



МЕТОД ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ  
ОЦЕНКИ АНТИСКАЧКОВЫХ СВОЙСТВ  
КОНСТРУКЦИОННЫХ  
И СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Р 50-54-100-88

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО СТАНДАРТАМ

(Госстандарт СССР)

Всесоюзный научно-исследовательский институт  
по нормализации в машиностроении (ВНИИИМаш)

Утверждены  
Приказом ВНИИИМаш  
№ 259 от 21.09.88г.

Метод экспериментальной оценки антикачковых  
свойств конструкционных и смазочных материалов

Рекомендации

Р 50-54-100-88

Москва 1989

## РЕКОМЕНДАЦИИ

---

МЕТОД ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ  
АНТИСКАЧКОВЫХ СВОЙСТВ КОНСТРУК-  
ЦИОННЫХ И СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Р 50-54-100-88

ОКСТУ 0023

---

Настоящие рекомендации распространяются на различные виды материалов, используемые в узлах трения скольжения: конструкционные, смазочные, а также покрытия. Устанавливает метод лабораторной экспериментальной оценки антикачковых свойств этих материалов, т.е. способности обеспечивать равномерность медленных перемещений, плавность торможений, пусков и реверсов, точность позиционирования в различных условиях эксплуатации. Антикачковые свойства - одна из важнейших триботехнических характеристик материалов направляющих металлообрабатывающих станков, механизмов позиционирования и наведения, гироскопов и других точных тихоходных узлов трения, а также смазочных материалов.

Целями испытаний могут служить выборочный контроль серийных материалов, оценка опытных образцов на соответствие их антикачковых свойств техническим условиям и техническому заданию, сравнительная оценка антикачковых свойств сопряжений различных пар материалов.

## I. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ

I.1. Рассматриваются следующие виды испытаний по оценке антикачковых свойств:

1 - смазочных материалов при эталонных (например, стальных или чугунных) материалах образцов;

2 - конструкционных материалов и покрытий при смазывании эталонным смазочным материалом (например, индустриальным маслом И-40А по ГОСТ 20799-75);

3 - разных сочетаний конструкционных и смазочных материалов;

4 - конструкционных материалов и покрытий без смазочных материалов на воздухе или в специальной атмосфере (вакуум,

инертные газы, химически активная среда и др.).

1.2. Испытания проводятся двумя методами:

основным, при котором задают режимы 3-х ступеней давления (нагрузки) и 12 ступеней скорости и определяют параметры антискачковых свойств по всей их совокупности;

вспрессным, при котором задают один характерный для данных материалов режим давления (нагрузки) и 8+ 12 ступеней скорости и определяют исследуемые параметры по укороченной совокупности режимов.

## 2. ПРИБОРЫ И МАТЕРИАЛЫ

2.1. Описание испытательной установки ПАС-1 для оценки антискачковых свойств материалов приведено в Приложении.

2.2. Эта установка должна обеспечивать:

скорость скольжения в диапазоне от  $V_{min} = 0,8 \frac{MM}{МИН}$  до  $V_{max} = 760 \frac{MM}{МИН}$  при погрешности не более 5% и неравномерности скольжения не более 5%;

контактные давления в диапазоне от  $P_{min} = 0,2$  до  $P_{max} = 1 MPa$  при погрешности задания нагрузки не более 1%;

измерение силы трения и амплитуды автоколебаний с погрешностью не более 0,5% при автоматизированных приборных измерениях и не более 5% при визуальном измерении по многооборотному индикатору.

2.3. Испытательная установка должна включать узел привода и рабочий узел.

Узел привода состоит из двигателя постоянного тока с тиристорным управлением и соединяется с рабочим узлом ременной и червячной передачами.

Рабочий узел (рис.1) содержит вращающееся вокруг вертикальной оси горизонтальное кольцо 1 средним диаметром 200 мм. Осевое биение наружного диаметра кольца (в сборе) во всем диапазоне скоростей не выше 3 мкм. Рекомендуемые материалы кольца - сталь или серый чугун. Верхняя рабочая плоскость кольца шлифованная в случае закаленных металлов или шабрениая (глубина шабрения 2-4 мкм, число пятен контакта в квадрате со стороной 25 мм от 20 до 25) для незакаленных металлов. Съемные кольцевые буртики наружный 2 и внутренний 3 образуют масляную ванну.

К кольцу сверху поджимается нажимным диском 4 три равноудаленных друг от друга одинаковых цилиндрических образца 5 из исследуемого материала. Диаметр образцов выбирается из диапа-

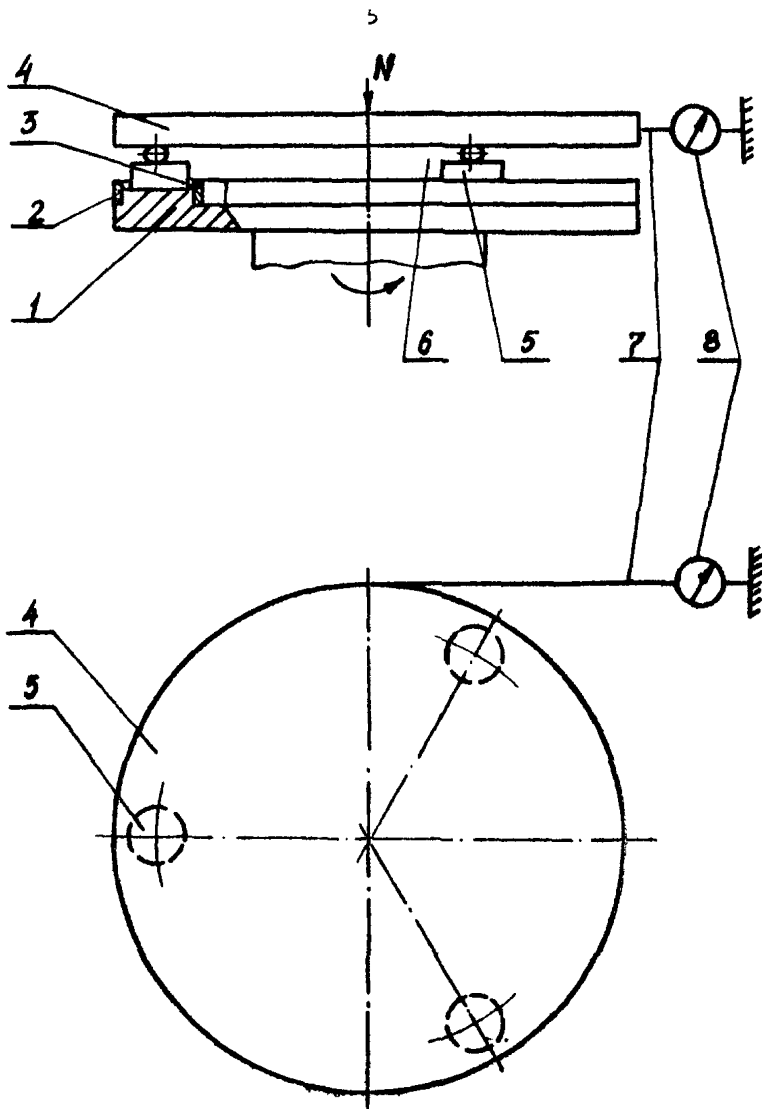


Рис.1. Схема испытательной установки /рабочего узла/

зона 20–30 мм, рекомендуется  $28 \pm 0,5$  мм. Их нижние рабочие плоскости для испытаний I-го + 3-го видов шабренные (рекомендуемая глубина шабрения 10–12 мкм, число пятен контакта в квадрате со стороной 25 мм от 20 до 25), для испытаний 4-го вида – доведенные (например, на чугунной притирочной плите). Нагрузка на образцы передается от диска 4 через точные шарики 6 шарикоподшипников, установленные в конических опорных выемках.

Диск 4 горизонтальной тягой связан с динамометром 8, укрепленным на неподвижном корпусе. С помощью тензодатчиков или измерительного многооборотного индикатора, установленных на динамометре, измеряется сила трения в контакте образцов с кольцом, а при проскальзывании образцов относительно кольца – также амплитуда автоколебаний. Комплект динамометров разной жесткости должен охватывать диапазон 25–400  $\frac{\text{даН}}{\text{мм}}$  (рекомендуемые значения жесткости динамометров 40, 160 и 350 даН/мм).

#### 2.4. Приборы, необходимые для измерений:

датчики силы трения и автоколебаний, в качестве которых могут использоваться тензодатчики омического сопротивления, индуктивные, емкостные и другие датчики перемещения в комплексе с усилителями; при достаточной квалификации и опыте исследователя – многооборотный индикатор с ценой деления 1 мкм ГОСТ 9696–82;

счетчик числа циклов (оборотов кольца);

секундомер или датчик времени (таймер) с 1-минутной и 5-минутной отметками.

При измерениях с помощью тензодатчиков к выходу усилителя могут подключаться различные периферийные устройства: осциллограф, самописец, магнитограф, а также аналого – цифровой преобразователь для обработки результатов измерений на ЭВМ.

### 3. ПОДГОТОВКА К ИСПЫТАНИЯМ

3.1. После механической обработки рабочих поверхностей образцов (шабрением для испытаний I-го + 3-го вида, доводкой для испытаний 4-го вида) проверяют по краске их прилегание к кольцу: для шабренных образцов число пятен контакта должно быть от 20 до 25, для доведенных образцов площадь контакта должна быть не менее 90%. При необходимости повторяют механическую обработку.

3.2. Рабочие поверхности образцов и кольца тщательно, не менее чем пятьюкратно, промывают последовательно бензином и

ацетоном с протиркой марлевым тампоном.

Периодически, после испытания каждой партии материалов, проверяют качество очистки поверхностей контрольным испытанием, например, пары чугун-чугун или чугун-сталь, масло И-40А. Проводят испытание экспрессным методом, оценивают параметры антискачковых свойств и сравнивают с эталонными значениями параметров. Если результаты измерений отличаются от эталонных, повторяют пятикратную промывку и протирку рабочих поверхностей с последующим контрольным испытанием.

Если и после этого измеренные значения параметров отличаются от эталонных (что бывает после испытаний антискачковых неметаллических материалов), осторожно очищают поверхность кольца мелкозернистой шлифовальной шкуркой марки М20 ГОСТ10054-82, после чего проводят трехкратную промывку и протирку с последующим контрольным испытанием. Когда в результате очистки измеренные значения параметров равны эталонным, рабочие поверхности считаются подготовленными к испытаниям.

3.3. Для испытаний 1-го + 3-го видов наносят на кольцо слой смазочного материала толщиной 1-2 мм маслполивом; пластичные и твердые смазки - намазыванием.

3.4. Устанавливают образцы и нажимной диск, а также динамометр требуемой жесткости.

3.5. Для испытаний 4-го вида в специальной среде рабочий узел установки помещают в камеру с контролируемой атмосферой.

#### 4. ПРОВЕДЕНИЕ ИСПЫТАНИЙ

4.1. Задают нагрузку  $N_{max}$ , соответствующую  $P_{max}$  (для образцов  $\varnothing 28$  мм  $N_{max} = 185$  даН), и скорость скольжения кольца относительно образцов 0,3 м/мин. В этом режиме проводят приработку на пути трения не менее 30 м (50 оборотов кольца)<sup>1)</sup> при испытаниях 1+3-го видов и не менее 350 м (600 оборотов кольца)<sup>2)</sup> при испытаниях 4-го вида.

4.2. Проводит измерения в следующей последовательности.

4.2.1. Основной метод испытаний.

При нагрузке, соответствующей  $P_{min}$  (для образцов  $\varnothing 28$  мм  $P_{min} = 37$  даН), задают значения скорости последовательно от

1) Для абсолютного большинства машиностроительных материалов это соответствует стабилизации параметров трения.

2) Наиболее корректно в отсутствии смазочных материалов сравнивать антискачковые свойства конструкционных материалов и покрытий при полном прилегании рабочих поверхностей

$V_{min}$  до  $V_{max}$  на  $n_v = 12$  ступенях, охватывающих весь рабочий диапазон скоростей (рекомендуемые  $V$ , мм/мин: 0,8; 8; 20; 45; 75; 105; 150; 200; 230; 405; 570; 765); после 5 мин приработки на каждой ступени измеряют значения кинетического коэффициента трения  $f_{v_i}^{P_{min}}$  и амплитуды автоколебаний  $a_{v_i}^{P_{min}}$ .

При  $V_{min}$  останавливают движение (при наличии автоколебаний - в момент, предшествующий скачку) и измеряют значение коэффициента трения после остановки  $f_o^{P_{min}}$ ; через  $t = 1$  мин неподвижного контакта<sup>1)</sup> вновь включают движение и измеряют значение статического коэффициента трения  $f_{t_i}^{P_{min}}$  в момент трогания с места.

Задают другие контактные давления последовательно от  $P_{min}$  до  $P_{max}$  на  $n_p = 3$  ступенях (рекомендуемые давления, МПа: 0,2; 0,5; 1); на каждой ступени давления регистрируют на  $n_v$  ступенях скорости после 5 мин приработки значения  $f_{v_i}^{P_i}$  и  $a_{v_i}^{P_i}$ , а также  $f_o^{P_i}$  и  $f_{t_i}^{P_i}$ .

Вычисляют средние значения амплитуды автоколебаний  $a_{cp}$ , кинетического (на наименьшей скорости)  $f_{v_{min}}^{cp}$  и статических  $f_o^{cp}$  и  $f_{t_i}^{cp}$  коэффициентов трения, а также осредненного коэффициента трения  $f_{cp}$ :

$$a_{cp} = \frac{1}{n_p n_v} \sum_{i=1}^{n_p n_v} a_i;$$

$$f_{v_{min}}^{cp} = \frac{1}{n_p} \sum_{i=1}^{n_p} f_{v_{min}}^{P_i}; \quad f_o^{cp} = \frac{1}{n_p} \sum_{i=1}^{n_p} f_o^{P_i};$$

$$f_{t_i}^{cp} = \frac{1}{n_p} \sum_{i=1}^{n_p} f_{t_i}^{P_i}; \quad f_{cp} = \frac{1}{3} (f_{v_{min}}^{cp} + f_o^{cp} + f_{t_i}^{cp}).$$

Вычисляют наибольшую амплитуду  $a_{max}$ , обычно соответствующую режиму трения с  $P_{max}$  и  $V_{min}$ :

$$a_{max} = \max_{i=1}^{n_p n_v} (a_{v_i}^{P_i}).$$

Вычисляют процент антискачковых свойств

$$A = \frac{n_p n_v - n_k}{n_p n_v} \cdot 100\%.$$

где  $n_k$  - число режимов испытаний, на которых наблюдается автоколебания.

#### 4.2.2. Экспрессный метод испытаний.

Задают характерный режим давления  $P_x$ , на котором условия возбуждения автоколебаний для исследуемых материалов наиболее вероятны: например,  $P_x = P_{max}$  для испытаний антискачковых масел или металлических конструкционных материалов;  $P_x = P_{min}$  для фторопластов или эластомеров.

1) Возможны и другие значения  $t$  - от секунд до суток



Задает значения скорости последовательно от  $V_{min}$  до  $V_{max}$  на  $n_v = 8+12$  ступенях и после 5 мин приработки на каждой ступени измеряют значения  $f_{v_i}^{p_x}$  и  $a_{v_i}^{p_x}$ .

При  $V_{min}$  останавливают движение и измеряют  $f_{t_i}^{p_x}$ , через  $t = 1$  мин неподвижного контакта вновь включают движение и измеряют  $f_{t_i}^{p_x}$ .

Вычисляют средние величины амплитуды автоколебаний  $a_{cp}^p$  и коэффициента трения  $f_{cp}^p$ :

$$a_{cp}^p = \frac{1}{n_v} \sum_{i=1}^{n_v} a_{v_i}^{p_x}; \quad f_{cp}^p = \frac{1}{3} (f_{v_{min}}^{p_x} + f_0^{p_x} + f_{t_i}^{p_x}).$$

Вычисляют наибольшую амплитуду автоколебаний  $a_{max}^p$  (обычно  $a_{max}^p = a_{max}$ ):

$$a_{max}^p = \max_{i=1}^{n_v} (a_{v_i}^{p_x}).$$

Вычисляют процент антискачковых свойств

$$A^p = \frac{n_v - n_x}{n_v} \cdot 100\%.$$

## 5. ОБРАБОТКА И ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ

Основная характеристика антискачковых свойств материалов процент  $A$ . В таблице приведены его характерные значения для типовых материалов направляющих станков.

Таблица

Параметры антискачковых свойств станочных материалов (трение по чугуну СЧ25, смазывание маслом И-40А, жесткость динамометра 40 даН/мм)

	Группа материалов	Материал	Параметры			
			A, %	$a_{cp}$ , мкм	$a_{max}$ , мкм	$f_{cp}$
Металлы	Черные	Чугун СЧ25	2	95	390	0,21
	Цветные сплавы	Бронза БР ОЦС6-6-3	11	70	270	0,18
Полимеры	На основе реактопластов	Эпоксидный компаунд УП-5-250	2	115	465	0,21
	На основе термопластов	Сополимер СФД-ВМ-ГС	88	30	75	0,14
	-"-	Наполненный фторопласт Ф4К15М5	100	0	0	0,06

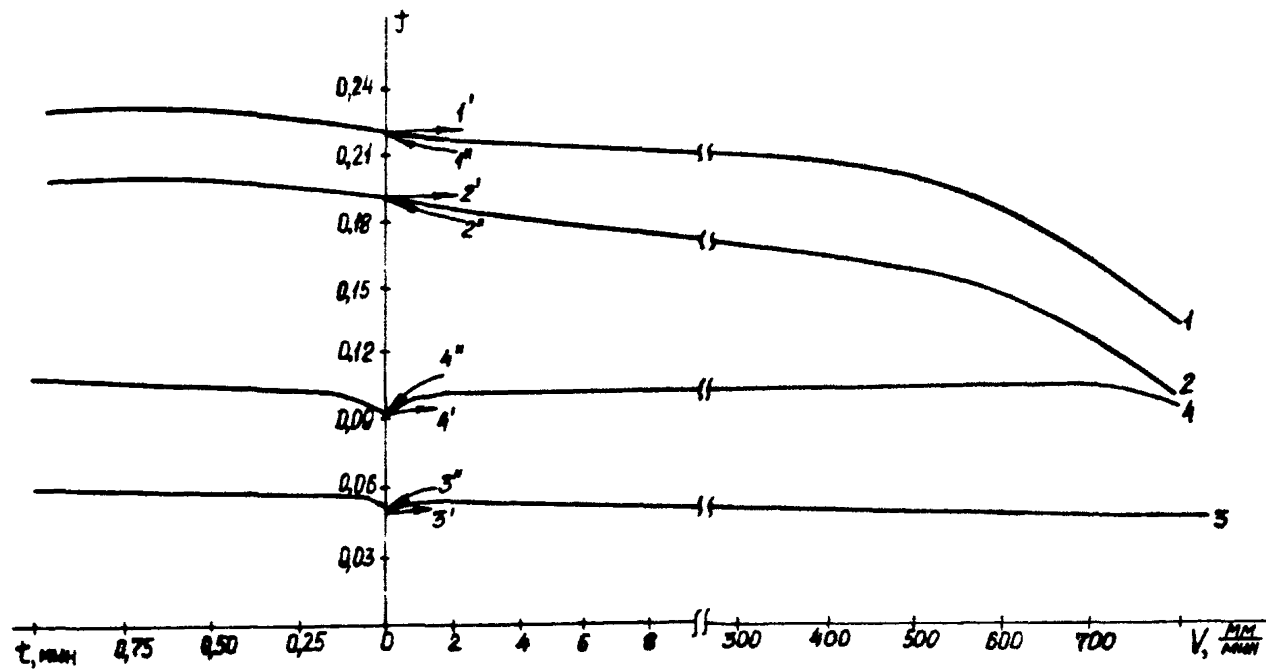
Отличными считаются антискачковые свойства при  $A = 100\%$ , хорошими при  $75\% \leq A < 100\%$ , удовлетворительными при  $50\% \leq A < 75\%$ , слабыми при  $20\% \leq A < 50\%$ , неудовлетворительными при  $A < 20\%$ .

Дополнительными характеристиками антискачковых свойств являются  $f_{ср}$ , характеризующий также антифрикционные свойства материалов, и амплитуды  $a_{ср}$  и  $a_{то}$ , типовые значения которых приведены в таблице.

Вспомогательной наглядной характеристикой антискачковых свойств может служить статокINETическая характеристика трения в виде единого графика зависимости коэффициента трения  $f$  от скорости скольжения  $V$  и времени неподвижного контакта  $t$ . На рис.2 представлены типовые статокINETические характеристики материалов направляющих станков.

В лабораторных исследованиях можно определять значения коэффициента трения не при ступенчатом изменении скорости, а при непрерывном ее изменении с заданным ускорением. Получаемые статодинамические характеристики трения при положительном ускорении (возрастания скорости от 0 до  $V_{max}$ ) расположены обычно несколько выше (рис.2, кривые 1' и 2'), а при отрицательном ускорении (уменьшения скорости от  $V_{max}$  до 0) — обычно несколько ниже<sup>1)</sup> (рис.2, кривые 1" и 2") кинетической характеристики. Это различие можно рассчитать из предположения, что параметры динамического (при движении с ускорением) трения при мгновенной скорости  $V_i$ , которой соответствует момент времени  $t_i$ , определяются условиями трения в предшествующий отрезок времени  $\Delta t_i$  и равны параметрам кинетического (при равномерном движении) трения при скорости  $V$ , равной средней за период  $\Delta t_i$ ; величина  $\Delta t_i$  зависит от ускорения.

<sup>1)</sup> Для антискачковых масел (рис.2, кривые 4' и 4") — наоборот, для фторопластов (рис.2, кривые 3' и 3) разница кинетической и динамической характеристик незначительна



II

Рис.2. Статикокинетические характеристики трения по стали при  $p=1\text{МПа}$ : смазывание маслом И-40А, материалы -чугун СЧ25 /1/, бронза БрОЦС6-6-3/2/, фторопласт Ф4К15М5/3/; смазывание маслом ИНСп-40, материалы-чугун СЧ-25/4/

Приложение  
Рекомендуемое

Прибор для оценки антискачковых свойств  
конструкционных и смазочных материалов ПАС-I  
(описание)

Более чем 20-летний опыт испытаний в ЭНИМСе на стенде ЛОН-23Н показал правильность принятой в этом стенде схемы испытаний (см.рис.1). Она реализована в серийном приборе ПАС-I настольного исполнения.

Прибор состоит из тиристорного электропривода ЭТИТ и рабочего узла. Блок управления приводом расположен на общем основании с рабочим узлом, двигатель постоянного тока - на отдельном основании (для исключения влияния его вибраций на измерения). Двигатель связан зубчатоременной передачей с валом червяка, передающим вращение червячному колесу.

Схема рабочего узла представлена на рис.3. Вращение получает полый вал I червячного колеса, на верхнем торце которого укреплено кольцо 2. К ограниченному съемными буртиками верхнему торцу кольца поджаты три одинаковых цилиндрических образца 3 из контролируемых материалов, равноудаленные друг от друга. Трение осуществляется между торцами образцов 3 и круговой направляющей кольца 2. Нагрузка на образцы передается через нагрузочный винт 4, гайку с ручками 5, упорный шарикоподшипник 6 и нажимной диск 7. Последний винтами 8 через сухари (на рис.3 не показаны) может поджиматься к лыскам резьбовой поверхности винта 4.

Нажимной диск 7 в горизонтальной плоскости связан с измерительным динамометром 9 тягой 10. На верхнем торце винта 4 укреплен нагрузочный динамометр 11, соединенный со струной 12, проходящей через сквозные осевые отверстия винта 4 и вала I и укрепленной нижним концом на неподвижном корпусе 13. Вращением гайки 5 и соответствующим подъемом или спусканием винта 4 создают определенное натяжение струны 12, которое обеспечивает требуемую для испытаний нагрузку на образцы 3.

Центрирование нагрузочного винта с гайкой и нажимным диском осуществляется винтом 4, нижний гладкий конец которого расположен с зазором в шарикоподшипнике. На внутреннем кольце последнего находится фторопластовая втулка. Для демпфиро-

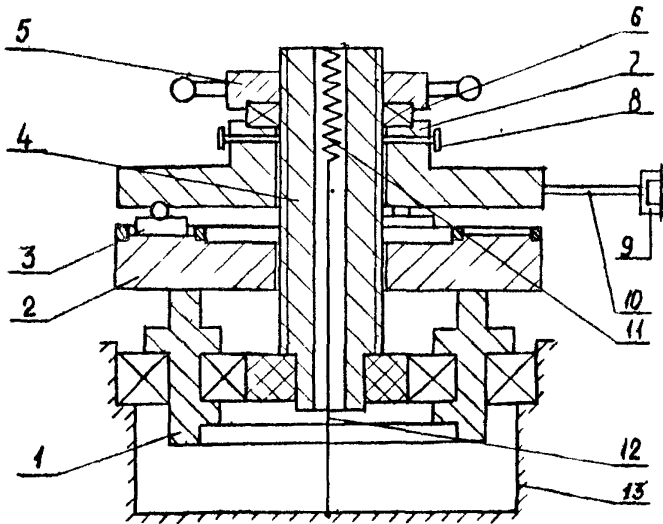


Рис.3. Схема рабочего узла прибора ПАС-1  
/привод вращения вала I  
условно не показан/

вания колебаний номинально постоянной скорости вращения вала I на нем предусмотрена установка масляного демпфера.

Прибор работает следующим образом. При отвинченной гайке 5 и поднятом (и поджатом в верхнем положении к лямкам винта 4) нажимном диске 7 очищают согласно п.3 Р рабочую поверхность кольца 2 и устанавливают на нее три очищенные образцы 3. Ослабляют винты 8, опускают диск 7 на образцы (через шарики), слегка поджимают его в нижнем положении к лямкам винта 4; вращением гайки 5 устанавливают по динамометру II нагрузку испытаний. Включают двигатель с заданной скоростью. Проводят испытание согласно п.4 Р и по динамометру 9 оценивают коэффициент трения и амплитуду автоколебаний образцов с диском. Вращением гайки 5 и регулятора электропривода изменяют нагрузку на образцы 3 и скорость вращения кольца 2; повторяют испытание на других режимах. После окончания испытания выключают привод, отвинчивают гайку 5 и поднимают диск 7 для смены образцов или смазочного материала.

#### Литература

1. Лапидус А.С., Портман В.Т., Левин Г.А. Стенд для испытания антифрикционных и антискачковых свойств материалов и масел // Станки и инструмент. - 1974. - №1.
2. Применение полимерных материалов для направляющих металлорежущих станков: Методические рекомендации / Ред. А.С.Лапидус и П.И.Длижен.-М.: НИИМАШ, 1983.

## ИНФОРМАЦИОННЫЕ ДАННЫЕ

РАЗРАБОТАНЫ И ВНЕСЕНЫ ЭНИМС Минстанпрома СССР

ИСПОЛНИТЕЛИ: к.т.н. Н.В.Гитис (руководитель темы),  
к.т.н. А.С.Лапидус, А.И.Крохотин; Б.Н.Чилов; А.В.Никитин

УТВЕРЖДЕНЫ ПРИКАЗОМ ВНИИМАП № 259 от 21.09.88г.

ВВЕДЕНЫ ВПЕРВЫЕ

Ссылочные нормативно-технические документы

Обозначение НТД, на который дана ссылка	Номер пункта, подпункта, приложения
ГОСТ 20799-75	1,1
ГОСТ 10054-82	3,2

## Содержание

С.

1. Общие требования .....	3
2. Приборы и материалы .....	4
3. Подготовка к испытаниям .....	6
4. Проведение испытаний .....	7
5. Обработка и оценка результатов .....	9
Приложение рекомендуемое .....	12
Литература .....	14
Информационные данные .....	15

Метод экспериментальной оценки антискачковых свойств  
конструкционных и смазочных материалов

Рекомендации Р 50-54-Г00-88

Редактор Волкова А.И.

Мл.редактор Еремеева Т.В.

ВНИИИМаш Госстандарта СССР

Ротапринт ВНИИИМаш 123007 Москва, ул.Шенюгина, 4  
Тираж 300 экз. Объем 0,7 уч.-изд.л. Цена 50 коп.  
Заказ №