарушения качества (см. рисунок 5)

$$D(x_i) = \int_{-\infty}^{x_i^*} p(x_i) dx_i = \frac{1}{\sqrt{2\pi} S_{\bar{x}_i}} \int_{-\infty}^{x_i^*} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{x_i - \bar{x}_i}{S_{\bar{x}_i}} \right)^2 \right] dx_i = 1 - \Pi(x_i). \quad (1)$$

Показатель риска определяется как ожидание нарушения качества:

$$\rho(x_i) = \frac{D(x_i)}{\Pi(x_i)} \quad (2)$$

Взаимосвязь показателя риска с показателем нарушения качества дается формулой

$$\rho(x_i) = \frac{1}{\frac{1}{D(x_i)} - 1}. \quad (3)$$

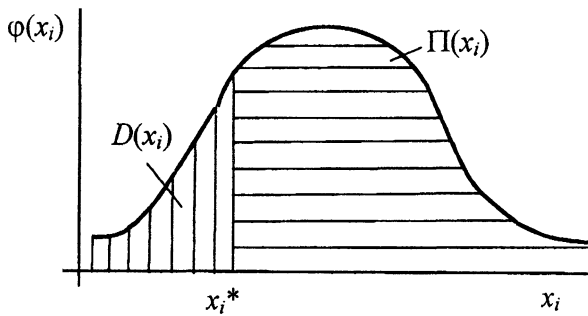


Рисунок 5 – Распределение характеристики свойств (сопротивления ИУП)

Взаимосвязь показателя риска с показателем качества дается формулой

$$\rho(x_i) = \frac{1}{\Pi(x_i)} - 1. \quad (4)$$

Согласованная в формуле (2) зависимость показателя риска $\rho(x_i)$ от показателей $\Pi(x_i)$ и $D(x_i)$ называется оперативной характеристикой риска. Ее графическое представление дано на рисунке 6. Теоретические данные для построения оперативной характеристики риска приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Теоретические данные для построения оперативной характеристики риска

$D(x)$	$\Pi(x) = 1 - D(x)$	$\rho = D(x) / \Pi(x)$	$R_\rho = 1 - \rho(x)$
0,01	0,99	0,0101	0,9899
0,05	0,95	0,0526	0,9474
0,1	0,9	0,1111	0,9999
0,2	0,8	0,2500	0,7500
0,3	0,7	0,4286	0,5714
0,4	0,6	0,6666	0,3334
$D(x) = 0,5 = \Pi(x)$	0,5	$\rho_k = 1$	0
0,6	0,4	0,6666	0,3334
0,7	0,3	0,4286	0,5714
0,8	0,2	0,2500	0,7500
0,9	0,1	0,1111	0,9999
0,95	0,05	0,0526	0,9474
0,99	0,01	0,0101	0,9899
$\Pi(x)$	$D(x) = 1 - \Pi(x)$	$\rho(x) = D(x) / \Pi(x)$	$R_\rho = 1 - \rho(x)$

Нижняя граница риска $\rho(x_i) = 0$ соответствует случаю, когда $D(x_i) = 0$. Верхнее значение анализируемых рисков $\rho(x_i) = 1$ ограничено условием, что $\Pi(x_i) = D(x_i) = 0,5$. Значение $\rho_k = 1$ считается критическим. Поскольку численное значение показателя риска может изменяться на несколько порядков, то шкалу $\rho(x_i)$ для оперативной характеристики принимают логарифмической (см. рисунок 6).

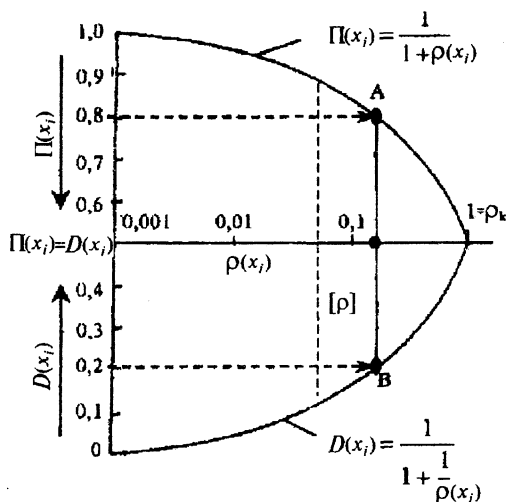


Рисунок 6 – Оперативная характеристика риска, на которой указано текущее (оцененное) значение $\rho(x_i)$ (прямая АВ)

Таблица 4 – Категории качества силовых систем

Категории	Нормативные значения показателей		
	$P(x)$ не менее	$D(x_i)$, %, не более	$[\rho(x)]$
Высшая	0,995	0,5	0,005 0
Первая	0,990	1,0	0,010 1
Вторая	0,950	5,0	0,052 6

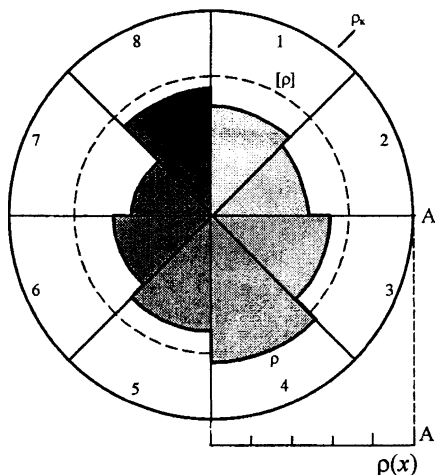


Рисунок 7 – Схема секторной диаграммы риска, построенной по 8-ми (1, 2, ..., 8) признакам

На наш взгляд, ближайшая задача – разработка нормативных документов по расчету и проектированию силовых систем на контактно-механическую, фрикционно-механическую и фреттинг-усталость. При этом должны быть разработаны методики

Текущее (оцененное по формулам (2), (3) или (4)) значение риска указывают на оперативной характеристике сплошной вертикальной линией АВ (см. рисунок 6).

По отношению к любым характеристикам ИУП может быть установлено нормативное значение риска $[\rho]$. Его обосновывают соответствующим технико-экономическим расчетом с учетом тяжести последствий в случае реализации тех или иных неблагоприятных событий. Стандарт СТБ 1234–2000 устанавливает три категории качества и соответствующего им нормативного риска (таблица 4). Нормативное значение риска $[\rho]$ указывают вертикальной пунктирной линией на оперативной характеристике риска (рисунок 6).

Всякое событие и любая ситуация, для которых

$$\rho(x_i) \leq [\rho], \quad (5)$$

считаются приемлемыми, или допустимыми. Значения

$$[\rho] < \rho(x_i) < \rho_k, \quad (6)$$

считаются неприемлемыми, или недопустимыми.

При необходимости сравнительного анализа рисков по многим и различным характеристикам строят секторную диаграмму рисков (рисунок 7). Каждый сектор на диаграмме представляет собой оперативную характеристику риска (см. рисунок 6), построенную по данному признаку. На радиусе А круга указывают шкалу для численных значений показателя риска $\rho(x_i)$. На секторной диаграмме:

- критический риск $\rho_k = 1$ соответствует внешней окружности;
- нормативное значение риска $[\rho]$ отображает внутренняя окружность (пунктир);
- области риска затемняют до величины оцененного риска $\rho(x_i)$, изображаемого дугой окружности с радиусом $r = \rho(x_i)$ в пределах каждого сектора.

Стандарт СТБ 1234–2000 может быть применен практически к любым силовым системам. Так, в ПО "Гомсельмаш" разработан и введен в действие стандарт предприятия [20], который регламентирует процедуру оценки качества и риска применения зубчатых колес.

расчета по различным (важным) критериям работоспособности – по предельному состоянию, техническому ресурсу, надежности, риску и безопасности.

Заключение. (1) Появление нового, бурно развивающегося и перспективного раздела механики – трибофатики привело к необходимости разработки специальной системы стандартов в этой области. К настоящему времени разработано 6 белорусских стандартов, из них три уже получили статус межгосударственных. Выше дан краткий анализ указанных стандартов, которые, по-существу, определяют четыре направления стандартизации в области трибофатики: 1) терминология, 2) методы износоусталостных испытаний, 3) машины для износоусталостных испытаний, 4) силовые системы.

(2) По нашему мнению, требуется объединение усилий специалистов по механике разрушения, прочности, трибологии, надежности механических систем и материаловедения, чтобы конкретизировать, существенно расширить и ускорить разработку комплекса стандартов по трибофатике, который отвечал бы запросам современного машиностроения.

Литература. 1. Библиографически список работ по трибофатике (1985-2000). (Международный координационный совет по трибофатике). Составители Т. Есева, С. Тюрин.-Гомель, 2000. -26 с. 2. Л.А. Сосновский, В.Т. Трощенко, Н.А. Махутов, Гао Ван-Чжэн, А.В. Богданович, С.С. Щербаков. Износоусталостные повреждения и их прогнозирование (трибофатика). – Гомель, Киев, Москва, Ухань, 2001. – 171 с. 3. Proc. of III Intern. Symposium on Tribo-Fatigue (ISTF'2000: Oct. 22-26, 2000, Beijing, China). Ed. by Gao Wanzhen and Li Jian. –Hunan University Press, China, 2000. –653 p. 4. Сосновский Л.А., Махутов Н.А. Трибофатика: износоусталостные повреждения в проблемах ресурса и безопасности машин. – Москва, Гомель: 2000. – 304 с. 5. Трибофатика: Тр. 4-го Международного симпозиума по Трибофатике (ISTF 4), 23–27 сентября 2002 г., Тернополь (Украина) / Отв. Ред. В.Т. Трощенко – Тернополь: Тернопольский государственный технический университет имени Ивана Пулюя, 2002. Т. 1 – 530 с., Т. 2 – 317 с. 6. Высоцкий М. С., Корешков В. Н., Марченко В. А., Сосновский Л. А., Стражев В. И. Трибофатика - новые пути для повышения надежности машин // Весці АНБ. Серія фіз.-тэхн.наук, 1994, № 4, с.32-41. 7. Высоцкий М. С., Махутов Н. А., Корешков В. Н., Сосновский Л. А., Богданович А. В., Андронов П. В., Тюрин С. А., Марченко А. В. К разработке методов стандартных износоусталостных испытаний // Заводская лаборатория, 1995, № 5, с.35-38. 8. Высоцкий М. С., Корешков В. Н., Сосновский Л. А., Индман Н. Л. Машины серии СИ для износоусталостных испытаний // II Международный симпозиум по трибофатике, Москва, 15-17 октября 1996 г. (Тезисы докладов). –Москва: НПО "ТРИБОФАТИКА", "СПАС", 1996. –С.47-48. 9. Корешков В. Н., Сосновский Л. А., Богданович А. В., Андрияшин В. А. Трибофатика: вопросы стандартизации // II Международный симпозиум по трибофатике, Москва, 15-17 октября 1996 г. (Тезисы докладов). –Москва: НПО "ТРИБОФАТИКА", "СПАС", 1996. –С.55. 10. Богданович А. В., Корешков В. Н., Сосновский Л. А., Тюрин С. А. К разработке стандарта Беларуси по методам испытаний на контактно-механическую усталость // Трибофатика-95: Ежегодник. Под общей ред. Л.А. Сосновского / Вып.2: Вопросы стандартизации. Хроника. Под ред. В.Н. Корешкова. –Гомель: НПО "ТРИБОФАТИКА", 1996. –С.32-36. 11. Сосновский Л. А. О принципах разработки стандарта Беларуси СТБ "Трибофатика. Термины и определения" // Трибофатика-95: Ежегодник. Под общей ред. Л.А. Сосновского / Вып.2: Вопросы стандартизации. Хроника. Под ред. В.Н. Корешкова. –Гомель: НПО "ТРИБОФАТИКА", 1996. –С.8-26. 12. Sosnovskiy L. A., Koreshkov V. N. and Yelovoy O. M. Methods and Machines for Wear-Fatigue Tests of Materials and their Standardization // Proceedings of the World Tribology Congress (London, 8-12 September 1997). –London, 1997. –P.723. 13. Koreshkov V. N. Wear-Fatigue tests methods and their standardization // Proc. of the III International Symposium on Tribo-Fatigue (Beijing, China, October 22-26, 2000). –Beijing: Hunan University Press, 2000. –P.200-203. 14. Сосновский Л.А., Кореш-

ков В.Н. Система стандартов по трибофатике // Вклад вузовской науки в развитие приоритетных направлений производственно-хозяйственной деятельности, разработку экономичных и экологически чистых технологий и прогрессивных методов обучения (Тезисы докладов Международной научно-практической конференции, 21-24 ноября 2000 г.). – Минск: БГПА, 2000. Часть 6. –С.6. 15. Трибофатика. Термины и определения. (Белорусский стандарт СТБ 994-95 и Межгосударственный стандарт ГОСТ 30638-99). – М.: 24 с. 16. Трибофатика. Методы износоусталостных испытаний. Испытания на контактно-механическую усталость (Белорусский стандарт СТБ 994-95 и Межгосударственный стандарт. ГОСТ 30754-2001). – Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2002. – 32 с. 17. Трибофатика. Машины для износоусталостных испытаний. Общие технические требования (Белорусский стандарт СТБ 994-95 и Межгосударственный стандарт ГОСТ 30755-2001). – Мн.: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2002. –8 с. 18. СТБ 1234-2000. Трибофатика. Силовые системы. Статистические показатели качества. – Мн.: Госстандарт, 2000. – 25 с. 19. СТБ 1233-2000. Трибофатика. Методы износоусталостных испытаний. Ускоренные испытания на контактно-механическую усталость. Мн.: Госстандарт, 2000. –8 с. 20. СТП 325-590-2001. Колеса зубчатые. Оценка качества и риска применения материалов в связи с технологией изготовления. Методы оценки (стандарт предприятия). – Гомель: ПО "Гомсельмаш", 2001.

УДК 629.7

А.И. Пекарш, А.Г. Прохоров, В.Ф. Кузьмин, С.Б. Марьин

ВОПРОСЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ В ПРОИЗВОДСТВЕ САМОЛЕТОВ

*Федеральное государственное унитарное предприятие
«Комсомольское-на-Амуре авиационное
производственное объединение им. Ю.А. Гагарина»
Комсомольск на Амуре, Россия*

Важное место в процессе производства современных самолетов занимают вопросы изготовления аэродинамических поверхностей, которые выполняют многофункциональную задачу: формируют внешний облик самолета, обеспечивают аэродинамическое качество и являются частью силовой конструкции. Качество аэродинамических обводов планера самолета оказывает решающее влияние на боевые, летные и экономичные характеристики современного самолета. Требования, предъявляемые к аэродинамическим поверхностям, постоянно повышаются: снижаются допуски на отклонение от теоретического контура аэродинамических поверхностей, повышаются требования к чистоте поверхности.

В целом аэродинамическая поверхность планера и его качество, как интегральная система, синтезируется в результате многоуровневого процесса различных технологий и видов производства.

На предприятии создана единая система обеспечения качества аэродинамических поверхностей в условиях производства современных самолетов, охватывающая следующие этапы:

а) подготовку и математическое описание аэродинамических поверхностей от-