



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
G05B 23/02 (2006.01); G05B 17/00 (2006.01)

(21)(22) Заявка: 2016105851, 21.07.2014

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
21.07.2014

Дата регистрации:
24.09.2018

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:
23.07.2013 FR 1357252

(43) Дата публикации заявки: 29.08.2017 Бюл. №
25

(45) Опубликовано: 24.09.2018 Бюл. № 27

(85) Дата начала рассмотрения заявки РСТ на
национальной фазе: 24.02.2016

(86) Заявка РСТ:
FR 2014/051882 (21.07.2014)

(87) Публикация заявки РСТ:
WO 2015/011395 (29.01.2015)

Адрес для переписки:
109012, Москва, ул. Ильинка, 5/2, ООО
"Союзпатент"

(72) Автор(ы):

РАБЕНОРО Тсирицо (FR),
ЛАКЭЙ Жером Анри Ноэль (FR)

(73) Патентообладатель(и):

САФРАН ЭРКРАФТ ЭНДЖИНЗ (FR)

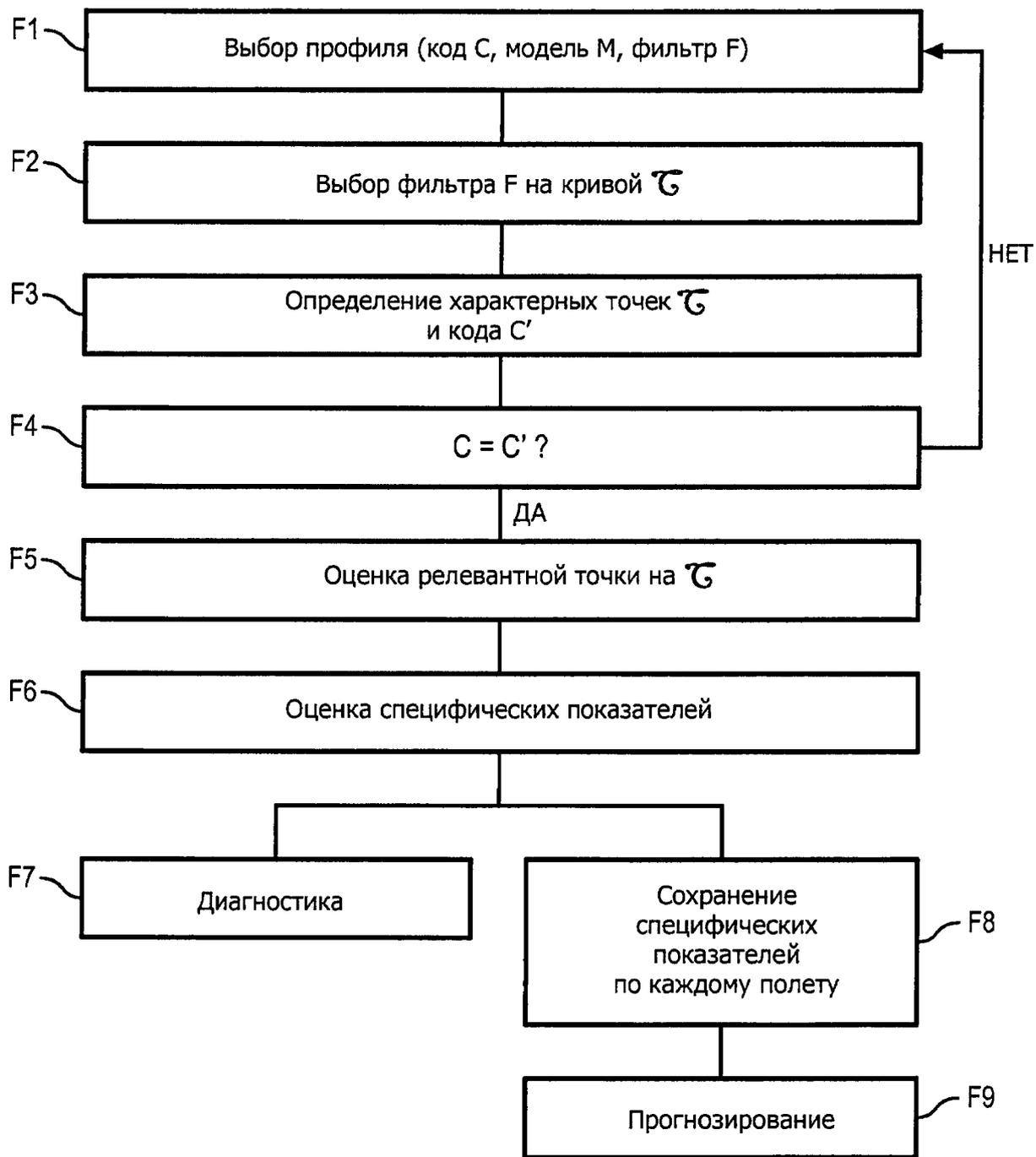
(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: US 20050267702 A1, 01.12.2005. RU
2011126348 A, 10.01.2013. US 20030065409 A1,
03.04.2003. EP 2570880 A2, 20.03.2013. RU
2187711 C1, 20.08.2002.

(54) СПОСОБ ОЦЕНКИ РЕЛЕВАНТНОЙ ТОЧКИ НА КРИВОЙ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ АНОМАЛИИ ДВИГАТЕЛЯ И СИСТЕМА ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ДЛЯ ЕГО ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ

(57) Реферат:

Изобретение относится к области авиации, в частности к способу оценки релевантной точки на кривой для обнаружения аномалии двигателя. Указанная кривая отображает изменение в зависимости от времени физических параметров работы двигателя, измеряемых датчиками на указанном двигателе. Способ осуществляется вычислительным устройством, связанным с первыми средствами накопления информации. Способ включает в себя выбор профиля, сохраненного в первых средствах накопления

информации, применение фильтра выбранного профиля к указанной кривой, определение совокупности характерных точек указанной фильтрованной кривой и двоичного кода, каждая составляющая которого кодирует направление изменения двух последовательных характерных точек, принадлежащих к указанной совокупности характерных точек, сравнение определенного кода и кода выбранного профиля, в зависимости от указанного сравнения - оценку релевантной точки на указанной кривой. Обеспечивается



Фиг. 8

RU 2667794 C2

RU 2667794 C2



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.
G05B 23/02 (2006.01)
G05B 17/00 (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
G05B 23/02 (2006.01); G05B 17/00 (2006.01)

(21)(22) Application: **2016105851, 21.07.2014**

(24) Effective date for property rights:
21.07.2014

Registration date:
24.09.2018

Priority:

(30) Convention priority:
23.07.2013 FR 1357252

(43) Application published: **29.08.2017 Bull. № 25**

(45) Date of publication: **24.09.2018 Bull. № 27**

(85) Commencement of national phase: **24.02.2016**

(86) PCT application:
FR 2014/051882 (21.07.2014)

(87) PCT publication:
WO 2015/011395 (29.01.2015)

Mail address:
109012, Moskva, ul. Ilinka, 5/2, OOO "Soyuzpatent"

(72) Inventor(s):

**RABENORO Tsiritso (FR),
LAKEJ Zherom Anri Noel (FR)**

(73) Proprietor(s):

SAFRAN ERKRAFT ENDZHINZ (FR)

(54) **METHOD OF ESTIMATION OF A RELEVANT POINT ON A CURVE FOR DETECTING AN ANOMALY OF AN ENGINE AND DATA PROCESSING SYSTEM FOR ITS IMPLEMENTATION**

(57) Abstract:

FIELD: aviation.

SUBSTANCE: invention relates to aviation, in particular to a method for estimating a relevant point on a curve for detecting an anomaly of an engine. Claimed curve displays the change in time, depending on the physical parameters of the engine, measured by the sensors on the specified engine. Method is performed by a computing device associated with the first information storage means. Method includes selecting a profile stored in the first information storage means, applying a filter of the selected profile to the

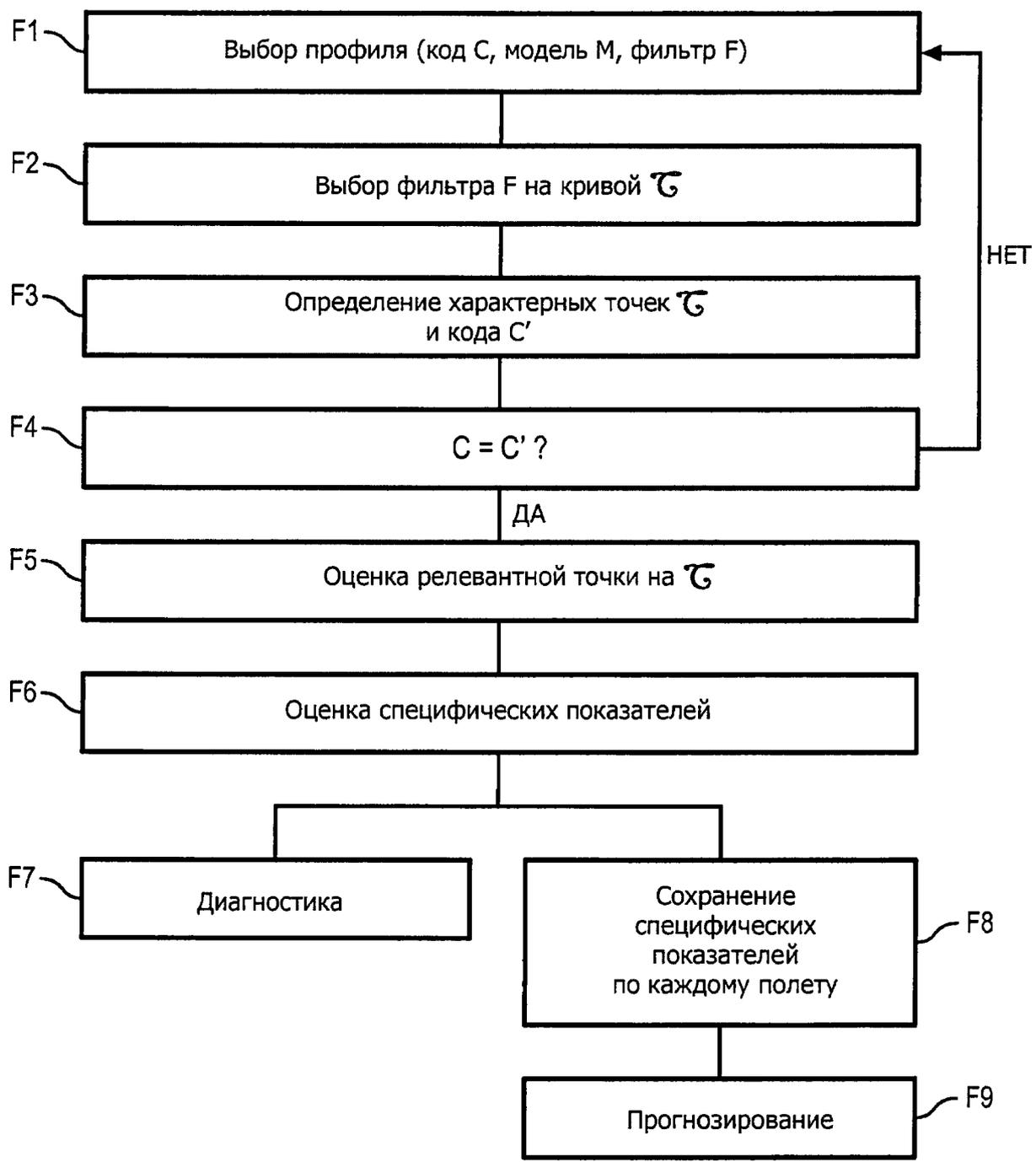
specified curve, determination of a set of characteristic points of the specified filtered curve and a binary code, each component of which encodes the direction of change of two consecutive characteristic points belonging to the specified set of characteristic points, comparing a certain code and a code of the selected profile, depending on the indicated comparison, an estimate of the relevant point on the specified curve.

EFFECT: automatic tracking of relevant points without involving experts is provided.

13 cl, 8 dwg

RU 2 667 794 C 2

RU 2 667 794 C 2



Фиг. 8

Область техники, к которой относится изобретение

Изобретение относится к общей области мониторинга рабочего состояния двигателя.

В частности, изобретение относится к способу оценки релевантной точки на кривой для обнаружения аномалии двигателя, а также к системе обработки данных для его

5 осуществления.

Уровень техники

В области авиации очень важно иметь возможность отслеживать рабочее состояние двигателя летательного аппарата, чтобы предвидеть и планировать операции обслуживания на этом двигателе. Действительно, рабочее состояние двигателя может

10

изменяться в течение времени, и соответствующий мониторинг позволяет обнаруживать аномалии работы, отслеживать ухудшение состояния двигателя и заранее планировать возможные операции обслуживания. Это позволяет, в частности, избегать задержек полетов, осуществлять ремонт, пока ухудшение не стало слишком серьезным, группировать операции ремонта и т.д.

15

Были разработаны инструменты мониторинга с целью идентификации аномалий, ухудшающих работу двигателя, на основании измерений физических параметров, описывающих состояние двигателя.

Были также описаны способы, позволяющие измерять рабочие параметры контролируемого двигателя, вычислять показатели, характеризующие рабочее состояние

20

двигателя, и идентифицировать аномалии в работе двигателя на основании указанных показателей. Пример таких способов описан в зарегистрированных на имя заявителя патентах FR 2939924 и FR 2942001. Эти показатели определены специалистами в области поведения двигателей. Так, что касается обнаружения аномалий, препятствующих запуску двигателя, можно определить такие показатели, как время открывания

25

пускового клапана, время достижения максимального ускорения компрессора высокого давления, время t_1 , t_2 и t_3 первой, второй и третьей фаз запуска, время зажигания двигателя, время закрывания пускового клапана, градиент температуры отработавших газов или время остановки двигателя. На фиг. 1 показано изменение скорости 1 компрессора высокого давления, температуры 2 отработавших газов EGT (Exhaust Gaz

30

Temperature), расхода 3 топлива, подаваемого на форсунки, и давления 4, а также интервалы времени t_1 , t_2 и t_3 .

Такие показатели можно вычислять в зависимости от релевантных моментов на кривых измерений рабочих параметров двигателя. Эксперты отмечают на кривых такие релевантные моменты.

35

Недостатком этих способов является необходимость систематического привлечения экспертов для определения таких моментов и, следовательно, необходимость хранения всех этих кривых измерения, пока эксперт не произведет такое определение.

Чтобы устранить эти недостатки, были разработаны инструменты, обеспечивающие автоматическое отслеживание таких релевантных моментов без привлечения эксперта.

40

Использование таких инструментов позволяет, в частности, не хранить большое количество данных в течение длительных периодов времени, поскольку в конечном счете сохраняют только показатели, вычисленные на основании автоматически определенных релевантных моментов.

Некоторые из этих инструментов могут, в частности, выделить конкретный

45

релевантный момент на основании описаний этого момента, выдаваемых экспертами во время разработки инструмента. Однако такие решения требуют разработки отдельного инструмента для каждого типа отслеживаемого релевантного момента. Их недостатком является также необходимость точного описания экспертом характеристик

релевантного момента, чтобы это было понятно для проектировщика инструмента, который должен выразить эти характеристики в виде алгоритма.

Для решения этих проблем были разработаны типовые инструменты, позволяющие обнаруживать релевантный момент на кривой любого типа без необходимости адаптации инструмента и не требующие никакого подробного описания характеристик такого момента экспертом. Существующие инструменты этого типа могут быть, например, основаны на распознавании формы. Их принцип состоит в распознавании на кривой известной характерной формы, которую принимает кривая вблизи отслеживаемого релевантного момента, как показано на фиг. 2, где представлен случай, когда требуется определить место на кривой характерной формы, такой как форма 5.

Вместе с тем, время обнаружения такими инструментами релевантной точки на кривой является относительно большим. Действительно, следует исследовать всю кривую, чтобы выделить формы 6, 7 и 8, локально принимаемые кривой, и затем эти формы сравнивают с искомой формой. Кроме того, такой анализ необходимо производить с разными масштабами, чтобы обнаружить искомую форму на кривой, независимо от масштаба, в котором эта форма проявляется на кривой. Такие виды обработки требуют большого количества вычислений, которые замедляют обнаружение релевантной точки на кривой.

Кроме того, такие инструменты сфокусированы на обнаружении конкретной формы вблизи соответствующей точки и не учитывают информацию, выраженную общей формой кривой.

Поэтому существует потребность в типовом инструменте, позволяющем быстро обнаруживать релевантную точку на кривой без необходимости осуществления дорогого многомасштабного анализа и одновременно учитывать всю указанную кривую и ограничивать количество сохраняемых данных.

Раскрытие изобретения

Таким образом, первым объектом настоящего изобретения является способ оценки релевантной точки на кривой для обнаружения аномалии двигателя, при этом указанная кривая отображает изменение в зависимости от времени физических параметров работы двигателя, измеряемых по меньшей мере одним датчиком на указанное двигателе,

осуществляемый вычислительным устройством, соединенным с первым средством накопления информации,

при этом указанное первое средство накопления информации хранит в памяти по меньшей мере один профиль, содержащий двоичный код, каждая составляющая которого кодирует направление изменения между двумя последовательными характерными точками по меньшей мере одной кривой обучения, модель, позволяющую оценить релевантную точку на основании всех характерных точек кривой, и фильтр,

при этом указанный способ включает в себя этапы, на которых:

a/ выбирают профиль, сохраненный в первом средстве накопления информации;
b/ применяют фильтр выбранного профиля к указанной кривой;
c/ определяют совокупность характерных точек указанной фильтрованной кривой и двоичного кода, каждая составляющая которого кодирует направление изменения двух последовательных характерных точек, принадлежащих к указанной совокупности характерных точек;

d/ сравнивают определенный код и код выбранного профиля;

e/ оценивают, в зависимости от указанного сравнения, релевантную точку на указанной кривой на основании характерных точек указанной фильтрованной кривой и модель выбранного профиля.

Такой способ позволяет осуществлять быстрое определение релевантной точки на кривой, независимо от типа релевантной точки, не прибегая к услугам эксперта. Такой способ позволяет также учитывать всю форму кривой и одновременно свести к минимуму количество сохраняемой информации за счет сохранения в памяти только
5 характерных точек этой кривой.

Согласно другим предпочтительным и не ограничительным отличительным признакам:

- если определенный код отличается от кода выбранного профиля, можно выбрать новый профиль, сохраненный в первом средстве накопления информации, и
10 вычислительное устройство может опять осуществить этапы b/-e/ заявленного способа;

- релевантную точку можно выбрать из группы, в которую входят момент открывания клапана, момент явно выраженного измерения температуры или давления, момент достижения определенного режима компрессором высокого давления или компрессором низкого давления, момент выключения стартера;

15 - характерные точки можно выбрать из группы, в которую входят точки перегиба, локальные экстремумы, резкие изменения крутизны;

Эти точки являются конкретными точками кривой, которые позволяют характеризовать общую форму кривой, поскольку все кривые одного и того же параметра, измеряемого в ходе одной и той же фазы работы на разных двигателях,
20 имеют одинаковую общую форму и содержат одинаковые характерные точки.

- профиль может также содержать порог, и характерные точки могут быть последовательными локальными экстремумами, разность ординат которых превышает указанный порог;

Это позволяет минимизировать число сохраняемых характерных точек и сохранять
25 только точки, реально отличающиеся от соседних с ними точек.

- модели могут быть обобщенными линейными моделями с выбором переменных;

- модели могут проверять уравнение: $t = AX$, где:

- t является абсциссой оцениваемой релевантной точки,

- A является вектором-строкой, содержащим коэффициенты регрессии,

30 - X является вектором-столбцом, составляющими которого являются абсциссы характерных точек и результаты их преобразования;

Такая модель позволяет определять абсциссу релевантной точки только на основании абсцисс характерных точек, не прибегая в большему количеству вычислений.

- в варианте применения заявленного способа вычислительное устройство может
35 осуществлять:

- этап оценки на основании оценочных релевантных точек определенных показателей, выбранных по их репрезентативности рабочего состояния двигателя;

- этап диагностики двигателя на основании оценочных определенных показателей;

40 • этап сохранения в средствах накопления информации по каждому полету оценочных определенных показателей и этап прогнозирования ухудшения рабочего состояния двигателя на основании изменения сохраненных в памяти определенных показателей;

Это позволяет автоматически диагностировать и прогнозировать возможную неисправность двигателя или ухудшение его рабочего состояния.

- каждый профиль, сохраненный в первом средстве накопления информации, можно
45 определить при помощи процесса обучения;

- этот процесс обучения для профиля может включать в себя:

a/ отображение при помощи устройства отображения множества кривых обучения;

b/ определение указанным вычислительным устройством релевантной точки для

обнаружения аномалии на каждой из кривых обучения, при этом указанную релевантную точку каждой из кривых обучения выбирает эксперт при помощи средств ввода;

c/ сохранение во втором средстве накопления информации каждой из указанных кривых обучения, связанной с указанной определенной релевантной точкой;

5 d/ выбор указанным вычислительным устройством фильтра и модели;

e/ применение указанным вычислительным устройством выбранного фильтра к каждой из кривых обучения;

f/ определение указанным вычислительным устройством характерных точек каждой из фильтрованных кривых обучения;

10 g/ определение указанным вычислительным устройством, - среди определенных характерных точек, - рекуррентных характерных точек, появляющихся на каждой фильтрованной кривой обучения, и двоичного кода, каждая составляющая которого кодирует направление изменения между двумя последовательными рекуррентными характерными точками;

15 h/ оценку релевантной точки указанным вычислительным устройством на основании определенных рекуррентных характерных точек и выбранной модели;

i/ оценку указанным вычислительным устройством погрешности, связанной с фильтром и моделью, выбранными на этапе d/, посредством сравнения оценочной релевантной точки с релевантной точкой, выбранной экспертом на этапе b/;

20 j/ сохранение в указанных первых средствах накопления информации профиля, содержащего указанный определенный двоичный код, указанный фильтр и указанную модель и позволяющего минимизировать оценочную погрешность или получить оценочную погрешность, меньшую определенного порога;

25 Такой процесс позволяет автоматически характеризовать релевантную точку без участия эксперта, если не считать эксперта, который должен был точно описать характеристики такой точки, и без необходимости определения специального алгоритма для каждого типа релевантной точки.

30 Вторым объектом изобретения является компьютерный программный продукт, содержащий командные коды программы для исполнения этапов способа, являющегося первым объектом изобретения, когда указанную программу исполняет компьютер;

Третьем объектом изобретения является система обработки данных, содержащая вычислительное устройство, средства ввода, по меньшей мере одно устройство отображения, отличающаяся тем, что выполнена с возможностью осуществления этапов способа, являющегося первым объектом изобретения.

35 Краткое описание чертежей

Другие отличительные признаки и преимущества будут более очевидны из нижеследующего описания, представленного исключительно в качестве иллюстративного и не ограничительного примера со ссылками на прилагаемые фигуры, на которых:

40 Фиг. 1 - диаграмма, иллюстрирующая построение определенных показателей.

Фиг. 2 - диаграмма, иллюстрирующая пример алгоритма, основанного на распознавании формы.

Фиг. 3 - схема материальных средств, применяемых в рамках изобретения.

45 Фиг. 4 - пример графического интерфейса, выводимого на экран для эксперта в рамках изобретения.

Фиг. 5 - блок-схема этапов процесса обучения согласно варианту осуществления изобретения.

Фиг. 6 - диаграмма, иллюстрирующая пример модели, позволяющей определять

абсциссу релевантной точки, согласно варианту осуществления изобретения.

Фиг. 7 - примеры характерных точек кривой.

Фиг. 8 - блок-схема этапов способа оценки релевантной точки на кривой для обнаружения аномалии двигателя согласно варианту осуществления изобретения.

5 Осуществление изобретения

Показанный на фиг. 3 вариант осуществления изобретения касается способа оценки релевантной точки на кривой для обнаружения аномалии двигателя 9, при этом указанная кривая отображает изменение в зависимости от времени физических рабочих параметров двигателя, измеряемых по меньшей мере одним датчиком 10 на указанном

10 двигателе 9.

Такой способ осуществляют при помощи вычислительного устройства 11, содержащего средства 12 вычисления, память 13 и интерфейс 14 связи. Этот интерфейс позволяет вычислительному устройству устанавливать связь с датчиками 10, выполненными с возможностью измерения рабочих параметров двигателя в разные

15 моменты. Такой интерфейс может быть последовательным или параллельным проводным интерфейсом типа Ethernet, USB, FireWire, или беспроводным интерфейсом типа WiFi или Bluetooth.

Вычислительное устройство 11 производит оценку релевантной точки на кривой на основании сравнений моделей кривых, называемых профилями. Анализируемые кривые

20 не всегда являются подобными, и способ использует несколько профилей. Например, при анализе температуры отработавших газов можно использовать два профиля - один для запусков на холодном двигателе и один для запусков на разогретом двигателе.

Такие профили можно определять при помощи процесса обучения и сохранять в первых средствах 15 накопления информации. Эти первые средства накопления

25 информации могут представлять собой устройство, внешнее по отношению к вычислительному устройству, такое как внешний жесткий диск USB или сетевой жесткий диск ("NAS"). При этом первые средства накопления информации сообщаются с вычислительным устройством через интерфейс связи, такой как интерфейс 11 связи. В

30 варианте первые средства накопления информации могут быть встроены в вычислительное устройство 11. Сохранение профилей в первых средствах накопления информации может принимать форму базы данных, записанной в первых средствах накопления информации.

Указанный процесс обучения может потребовать участия эксперта по работе авиационных двигателей, чтобы он выбрал релевантную точку на кривых обучения.

35 Для этого эксперт использует графический интерфейс 16, показанный на фиг. 4, вычисляемый вычислительным устройством 11. Такой графический интерфейс содержит кривую 17 в окне 18 выбора. Этот интерфейс отображается на дисплее 19, который может представлять собой любой типа экрана, такого как жидкокристаллический экран, плазменный экран, светодиодный экран или видеопроекционный экран,

40 соединенный с видеопроектором. Такой дисплей соединен с вычислительным устройством через аналоговое или цифровое видео-соединение, такое как соединение Peritel, VGA, DVI, DisplayPort или HDMI. Эксперт использует средства 20 ввода для выбора релевантной точки на кривой 17 обучения, выведенной в окно 18 выбора. Такие средства ввода могут представлять собой клавиатуру и мышь, трекпад, трекбол или

45 любое другое указательное средство, позволяющее ему выделить точку на кривой 17, такое как интерфейс обнаружения движения. Данные, сохраненные во время процесса обучения, могут быть записаны во вторых средствах 21 накопления информации, аналогичных первым средствам 15 накопления информации и аналогично соединенных

с вычислительным устройством 11.

Показанный на фиг. 5 процесс обучения содержит описанные ниже этапы E1-E11.

На первом этапе E1 для эксперта могут быть выведены несколько кривых обучения τ_a . Эти кривые выводятся в окно 18 выбора графического интерфейса 16. Все эти кривые являются подобными, хотя и не идентичными, и все они соответствуют одному типу кривой, на которой автоматически может быть определена релевантная точка. Например, эти кривые могут быть кривыми температуры, давления, расхода воздуха или топлива, измеряемых в разных точках двигателя летательного аппарата, или кривыми скорости вращения различных вращающихся элементов двигателя, таких как компрессоры высокого и низкого давления. Предварительный выбор такого набора подобных кривых может быть автоматическим и производится машиной или может быть ручным и производится экспертом среди совокупности кривых, измеренных на одном или нескольких двигателях летательного аппарата, например, посредством выбора типа величины и разделения кривых, измеренных за полный цикл полета, и кривых, измеренных только во время фазы запуска.

На втором этапе E2 эксперт выбирает на каждой из этих кривых τ_a релевантную точку P при помощи средств 20 ввода. Релевантная точка может соответствовать конкретному моменту кривой, такому как момент открывания клапана, момент явно выраженного изменения температуры или давления, момент достижения определенного режима компрессором высокого давления или компрессором низкого давления, момент выключения стартера.

Определение таких моментов позволяет вычислить специфические показатели, необходимые для оценки рабочего состояния двигателя, такие как продолжительность различных фаз запуска двигателя, время зажигания, время остановки или максимальный и средний градиенты температуры отработавших газов.

На третьем этапе E3 кривые обучения τ_a сохраняют вместе с их релевантной точкой, выбранной экспертом, во вторых средствах 21 накопления информации. Эту выбранную релевантную точку можно сохранить в виде ее абсциссы на кривой обучения.

На четвертом этапе E4 выбирают фильтр F и модель M. Фильтр представляет собой функцию фильтрации, адаптированную для изменения кривой таким образом, чтобы упростить обнаружение на ней характерной точки. Такая фильтрация может представлять собой сглаживание, простое или двойное дифференцирование или обработку акцентирования неравномерностей кривой. Соответствующими функциями фильтрации могут быть гауссово распределение, распределение в виде зубца, треугольника, вейвлет Хаара или Добеши.

Как показано на фиг. 6, модель представляет собой функцию, позволяющую определить абсциссу релевантной точки 22 на основании абсцисс характерных точек 23 кривой. Такие характерные точки могут соответствовать локальным экстремумам, точкам перегибов или точкам резкого изменения крутизны. В варианте модель может быть обобщенной линейной моделью с выбором переменных. Такая модель может проверять уравнение: $t = AX$, где:

- t является абсциссой оцениваемой релевантной точки,
- A является вектором-строкой, содержащим коэффициенты регрессии,
- X является вектором-столбцом, составляющими которого являются абсциссы x характерных точек и результаты преобразования абсцисс, такие как $\ln x$, $\tan x$, $1/x$...

Выбор фильтра F и модели M может производить автоматически вычислительное устройство 11, возможно произвольно среди базы фильтров и возможных диапазонов значений коэффициентов регрессии, или же такой выбор может потребовать участия

эксперта.

На пятом этапе E5 фильтр F, выбранный на четвертом этапе E4, применяют к каждой из кривых обучения \mathcal{T}_a . Применение фильтра может представлять собой вычисление конволюции между каждой кривой и функцией фильтрации фильтра таким образом, чтобы получить фильтрованные кривые обучения, как показано на фиг. 7.

На шестом этапе E6 вычислительное устройство 11 определяет характерные точки каждой из фильтрованных кривых обучения. Как показано на фиг. 7 и как было указано выше, эти характерные точки могут соответствовать локальным экстремумам, точкам перегибов, то есть имеющим максимум производной первого порядка, или точкам резкого изменения крутизны, то есть имеющим максимум производной второго порядка между локальным экстремумом и точкой перегиба или между точкой перегиба и другим локальным экстремумом. В случае определения локальных экстремумов можно минимизировать количество сохраняемых точек, сохраняя после этого определения только последовательные локальные экстремумы, разность ординат которых превышает первый заранее определенный порог. Предпочтительно сохраняют в памяти только абсциссу этих характерных точек.

На седьмом этапе E7 среди совокупности характерных точек кривых обучения \mathcal{T}_a вычислительное устройство определяет рекуррентные характерные точки. Эти рекуррентные точки являются характерными точками, обнаруженными в большинстве обработанных фильтрованных кривых обучения. Согласно варианту, эти рекуррентные характерные точки определяют только на основании локальных экстремумов кривых обучения. В этом варианте рекуррентные характерные точки, отличные от последовательных рекуррентных локальных экстремумов, определяют апостериори и следующим образом: выбирают точку перегиба между двумя последовательными локальными экстремумами, а если их имеется несколько, выбирают ту, которая имеет максимальную ординату на производной первого порядка. Точку, характеризующую резкое изменение крутизны, выбирают между локальным экстремумом и точкой перегиба и между точкой перегиба и локальным экстремумом. Если имеется несколько точек резкого изменения, выбирают ту, которая имеет максимальную ординату на производной второго порядка.

Вычислительное устройство 11 определяет также двоичный код C, каждая составляющая которого кодирует направление изменения между двумя последовательными рекуррентными характерными точками. Например, «1» может кодировать то, что за характерной точкой ординаты y_1 следует характерная точка ординаты y_2 выше y_1 , и «0» может кодировать то, что за характерной точкой ординаты y_1 следует характерная точка ординаты y_2 ниже y_1 . Такой код представляет собой двоичное отображение профиля ординат рекуррентных характерных точек, общих для большинства кривых обучения \mathcal{T}_a . Фильтрованные кривые обучения, на которых не появляются определенные рекуррентные характерные точки, можно отложить в сторону и использовать для определения другого профиля во время последующего процесса обучения. Таким образом, первый профиль определяют на основании максимума кривых обучения, затем второй профиль определяют на основании максимума кривых среди оставшихся кривых ...

На восьмом этапе E8 вычислительное устройство 11 определяет абсциссу релевантной точки P' на одной или нескольких кривых обучения \mathcal{T}_a на основании рекуррентных характерных точек, в частности, их абсцисс, определенных на седьмом этапе E7, и модели M, выбранной на четвертом этапе E4.

На девятом этапе E9 вычислительное устройство 11 оценивает погрешность

определения каждой из релевантных точек, определенных на восьмом этапе E8, сравнивая абсциссу релевантной точки P', определенной на восьмом этапе E8, и абсциссу релевантной точки P, выбранной экспертом на этой же кривой обучения на втором этапе E2. Затем вычислительное устройство определяет среднее квадратичное из совокупности оценочных погрешностей определения. Эту среднюю погрешность определения связывают с фильтром F и с моделью M, выбранными на четвертом этапе E4.

На десятом этапе E10 вычислительное устройство определяет, является ли средняя погрешность определения релевантной точки, оцененная на девятом этапе E9, достаточно малой, чтобы считать определение релевантных точек на восьмом этапе E8 удовлетворительным. Согласно варианту выполнения, вычислительное устройство сравнивает среднюю погрешность определения со вторым заранее определенным порогом. Если средняя погрешность определения превышает этот второй заранее определенный порог, вычислительное устройство отбрасывает фильтр F и модель M, выбранные на этапе E4, выбирает новый фильтр и новую модель, затем опять осуществляет этапы E5-E10 с этим новым фильтром и этой новой моделью. Согласно другому варианту выполнения, вычислительное устройство осуществляет этапы E4-E10 заранее определенное количество раз и выбирает пару фильтр F/модель M, позволяющую получить наименьшую среднюю погрешность определения релевантной точки.

На одиннадцатом этапе E11 вычислительное устройство 11 сохраняет в профиле фильтр F и модель M, выбранные на десятом этапе E10, а также двоичный код C, определенный на седьмом этапе E7. Профиль может также включать в себя первый заранее определенный порог, использованный на шестом этапе E6 для определения локальных экстремумов. Этот профиль можно записать в первые средства 15 накопления информации.

Если кривые обучения являются кривыми с несколькими размерами, предыдущие этапы применяют для каждого из размеров. Согласно первому варианту, профиль сохраняют в памяти по завершении одиннадцатого этапа E11 для каждого из размеров. Согласно второму варианту, по завершении одиннадцатого этапа E11 в памяти сохраняют только профиль, содержащий пару фильтр/модель размера, имеющего наименьшую погрешность определения. В этих обоих вариантах каждый профиль включает в себя указание размера, к которому он относится. Согласно третьему варианту, выбранная модель M является моделью с выбором переменной и проверяет уравнение $t = AX$, где X является вектором, составляющими которого являются абсциссы характерных точек по каждому из размеров кривых обучения. Такую модель называют многомерной. Такие характерные точки определяют на шестом этапе E6 для каждого из размеров каждой кривой обучения. Точно так же, на седьмом этапе E7 для каждого из этих размеров определяют рекуррентные характерные точки и двоичный код. Эти двоичные коды тоже записывают в многомерный профиль на одиннадцатом этапе E11 с указанием размера, к которому они относятся.

Как показано на фиг. 8, способ оценки релевантной точки на кривой C для обнаружения аномалии двигателя 9 при помощи профилей, определенных в ходе описанного выше процесса обучения, осуществляют при помощи вычислительного устройства 11 в ходе этапов F1-F9.

Эту кривую C получают на основании измерений рабочих параметров двигателя, произведенных в разные моменты по меньшей мере одним датчиком 10.

На первом этапе F1 вычислительное устройство выбирает профиль среди профилей,

полученных в ходе описанного выше процесса обучения, и сохраняет его в первых средствах 15 накопления информации.

На втором этапе F2 вычислительное устройство 11 применяет к кривой С фильтр F, связанный с профилем, выбранным на первом этапе F1, и получает фильтрованную кривую.

На третьем этапе F3 вычислительное устройство 11 определяет характерные точки фильтрованной кривой, полученной на втором этапе F2. При определении локальных экстремумов кривой С можно использовать первый заранее определенный порог, соответствующий профилю, выбранному на первом этапе F1. На основании этих характерных точек вычислительное устройство определяет затем двоичный код С, каждая составляющая которого кодирует направление изменения двух последовательных характерных точек. Указанный код определяют так же, как и код, определенный на седьмом этапе E7 для рекуррентных характерных точек кривой обучения.

На четвертом этапе F4 вычислительное устройство определяет, является ли код С, полученный на третьем этапе F3, идентичным коду С, соответствующему профилю, выбранному на первом этапе F1.

Форма кривой С может соответствовать профилю выбранной кривой, и в этом случае вычислительное устройство осуществляет пятый этап F5, во время которого выбранный профиль используют для определения релевантной точки на кривой С. В противном случае кривая С не соответствует выбранному профилю, и вычислительное устройство 11 опять осуществляет этапы F1-F4.

На пятом этапе F5 вычислительное устройство определяет релевантную точку, например, ее абсциссу, на кривой С на основании характерных точек, определенных на третьем этапе F3, и модели М, связанной с профилем, выбранным на первом этапе F1.

Кривая С может быть также многомерной. Согласно первому варианту, если все профили, сохраненные в памяти во время фазы обучения, относятся к одному и тому же размеру, вышеуказанные этапы F1-F5 применяют к этому размеру. Согласно второму варианту, если профили, каждый из которых связан с одним размером, были сохранены в памяти во время фазы обучения по меньшей мере для двух из размеров кривой С, этапы F1-F5 применяют отдельно к каждому из этих размеров и определяют среднюю релевантную точку на основании релевантных точек, определенных по каждому из размеров, при этом абсцисса средней релевантной точки может быть средней из абсцисс релевантных точек, определенных по каждому из размеров. Согласно третьему варианту, если сохраненные в памяти профили являются многомерными и каждый из них содержит многомерную модель, описанные выше этапы F1-F5 применяют таким образом, чтобы на третьем этапе F3 характерные точки кривой и двоичный код были определены для каждого из размеров кривой. При этом вычислительное устройство определяет на четвертом этапе F4 многомерный профиль, наиболее соответствующий кривой, на основании этих двоичных кодов и двоичных кодов, записанных в выбранный многомерный профиль.

На шестом этапе F6 вычислительное устройство 11 может использовать одну или несколько релевантных точек, определенных при осуществлении этапов F1-F5, для оценки по меньшей мере одного специфического показателя, характеризующего рабочее состояние двигателя 9. Как было указано выше, такими показателями могут быть продолжительность различных фаз запуска двигателя, время зажигания, время остановки или максимальный и средний градиенты температуры отработавших газов.

На основании этих показателей можно производить различные виды обработки.

Первая обработка может представлять собой диагностику состояния двигателя в момент получения кривых, используемых для определения указанных показателей. На седьмом этапе F7 вычислительное устройство использует показатели, чтобы оценить, имеет ли двигатель аномалию работы, которая могла бы оправдать его отправку на завод для технического обслуживания, например, для замены неисправной детали.

Вторая обработка может представлять собой прогнозирование будущего ухудшения работы двигателя на основании последовательных измерений. На восьмом этапе F8 показатели, определенные на основании измерений, связанных с одним полетом на двигателе, сохраняют в памяти, и этот этап повторяют для каждого полета, чтобы получить последовательность показателей, изменение которых во времени характеризует изменение рабочего состояния двигателя 9. На девятом этапе F9 вычислительное устройство применяет процесс прогнозирования будущего ухудшения состояния двигателя на основании изменения во времени показателей, сохраняемых для каждого полета на восьмом этапе F8.

(57) Формула изобретения

1. Способ оценки релевантной точки на кривой для обнаружения аномалии двигателя (9), при этом указанная кривая отображает изменение, в зависимости от времени, физических параметров работы двигателя, измеряемых по меньшей мере одним датчиком (10) на указанном двигателе,

осуществляемый вычислительным устройством (11), соединенным с первым средством (15) накопления информации,

при этом указанное первое средство (15) накопления информации хранит в памяти по меньшей мере один профиль, содержащий двоичный код, каждая составляющая которого выполнена с возможностью кодирования направления изменения между двумя последовательными характерными точками по меньшей мере одной кривой обучения, модель, позволяющую оценить релевантную точку на основании совокупности характерных точек кривой, и фильтр,

при этом указанный способ включает в себя этапы, на которых:

a/ (F1) выбирают профиль, сохраненный в памяти в первом средстве (15) накопления информации;

b/ (F2) применяют фильтр выбранного профиля к указанной кривой;

c/ (F3) определяют набор характерных точек указанной фильтрованной кривой и двоичного кода, каждая составляющая которого кодирует направление изменения двух последовательных характерных точек, принадлежащих указанному набору характерных точек;

d/ (F4) сравнивают определенный код и код выбранного профиля;

e/ (F5) оценивают, в зависимости от указанного сравнения, релевантную точку на указанной кривой на основании характерных точек указанной фильтрованной кривой и модели выбранного профиля.

2. Способ по п. 1, в котором, если определенный код отличается от кода выбранного профиля, выбирают новый профиль, хранящийся в памяти в первом средстве накопления информации, а вычислительное устройство выполнено с возможностью повторения этапов b/-e/

3. Способ по любому из п. 1 или 2, в котором релевантную точку выбирают из группы, в которую входят момент открывания клапана, момент явно выраженного изменения температуры или давления, момент достижения определенного режима

компрессором высокого давления или компрессором низкого давления, момент выключения стартера.

4. Способ по п. 1, в котором характерные точки выбирают из группы, содержащей точки перегиба, локальные экстремумы, резкие изменения крутизны.

5. Способ по п. 1, в котором профиль дополнительно содержит пороговое значение, а характерные точки являются последовательными локальными экстремумами, разность ординат которых превышает указанное пороговое значение.

6. Способ по п. 1, в котором модели являются обобщенными линейными моделями с выбором переменных.

7. Способ по п. 1, в котором указанные модели проверяют уравнение: $t = AX$, где:
 - t является абсциссой оцениваемой релевантной точки,
 - A является вектором-строкой, содержащим коэффициенты регрессии,
 - X является вектором-столбцом, составляющими которого являются абсциссы характерных точек и результаты их преобразования.

8. Способ по п. 1, дополнительно содержащий (F6) этап оценки на основании оценочных релевантных точек определенных показателей, выбранных по их репрезентативности рабочего состояния двигателя.

9. Способ по п. 8, дополнительно содержащий (F7) этап диагностики двигателя на основании оценочных определенных показателей.

10. Способ по п. 8, содержащий (F8) этап сохранения в памяти в средстве накопления информации оценочных определенных показателей по каждому полету и (F9) этап прогнозирования ухудшения рабочего состояния двигателя на основании изменения сохраненных в памяти определенных показателей.

11. Способ по п. 1, в котором каждый профиль, хранящийся в памяти в первом средстве накопления информации, определен при помощи процесса обучения.

12. Способ по п. 11, в котором процесс обучения для профиля включает в себя этапы, на которых:

a/ (E1) отображают при помощи устройства (19) отображения множества кривых обучения;

b/ (E2) определяют с помощью указанного вычислительного устройства (11) релевантную точку для обнаружения аномалии на каждой из кривых обучения, при этом указанную релевантную точку каждой из кривых обучения выбирает эксперт при помощи средств (20) ввода;

c/ (E3) сохраняют во втором средстве (21) накопления информации каждую из указанных кривых обучения, связанную с указанной определенной релевантной точкой;

d/ (E4) выбирают с помощью указанного вычислительного устройства (11) фильтр и модель;

e/ (E5) применяют с помощью указанного вычислительного устройства (11) выбранный фильтр к каждой из кривых обучения;

f/ (E6) определяют с помощью указанного вычислительного устройства (11) характерные точки каждой из фильтрованных кривых обучения;

g/ (E7) определяют с помощью указанного вычислительного устройства (11), из определенных характерных точек, рекуррентные точки, появляющиеся на каждой фильтрованной кривой обучения, и двоичный код, каждая составляющая которого кодирует направление изменения между двумя последовательными рекуррентными характерными точками;

h/ (E8) оценивают с помощью указанного вычислительного устройства (11) релевантную точку, на основании определенных рекуррентных характерных точек и

выбранной модели;

i/ (E9) оценивают с помощью указанного вычислительного устройства (11) погрешность, связанную с фильтром и моделью, выбранными на этапе d/, посредством сравнения оценочной релевантной точки с релевантной точкой, выбранной экспертом на этапе b/;

j/ (E11) сохраняют в памяти в указанном первом средстве (15) накопления информации профиль, содержащий указанный определенный двоичный код, указанный фильтр и указанную модель, позволяющие минимизировать оценочную погрешность или получить оценочную погрешность, меньшую определенного порогового значения (E10).

13. Система обработки данных, содержащая вычислительное устройство (11), средство (20) ввода, по меньшей мере одно устройство (19) отображения, характеризующаяся тем, что выполнена с возможностью осуществления этапов способа по любому из пп. 1-12.

15

20

25

30

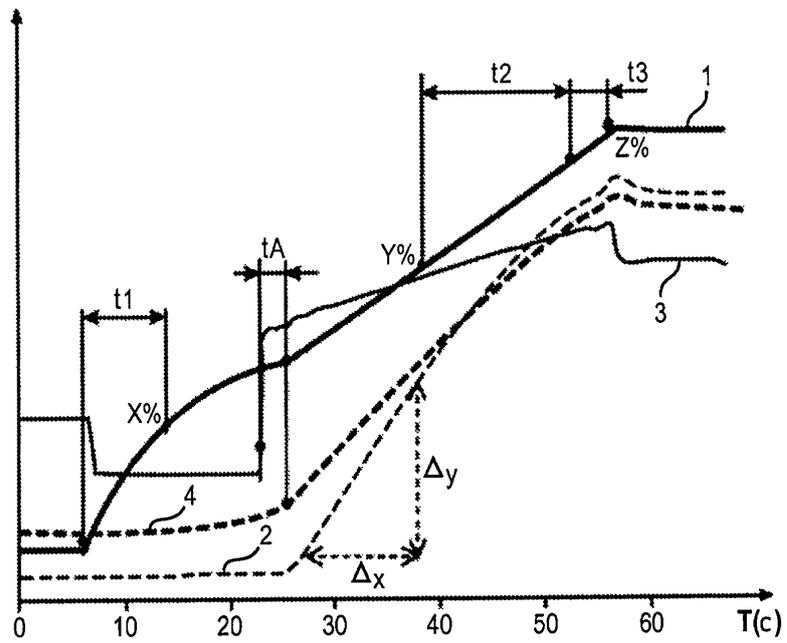
35

40

45

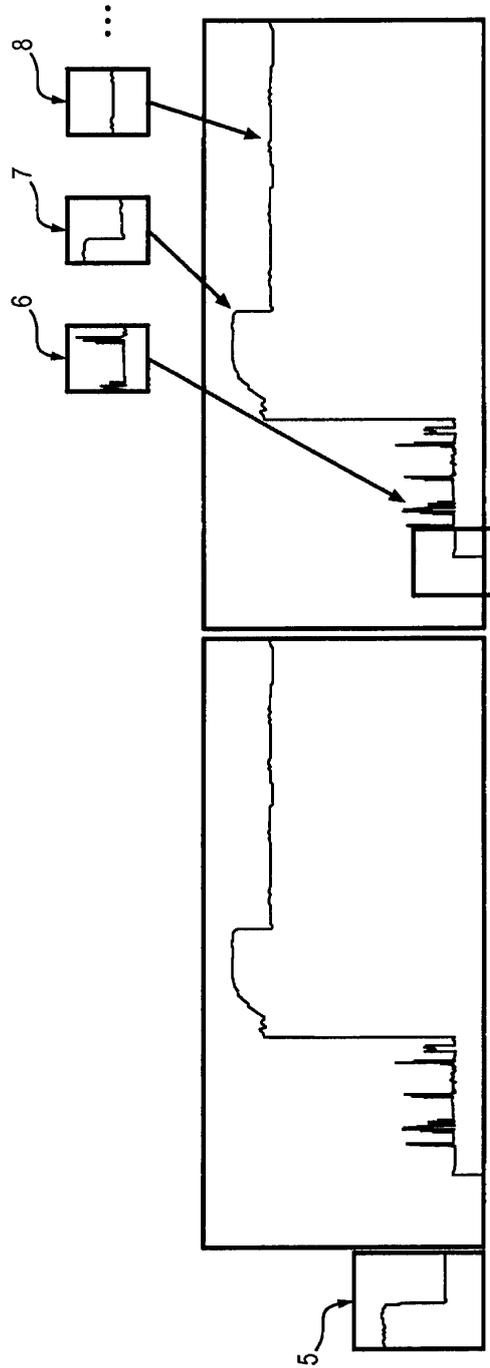
1

1/8

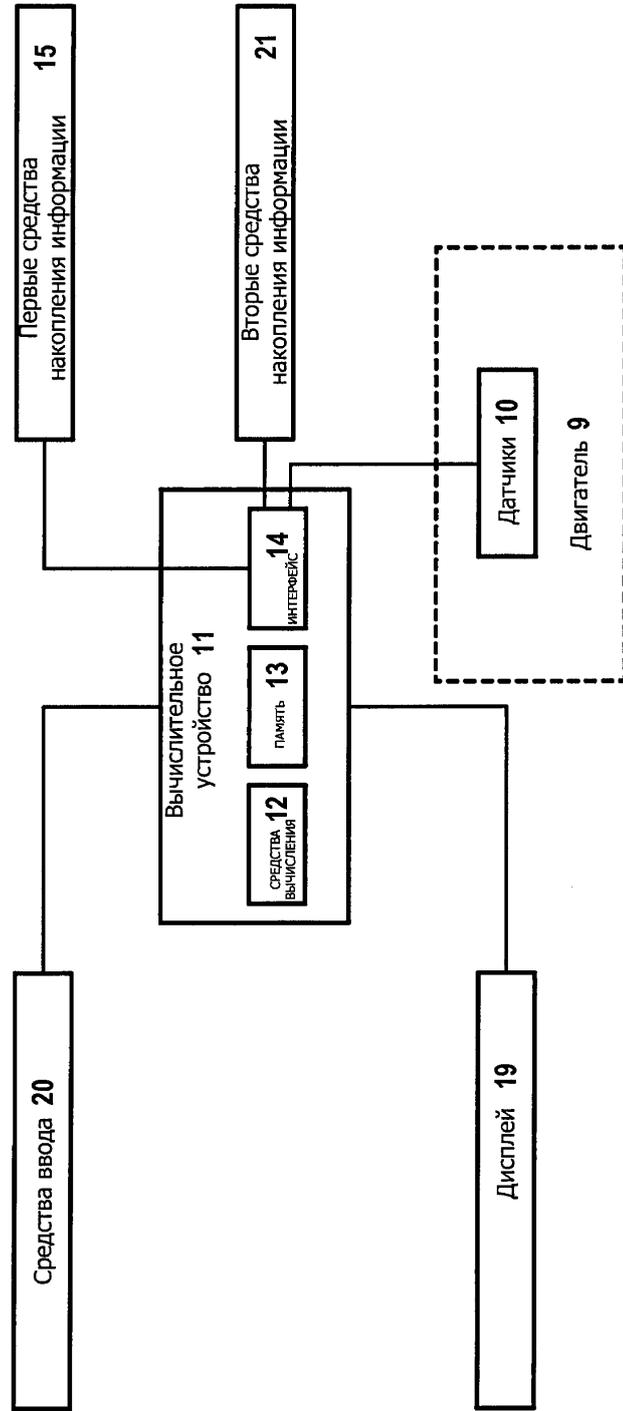


Фиг. 1

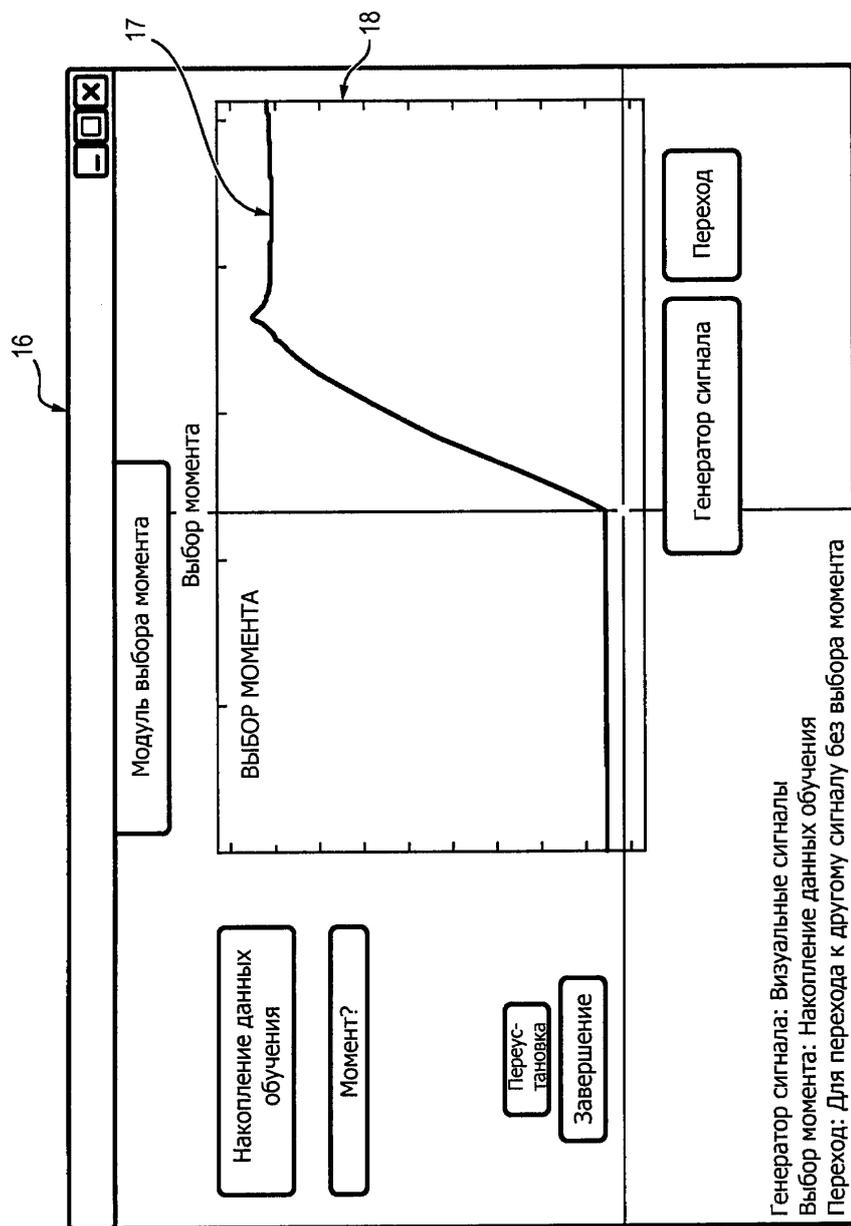
2



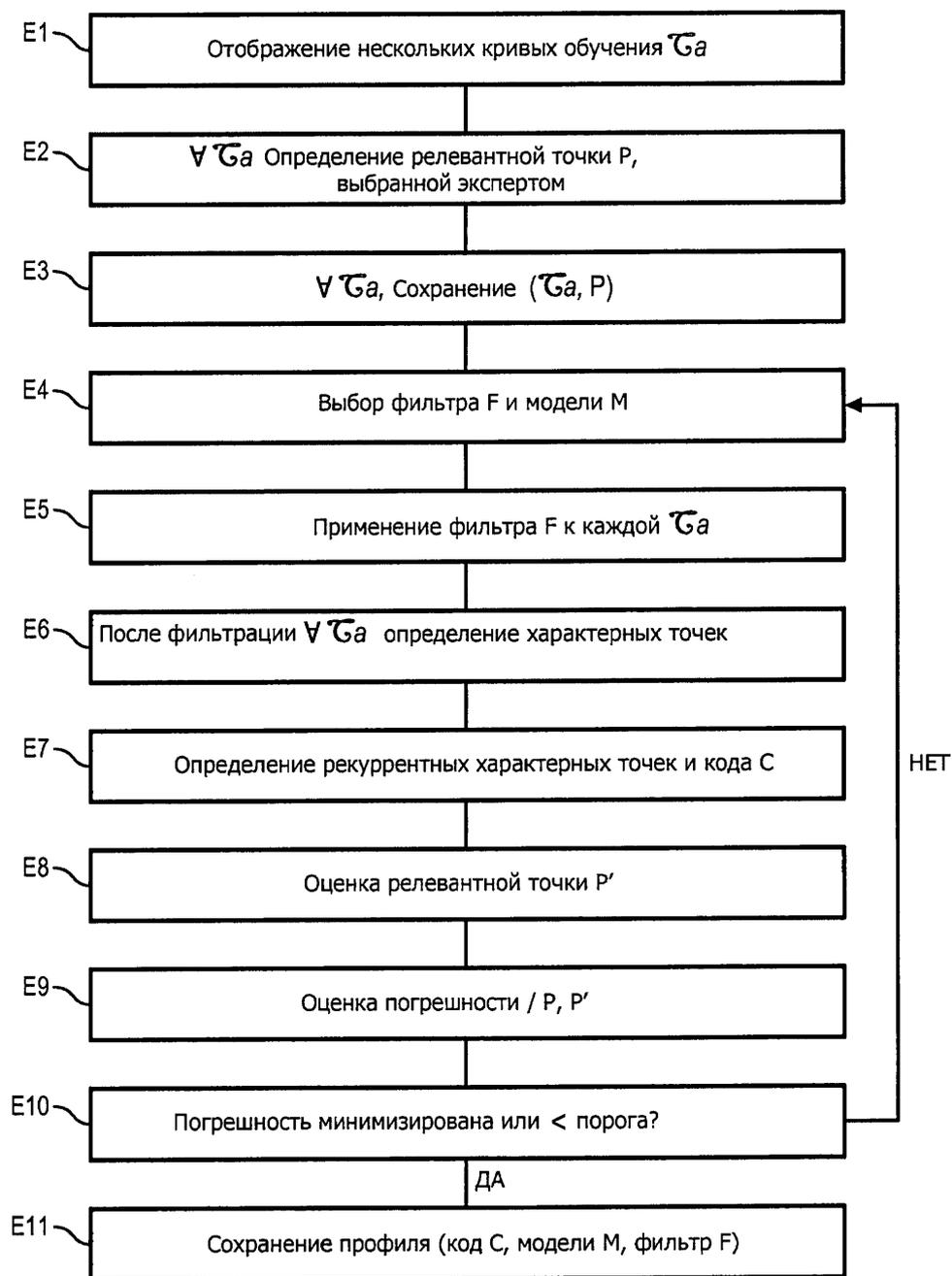
ФИГ. 2



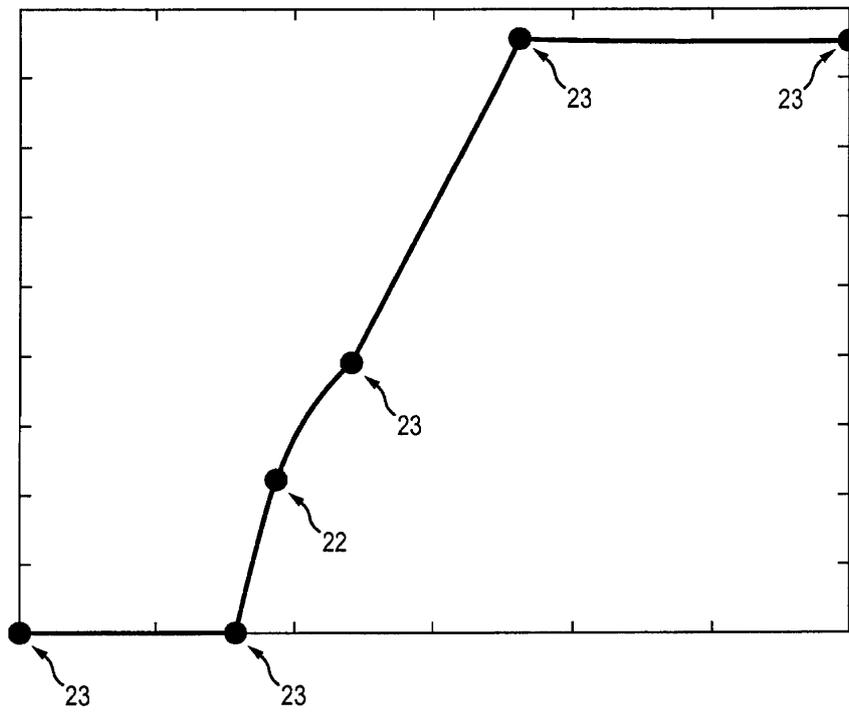
ФИГ. 3



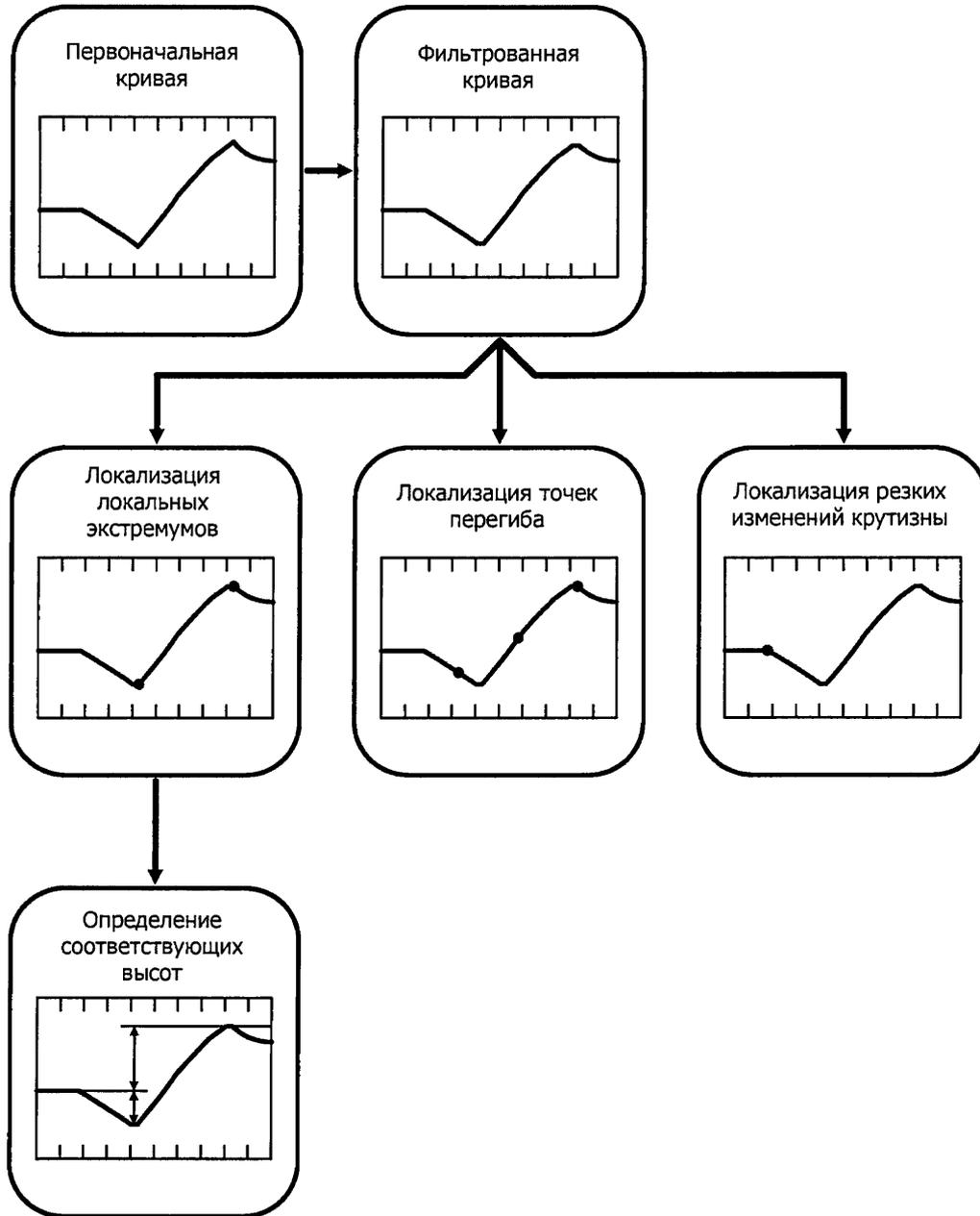
ФИГ. 4



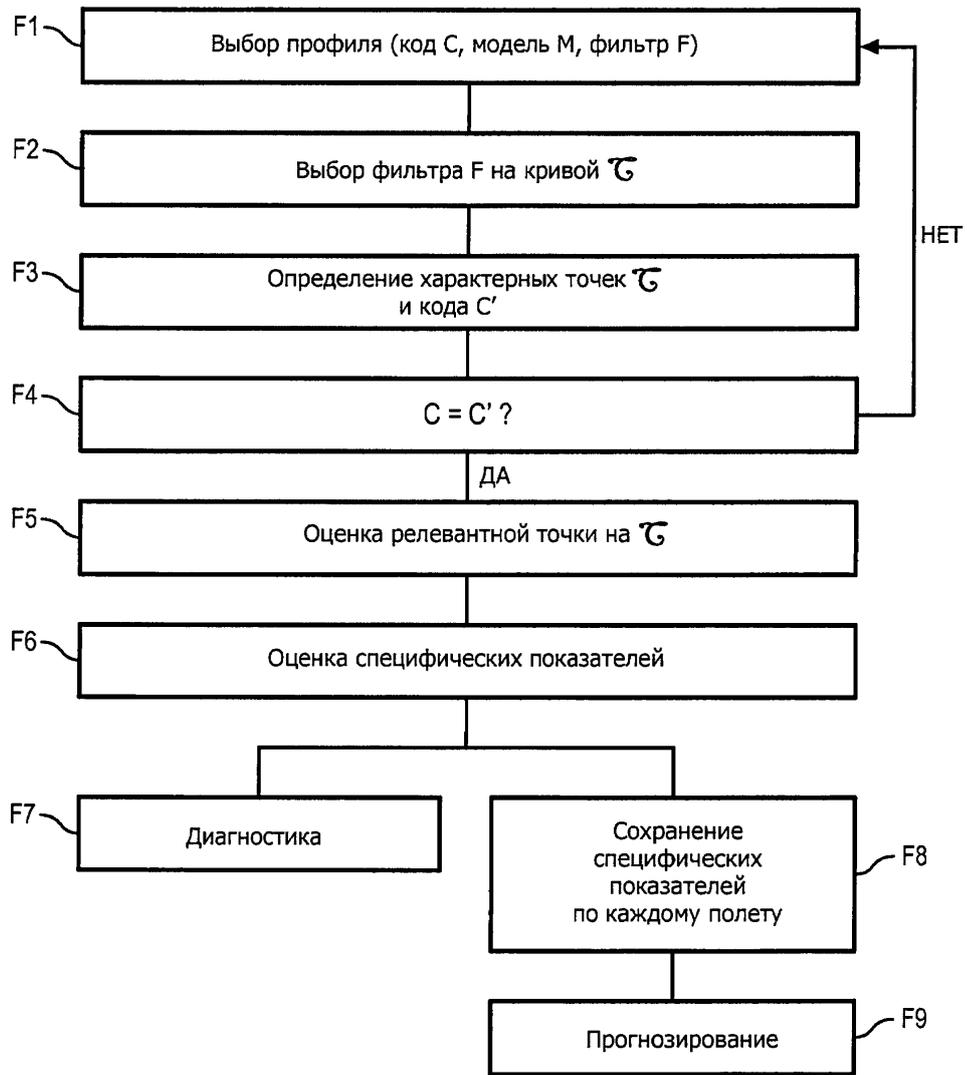
Фиг. 5



ФИГ. 6



Фиг. 7



ФИГ. 8