

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(21) **201900229** (13) **A1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ**

(43) Дата публикации заявки
2020.09.30

(51) Int. Cl. **G01N 3/56** (2006.01)

(22) Дата подачи заявки
2019.03.20

(54) **ЦЕНТР ДЛЯ ИЗНОСОУСТАЛОСТНЫХ ИСПЫТАНИЙ МАТЕРИАЛОВ**

(96) **2019/ЕА/0031 (ВУ) 2019.03.20**

(71) Заявитель:
**БЕЛОРУССКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ (БГУ) (ВУ)**

(72) Изобретатель:

**Богданович Александр
Вольдемарович, Журавков
Михаил Анатольевич, Щербаков
Сергей Сергеевич, Сосновский
Леонид Адамович, Басинюк
Владимир Леонидович, Еловой Олег
Михайлович (ВУ)**

(57) Изобретение относится к испытательному оборудованию, в частности к машинам для механических испытаний образцов из различных материалов, и может быть использовано для экспериментальной оценки характеристик сопротивления разрушению механических систем, в которых реализуется трение скольжения или трение качения и которые одновременно воспринимают повторно-переменную неконтактную нагрузку. Задачей изобретения является создание компактного малогабаритного центра с повышенным ресурсом для износоусталостных испытаний материалов на образцах малых размеров диаметром рабочей части от 6 мм в виде периферийного устройства к компьютеру с оригинальными программным обеспечением и информационно-управляющей системой. Поставленная задача достигается тем, что элементы информационно-управляющей и электросиловой систем центра для износоусталостных испытаний материалов размещены в испытательной установке с уменьшенными до 600×320×420 мм³ габаритными размерами и сниженным до 1,0 кВт энергопотреблении, а испытания материалов реализуют на малоразмерных контрообразцах и цилиндрических образцах диаметром от 6 мм, повышение ресурса обеспечивается уменьшением абсолютных величин контактной и изгибной нагрузок при одновременном увеличении соответствующих максимальных напряжений в образце.

A1

201900229

201900229

A1

ЦЕНТР ДЛЯ ИЗНОСОУСТАЛОСТНЫХ ИСПЫТАНИЙ МАТЕРИАЛОВ

Изобретение относится к испытательному оборудованию и, в частности, к машинам для механических испытаний образцов из различных материалов и может быть использовано для экспериментальной оценки работоспособности и характеристик сопротивления разрушению механических систем, в которых реализуется трение скольжения или трение качения и которые одновременно воспринимают повторно-переменную неконтактную нагрузку.

Известна машина для испытания материалов на знакопеременный изгиб и переменные контактные напряжения [1], содержащая станину, укрепленные на ней стойки и корпус, установленный в нем шпиндель передает вращение с помощью редуктора на счетчик оборотов, электромотор, установленный на отдельной тумбе и соединенный со шпинделем упругой муфтой, два кольцевых образца, укрепленных с двух сторон фасонными гайками на конусной втулке, установленной конусной частью на конусе шпинделя машины; образцы обкатываются четырьмя нажимными роликами с цилиндрической и конической поверхностями катания; ролики соединяются в цепь, которая одним концом крепится на кронштейне стоек, а второй конец соединен с одним плечом двуплечего рычага, на другом плече рычага подвешивают грузы для создания контактных и изгибающих напряжений в образце. На этой машине моделируются условия работы системы «колесо – рельс»: контактные напряжения на поверхности катания образцов, имитирующие одно- и двухточечное касание колеса с рельсом при качении в кривых влиянием и одновременно знакопеременные напряжения изгиба в образцах.

Однако машина, описанная в [1], имеет ряд существенных недостатков, которые ограничивают области ее возможного применения и затрудняют практическое использование на практике, поскольку в этой машине: моделируются определенные (и ограниченные) условия работы только одной механической системы «колесо – рельс»; не обеспечиваются другие виды и режимы трения, характерные для иных механических систем; создаются только постоянные по величине нагрузки в образцах во время всего испытания; отсутствует система измерения износа (или сближения осей образца и контробразцов-роликов); не предусмотрены решения по автоматизации испытаний; имеет место невысокий к.п.д. в виду наличия

механических передач; относительно большие размеры образцов. Кроме того, машина является массивной и громоздкой.

Наиболее близкой к предлагаемому испытательному центру является универсальная машина СИ для износоусталостных испытаний материалов и моделей силовых систем [2], которая состоит из следующих основных частей: установки испытательной с узлами и механизмами для закрепления и испытания образцов или моделей силовых систем; электросиловой системы, включающей электрошкаф с силовой, коммутационной и пускорегулирующей аппаратурой; информационно-управляющей системы, размещенной в шкафу управления с контрольно-измерительными приборами, аппаратурой управления и сигнализации. Установка испытательная содержит: станину, на верхней плоскости которой смонтирован привод образца с электродвигателем, датчик измерения момента трения, стойку со шпинделем, привод контробразца с электродвигателем и гибким валом; внутри станины расположены механизм нагружения изгибающей нагрузкой и электрооборудование нагружателей, на задней стенке станины закреплен электромеханизм нагружения контактной нагрузкой; на лицевой стороне станины размещена панель управления механизмами нагружения в наладочном режиме; верхняя часть установки закрыта откидывающимися кожухами. При испытаниях электродвигатель привода образца через две упругие муфты и датчик момента трения вращает вал шпинделя, в котором закреплен испытываемый образец; изгибающие напряжения в образце создаются при помощи электромеханизма, рычага в виде плоской пружины, тяги и обоймы с подшипником, который одевается на хвостовик образца; электродвигатель привода контробразца через гибкий вал вращает вал, на котором закреплен контробразец-ролик, который, в свою очередь, прижимается к образцу рычагом, выполненным в виде плоской пружины, при помощи электромеханизма нагружения контактной нагрузкой. Оба электродвигателя приводов управляются тиристорными блоками, позволяющими с помощью задатчиков, расположенных в шкафу управления, изменять в широком диапазоне и поддерживать с высокой точностью заданную частоту вращения образца ($50 \dots 5000 \text{ мин}^{-1}$) и контробразца ($50 \dots 2000 \text{ мин}^{-1}$), обеспечивая заданную скорость проскальзывания пары трения ($0 \dots 80\%$). Измерение контактной (в диапазоне $20 \dots 5000 \text{ Н}$) и изгибающей (в диапазоне $50 \dots 1500 \text{ Н}$) нагрузок производится с помощью тензодатчиков, наклеенных непосредственно на пружинные рычаги и показывающих приборов на панели шкафа управления. При этом изгибающие и контактные нагрузки изменяются бесступенчато и по любому закону, а в образце можно возбуждать изгибающие напряжения до 1000 МПа

и более и контактные напряжения до 3500 МПа и более. Предусмотрена также возможность направления приложения изгибающей силы (вверх или вниз), что позволяет прикладывать контактную нагрузку в зоне сжатых или растянутых волокон образца. Вместо вращающегося контробразца – ролика на рычаге может быть установлена кассета с неподвижным контробразцом, или динамометрическое кольцо с мостиками фреттинга. В этом случае в используемой на машине силовой системе (образец / контробразец) реализуется трение скольжения или фреттинг. Линейный износ либо сближение осей пары трения измеряется (в диапазоне 10...1000 мкм) с помощью индуктивного датчика, параметры вибрации – виброакселерометром, установленным на рычаге в зоне крепления контробразца. Момент трения измеряется в диапазоне 0,5...20 Нм с погрешностью 2%. На машине СИ используются цилиндрические образцы диаметром рабочей части 10 мм, применяются следующие типы контробразцов (основные габаритные размеры $10 \times 10 \times 10$ мм³ при трении скольжения и проскальзывания; диаметр 100 мм при трении качения): диск, ролик, цилиндр, колодка, втулка, пластина, мостик, палец. На этой машине могут быть реализованы испытания на: трение скольжения, трение качения, трение качения с проскальзыванием, механическую усталость, фреттинг-усталость, фрикционно-механическую усталость, контактно-механическую усталость.

Однако применение универсальной машины СИ в современных условиях учреждениями высшего образования и науки ограничено следующими ее основными недостатками: относительно большие размеры образца и контробразцов; значительные габаритные размеры 2550×650×1360 мм³ установки испытательной и масса машины; устаревшая информационно-управляющая система, контрольно-измерительные приборы, аппаратура управления и сигнализации которой размещается в отдельном крупногабаритном шкафу управления; высокие значения создаваемых контактной и изгибающих нагрузок, понижающие ресурс машины; недостаточно широкий диапазон измерения линейного износа либо сближения осей пары трения; высокое энергопотребление – номинальная мощность электрооборудования 10 кВт.

Задачей изобретения является создание компактного малогабаритного центра в виде периферийного устройства к персональному компьютеру с оригинальными программным обеспечением и информационно-управляющей системой для износоусталостных испытаний материалов на образцах малых размеров диаметром рабочей части от 6 мм, с повышенным

ресурсом путем уменьшения абсолютных величин контактной и изгибной нагрузок при одновременном расширении диапазонов контактных и изгибающих напряжений в образце в сторону увеличения.

Поставленная задача достигается тем, что в центре для износоусталостных испытаний материалов, состоящем из установки испытательной, содержащей станину, электропривод образца, механизм изгибающей нагрузки с электроприводом с возможностью воздействия через систему рычагов на обойму с подшипником, одетым на хвостовик образца, механизм контактной нагрузки с электроприводом с возможностью воздействия через систему рычагов на кассету с закрепленным в ней контробразцом, защитный кожух; информационно-управляющей системы, включающей первичные датчики параметров испытаний и аварийных сигналов в комплекте с измерительными и нормирующими усилителями, источниками питания, электронный блок-контроллер, содержащий аппаратуру преобразования сигналов системы датчиков в цифровые последовательности для передачи в персональный компьютер (ПК) и управляющий приводами нагружающих устройств, ПК с программным и математическим обеспечением системы управления, сбора и обработки экспериментальных данных; электросиловой системы, содержащей силовую пускорегулирующую аппаратуру, электронный блок управления электроприводом образца, трассы кабелей, розетки для подключения информационно-управляющей системы, элементы информационно-управляющей и электросиловой систем конструктивно размещены в установке испытательной с уменьшенными до $600 \times 320 \times 420$ мм³ габаритными размерами и сниженным до 1,0 кВт энергопотреблении, а износоусталостные испытания материалов имеют возможность реализации на малоразмерных унифицированных цилиндрических образцах (диаметром рабочей части от 6 мм) и контробразцах диаметром ролика при качении от 60 мм и профильным радиусом от 3 мм с повышенным ресурсом путем уменьшения абсолютных величин контактной до 700 Н и изгибной до 700 Н нагрузок при одновременном увеличении максимальных контактных до 6000 МПа и изгибающих до 2000 МПа напряжений в образце.

Использование идентичного или сходного конструктивного решения для испытательных машин не обнаружено.

Сущность изобретения поясняется фиг. 1 – фиг. 16. На фиг. 1 изображен общий вид установки испытательной центра для износоусталостных испытаний материалов, на фиг. 2 – принципиальная схема испытательной установки центра, на фиг. 3 – структурная схема информационно-

управляющей системы и приводов, на фиг. 4 представлена схема взаимодействия центра для износоусталостных испытаний материалов с персональным компьютером и другими периферийными устройствами (УИ – установка испытательная; ИУС – информационно-управляющая система; ПО – программное обеспечение; ЭСС – электросиловая система), на фиг. 5 – схема испытания на механическую усталость, на фиг. 6 – схема испытания на трение скольжения, на рис. 7 – схема испытания на трение качения, на рис. 8 – схема испытания на фрикционно-механическую усталость, на рис. 9 – схема испытания на контактно-механическую усталость, на фиг. 10 – график контактной нагрузки в зависимости от числа циклов для пары трения сталь 30 (образец) – сосна поперек волокон (контролобразец), на фиг. 11 – график зависимости линейного износа от числа циклов для пары трения сталь 30 (образец) – сосна поперек волокон (контролобразец), на фиг. 12 – график зависимости силы трения от числа циклов для пары трения сталь 30 (образец) – сосна поперек волокон (контролобразец), на фиг. 13 – программа нагружения пары трения «цилиндрический образец из стали 45 - ролик из стали 25ХГТ» при испытаниях на контактную усталость, на фиг. 14 – программа нагружения трибофатической системы «цилиндрический образец из стали 45 - ролик из стали 25ХГТ» при испытаниях контактно-механическую усталость, на фиг. 15 – экспериментальный график зависимости сближения осей δ_c от числа циклов нагружения при испытаниях пары трения «цилиндрический образец из стали 45 - ролик из стали 25ХГТ» на контактную усталость ($\Delta \approx 10$ мкм и $\Delta \approx 40$ мкм), на фиг. 16 – экспериментальный график зависимости сближения осей δ_c от числа циклов нагружения при испытаниях трибофатической системы «цилиндрический образец из стали 45 - ролик из стали 25ХГТ» на контактно-механическую усталость ($\Delta \approx 10$ мкм и $\Delta \approx 40$ мкм).

Установка испытательная центра для износоусталостных испытаний материалов состоит из следующих частей (фиг.1): станины 1; электропривода образца 2; механизма контактной нагрузки 3; защитного кожуха 4; механизма изгибающей нагрузки 5; измерителя линейного износа либо сближения осей пары трения (трибофатической системы) 6.

Взаимосвязь составных частей испытательной установки центра показана на схеме (фиг. 2).

Электродвигатель привода 2 образца вращает вал, в котором закреплен испытываемый образец 7. Изгибные напряжения в образце создаются с помощью электропривода 8 механизма изгибающей нагрузки, через обойму 9 с подшипником, насаженным на хвостовик вращающегося образца 7.

Расположение площадки трения в зоне растяжения или в зоне сжатия образца обеспечивается изменением направления (соответственно вниз или вверх) изгибающей силы Q , действующей на образец.

Контробразец 10 прижимается к рабочей поверхности образца с помощью электропривода 11 механизма контактной нагрузки через рычаг 12.

Вместо вращающегося контробразца – ролика на рычаге может быть установлена кассета (на фиг. 2 не показана) с неподвижным контробразцом. В этом случае в используемой на испытательном центре трибофатической системе (образец / контробразец) реализуется трение скольжения.

Величины контактной и изгибной нагрузок, а также силы трения определяются с помощью датчиков силы 13. Частота вращения контробразца измеряется с помощью оптоэлектронного датчика. Линейный износ либо сближение осей пары трения (трибофатической системы) измеряется с помощью датчика линейных перемещений индуктивного или емкостного типа, параметры вибрации – вибродатчиком, установленным на рычаге в зоне крепления контробразца (на схеме не показаны).

Информационно-управляющая система центра создана на базе ПК. Она построена по принципу: испытательная установка – система управления/измерения – ПК. Информационно-управляющая система (фиг. 3) имеет 3 канала управления устройствами испытательной машины. Они используются для управления: скоростью вращения образца; величиной контактной нагрузки; величиной изгибающей нагрузки. Количество каналов регистрации аналоговых сигналов – до 16. Эти каналы используются для измерения выходных сигналов: тензодатчика измерителя контактной нагрузки; тензодатчика измерителя изгибающей нагрузки; тензодатчика измерителя силы трения; датчика температуры (пирометра); датчика линейных перемещений измерителя износа; датчика вибраций.

Информационно-управляющая система предусматривает следующие режимы работы: планирование испытаний; калибровка измерительных каналов; проведение испытаний; просмотр кинетических экспериментальных данных; обработка результатов испытаний. Информационно-управляющая система позволяет производить измерения и регистрацию параметров на протяжении всего времени испытаний. Параметры управления с помощью специальной программы поступают из ПК в контроллер, где происходит их преобразование в управляющие сигналы для исполнительных устройств и производится контроль правильности отработки установленного задания исполнительными устройствами (регулятор частоты вращения образца, приводы механизмов изгибающей и контактной нагрузки). Контроллер также передает в ПК результаты измерений. Программно-математическое

обеспечение процесса испытаний представляет собой диалоговую рабочую программу на ПК, обеспечивающую: задание из меню режимов и условий испытаний (алгоритм управления испытаниями); контроль вывода управляющих воздействий (кинетика управления); сбор первичной информации от системы датчиков (алгоритм измерения); вторичную обработку полученных данных в соответствии с вложенными процедурами (алгоритм обработки результатов); представление конечных результатов (протоколы испытаний, таблицы, графики, кривые предельного состояния и др.) на экране ПК.

Взаимодействие центра для износоусталостных испытаний материалов с ПК и другими периферийными устройствами схематично изображено на фиг. 4.

Центр для износоусталостных испытаний материалов позволяет реализовать следующие виды испытаний: на механическую усталость при изгибе с вращением (фиг. 5); на трение скольжение – фрикционную усталость (фиг. 6); на трение качения – контактную усталость (фиг. 7); совмещенные испытания на механическую усталость и трение скольжения – фрикционно-механическую усталость (фиг. 8); совмещенные испытания на механическую усталость и трение качения – контактно-механическую усталость (фиг. 9).

Электродвигатель привода образца управляются тиристорным блоком, позволяющим изменять в широком диапазоне и поддерживать с высокой точностью заданную частоту вращения образца (3000 мин^{-1}). Измерение контактной (в диапазоне $5 \dots 700 \text{ Н}$) и изгибающей (в диапазоне $5 \dots 700 \text{ Н}$) нагрузок производится с помощью силоизмерителей тензометрических. При этом изгибающие и контактные нагрузки изменяются бесступенчато и по любому закону, а в образце можно возбуждать изгибающие напряжения до 2000 МПа и контактные напряжения до 6000 МПа . Предусмотрена также возможность направления приложения изгибающей силы (вверх или вниз), что позволяет прикладывать контактную нагрузку в зоне сжатых или растянутых волокон образца. Вместо вращающегося контробразца – ролика на рычаге может быть установлена кассета с неподвижным контробразцом. В этом случае в используемой на машине трибофатической системе (образец / контробразец) реализуется трение скольжения. Линейный износ либо сближение осей пары трения (трибофатической системы) измеряется (в диапазоне $1 \dots 3000 \text{ мкм}$) с помощью индуктивного датчика, параметры вибрации – датчиком вибрации, установленным на рычаге в зоне крепления контробразца. Сила трения измеряется с помощью датчика

тензометрического в диапазоне 1...300 Н с погрешностью $\pm 0,5\%$. На центре для износоусталостных испытаний материалов используются цилиндрические образцы диаметром рабочей части от 6 мм, применяются следующие типы контробразцов (основные габаритные размеры $10 \times 10 \times 10$ мм³ при трении скольжения и диаметр от 60 мм при трении качения): ролик, колодка, пластина. На нем могут быть реализованы испытания на: трение скольжения, трение качения, механическую усталость, фрикционно-механическую усталость, контактно-механическую усталость.

Рассмотрим возможности центра для износоусталостных испытаний материалов по нагрузкам и напряжениям. Применение в механизмах контактной и изгибающей нагрузок шагового электродвигателя модели 57BYGH2115-4008А позволяет реализовать усилие до 1000 Н на выходном штоке, которое программным обеспечением ограничивается величиной 700 Н. Для системы вал – ролик (фиг. 7, 9) максимальные контактные напряжения p_0 в центре контактной площадки согласно [3] определяют по формуле

$$p_0 = 0,365 n_\sigma \left[F_N (\Sigma \rho / \eta)^2 \right]^{1/3},$$

где n_σ – коэффициент, определяемый по [3] в зависимости от величины Ω , которую рассчитывают по формуле

$$\Omega = ((\rho_{11} - \rho_{12}) + (\rho_{21} - \rho_{22})) / \Sigma \rho;$$

F_N – контактная нагрузка, Н; $\Sigma \rho = \rho_{11} + \rho_{12} + \rho_{21} + \rho_{22}$ – сумма главной кривизны поверхностей соприкасающихся тел в точке первоначального контакта;

$\rho = 1/R$ – главная кривизна поверхности, которая считается положительной, если поверхность выпуклая, и отрицательной, если вогнутая;

$\rho_{11} = 1/R_{11}$ и $\rho_{12} = 1/R_{12}$ – главная кривизна ролика (контробразца) в двух взаимно перпендикулярных плоскостях;

$\rho_{21} = 1/R_{21}$ и $\rho_{22} = 1/R_{22}$ – главная кривизна вала (образца) в двух взаимно перпендикулярных плоскостях;

η – коэффициент, учитывающий упругие характеристики материалов контактирующих тел

$$\eta = (1 - \mu_1^2) / E_1 + (1 - \mu_2^2) / E_2;$$

μ_1 и μ_2 – коэффициенты Пуассона материалов образца и контробразца;

E_1 и E_2 – модули нормальной упругости материалов образца и контробразца, МПа.

Если образец и контробразец изготовлены из стали ($\mu_1 = \mu_2 = 0,3$; $E_1 = E_2 = 2 \cdot 10^5$ МПа), для заданных размеров образца ($R_{21} = 3$ мм; $R_{22} = 10$ мм) и

контробразца ($R_{11} = 30$ мм; $R_{12} = 3$ мм) получаем следующее выражение для максимального контактного напряжения

$$p_0 = 500,5 F_N^{1/3}.$$

Тогда при максимальной контактной нагрузке имеем $p_0 = 500,5 F_N^{1/3} = 500,5 \cdot 700^{1/3} = 4\,443$ МПа. В случае, если образец в зоне контакта с контробразцом-роликом имеет цилиндрическую поверхность ($R_{22} = \infty$)

$$p_0 = 660,9 F_N^{1/3},$$

и при максимальной контактной нагрузке $p_0 = 660,9 F_N^{1/3} = 660,9 \cdot 700^{1/3} = 5\,868$ МПа.

Таким образом, с учетом имеющегося запаса по контактной нагрузке используемого электродвигателя и геометрии рабочих поверхностей образца и контробразца максимальные контактные напряжения при испытаниях на контактную и контактно-механическую усталость могут достигать 6000 МПа.

Максимальные изгибающие напряжения в опасном сечении образца при испытаниях на механическую усталость (фиг. 5) определяют по известной формуле:

$$\sigma = M / W = (Ql) / (\pi d^3 / 32),$$

где M – изгибающий момент;

W – момент сопротивления;

Q – изгибающая нагрузка;

l – плечо (расстояние от линии приложения нагрузки Q до опасного сечения образца;

d – диаметр рабочей части образца.

В нашем случае усилие 1000 Н на выходном штоке шагового электродвигателя 57BYGH2115-4008А механизма изгибающей нагрузки программным обеспечением ограничивается величиной 700 Н = Q , $l = 65$ мм, $d = 6$ мм, следовательно,

$$\sigma = (Ql) / (\pi d^3 / 32) = (700 \cdot 65) / (\pi \cdot 6^3 / 32) = 2145 \text{ МПа},$$

что с запасом перекрывает заявленные 2000 МПа.

Для привода образца на центре для износоусталостных испытаний материалов использован электродвигатель асинхронный АИРЕ 63 В2 мощностью 0,37 кВт. Электродвигатель шаговый 57BYGH2115-4008А механизмов контактной и изгибающей нагрузок потребляет мощность 0,15 кВт. Установленная мощность электрооборудования 0,8 кВт. В целом, установка испытательная и информационно-управляющая система центра

для износоусталостных испытаний материалов (без ПК) потребляет мощность не более 1 кВт.

Пример реализации изобретения.

На центре для износоусталостных испытаний материалов выполняли испытания пары трения «цилиндрический образец диаметром рабочей части 6 мм из стали 30 – контробразец-кубик размером $10 \times 10 \times 10$ мм³ из дерева (сосна поперек волокон)» на трение скольжения при частоте нагружения 3000 мин^{-1} по схеме, представленной на фиг. 6.

Для этого с помощью программного обеспечения была задана программа испытаний методом многоступенчатого нагружения, которая изображена на фиг. 10 (штриховая линия 1). По этой программе контактная нагрузка F_N задавалась в диапазоне от 4 до 22 Н с интервалом 4 Н, а длительность каждой ступени составляла 10 тысяч циклов. На фиг. 10 для сравнения приведен также график фактического изменения контактной нагрузки (сплошная линия 2) в зависимости от числа циклов N нагружения, полученный на основе анализа сигналов с датчика контактной нагрузки.

График зависимости линейного износа Δh от числа циклов N представлен на фиг. 11, а на фиг. 12 изображен график зависимости силы трения F_S от числа циклов N нагружения для исследуемой пары трения, из которого хорошо видны характерные скачки величины F_S при переходе со ступени на ступень.

Также на центре для износоусталостных испытаний материалов выполняли испытания трибофатической системы «цилиндрический образец диаметром рабочей части 6 мм из стали 45 - ролик диаметром 60 мм и профильным радиусом 3 мм из стали 25ХГТ» на контактную и контактно-механическую усталость по схемам, представленным на фиг. 7 и 9. Программы испытаний методом многоступенчатого нагружения изображены на фиг. 13, 14.

В зону трения подавали редукторное масло ТИ5-2 капельным способом. Частота вращения образца была постоянной (3000 мин^{-1}). Для исследования было принято 11 ступеней изменения величины контактной нагрузки (см. фиг. 13, 14). Исследовали образцы с биением $\Delta = \pm 10 \text{ мкм}$ и $\Delta = \pm 40 \text{ мкм}$. На фиг. 15, 16 представлены результаты испытаний в виде диаграмм изменения сближения осей δ_c элементов трибофатической системы от числа циклов нагружения.

Анализ приведенных результатов испытаний показывает:

1) Движение ролика по образцу нестационарно изначально, эта нестационарность значительно усиливается вследствие остаточного

изменения размеров площадки контакта и локальных свойств материала вдоль дорожки качения.

2) Биение образца оказывает существенное влияние на характеристики износоусталостного повреждения: величины сближения осей, уровня шума, остаточных осевых и радиальных деформаций при одинаковой наработке больше для образца с биением 40 мкм, чем у образца с биением 10 мкм, различие особенно увеличивается с ростом контактной нагрузки (см. фиг. 15).

3) Введение изгибающей нагрузки приводит к интенсификации процесса контактного повреждения: увеличиваются все характеристики износоусталостного повреждения при одинаковой контактной нагрузке (и наработке), предельное состояние наступает раньше (см. фиг. 16).

Таким образом, заявляемый центр для износоусталостных испытаний материалов по сравнению с прототипом позволяет реализовать все методы износоусталостных испытаний материалов на образцах малых размеров диаметром рабочей части от 6 мм с повышенным ресурсом путем уменьшения абсолютных величин контактной до 700 Н и изгибной до 700 Н нагрузок при одновременном увеличении максимальных контактных до 6000 МПа и изгибающих до 2000 МПа напряжений в образце, уменьшении габаритных размеров для испытательной установки до $600 \times 320 \times 420$ мм³, снижении энергопотребления до 1,0 кВт.

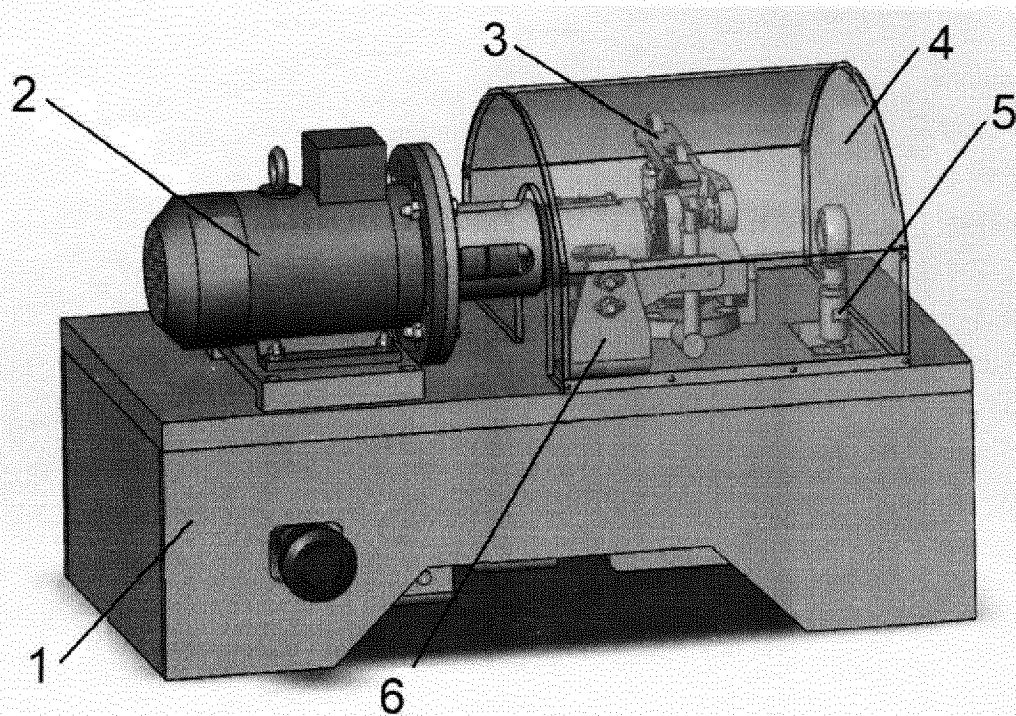
Источники информации

1. Патент RU № 2091751 C1, G 01 N 3/56, 25.09.1997.
2. Индман Н.Л., Ожигар Г.П., Сосновский Л.А. Конструктивные особенности машины СИ // Заводская лаборатория, 1995. - № 6. - С. 44-48.
3. Р 50-54-30-87. Расчеты и испытания на прочность. Методы испытаний на контактную усталость : утв. приказом ВНИИНМАШ № 379 от 08.12.1987 ; введ. в действие с 1987-12-08. - Взамен ГОСТ 25.501-78 [Текст]. - М. : Государственный комитет СССР по стандартам ; ВНИИНМАШ, 1988. - с. 9-12, 44.

Формула изобретения.

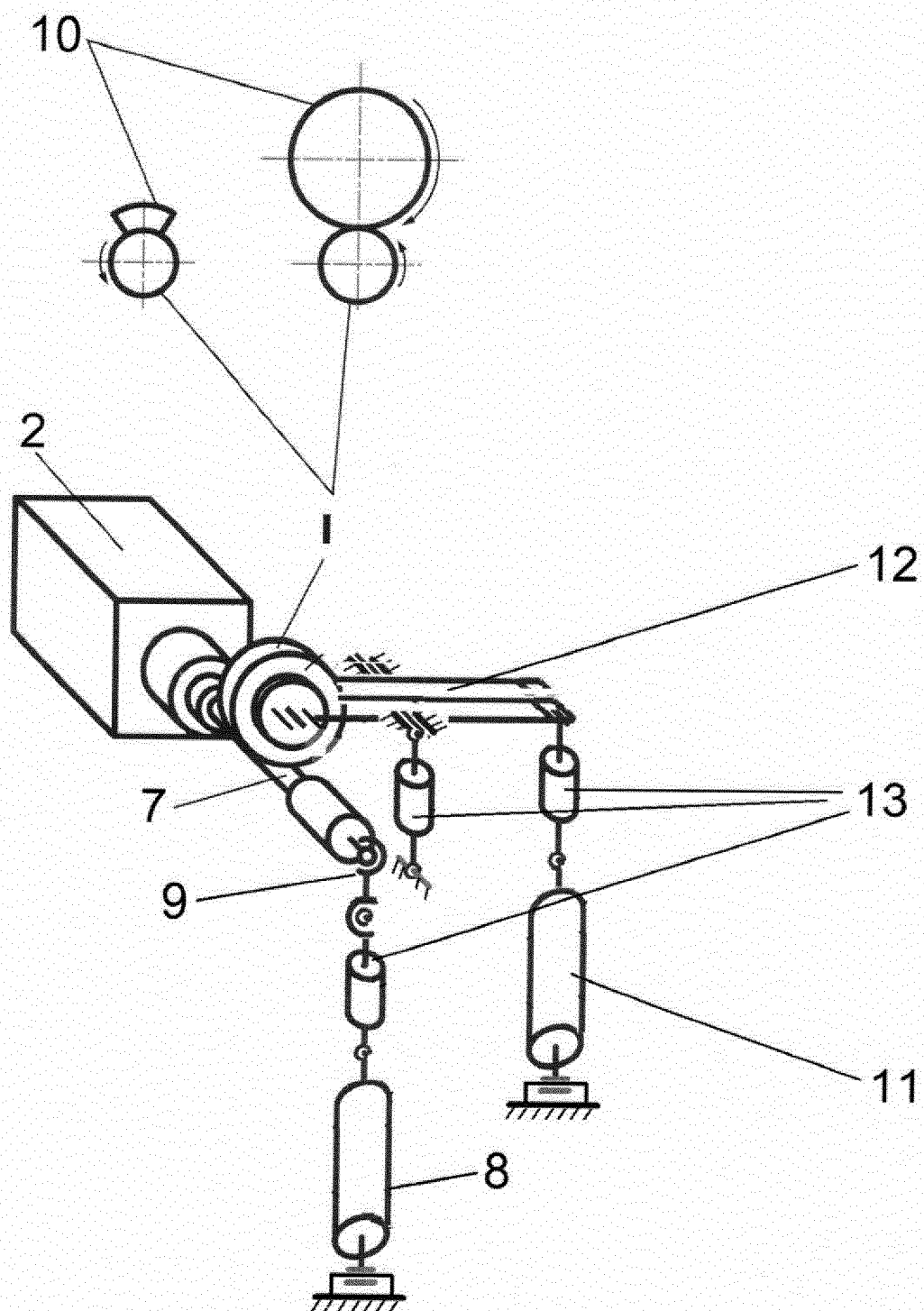
Центр для износоусталостных испытаний материалов, состоящий из установки испытательной, содержащей станину, электропривод образца, механизм изгибающей нагрузки с электроприводом с возможностью воздействия через систему рычагов на обойму с подшипником, одетым на хвостовик образца, механизм контактной нагрузки с электроприводом с возможностью воздействия через систему рычагов на кассету с закрепленным в ней контробразцом, защитный кожух; информационно-управляющей системы, включающей первичные датчики параметров испытаний и аварийных сигналов в комплекте с измерительными и нормирующими усилителями, источниками питания, электронный блок-контроллер, содержащий аппаратуру преобразования сигналов системы датчиков в цифровые последовательности для передачи в персональный компьютер (ПК) и управляющий приводами нагружающих устройств, ПК с программным и математическим обеспечением системы управления, сбора и обработки экспериментальных данных; электросиловой системы, содержащей силовую пускорегулирующую аппаратуру, электронный блок управления электроприводом образца, трассы кабелей, розетки для подключения информационно-управляющей системы, *отличающийся* тем, что элементы информационно-управляющей и электросиловой систем конструктивно размещены в установке испытательной с уменьшенными до $600 \times 320 \times 420$ мм³ габаритными размерами и сниженном до 1,0 кВт энергопотреблении, а износоусталостные испытания материалов имеют возможность реализации на малоразмерных унифицированных цилиндрических образцах диаметром рабочей части от 6 мм и контробразцах диаметром ролика при качении от 60 мм и профильным радиусом от 3 мм с повышенным ресурсом путем уменьшения абсолютных величин контактной до 700 Н и изгибной до 700 Н нагрузок при одновременном увеличении максимальных контактных до 6000 МПа и изгибающих до 2000 МПа напряжений в образце.

**ЦЕНТР ДЛЯ ИЗНОСОУСТАЛОСТНЫХ ИСПЫТАНИЙ
МАТЕРИАЛОВ**



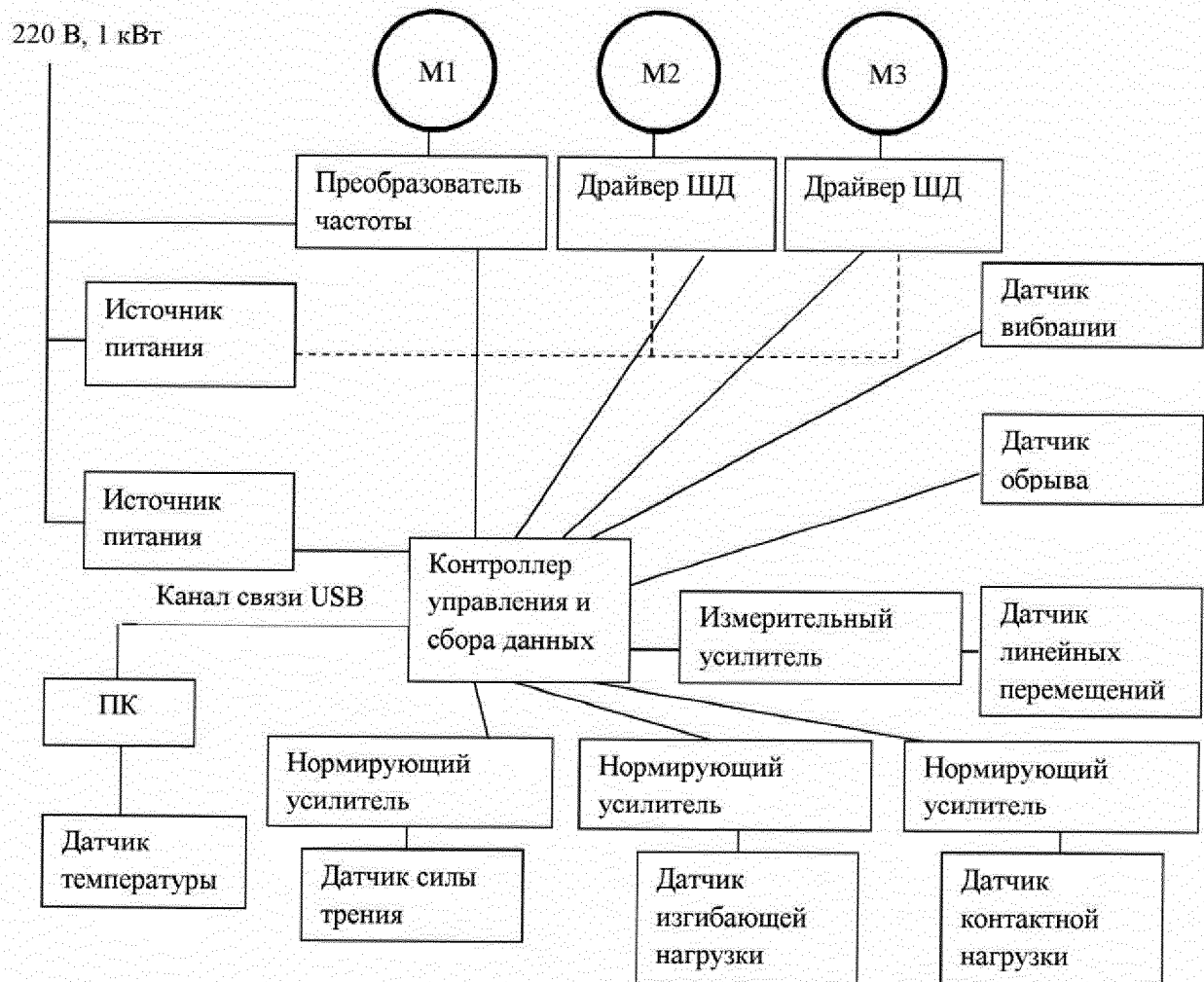
Фиг. 1

ЦЕНТР ДЛЯ ИЗНОСОУСТАЛОСТНЫХ ИСПЫТАНИЙ
МАТЕРИАЛОВ



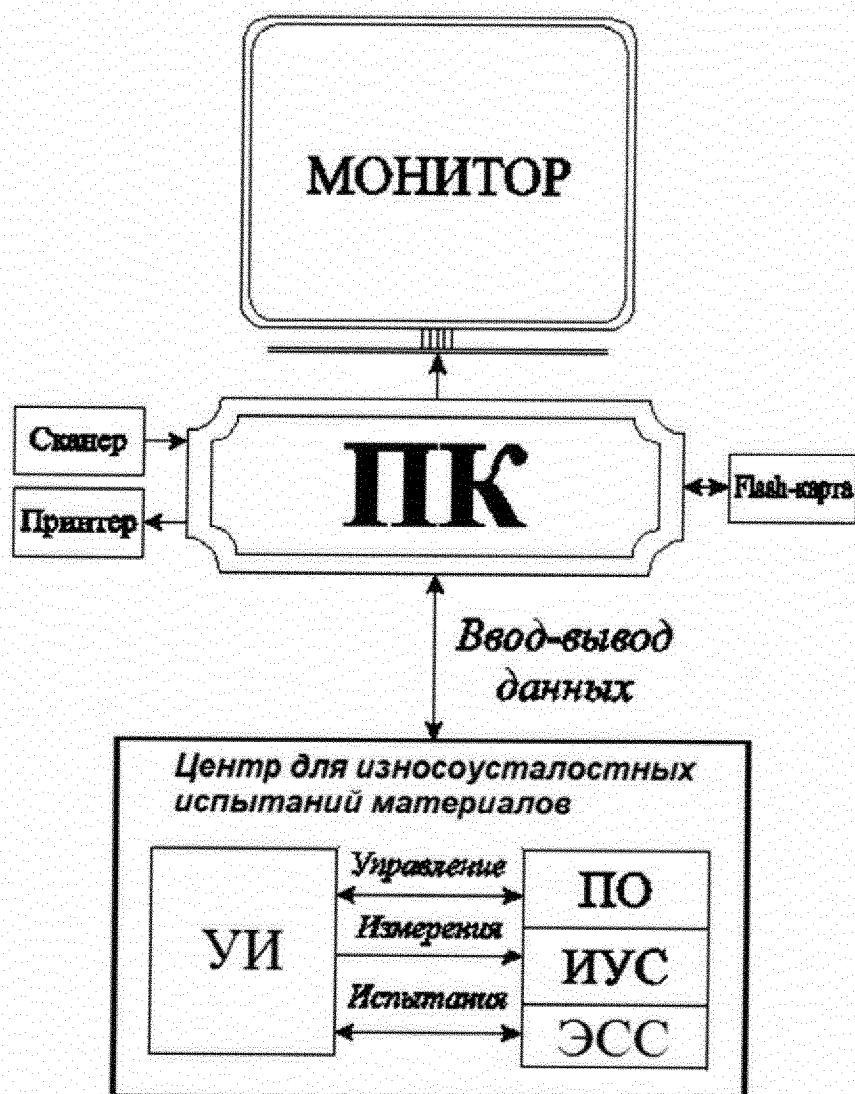
Фиг. 2

ЦЕНТР ДЛЯ ИЗНОСОУСТАЛОСТНЫХ ИСПЫТАНИЙ МАТЕРИАЛОВ



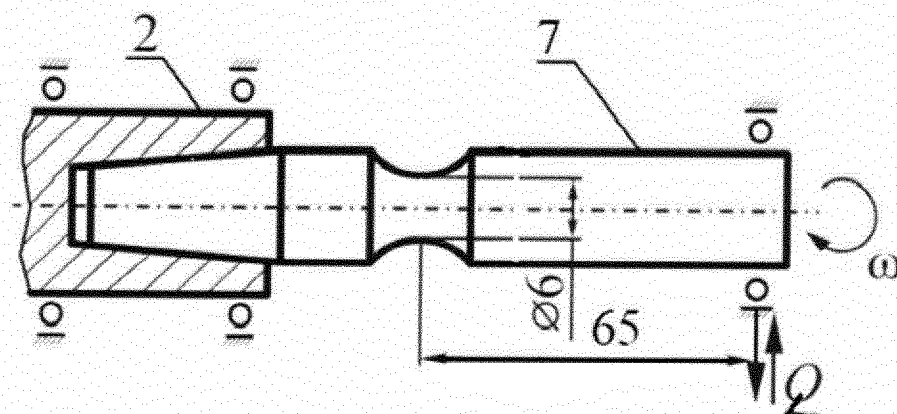
Фиг. 3

ЦЕНТР ДЛЯ ИЗНОСОУСТАЛОСТНЫХ ИСПЫТАНИЙ МАТЕРИАЛОВ

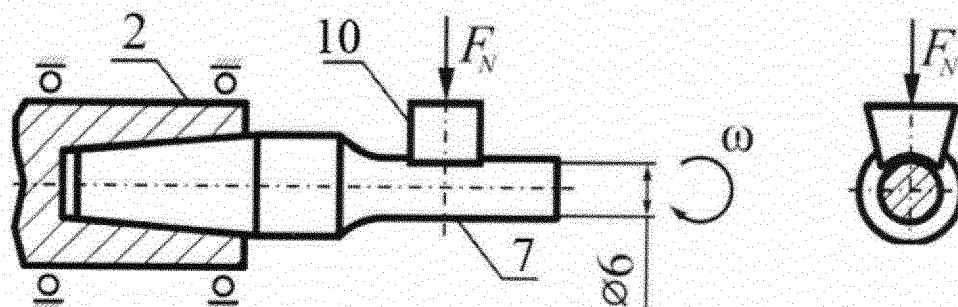


Фиг. 4

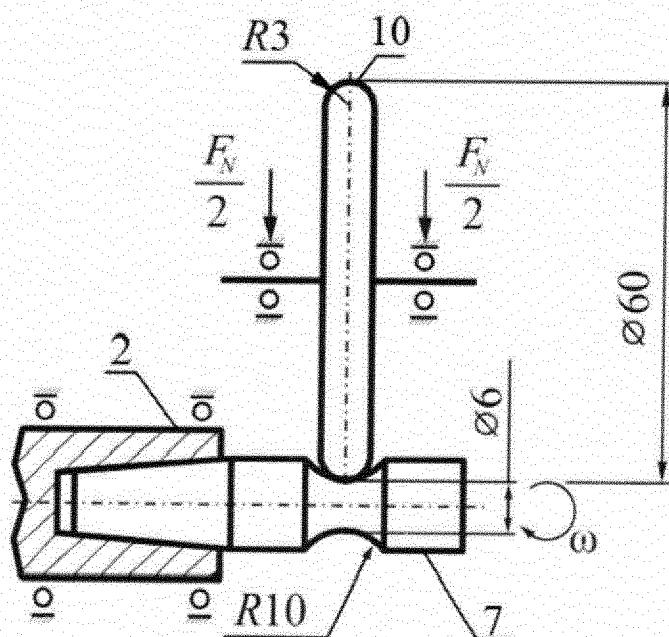
ЦЕНТР ДЛЯ ИЗНОСОУСТАЛОСТНЫХ ИСПЫТАНИЙ МАТЕРИАЛОВ



Фиг. 5

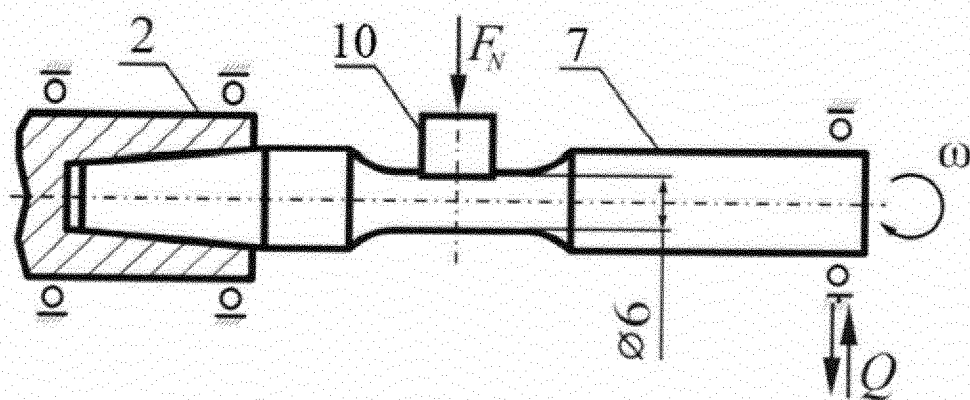


Фиг. 6

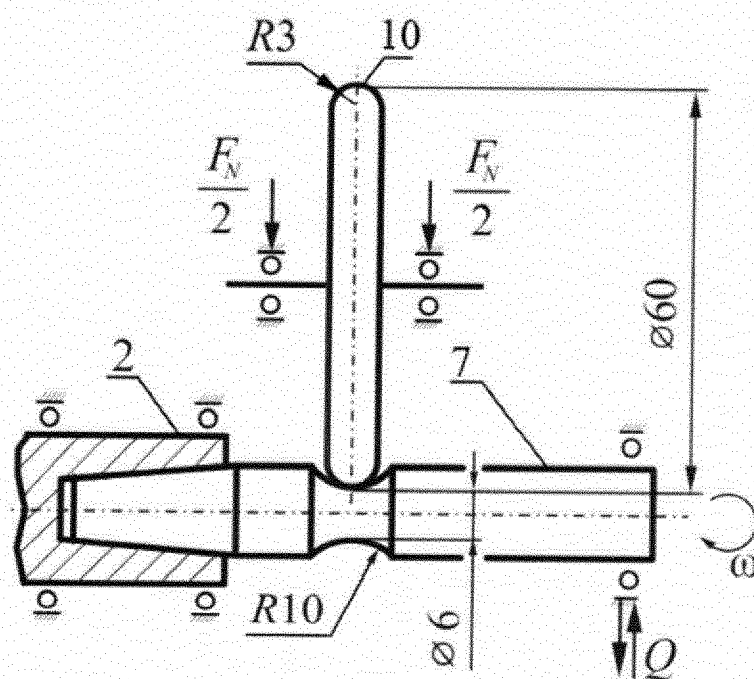


Фиг. 7

ЦЕНТР ДЛЯ ИЗНОСОУСТАЛОСТНЫХ ИСПЫТАНИЙ МАТЕРИАЛОВ

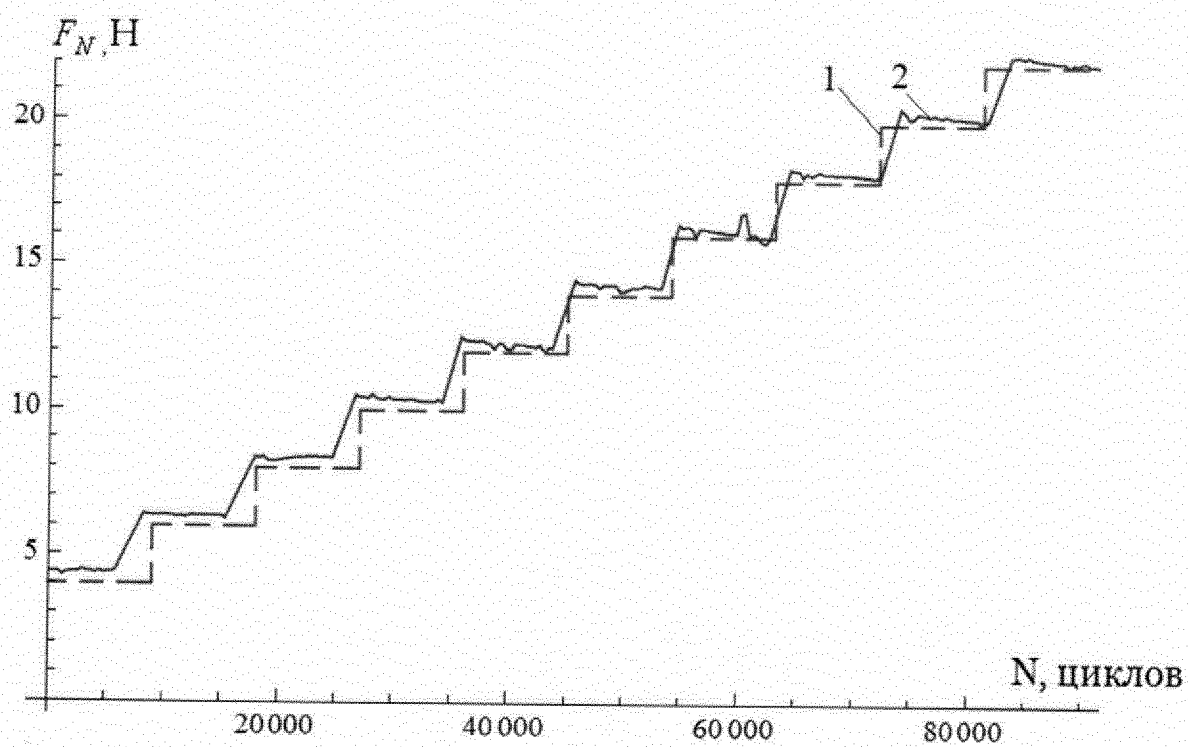


Фиг. 8



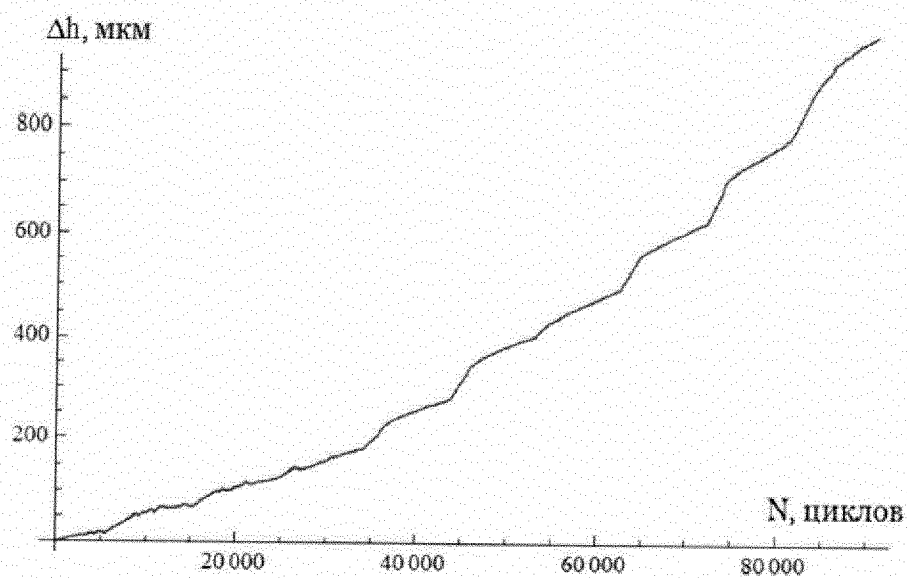
Фиг. 9

ЦЕНТР ДЛЯ ИЗНОСОУСТАЛОСТНЫХ ИСПЫТАНИЙ
МАТЕРИАЛОВ

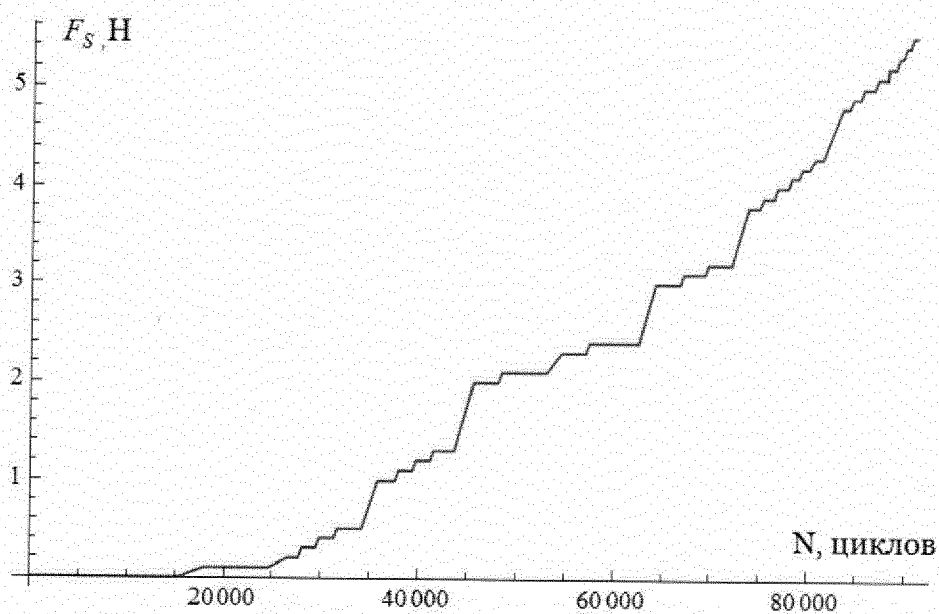


Фиг. 10

ЦЕНТР ДЛЯ ИЗНОСОУСТАЛОСТНЫХ ИСПЫТАНИЙ МАТЕРИАЛОВ

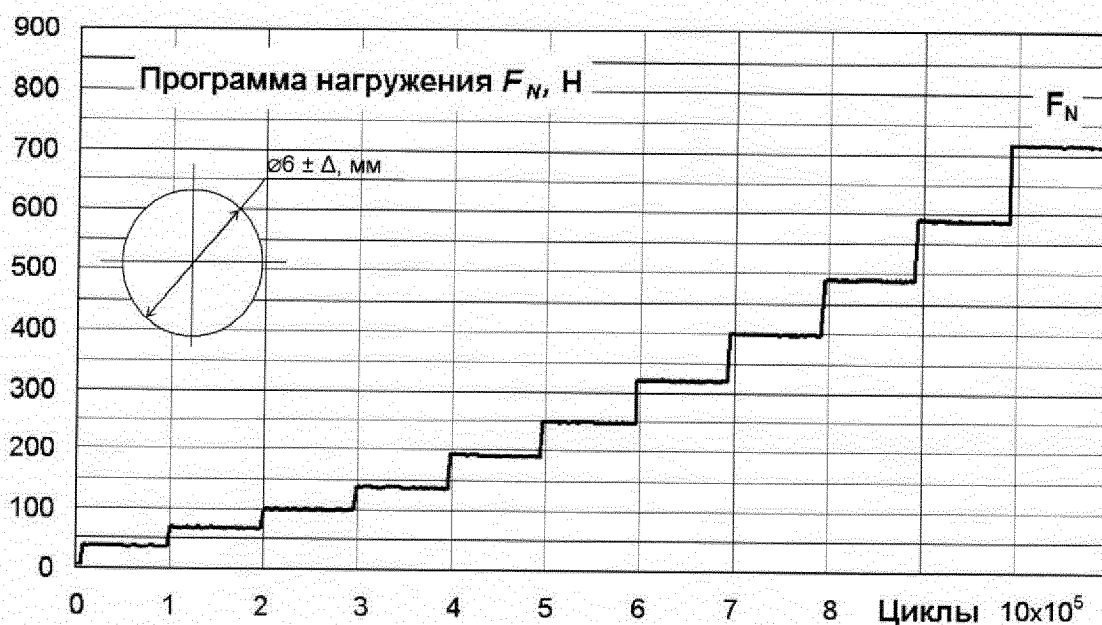


Фиг. 11

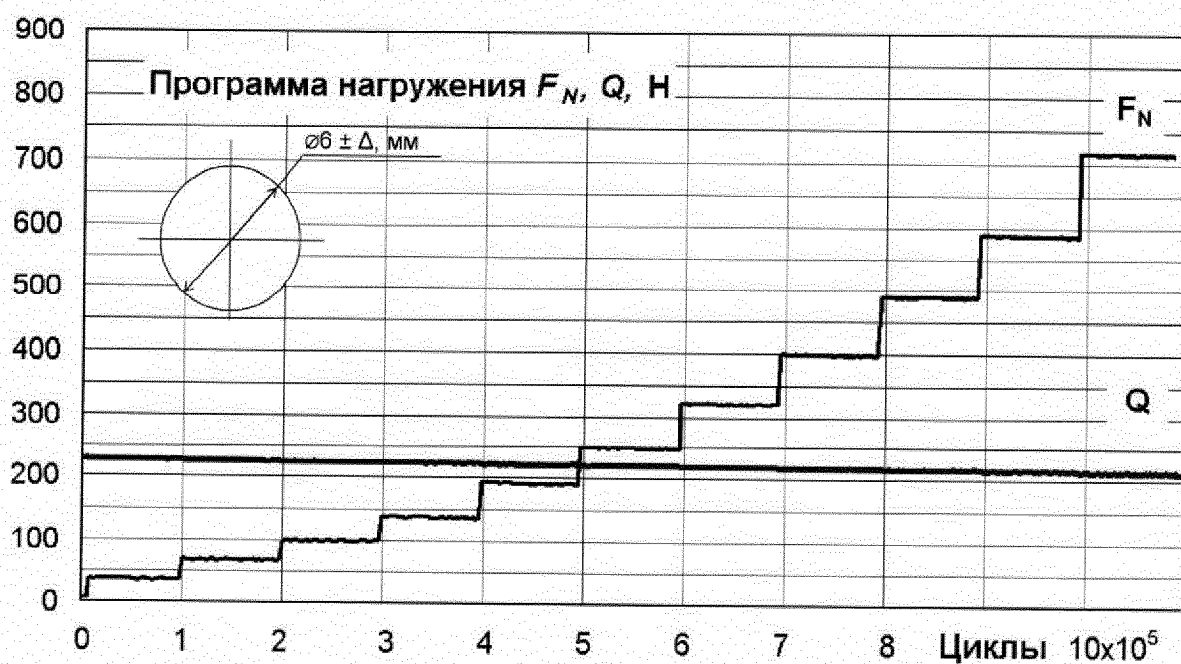


Фиг. 12

ЦЕНТР ДЛЯ ИЗНОСОУСТАЛОСТНЫХ ИСПЫТАНИЙ
МАТЕРИАЛОВ

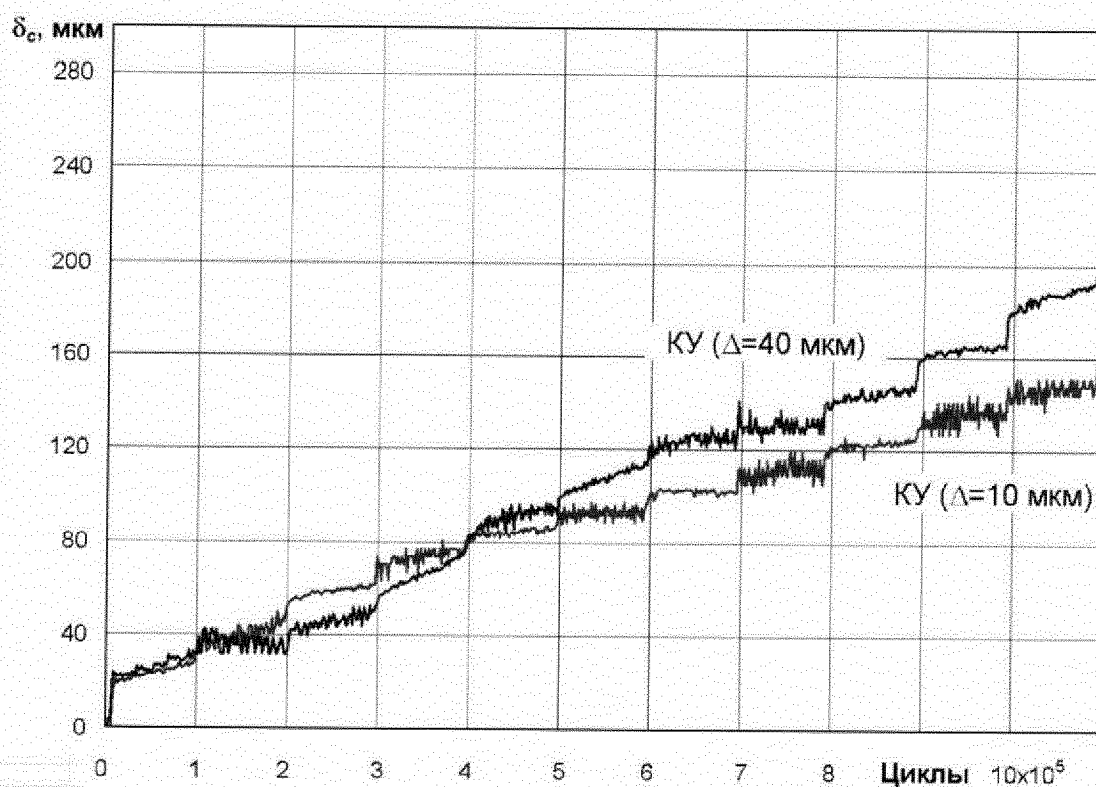


Фиг. 13

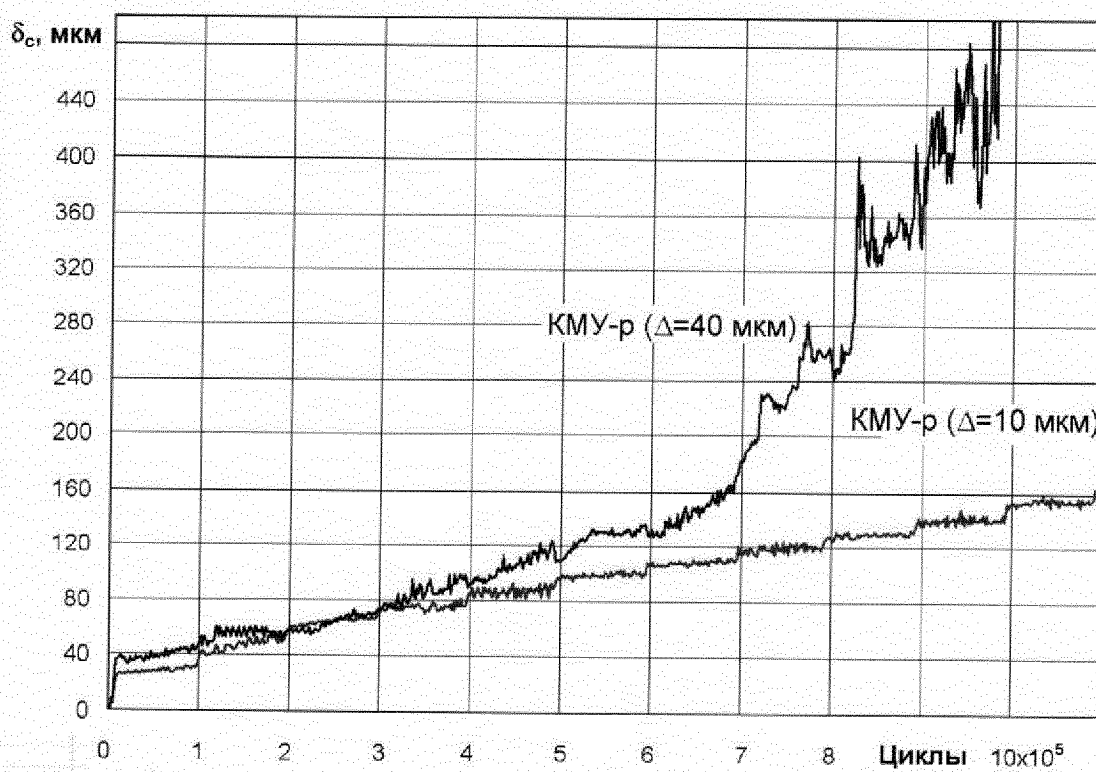


Фиг. 14

ЦЕНТР ДЛЯ ИЗНОСОУСТАЛОСТНЫХ ИСПЫТАНИЙ МАТЕРИАЛОВ



Фиг. 15



Фиг. 16

ЕВРАЗИЙСКОЕ ПАТЕНТНОЕ ВЕДОМСТВО

ОТЧЕТ О ПАТЕНТНОМ
ПОИСКЕ(статья 15(3) ЕАПК и правило 42
Патентной инструкции к ЕАПК)

Номер евразийской заявки:

201900229

Дата подачи: 20 марта 2019 (20.03.2019) Дата испрашиваемого приоритета:
Название изобретения: Центр для износоустойчивых испытаний материалов

Заявитель: БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (БГУ)

☐ Некоторые пункты формулы не подлежат поиску (см. раздел I дополнительного листа)☐ Единство изобретения не соблюдено (см. раздел II дополнительного листа)

А. КЛАССИФИКАЦИЯ ПРЕДМЕТА ИЗОБРЕТЕНИЯ:

МПК: G01N 3/56 (2006.01) СПК: G01N 3/56 (2013-01)

Согласно Международной патентной классификации (МПК) или национальной классификации и МПК

Б. ОБЛАСТЬ ПОИСКА:

Минимум просмотренной документации (система классификации и индексы МПК)

G01N 3/00, 3/32, 3/36, 3/38, 3/56, 3/60, 19/00

Другая проверенная документация в той мере, в какой она включена в область поиска:

В. ДОКУМЕНТЫ, СЧИТАЮЩИЕСЯ РЕЛЕВАНТНЫМИ

Категория*	Ссылки на документы с указанием, где это возможно, релевантных частей	Относится к пункту №
A, D	RU 2091751 C1 (КАРАМЗИН А. И.) 27.09.1997	1
A	SU 1668914 A1 (И.Г. НОСОВСКИЙ и др.) 07.08.1991	1
A	SU 1778620 A1 (БЕЛОРУССКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА) 30.11.1992	1
A	CN 1936536 A (UNIV SHANGHAI JIAOTONG) 28.03.2007	1

☐ последующие документы указаны в продолжении графы В☐ данные о патентах-аналогах указаны в приложении

* Особые категории ссылочных документов:

"А" документ, определяющий общий уровень техники

"Е" более ранний документ, но опубликованный на дату
подачи евразийской заявки или после нее"О" документ, относящийся к устному раскрытию, экспони-
рованию и т.д."Р" документ, опубликованный до даты подачи евразийской
заявки, но после даты испрашиваемого приоритета

"D" документ, приведенный в евразийской заявке

"Т" более поздний документ, опубликованный после даты

приоритета и приведенный для понимания изобретения

"Х" документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету
поиска, порочащий новизну или изобретательский уровень,
взятый в отдельности"У" документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету
поиска, порочащий изобретательский уровень в сочетании с
другими документами той же категории

"&" документ, являющийся патентом-аналогом

"L" документ, приведенный в других целях

Дата действительного завершения патентного поиска: 06 ноября 2019 (06.11.2019)

Наименование и адрес Международного поискового органа:

Федеральный институт

промышленной собственности

РФ, 125993, Москва, Г-59, ГСП-3, Бережковская наб.,
д. 30-1. Факс: (499) 243-3337, телетайп: 114818 ПОДАЧА

Уполномоченное лицо:

Кишкович О.В.

Телефон № (499) 240-25-91