

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2735130

СПОСОБ ОЦЕНКИ РЕСУРСА ПОДШИПНИКА КАЧЕНИЯ

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

Авторы: *Павленко Иван Андреевич (RU),
Носов Виктор Владимирович (RU)*

Заявка № 2020121428

Приоритет изобретения 29 июня 2020 г.

Дата государственной регистрации в
Государственном реестре изобретений
Российской Федерации 28 октября 2020 г.

Срок действия исключительного права
на изобретение истекает 29 июня 2040 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

 Г.П. Ивлиев





ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
G01N 29/14 (2020.08)

(21)(22) Заявка: 2020121428, 29.06.2020

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
29.06.2020

Дата регистрации:
28.10.2020

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 29.06.2020

(45) Опубликовано: 28.10.2020 Бюл. № 31

Адрес для переписки:
199106, г. Санкт-Петербург, В.О., 21 линия, 2,
ФГБОУ ВО "СПГУ", Патентно-лицензионный
отдел

(72) Автор(ы):

Павленко Иван Андреевич (RU),
Носов Виктор Владимирович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования «Санкт-Петербургский горный
университет» (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: SU 1552043 A1, 23.03.1990. SU
1552092 A1, 23.03.1990. RU 2411150 C1,
10.02.2011. RU 2239809 C2, 10.11.2004. WO
2013160061 A1, 31.10.2013.

(54) СПОСОБ ОЦЕНКИ РЕСУРСА ПОДШИПНИКА КАЧЕНИЯ

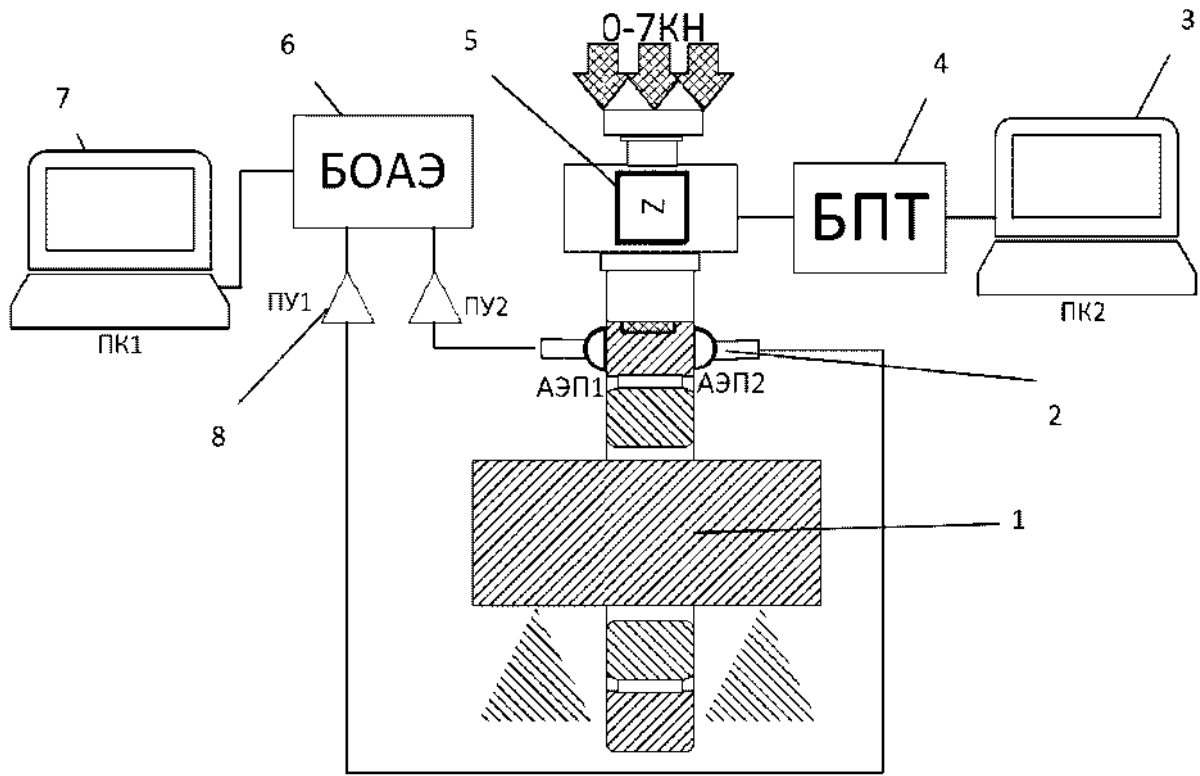
(57) Реферат:

Использование: для оценки прочности колец подшипника качения. Сущность изобретения заключается в том, что выполняют нагружение исследуемого объекта, регистрацию числа импульсов акустической эмиссии и их амплитуды, определение диагностического параметра WAE, связанного со степенью опасности дефектов, при этом нагружение подшипника производят приложением нагрузки в месте выявленного дефекта геометрически подобно рабочему, при этом статически прикладывают нагрузку радиально от вала к диагностируемой части

равномерно при неподвижных кольцах подшипника, расчёт ресурса производят из расчета параметра Nb (где Nb - величина, которая показывает предельное число циклов до разрушения в момент, когда усталость имеет максимальную величину, а напряжения в материале отсутствуют), далее определяют количество оборотов колец подшипника друг относительно друга при работе до его перехода в предельное состояние. Технический результат: повышение точности прогнозирования остаточного ресурса подшипников качения. 3 ил.

RU
2 735 130
C1

RU
2 735 130
C1



Фиг. 1

RU 2735130 C1

RU 2735130 C1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
G01N 29/14 (2020.08)

(21)(22) Application: **2020121428, 29.06.2020**

(24) Effective date for property rights:
29.06.2020

Registration date:
28.10.2020

Priority:

(22) Date of filing: **29.06.2020**

(45) Date of publication: **28.10.2020** Bull. № 31

Mail address:

**199106, g. Sankt-Peterburg, V.O., 21 liniya, 2,
FGBOU VO "SPGU", Patentno-litsenziyonnyj otdel**

(72) Inventor(s):

**Pavlenko Ivan Andreevich (RU),
Nosov Viktor Vladimirovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

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

(54) **METHOD OF ESTIMATING SERVICE LIFE OF A ROLLING BEARING**

(57) Abstract:

FIELD: measurement.

SUBSTANCE: use for evaluation of strength of rolling bearings. Essence of the invention consists in the fact that performing the loading of the analyzed object, recording the number of pulses of acoustic emission and their amplitude, determining the WAE diagnostic parameter associated with the degree of danger of defects, wherein the bearing loading is carried out by applying a load at the location of the detected defect geometrically similar to the working, wherein the load is statically applied radially from the shaft to

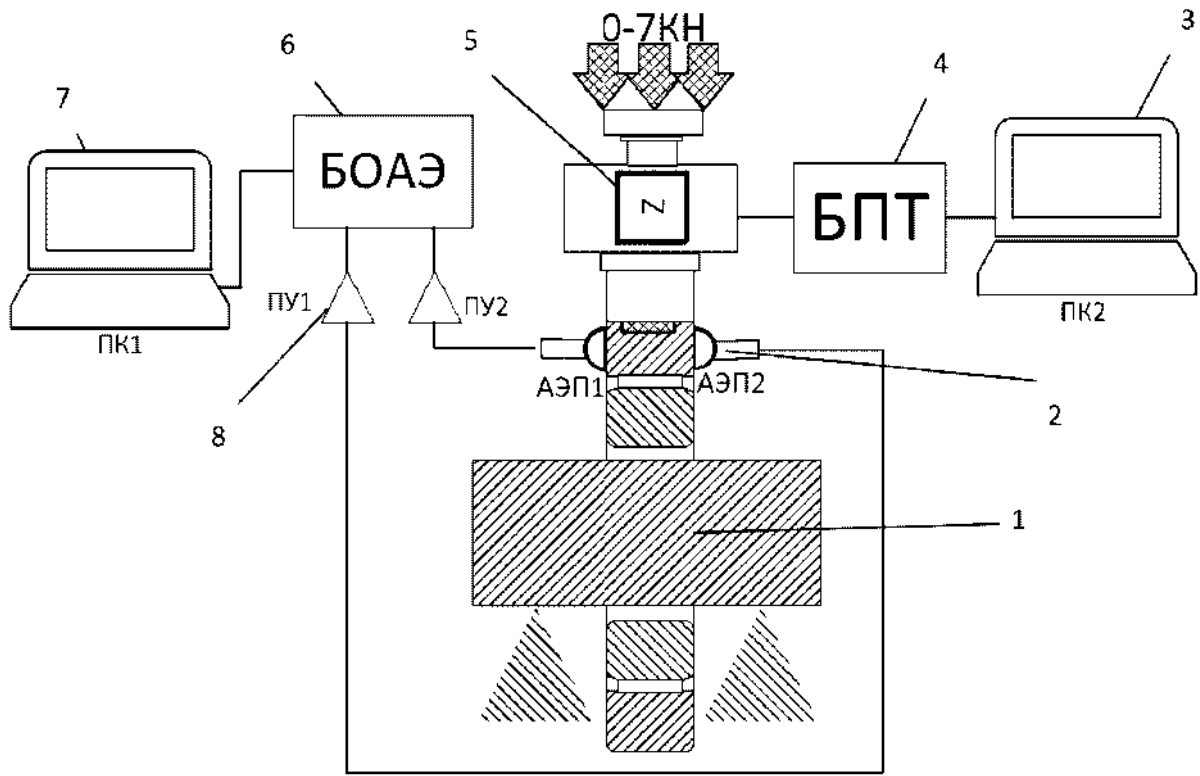
the diagnosed part uniformly with fixed bearing rings, the resource calculation is carried out based on the parameter Nb (where Nb is a value which indicates the limit number of cycles before failure at the moment when fatigue has a maximum value, and stresses in the material are absent), then, the number of turns of the bearing rings relative to each other is determined during operation before its transition to the limit state.

EFFECT: higher accuracy of rolling bearings remaining life prediction.

1 cl, 3 dwg

RU 2 735 130 C1

RU 2 735 130 C1



Фиг. 1

RU 2735130 C1

RU 2735130 C1

Изобретение относится к акустическим методам неразрушающего контроля прочности и предназначено для оценки прочности колец подшипника качения.

Известен способ прогнозирования остаточного ресурса подшипника по уровню вибрации механизма (Исмагилов Р.Н., Гареев Р.Р., Ямалиев В.У., Мацибора А.А.

5 Прогнозирование остаточного ресурса подшипника по уровню вибрации механизма// Экспозиция Нефть Газ. 2015. 3(42)). Оценка ресурса производится путем определения параметров вибросигнала, опираясь на формулу из справочника машиностроения. Сначала производится увеличение динамической нагрузки и замеры вибросигналов, после производится расчёт на основании зависимостей сигналов и силы воздействия.

10 Недостатком способа является низкая чувствительность вибродиагностики, позволяющей регистрировать сигналы только от соударений тел и поверхностей качения видимого размера. Определяемые величины не связаны со степенью опасности и не дают возможность оценить ресурс. Применение такого способа ориентируют на прогнозирование и заведомо требуют критерии предельного состояния, что не даёт
15 представление о работе подшипника в сложных условиях информативных данных и не позволяет оценить ресурс.

Известен способ прогнозирования технического состояния подшипников качения (патент RU № 2013756, опубл. 27.04.2005), основанный на определении наступления предельного состояния посредством сравнения параметров вибросигнала с критическими
20 значениями, полученными эмпирическим путем визуального контроля.

Недостаток способа состоит в неточном прогнозировании состояния подшипника, определения типа и опасности дефекта по причине работы с сигналами, которые не имеют связи с ресурсом.

Известен акустико-эмиссионный способ оценки пороговой нагрузки и остаточного
25 ресурса конкретного изделия (Никольская Т.С. Акустико-эмиссионный способ оценки пороговой нагрузки и остаточного ресурса конкретного изделия// Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2003. №11), позволяющий, зная предельную величину нагрузки, которую способен выдержать образец, близкой к аварийной и таким образом определять критерий прочности по параметрам в разнице
30 количества сигналов при нагружении и разгрузении образца.

Недостатком способа является не точное представления, о параметрах, которые отвечают за долговечность и способность выдерживать нагрузку объектом исследования, поскольку существенно зависит от влияния дестабилизирующих факторов.

Известен способ диагностики подшипников качения (заявка на изобретение RU №
35 99125276, опубл. 20.10.2001), заключающийся в измерении сигналов акустической эмиссии и времени прихода между ними во время вращения колец нагруженного подшипника. Способ опирается на принципы вибродиагностики и анализ сигналов, полученных в высокочастотном спектре, относящегося к акустико-эмиссионному. Это позволяет выявить поверхностные дефекты более мелкого размера и сделать способ
40 более чувствительнее традиционного.

Недостатком является наличие слабых связей регистрируемых сигналов с перестройкой структуры материала. Способ низко информативен, поскольку связывает результаты регистрации с процессами взаимодействия контактных поверхностей и не имеет связи с определяющей ресурс процессами и структурой материала.

45 Известен акустико-эмиссионный способ диагностирования колец подшипников буксового узла железнодорожного транспортного средства (патент РФ № 2391656, опубл. 10.06.2010), в котором определяется связь локально-динамического акустико-эмиссионного критерия с дефектностью наружного кольца подшипника, отбраковка

колец ведётся на основе сопоставления этого критерия с его критическим значением. Способ реализуется при статическом нагружении кольца подшипника и поворота на 180 градусов, что позволяет просканировать две зоны и определить наличие дефектов поверхностных и в структуре материала.

5 Недостатком является отдалённость вида нагружения кольца от его вида нагружения в реальной эксплуатации, зависимость критического значения критерия от условий обучающих испытаний, идентификация дефектов по геометрическим признакам, отдалённым от степени опасности ресурса.

Известен способ акустико-эмиссионной диагностики динамического промышленного оборудования (патент RU № 2684709, опубл. 11.04. 2019), позволяющий определять кластеры с параметрами, выходящими за усреднение величин, полученных в результате диагностики. Принцип основан на классической регистрации сигналов акустической эмиссии (АЭ) в статическом режиме определения их параметров, но особенность заключается в разбиении периодов (кластеров), для которых выполняется усреднённое вычисление параметров и когда наступает накопление информации кластерного типа, появляется представление о нормальном виде кластера, а те, которые отличаются, содержат дефект.

Недостатком данного способа является низкая точность и низкая связь между определением параметров сигналов АЭ и опасностью обнаруженных дефектов.

Известен способ оценки прочности элементов сварного корпуса подводного аппарата (патент RU № 2617195, опубл. 21.04.2017), принятый за прототип, за основу которого взята принцип акустико-эмиссионного контроля и определения информативных диагностических параметров, связанных с оценкой запаса прочности и степени опасности дефектов с точки зрения анализа закономерностей генерации сигналов АЭ объекта и определения параметров модели приводящего к отказу элемента конструкции процесса микротрещинообразования. Полученный способ отличается от прототипа технологией нагружения, областью применения и моделью оценки ресурса.

Недостатком способа является низкая информативность применяемого в нём способа диагностического нагружения к АЭ диагностике наружного кольца подшипника качения и, как следствие, невысокая точность оценки ресурса.

Техническим результатом является повышение точности прогнозирования остаточного ресурса подшипников качения.

Технический результат достигается тем, что нагружение подшипника производят приложением нагрузки в месте выявленного дефекта геометрически подобно рабочему, при этом статически прикладывают нагрузку радиально от вала к диагностируемой части равномерно при неподвижных кольцах подшипника, расчёт ресурса производят из расчета параметра N_b , далее определяют количество оборотов колец подшипника друг относительно друга при работе до его перехода в предельное состояние.

Способ поясняется следующими фигурами

40 фиг. 1 - функциональная схема установки;

фиг. 2 - график определения параметра N_b ;

фиг. 3 - график моделирования АЭ и оценки универсальной константы материала N_b , где:

- 45 1 - подшипник на опорах,
 2 - преобразователь акустической эмиссии,
 3 - персональный компьютер для регистрации изменения нагрузки,
 4 - блок преобразования термометрический,
 5 – тензоизмеритель,

- 6 - блок обработки сигналов АЭ,
- 7 - персональный компьютер для записи сигналов АЭ,
- 8 - усилитель сигналов АЭ.

Способ осуществляется следующим образом. Для инициирования сигналов акустической эмиссии (АЭ) необходимые рабочие напряжения в материале подшипника качения создаются путем прикладывания нагрузки к сектору внешнего кольца и распространяются на его часть тел качения и передаются к внутреннему кольцу, которое должно быть закреплено радиально подшипнику на опорах 1 (фиг. 1). В процессе нагружения с помощью диагностической акустико-эмиссионной системы, состоящей из преобразователей акустической эмиссии 2 (фиг. 2), усилителя сигналов АЭ 8 (фиг. 1) и блока обработки сигналов АЭ 6 фиксируются число импульсов АЭ, амплитуда сигналов, величина нагрузки, время, длительность импульсов и другие параметры на персональном компьютере для записи сигналов АЭ 7. При регистрации сигналов непрерывно контролируется изменение нагрузки с помощью тензоизмерительной системы, состоящей из тензоизмерителя 5 (фиг. 1), блока преобразования тензометрического 4 и персонального компьютера для регистрации изменения нагрузки 3. По полученным данным строятся графики изменения нагрузки и логарифма числа импульсов АЭ (фиг. 3). Для оценки накопленной усталости в структуре материала и определить прочность образца необходимо определить значение диагностического параметра W_{ae} на участке упругого кинетически однородного разрушения. Оценка ресурса подшипника качения заключается в многократном сканировании областей по 90 градусам внешнего кольца и определение стадии накопления повреждений в структуре через параметр W_{ae} .

Значение рассматриваемого диагностического параметра вычисляется по формуле:

$$W_{AE} = \frac{d \ln(\xi)}{dK_n}$$

где ξ - информационный параметр, в качестве которого используют число $N\Sigma$ импульсов АЭ или суммарную амплитуду сигналов АЭ, накопленных на этапе однородного разрушения;

$K_n = \frac{F}{F_{раб}}$ - коэффициент нагрузки, показывающий изменение нагрузки во время регистрации сигналов АЭ.

$F_{раб}$ - величина радиальной нагрузки диагностического нагружения, соответствующая рабочим напряжениям;

Далее определяется величина N_b , которая показывает предельное число циклов до разрушения в момент, когда усталость имеет максимальную величину, а напряжения в материале, отсутствуют.

Определение величины N_b производится из пропорции экспоненциальной кривой усталости подшипника качения (фиг. 2).

По результатам сканирования отбирается самый опасный участок, на котором параметр W_{ae} имеет наибольшую величину, по которому производится расчёт ресурса, используя модель определения долговечности подшипника качения:

$$N = N_b / \exp W_{AE},$$

где константа N_b рассчитывается из кривой усталости подшипника $(C/P)^n = L_n$, млн. обор., переведённой в экспоненциальную форму.

Способ поясняется следующими примерами. Результаты регистрации АЭ, полученные при статическом нагружении подшипника на стенде обрабатываются следующим образом. Для испытуемого подшипника с опасным дефектом количество импульсов АЭ, зарегистрированное до 143 и до 150 секунды равно 9 и 95 соответственно, изменение диагностической нагрузки за это время $\Delta P = 10000$ Н. Тогда при рабочей нагрузке на подшипник $P_{раб} = 40000$ Н имеем:

$$W_{АЭ} = \frac{\ln\left(\frac{95}{9}\right)}{\frac{10000}{40000}} = 9,52$$

Один оборот подшипник выдержит при нагрузке $P=100$ С, $\ln 1=0$.

При нагрузке, равной динамической грузоподъёмности $P=C$ количество оборотов подшипника $L=10^6$, $\ln 10^6=13,82$, из пропорций экспоненциальной кривой усталости $[(100C-C)/C = \ln 10^6 / (\ln N_b - \ln 10^6)]$ имеем

$$\ln N_b = \ln 10^6 (1 + 1/99) = 13,82 \cdot 1,01 = 13,953.$$

Долговечность подшипника в оборотах

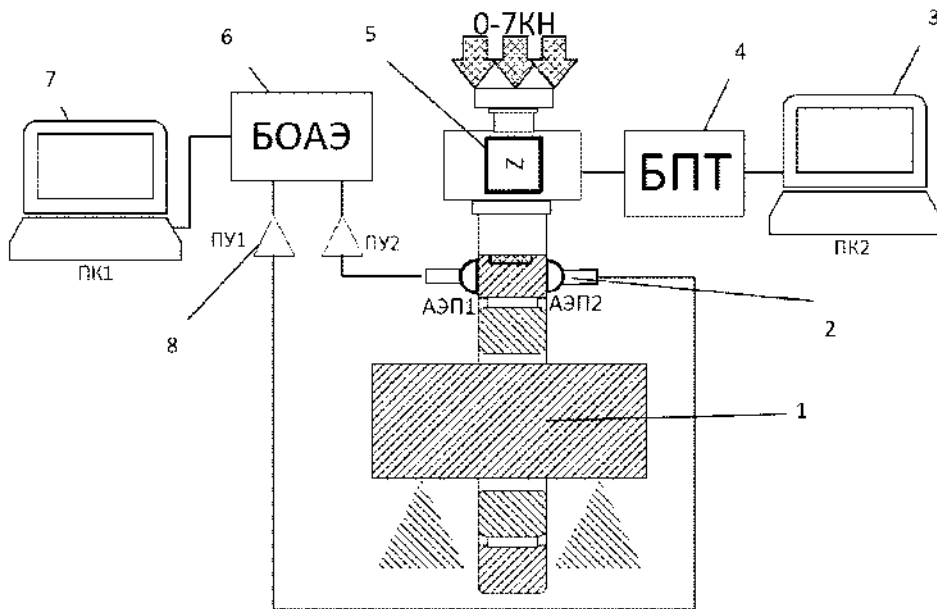
$N = N_b / \exp W_{АЭ} = \exp(1,01 \ln 10^6) / \exp 9,52 = \exp(13,953 - 9,52) = 82,8$ оборота, долговечность низкая, подшипник неработоспособен, что соответствовало действительности.

Преимущество способа заключается в определении ресурса в виде фактического количества оборотов подшипника до его окончательного перехода в предельное состояние.

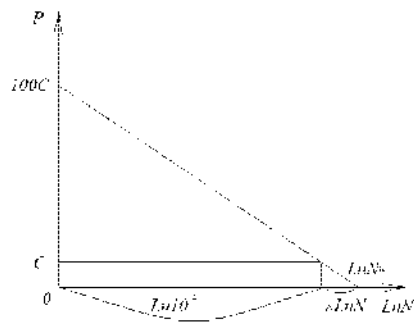
(57) Формула изобретения

Способ оценки ресурса подшипника качения, включающий нагружение исследуемого объекта, регистрацию числа импульсов акустической эмиссии и их амплитуды, определение диагностического параметра $W_{АЭ}$, связанного со степенью опасности дефектов, отличающийся тем, что нагружение подшипника производят приложением нагрузки в месте выявленного дефекта геометрически подобно рабочему, при этом статически прикладывают нагрузку радиально от вала к диагностируемой части равномерно при неподвижных кольцах подшипника, расчёт ресурса производят из расчета параметра N_b (где N_b - величина, которая показывает предельное число циклов до разрушения в момент, когда усталость имеет максимальную величину, а напряжения в материале отсутствуют), далее определяют количество оборотов колец подшипника друг относительно друга при работе до его перехода в предельное состояние.

1

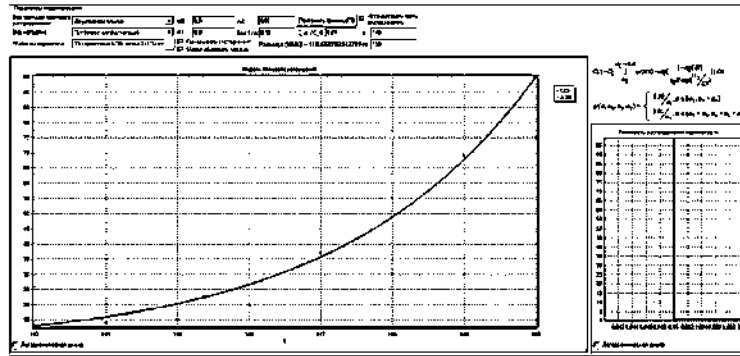


Фиг. 1



Фиг. 2

2



Фиг. 3