

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2795665

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Патентообладатель: *федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский горный университет" (RU)*

Авторы: *Громыка Дмитрий Сергеевич (RU), Гоголинский Кирилл Валерьевич (RU), Смирнов Юрий Дмитриевич (RU), Кремчеев Эльдар Абдоллович (RU)*

Заявка № 2022119549

Приоритет изобретения **18 июля 2022 г.**

Дата государственной регистрации
в Государственном реестре изобретений
Российской Федерации **05 мая 2023 г.**

Срок действия исключительного права
на изобретение истекает **18 июля 2042 г.**

*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

Ю.С. Зубов





ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
G01M 13/00 (2023.02); G01M 15/05 (2023.02)

(21)(22) Заявка: 2022119549, 18.07.2022

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
18.07.2022

Дата регистрации:
05.05.2023

Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: 18.07.2022

(45) Опубликовано: 05.05.2023 Бюл. № 13

Адрес для переписки:
190106, Санкт-Петербург, 21 линия, В.О., 2,
ФГБОУ ВО СПбГУ, Патентно-лицензионный
отдел

(72) Автор(ы):
Громыка Дмитрий Сергеевич (RU),
Гоголинский Кирилл Валерьевич (RU),
Смирнов Юрий Дмитриевич (RU),
Кремчеев Эльдар Абдоллович (RU)

(73) Патентообладатель(и):
федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Санкт-Петербургский горный
университет" (RU)

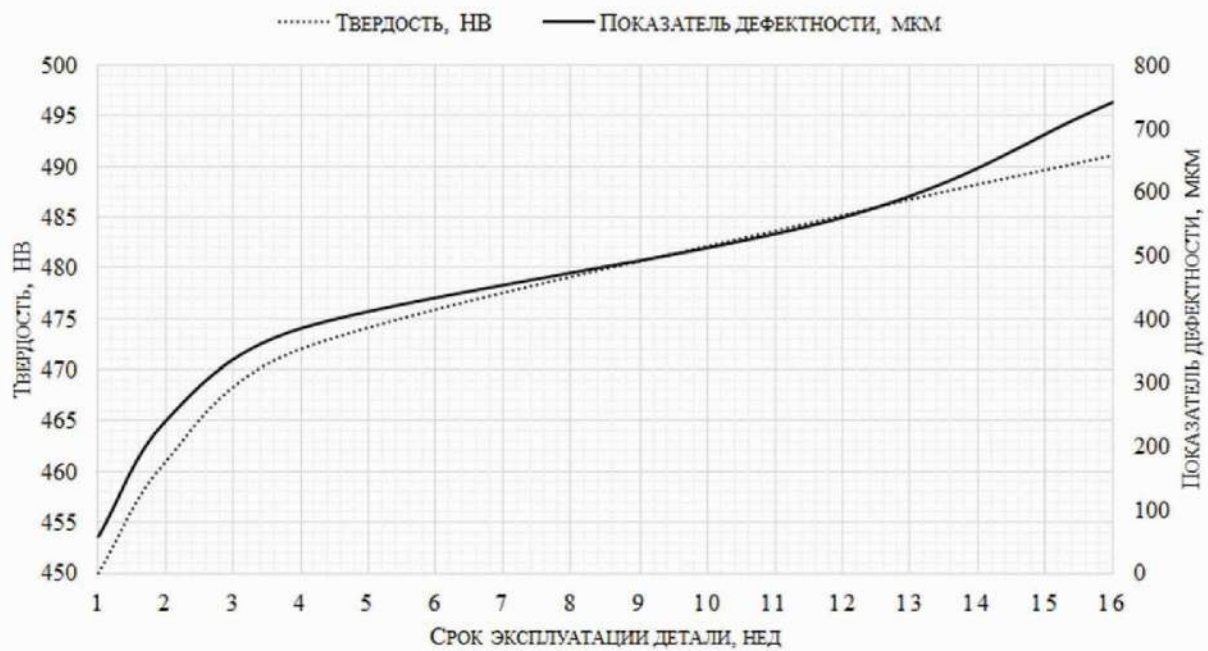
(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2733105 C1, 29.09.2020. RU
2491561 C1, 27.08.2013. Агишев В. Н., Трунин
О. Н., Кушнаренко В. М. Определение
остаточного ресурса насосно-компрессорного
оборудования // Вестник ОГУ. 2009. 9. URL:
<https://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-ostatochnogo-resursa-nasosno-kompressornogo-oborudovaniya> (дата обращения: 15.03.2023) - стр.132,133. RU (см. прод.)

(54) СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ДЕТАЛЕЙ МАШИН

(57) Реферат:

Изобретение относится к области машиностроения и неразрушающего контроля и может быть использовано для определения остаточного ресурса деталей исполнительного оборудования. Способ определения остаточного ресурса деталей машин включает построение зависимости изменения во времени параметра, характеризующего ресурс детали, до его предельного значения, проведение таких же замеров в отношении второго и последующих параметров, характеризующих ресурс детали, статистическую обработку полученных данных с объединением их в один массив, дальнейшую обработку методом регрессионного анализа. При

этом остаточный ресурс детали $T_{ост}$ в % определяют по формуле $T_{ост} = (T_{диаг}/T_{пред}) \times 100\%$, где $T_{диаг}$ – срок эксплуатации детали, соответствующий значениям параметров, характеризующих ресурс детали, на построенной зависимости параметров, характеризующих ресурс детали, во времени, $T_{пред}$ – предельный срок эксплуатации детали, соответствующий предельному значению параметров, характеризующих ресурс детали. Технический результат - повышение достоверности и точности определения остаточного ресурса деталей машин. 1 ил.



Фиг. 1

(56) (продолжение):

2668852 C1, 09.10.2018. RU 2008132118 A, 20.02.2010. UA 38438 A, 15.05.2001. WO 2016153783 A1, 29.09.2016.

RU 2795665 C1

RU 2795665 C1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
G01M 13/00 (2023.02); *G01M 15/05* (2023.02)

(21)(22) Application: **2022119549, 18.07.2022**

(24) Effective date for property rights:
18.07.2022

Registration date:
05.05.2023

Priority:

(22) Date of filing: **18.07.2022**

(45) Date of publication: **05.05.2023** Bull. № 13

Mail address:

**190106, Sankt-Peterburg, 21 liniya, V.O., 2, FGBOU
VO SPGU, Patentno-litsenziyonnyj otdel**

(72) Inventor(s):

**Gromyka Dmitrii Sergeevich (RU),
Gogolinskii Kirill Valerevich (RU),
Smirnov Iurii Dmitrievich (RU),
Kremcheev Eldar Abdollovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**federalnoe gosudarstvennoe biudzhethnoe
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego
obrazovaniia «Sankt-Peterburgskii gornyi
universitet» (RU)**

(54) **METHOD FOR DETERMINING THE RESIDUAL LIFE OF MACHINE PARTS**

(57) Abstract:

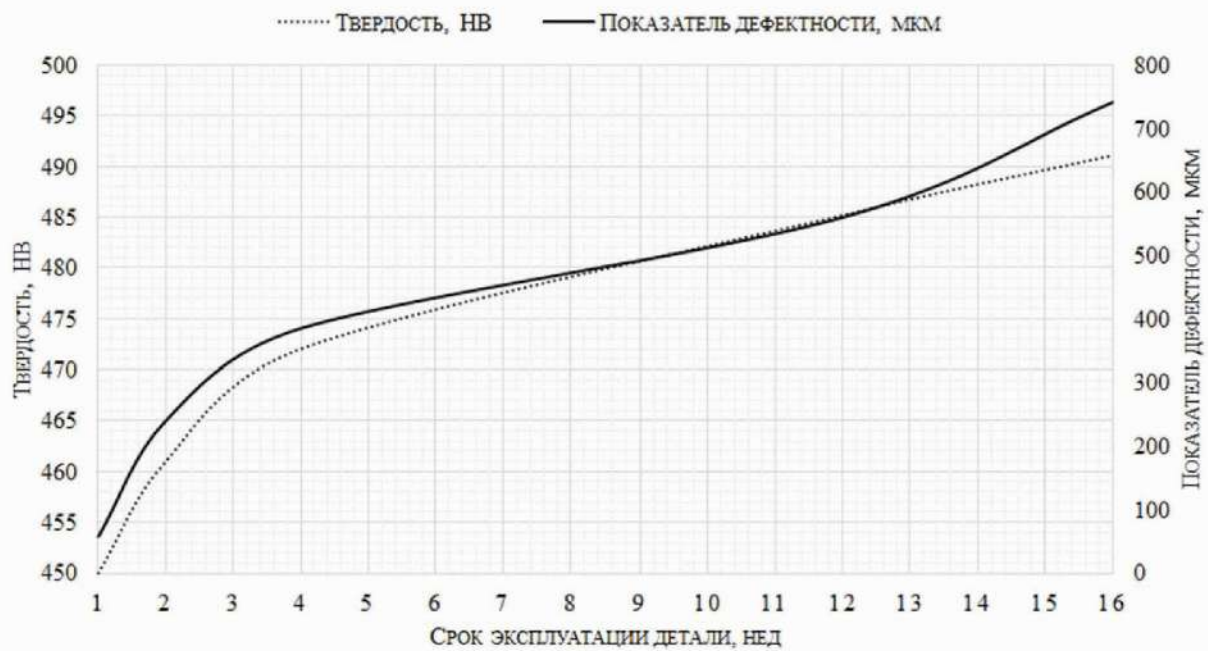
FIELD: mechanical engineering; non-destructive testing.

SUBSTANCE: invention can be used to determine the residual life of parts of the executive equipment. The method for determining the residual resource of machine parts includes plotting the time dependence of the parameter characterizing the resource of the part to its limit value, carrying out the same measurements in relation to the second and subsequent parameters characterizing the resource of the part, statistical processing of the obtained data with combining them into one array, further processing by regression analysis.

In this case, the residual life of the part T_{residual} in % is determined by the formula $T_{\text{residual}} = (T_{\text{diag}} / T_{\text{limit}}) \times 100\%$, where T_{diag} is the life of the part, corresponding to the values of the parameters characterizing the life of the part, on the plotted dependence of the parameters characterizing the life of the part, in time, T_{limit} is the limiting life of the part, corresponding to the limiting value of the parameters characterizing the life of the part.

EFFECT: increase in the reliability and accuracy of determining the residual resource of machine parts.

1 cl, 1 dwg



Фиг. 1

RU 2795665 C1

RU 2795665 C1

Изобретение относится к области машиностроения и неразрушающего контроля и может быть использовано при техническом обслуживании, ремонте и техническом диагностировании горных машин для определения остаточного ресурса деталей исполнительного оборудования.

5 Известен способ определения остаточного ресурса металла труб эксплуатируемого магистрального трубопровода (Патент на изобретение РФ 2536783, опубл. 27.12.2014), заключающийся в вырезке образцов для проведения циклических и усталостных испытаний и измерение твердости поверхности металла.

10 Недостатком данного способа является то, что результаты усталостных испытаний деталей характеризуют степень изнашивания агрегата в целом и недостаточно информативны при локальном износе поверхности, характерном для исполнительного оборудования горных машин

15 Известен способ определения остаточного ресурса конструкций (Патент на изобретение РФ № 2108560, опубл. 10.04.1998), заключающийся в определении величины ударной вязкости материала конструкции и прогнозе величины остаточном ресурсе конструкции в зависимости от нормативной величины ударной вязкости.

Недостатком данного способа является слабая корреляция значений ударной вязкости и остаточного ресурса деталей горных машин, работающих в нестандартных условиях эксплуатации.

20 Известен способ контроля технического состояния машин (Патент РФ № 2654306, опубл. 17.05.2018), заключающийся в неразрушающем контроле всех типов вращающегося оборудования акустическими методами. По совокупности экспериментальных уровней спектральных составляющих вибрации и расчетных уровней энергоемкости деталей в энергетических формах и спектрах кинетических и
25 потенциальных энергий машины получают результат контроля объекта как вид его технического состояния с указанием места расположения, типа и причин возникновения дефектов.

30 Недостатком данного способа является то, что уровни спектральных составляющих вибрации и расчетные уровни энергоемкости деталей характеризуют степень изнашивания агрегата в целом и недостаточно информативны при локальном износе поверхности, характерном для исполнительного оборудования горных машин

35 Известен способ диагностики повреждений деталей машин (Патент РФ № 2606164, опубл. 10.01.2017), заключающийся в определении технического состояния машинных агрегатов методом диагностики уровня вибрации в информативных точках корпуса машины в информативной полосе частот, фиксации выбросов вибрации, длительности интервалов между выбросами, построению трендов изменения длительности интервалов и их отношений, а также сравнения полученных значений с критическими границами.

40 Недостатком данного способа является то, что критерий уровня вибрации характеризует степень изнашивания агрегата в целом и недостаточно информативен при локальном износе поверхности, характерном для исполнительного оборудования горных машин.

45 Известен способ определения остаточного ресурса технических объектов новой техники (Патент РФ № 2502974, опубл. 27.12.2013), позволяющий определить остаточный ресурс с помощью испытания объектов до выработки ими ресурса на рабочих режимах работы с определением времени наработки до отказа. В способе проводится испытание как минимум два объекта, ожидают отказа первого объекта и фиксируют момент времени его отказа, фиксируют времена наработок остальных испытываемых объектов в момент времени отказа первого объекта. На основе выборки по испытываемым

объектам с соответствующими им временами отказа или наработок формируют статистический ряд, сортируемый по возрастанию времени наработки. По сформированному статистическому ряду определяют накопленные интенсивности отказов, затем выбирают функцию распределения, определяют значения ее параметров и рассчитывают гамма-процентные показатели ресурса, на основании которых определяют остаточный ресурс.

Недостатком данного способа является то, что остаточный ресурс определяется через статистический анализ отказов, в то время как ресурс исполнительного оборудования горных машин оценивается по степени близости к предельному состоянию, которое в большинстве случаев не должно приводить к отказу.

Известен способ прогнозирования ресурса технических устройств (Патент РФ № 2454648, опубл. 27.06.2012), в частности сосудов давления, резервуаров и трубопроводов, заключающийся в оценке исходного, продляемого и остаточного ресурса по степени износа при снижении запасов прочности, с учетом имеющихся дефектов, объема неразрушающего контроля, проведенного при первичном техническом диагностировании, коэффициента ответственности в зависимости от группы или класса опасности технического устройства, показателя коррозии и коррозионной стойкости материалов.

Недостатком данного способа является неопределенность диагностических критериев, типов контролируемых дефектов и методов неразрушающего контроля, а также необходимость останова работы исследуемого оборудования, что может быть затруднительно на многих производствах.

Известен способ определения остаточного ресурса деталей машин, принятый за прототип (Патент РФ № 2733105, опубл. 29.09.2020), и заключающийся в оценке остаточного ресурса, осуществляемой с учетом вариации среднего срока службы, среднеквадратического значения, стационарности процесса получения диагностических данных и определения его как разности между прогнозируемым средним сроком службы и текущим временем контроля - текущей наработкой. При этом прогнозируемый средний срок службы определяют по интервальной оценке для случайной величины путем неоднократного проведения измерений параметра, характеризующего ресурс детали, с построением зависимости изменения данного параметра до его предельного значения, затем проведения таких же замеров в отношении второго и последующих параметров, характеризующих ресурс детали, статистической обработки полученных данных с объединением их в один массив и определением среднестатистических показателей среднего ресурса, среднеквадратического отклонения, а остаточный ресурс определяется по формуле на основе указанных параметров.

Недостатком данного способа является то, что предложенная методика расчета степени износа пропорциональна времени наработки, что не соответствует действительности, при этом информативными являются только предельные значения диагностических параметров при достижении предельного состояния детали и не учитываются абсолютное значение и скорость изменения диагностических параметров в процессе эксплуатации. Этот недостаток не позволяет оценить текущий износ детали по фактическим значениям диагностических параметров.

Техническим результатом является повышение достоверности и точности определения остаточного ресурса деталей машин.

Технический результат достигается тем, что параметры измеряют с заданной периодичностью во времени с момента начала эксплуатации детали до наступления предельного состояния, далее методом регрессионного анализа строят

аппроксимирующие функции, которые составляют непрерывную зависимость параметров ресурса детали от времени ее эксплуатации, затем проводят измерения аналогичных параметров для деталей аналогичного вида в подобных условиях эксплуатации, после этого сравнивают значения измеренных параметров со значениями аналогичных параметров на построенной ранее зависимости и определяют остаточный ресурс детали $T_{ост}$ в % по формуле

$$T_{ост} = (T_{диаг}/T_{пред}) \times 100\%,$$

где $T_{диаг}$ - срок эксплуатации детали, соответствующий значениям параметров, характеризующих ресурс детали, на построенной зависимости параметров, характеризующих ресурс детали, во времени,

$T_{пред}$ - предельный срок эксплуатации детали, соответствующий предельному значению параметров, характеризующих ресурс детали.

Способ поясняется следующими фигурами:

фиг. 1 - график изменения диагностических параметров с увеличением срока эксплуатации коронки.

Способ осуществляется следующим образом. На поверхности исследуемой детали в процессе ее эксплуатации проводят периодические измерения значений параметров, характеризующих ресурс детали. Измерения проводят с момента начала эксплуатации детали до момента снятия ее с эксплуатации, фиксируя значения параметров, характеризующих ресурс детали, и текущий срок эксплуатации детали $T_{диаг}$, получая таким образом массив данных, включающих значения величин параметров, характеризующих ресурс детали, и соответствующий этим значениям срок эксплуатации детали. Измерения проводят по регулярной сетке, при этом в качестве итогового значения измеряемых величин выбирают среднее арифметическое между значениями в каждом узле сетки. Измерения проводят на в области поверхностного слоя детали, где вследствие процессов ударно-абразивного изнашивания образуется наклеп.

В момент снятия детали с эксплуатации, фиксируют предельный срок эксплуатации $T_{пред}$, а также значения параметров, характеризующих ресурс детали, соответствующих предельному сроку эксплуатации детали.

По полученному массиву данных методом регрессионного анализа строят аппроксимирующие функции, составляющие непрерывную зависимость значений параметров, характеризующих ресурс детали, от времени эксплуатации детали.

На основе построенной зависимости оценивают величину остаточного ресурса аналогичного вида деталей в подобных условиях эксплуатации. Для этого на поверхности исследуемой детали проводят измерения аналогичных параметров, характеризующих ресурс детали, а остаточный ресурс $T_{ост}$ определяют в % по формуле

$$T_{ост} = (T_{диаг}/T_{пред}) \times 100\%,$$

где $T_{диаг}$ - срок эксплуатации детали, соответствующий значениям и скорости изменения значений параметров, характеризующих ресурс детали, от времени, $T_{пред}$ - предельный срок эксплуатации детали, соответствующий предельному значению параметров, характеризующих ресурс детали.

Способ поясняется следующим примером.

Определение остаточного ресурса коронки зуба ковша экскаватора.

Были проведены еженедельные замеры твердости и показателя дефектности поверхностного слоя коронки зуба ковша гидравлического экскаватора Komatsu PC-400LC-7D в области наклепа, расположенной в средней части верхней поверхности

коронки по описанной схеме.

Для измерения твердости поверхности был выбран портативный твердомер, реализующий динамический метод Либа, а показатель дефектности измерялся с помощью портативного вихретокового дефектоскопа.

5 После диагностики изношенных коронок, в качестве критериев достижения предельного состояния были приняты величины твердости 495 НВ и показателя дефектности поверхности 750 мкм. Для данных условий предельный срок эксплуатации составляет в среднем 16 недель.

10 Результаты еженедельной диагностики представлены в виде графика зависимости значений величин твердости и показателя дефектности от срока эксплуатации и представлены на фиг. 1.

Далее на предприятии был проведен мониторинг твердости и показателя дефектности поверхности коронок и, на основании построенной зависимости, был рассчитан остаточный ресурс деталей. Для одной из коронок измеренная величина твердости 15 была определена как 487 НВ, тогда величина остаточного ресурса коронки равна:

$$T_{\text{ост}} = (T_{\text{диаг}}/T_{\text{пред}}) \times 100\% = (13,2/16) \times 100\% = 82,5\%.$$

Данный способ позволяет своевременно и точно произвести оценку срока наступления предельного состояния детали.

20 Применение данного способа определения остаточного ресурса деталей машин позволяет значительно повысить достоверности и точности определения остаточного ресурса деталей машин.

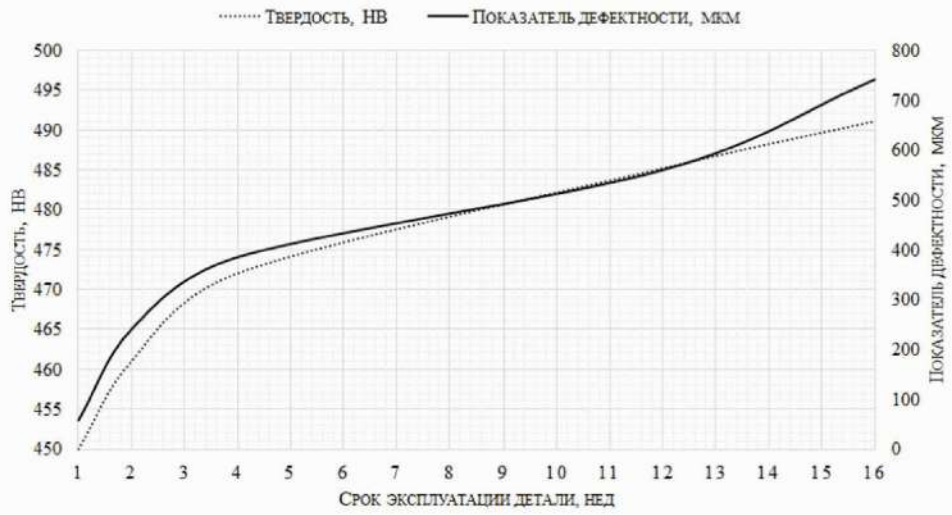
(57) Формула изобретения

Способ определения остаточного ресурса деталей машин, включающий построение 25 зависимости изменения во времени параметра, характеризующего ресурс детали, до его предельного значения, проведение таких же замеров в отношении второго и последующих параметров, характеризующих ресурс детали, статистическую обработку полученных данных с объединением их в один массив, отличающийся тем, что параметры измеряют с заданной периодичностью во времени с момента начала 30 эксплуатации детали до наступления предельного состояния, далее методом регрессионного анализа строят аппроксимирующие функции, которые составляют непрерывную зависимость параметров ресурса детали от времени её эксплуатации, затем проводят измерения аналогичных параметров для деталей аналогичного вида в 35 подобных условиях эксплуатации, после этого сравнивают значения измеренных параметров со значениями аналогичных параметров на построенной ранее зависимости и определяют остаточный ресурс детали $T_{\text{ост}}$ в % по формуле

$$T_{\text{ост}} = (T_{\text{диаг}}/T_{\text{пред}}) \times 100\%,$$

40 где $T_{\text{диаг}}$ – срок эксплуатации детали, соответствующий значениям параметров, характеризующих ресурс детали, на построенной зависимости параметров, характеризующих ресурс детали, во времени,

$T_{\text{пред}}$ – предельный срок эксплуатации детали, соответствующий предельному значению параметров, характеризующих ресурс детали.



Фиг. 1