



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) **СКОРРЕКТИРОВАННОЕ ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

Примечание: библиография отражает состояние при переиздании

(52) СПК

G05B 23/0283 (2006.01); G06Q 10/20 (2006.01)

(21)(22) Заявка: 2016126807, 03.12.2014

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
03.12.2014

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:
13.12.2013 FR 13 62549

(45) Опубликовано: 25.10.2018

(15) Информация о коррекции:
Версия коррекции №1 (W1 C1)

(48) Коррекция опубликована:
21.11.2018 Бюл. № 33

(85) Дата начала рассмотрения заявки РСТ на
национальной фазе: 13.07.2016

(86) Заявка РСТ:
FR 2014/053148 (03.12.2014)

(87) Публикация заявки РСТ:
WO 2015/086957 (18.06.2015)

Адрес для переписки:

129090, Москва, ул. Б. Спасская, 25, стр. 3, ООО
"Юридическая фирма Городисский и
Партнеры"

(72) Автор(ы):

АНФРИАНИ Александр (FR),
РИКОРДО Жюльен Алексис Луи (FR)

(73) Патентообладатель(и):

СНЕКМА (FR)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: Muhammad Naeem. Impacts of low-
pressure (LP) compressors' fouling of a
turbofan upon operational-effectiveness of a
military aircraft. APPLIED ENERGY, 85/2008,
ELSEVIER LTD, страницы 243-270. US 2012/
0179326 A1, 12.07.2012. WO 2013/182823 A1,
12.12.2013.

(54) **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОПЕРАЦИЙ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ, ПРИМЕНЯЕМЫХ
К ДВИГАТЕЛЮ**

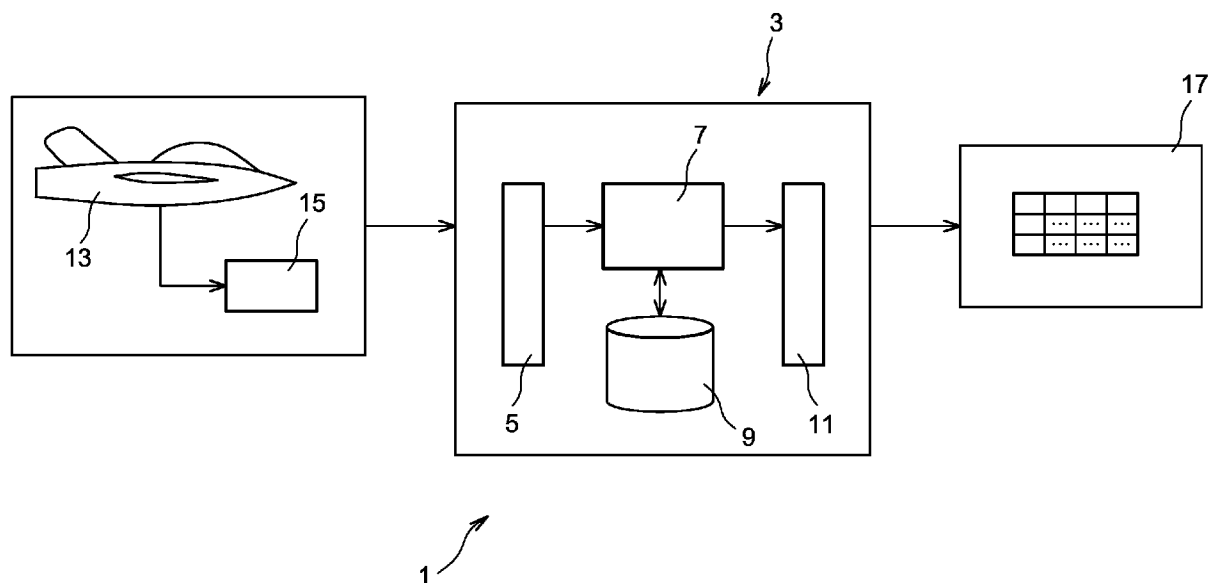
(57) Реферат:

Изобретение относится к способу и системе для прогнозирования операций по техническому обслуживанию, которые должны применяться к двигателю летательного аппарата, включающему в себя множество компонентов, отслеживаемых счетчиками повреждений, каждый из которых ограничен соответствующим верхним значением. Указанная система содержит средства (7) обработки, выполненные для моделирования

расхода указанных счетчиков (C1-Cm) повреждений путем итеративного извлечения последовательности моделируемых задач из обучающей базы данных (9), содержащей экспериментальные задачи, средства (7) обработки, выполненные для определения суммарного расхода каждого из указанных счетчиков повреждений для каждой итерации, пока счетчик повреждений, связанный с текущей

моделируемой задачей, не достигнет заданного значения, ограниченного верхним пределом повреждения, связанным с указанным счетчиком повреждений, и средства (7) обработки, приспособленные для применения стратегии технического обслуживания к указанной текущей моделируемой задаче для определения

показателей технического обслуживания, представляющих операции по техническому обслуживанию, которые должны быть выполнены на двигателе летательного аппарата. Оптимизируются операции по техническому обслуживанию. 3 н. и 8 з.п. ф-лы, 10 ил.



ФИГ. 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.
G05B 23/02 (2006.01)
G06Q 10/00 (2012.01)

(12) ABSTRACT OF INVENTION

Note: Bibliography reflects the latest situation

(52) CPC

G05B 23/0283 (2006.01); *G06Q 10/20* (2006.01)

(21)(22) Application: **2016126807, 03.12.2014**

(24) Effective date for property rights:
03.12.2014

Priority:

(30) Convention priority:
13.12.2013 FR 13 62549

(45) Date of publication: **25.10.2018**

(15) Correction information:
Corrected version no1 (W1 C1)

(48) Corrigendum issued on:
21.11.2018 Bull. № 33

(85) Commencement of national phase: **13.07.2016**

(86) PCT application:
FR 2014/053148 (03.12.2014)

(87) PCT publication:
WO 2015/086957 (18.06.2015)

Mail address:

**129090, Moskva, ul. B. Spasskaya, 25, str. 3, OOO
"Yuridicheskaya firma Gorodisskij i Partnery"**

(72) Inventor(s):

**ANFRIANI Aleksandr (FR),
RIKORDO Zhyulen Aleksis Lui (FR)**

(73) Proprietor(s):

SNEKMA (FR)

(54) FORECASTING MAINTENANCE OPERATIONS TO BE APPLIED TO AN ENGINE

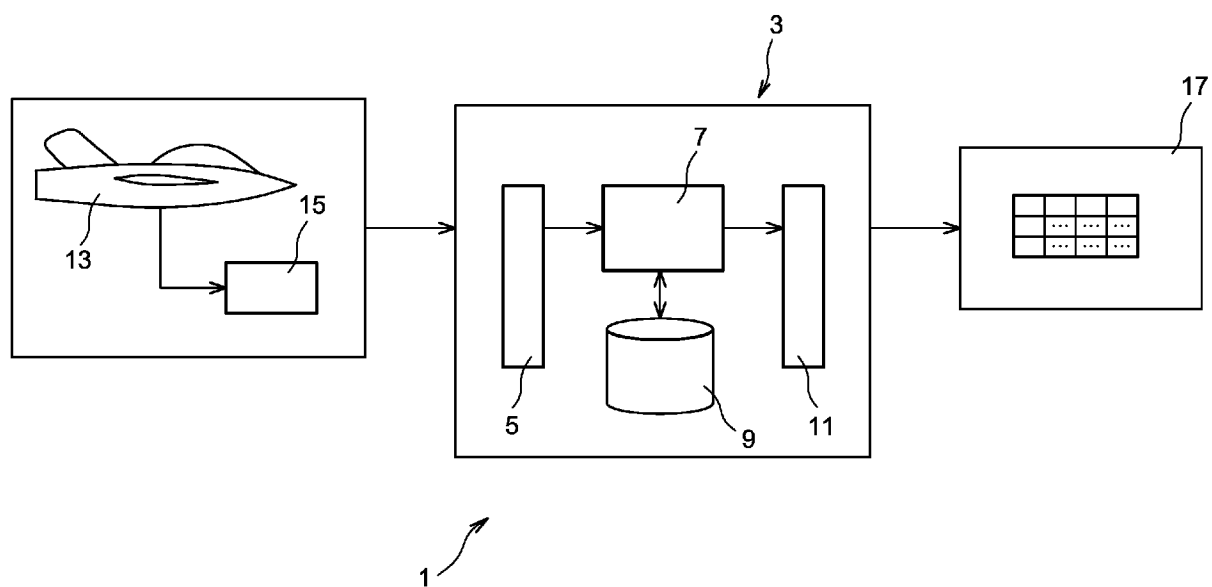
(57) Abstract:

FIELD: control; regulation.

SUBSTANCE: invention concerns a method and system for forecasting maintenance operations to be applied to an aircraft engine comprising a plurality of elements monitored by damage counters, each damage counter being limited by a corresponding damage ceiling. This system comprises processing means (7) suitable for simulating a consumption of said damage counters (C1-Cm) by iteratively pulling a series of simulation missions from a learning database (9) containing test missions, processing means (7) suitable

for determining, at each iteration, an accumulation of consumption of each of said damage counters until at least one counter counting damage related to a current simulation mission reaches the damage ceiling associated with same, and processing means (7) suitable for applying a maintenance strategy to said current simulation mission to determine maintenance indicators representative of the maintenance operations to be planned on the aircraft engine.

EFFECT: maintenance operations are optimized.
11 cl, 10 dwg



ФИГ. 1

ОБЛАСТЬ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Настоящее изобретение относится к области технического обслуживания двигателя летательного аппарата. В частности, настоящее изобретение относится к способу и системе для прогнозирования операций по техническому обслуживанию, применяемых к двигателю летательного аппарата.

Прогнозирование операций по техническому обслуживанию двигателя летательного аппарата определяется в зависимости от оценки повреждения или износа различных элементов двигателя.

Тем не менее, использование двигателя летательного аппарата в условиях, которые могут изменяться от одной полетной задачи к другой, например, как в случае военного летательного аппарата, делает невозможным непосредственное прогнозирование повреждения двигателя. В этом случае оценка основана на счетчиках повреждений, рассчитанных для каждой задачи на основании регистрации параметров полета.

Действительно, двигатель летательного аппарата состоит из различных модулей, каждый из которых содержит различные компоненты. Каждый компонент может включать в себя несколько зон или элементов, подлежащих контролю, определяющих срок службы компонента. В дальнейшем, с целью упрощения описания, будем говорить только о компонентах. Счетчик повреждений связан с каждым компонентом для подсчета числа реальных циклов, израсходованных компонентом. Дополнительно каждый счетчик повреждений также связан с по меньшей мере одним верхним пределом повреждения. Различные действия по техническому обслуживанию могут быть сделаны, когда достигаются одно или несколько верхних пределов. Эти операции технического обслуживания описаны в плане технического обслуживания и варьируются от осмотра без снятия, до замены поврежденных деталей и включая проверки, требующие снятия. Целью операций управления техническим обслуживанием является выполнение операций технического обслуживания точно вовремя, для продления использования деталей или компонентов до их максимального эксплуатационного потенциала.

Тем не менее, расходы счетчиков повреждения и скорость этих расходов сильно варьируют от одной задачи к другой, в частности, в зависимости от типа задач. Таким образом, счетчики повреждения могут достигать своих верхних пределов с разной скоростью, и следовательно, в разных полетах. Тогда, техническое обслуживание, определенное по счетчикам повреждений может в таком случае потребовать довольно частых снятий. Тот факт, что счетчики повреждений могут достигать своих верхних пределов в разное время, часто приводит к частым снятиям. Таким образом, эти различные снятия могут повлиять на доступность летательных аппаратов на их базах.

Следовательно, цель настоящего изобретения заключается в оптимизации операций по техническому обслуживанию двигателей летательных аппаратов с целью повышения доступности летательных аппаратов с соблюдением всех ограничений и требований безопасности.

ЦЕЛЬ И СУЩНОСТЬ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Настоящее изобретение относится к способу прогнозирования операций по техническому обслуживанию, применяемых к двигателю летательного аппарата или части двигателя летательного аппарата, включающего в себя множество компонентов, отслеживаемых счетчиками повреждений, каждый счетчик повреждений ограничен соответствующим верхним пределом повреждения, причем указанный способ включает следующие этапы, на которых:

- моделируют расход указанных счетчиков повреждений, итеративно извлекая последовательность моделируемых задач из обучающей базы данных;

-для каждой итерации, определяют суммарный расход каждого из указанных счетчиков повреждений, до тех пор, пока по меньшей мере, один счетчик повреждений, относящийся к текущей моделируемой задаче не достигает заданного значения, ограниченного верхним пределом повреждения, связанным с указанным счетчиком

5 повреждений;

-применяют стратегию технического обслуживания к указанной текущей моделируемой задаче для определения показателей технического обслуживания, представляющих операции по техническому обслуживанию, прогнозируемые на двигателе летательного аппарата.

10 Моделирование расхода датчиков путем простого извлечения последовательности задач позволяет прогнозировать количество и тип действий по техническому обслуживанию в зависимости от применяемой стратегии технического обслуживания, определенной предопределенными значениями, связанными с верхними пределами повреждений. Этот принцип моделирования дает очень большую гибкость этапов

15 расчета, при низкой цене без необходимости каких-либо знаний статистики.

Преимущественно, способ включает в себя следующие этапы, на которых:

- применяют последовательность различных стратегий технического обслуживания содержащих, для каждого применения текущей стратегии, определение показателей стоимости и доступности, связанных с текущей стратегией, и определение показателя

20 компромисса в зависимости от указанных показателей стоимости и доступности, а также

- сравнивают показатели компромисса различных стратегий для выбора оптимальной стратегии технического обслуживания.

25 Это позволяет оценить стратегии технического обслуживания, учитывая изменчивость счетчиков повреждений и находить лучшие стратегии, для эффективного применения.

Согласно первому варианту осуществления, применение стратегии технического обслуживания включает в себя следующие этапы:

- оценка суммарного расхода каждого из счетчиков повреждений до определенного числа полетов; и

30 - перегруппировка операций технического обслуживания, связанных с счетчиками повреждений, достигающими своих верхних пределов повреждений.

Перегруппировка операций технического обслуживания позволяет повысить эксплуатационную готовность двигателя. Например, можно выполнить моделирование для горизонта в 2000 полетов при перегруппировке операций технического

35 обслуживания, упреждающих действия, что будут задействованы в течение следующих 50 или 100 полетов.

В соответствии со вторым вариантом осуществления, применение стратегии технического обслуживания включает в себя следующие этапы:

40 - сравнение расхода счетчиков повреждений указанной текущей моделируемой задачи с порогами или промежуточными верхними пределами, ниже верхних пределов повреждения, а также

- перегруппировка операций по техническому обслуживанию, связанных с счетчиками повреждений, достигающих указанных промежуточных верхних пределов.

Предпочтительно, способ включает в себя следующие этапы, на которых:

45 - повторяют моделирование расхода счетчиков повреждений множество раз, чтобы определить набор значений расхода, связанных с каждым показателем технического обслуживания, и

- вычисляют среднее указанных значений расхода, связанных с каждым показателем

технического обслуживания.

Это позволяет прогнозировать операции по техническому обслуживанию более реалистично и извлекать статистическую информацию.

Обучающая база данных включает в себя:

- 5 - набор экспериментальных задач и расход датчиков потенциала, связанных с каждой из указанных экспериментальных задач, и
- predetermined plan of technical maintenance, including in itself upper limits of damage, related to sensors of potential and corresponding actions by technical maintenance.

- 10 Предпочтительно, обучающая база данных также включает в себя показатели задач, включая показатель тяжести каждой задачи, показатель продолжительности полета для каждой задачи, и показатель типа задачи.

- Это позволяет обогащать базу данных и классифицировать задачи в зависимости от их сложности, типа и продолжительности. Задачи, таким образом, классифицируются
- 15 соответствующим образом, чтобы увеличить реалистичность случайного извлечения.

Предпочтительно, извлечение указанной последовательности моделируемых задач осуществляется случайным образом из подмножества экспериментальных задач, принадлежащих к определенному типу задач.

- Это позволяет конкретизировать моделирование для базы летательного аппарата,
- 20 парка, или конкретных типов задач. Таким образом, можно адаптировать план технического обслуживания, к тому, как летательные аппараты используются.

Предпочтительно, способ включает в себя обновление базы данных.

Это позволяет иметь репрезентативную базу данных будущих и адаптивных задач, в соответствии с клиентом.

- 25 Изобретение также предоставляет инструмент прогнозирования технического обслуживания, применяемого к парку двигателей летательных аппаратов, путем применения способа прогнозирования операций по техническому обслуживанию в соответствии с вышеуказанными характеристиками к каждому из двигателей летательных аппаратов.

- 30 Изобретение также предоставляет систему для прогнозирования операций по техническому обслуживанию, применяемых к двигателю летательного аппарата, включающему в себя множество компонентов, отслеживаемых счетчиками повреждений, каждый счетчик повреждений ограничен соответствующим верхним пределом повреждения, причем указанная система содержит:

- 35 - средства обработки, выполненные для моделирования расхода указанных счетчиков повреждений путем итеративного извлечения последовательности моделируемых задач из обучающей базы данных, содержащей экспериментальные задачи;
- средства обработки, выполненные для определения, для каждой итерации, суммарного расхода каждого из указанных счетчиков повреждений до тех пор, пока,
- 40 по меньшей мере один, счетчик повреждений, относящийся к текущей моделируемой задаче не достигнет заданного значения, ограниченного верхним пределом повреждения, связанным с указанным счетчиком повреждений,
- средства обработки, выполненные для применения стратегии технического обслуживания к указанной текущей моделируемой задаче для определения показателей
- 45 технического обслуживания, представляющих операции по техническому обслуживанию, прогнозируемых на двигателе летательного аппарата.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

Другие отличительные характеристики и преимущества устройства и способа согласно

изобретения станут понятны после прочтения описания данного ниже, предоставленного с целью не ограничивающей иллюстрации, со ссылкой на приложенные чертежи, на которых:

- 5 - Фиг. 1 схематически показывает систему для прогнозирования операций по техническому обслуживанию, которые должны применяться на двигателе или части двигателя в соответствии с настоящим изобретением;
- Фиг. 2 схематично показывает структуру счетчиков повреждений для двигателя летательного аппарата;
- Фиг. 3 является блок-схемой, схематично иллюстрирующей способ прогнозирования операций по техническому обслуживанию двигателя летательного аппарата, в соответствии с изобретением;
- 10 - Фиг. 4А схематически иллюстрирует таблицу, содержащую все экспериментальные задачи и связанные с ними датчики потенциалов;
- Фиг. 4В схематично изображает таблицу, описывающую план технического обслуживания для двигателя летательного аппарата;
- 15 - Фиг. 5 является блок-схемой, иллюстрирующей способ прогнозирования операций по техническому обслуживанию, в соответствии с предпочтительным вариантом осуществления настоящего изобретения; а также
- Фиг. 6А-6D схематически иллюстрируют два примера применения способа в соответствии с настоящим изобретением.

ДЕТАЛЬНОЕ ОПИСАНИЕ ВАРИАНТОВ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ

Общий принцип изобретения состоит в том, чтобы прогнозировать расход счетчиков повреждений двигателей летательных аппаратов на основании базы данных задач и использовать этот прогноз для наиболее эффективного применения стратегии технического обслуживания, позволяя оптимизировать эксплуатационную готовность двигателя и эксплуатационные расходы на техническое обслуживание упомянутого двигателя.

Фиг. 1 схематически иллюстрирует систему прогнозирования операций технического обслуживания, которые требуется применить к авиационному двигателю, согласно изобретению.

Преимущественно, система 1 прогнозирования установлена в станции на земле и содержит информационную систему 3, обычно содержащую средства 5 ввода, средства 7 обработки, средства 9 хранения, и средства 11 вывода. Следует отметить, что средства хранения 9 могут включать в себя, компьютерную программу содержащую код инструкций, предназначенных для выполнения способа прогнозирования в соответствии с изобретением. Эта компьютерная программа может выполняться средствами 7 обработки совместно со средствами 9 хранения и средствами 5 ввода и 11 вывода.

В течение каждой полетной задачи, летательный аппарат 13 собирает и записывает параметры полета на его бортовых компьютерах 15. Эти данные могут быть регулярно выгружены, например после каждой задачи, для получения системой 1 прогнозирования. Следует отметить, что некоторые из этих данных могут посылаться на наземную станцию в реальном времени.

Данные полученную системой 1 прогнозирования используются для определения расхода счетчиков 17 повреждений (т.е. для подсчета реального количества циклов, выполненных или израсходованных модулями), позволяя оценить изношенность или повреждения различных модулей двигателя летательного аппарата.

Фиг. 2 схематически иллюстрирует структуру счетчиков повреждений авиационного двигателя.

Авиационный двигатель 19 состоит из множества модулей A1, A2, A3, каждый из которых содержит различные компоненты B1, B2, B3. Каждая компонента может содержать несколько зон или элементов E1-E5, которые могут быть использованы для измерения срока жизни компонента. Таким образом, по крайней мере один счетчик повреждений C1-Cm ассоциирован каждому элементу E1-E5 для подсчета количества реальных циклов расхода этого элемента. Расход каждого счетчика повреждений ограничен по меньшей мере одним верхним пределом повреждений, характеризующим срок службы (до отказа) компонента отслеживаемого счетчиком повреждений.

Таким образом, когда достигаются один или несколько верхних пределов повреждений, операции технического обслуживания, описанные в таблице или плане технического обслуживания (см Фиг.4В) должны быть рассмотрены.

Фиг. 3В является блок схемой, схематично иллюстрирующей способ прогнозирования операций по техническому обслуживанию авиационного двигателя, согласно изобретению.

На этапе E1, средства 7 обработки адаптированы для моделирования расхода счетчиков C1-Cm повреждений, путем итеративного извлечения последовательности моделируемых задач из обучающей базы данных 31, например содержащейся в средствах 9 хранения. Обучающая база данных 31, содержит набор экспериментальных задачи и предопределенный плат технического обслуживания. Экспериментальные задачи включают данные собранные в течении реальных полетов и представляют обратную связь.

Фиг. 4А схематически иллюстрирует таблицу содержащую множество экспериментальных задач и связанные датчики потенциала.

Первый столбец содержит коды или номера различных задач M1-Mn. Остальные столбцы выполняют ссылку на различные счетчики повреждений C1-Cm, связанных с различными элементами двигателя и указывают расход каждого счетчика в ходе выполнения каждой задачи. Количество циклов или расход, обозначенное для каждого счетчика является, к примеру, степенью износа или повреждения соответствующего компонента двигателя.

Фиг. 4В схематически иллюстрирует таблицу описывающую план технического обслуживания авиационного двигателя.

Первая колонка ссылается на множество модулей A1-An двигателя. Различные компоненты B1-B3 каждого модуля обозначены во второй колонке. Третья колонка ссылается на различные области или различные элементы E1-E5 каждого компонента. Четвертая колонка касается счетчиков C1-Cm повреждений связанных с различными элементами мотора. Пятая колонка ссылается на верхние пределы S1-Sm повреждений связанные с различными счетчиками C1-Cm повреждений, и шестая колонка в случае необходимости обозначает меж инспекционные интервалы I1-I_m для элементов, что могут быть обследованы несколько раз перед тем как будут заменены. Наконец, седьмая колонка описывает операции по техническому обслуживанию OP1-OP_m, которые необходимо выполнить для каждого элемента или компонента, когда достигнут соответствующий верхний предел.

Преимущественно, обучающая база данных 31 может быть расширена показателями, определяющими различные задачи. Каждая задача M1-Mn может быть, например, определена показателем сложности, показателем продолжительности полета, и показателем типа задачи. Индикатор сложности представляет общее повреждение по задачи. Например, общее повреждение может быть максимальным значением счетчиков повреждений, средним значением, или минимальным значением.

Таким образом, этап E1 позволяет смоделировать расход счетчиков C1-Cm повреждений, последовательно моделируя различные задачи, начиная с данных, полученных в прошлом содержащихся в обучающей базе данных 31. Каждая задача извлекается случайным образом и расход счетчиков повреждений выводится из

5 извлеченной задачи.

Согласно первому варианту, извлечение осуществляется абсолютно случайным образом без какого бы то ни было влияния на последующие задачи, с целью моделирования старения двигателя или парка двигателей.

Согласно второму варианту, моделирование осуществляется ориентированно, 10 фильтруя обучающую базу данных и выбирая случайным образом в соответствии с выбранным фильтром. В этом случае, моделирование конкретизируется с учетом информации прогнозирования грядущих задач (типа задачи, сложности, длительности полета). Например, извлечение последовательности моделируемых задач может быть выполнена случайным образом по подмножеству экспериментальных задач, которые 15 могут быть извлечены в зависимости от показателей сложности задачи, и/или продолжительности полетной задачи, и/или типа задачи.

На этапах E2 и E3, средства 7 обработки адаптированы для определения на каждой итерации суммарного расхода каждого счетчика C1-Cm повреждений пока, по крайней мере один счетчик повреждений относящийся к текущей моделируемой задаче не 20 достигнет предопределенного значения, ограниченного верхним пределом повреждений, ассоциированным счетчику повреждений.

Конкретнее, для каждой текущей моделируемой задачи, полученной от этапа E1, средства 7 обработки, рассчитывают суммарный расход каждого из счетчиков C1-Cm повреждений на этапе E2. Этап E3 является тестом для проверки есть ли или нет по 25 крайней мере один счетчик повреждений, относящийся к текущей моделируемой задаче, что уже достиг предопределенного значения, ассоциированного с верхним пределом повреждений. Если результат проверки отрицательный, снова начинается этап E1, для выбора новой текущей задачи. С другой стороны, если по крайней мере один счетчик повреждений достиг предопределенного значения, тогда выполняются следующие 30 этапы E4-E6.

На этапах E4-E6, средства 7 обработки адаптированы для применения стратегии технического обслуживания к текущей моделируемой задаче, так чтобы определить операции технического обслуживания, которые требуется выполнить на авиационном двигателе 19 и репрезентативные показатели этих операций.

В частности, на этапе E4, определяются действия по техническому обслуживанию соответствующие верхнему порогу Si повреждений достигнутому счетчиком Si 35 повреждений.

На этапе E5, проверяется, применима ли стратегия технического обслуживания к действиям технического обслуживания на этапе E4. Если да, выполняется этап e6, в 40 противном случае, снова начинается этап E1.

Наконец, на этапе E6, применяют стратегию технического обслуживания и определяют показатели технического обслуживания. Преимущественно, эти показатели содержат число и типы снятий.

Таким образом, этот способ позволяет спрогнозировать количество и тип действий по техническому обслуживанию в зависимости от выбранной стратегии для 45 последовательности извлечения задач.

Преимущественно, моделирование расхода счетчиков повреждений повторяется множество раз для определения множества значений расхода, связанных с каждым

показателем технического обслуживания. Кроме того, средства 7 обработки адаптированы для расчета средних значений расхода, связанных с каждым показателем технического обслуживания. Таким образом, большое количество повторений этапов с фиг. 2 позволяет оценить средние значения показателей технического обслуживания с точностью и, кроме того, позволяет получить статистическую информацию на основании этих значений, согласно, например, методу Монте Карло.

Фиг. 5 является блок схемой, иллюстрирующей способ прогнозирования операций технического обслуживания, согласно предпочтительному варианту осуществления изобретения. Этот способ преимущественно выполняется с использованием систему прогнозирования с Фиг.1.

Эта диаграмма включает первую часть P1, касающуюся моделирования плана технического обслуживания и вторую часть P2, касающуюся стратегий оптимизации технического обслуживания.

В первой части P1, блоки V_{11} , V_{12} , V_{13} и V_{14} являются входными данными используемыми для прогнозирования расхода счетчиков C1-Cm повреждений и могут быть получены в прошлом и возможно отфильтрованы в соответствии с планируемыми будущими задачами. Данные, полученные в прошлом, могут быть использованы для дополнения обучающей базы данных 31. Данные прогноза позволяют улучшить точность прогнозирования путем предоставления информации о типах задач, их продолжительности и степени тяжести, таким образом обогащая использование обучающей базы данных 31.

В частности, блок V_{11} относится к данным о сложности, что позволяет классифицировать задачи M1-Mn в зависимости от их сложности с точки зрения расхода счетчиков C1-Cm повреждений. Это могут быть предыдущими данными и могут быть выбраны в зависимости, например, от распределения задач согласно типу профиля парка.

Блок V_{12} относится к длительности задач M1-Mn. Это время полета каждой задачи или это может быть детальной информацией, такой как время взлета, время простоя, и т.д.

Блок V_{13} относится к данным для сортировки задач M1-Mn в зависимости от их типа. Эти данные соответствуют описанию авиационных задач таким как, например, задача «тренировка» или «перехват» или «заправка», и т.д. Это могут быть исторические данные или прогнозы в отношении будущих задач.

Блок V_{14} относится к текущему состоянию счетчиков C1-Cm повреждений. Это текущий и предыдущий расход для каждого счетчика повреждений на том же двигателе.

Блок V_2 является моделирующим устройством расхода датчиков C1-Cm потенциала, реализуемым средствами 7 обработки. На вход, моделирующее устройство V_2 расхода получает данные V_{11} , V_{12} , V_{13} и V_{14} соответствующие списку задач, для которых известны сложность, длительность и тип задач и текущее состояние счетчиков C1-Cm. Моделирующее устройство V_2 расхода осуществляет случайное извлечение в обучающей базе данных 31, для извлечения задач, что совпадают или наиболее похожи на входные данные. Таким образом, последовательность задач извлекается из подмножества экспериментальных задач, принадлежащих к конкретному классу задач. Например, моделирующее устройство V_2 расхода использует фильтры для выбора задач, принадлежащих к задачам некоторой сложности и/или некоторому типу задач и/или около какой-то длительности.

Блок В₃ представляет выходные данные моделирующего устройства В₂ расхода, содержащие предсказанный расход счетчиков С1-С2 повреждений для каждого полета. Таким образом, суммарный расход для каждого счетчика повреждений доступен после каждой задачи.

Блок В₄ является моделирующим устройством технического обслуживания, используемым средствами 7 обработки, что сравнивает суммарный расход счетчиков С1-С_м повреждений с предопределенными значениями, связанными с верхними пределами S1-S_м повреждений определенными в плане технического обслуживания (фиг.4В). Если ни один из счетчиков повреждений не достиг предопределенного значения, связанного с ним, тогда текущее состояние счетчиков (блок В₁₄) обновляется данными обновления (блок В₅) принимая во внимание старение компонентов, и снова начинаются этапы моделирования расхода счетчиков повреждений.

В противном случае, когда хоть один из счетчиков повреждений достиг предопределенного значения, применяется стратегия технического обслуживания (блок В₆). Например, доступность двигателя может быть увеличена путем применения стратегии упреждения на определенном временном горизонте «упреждение на 50 полетов», которая позволяет оценить значения счетчиков повреждений на 50 полетов. Тогда, снова начинают этапы моделирования расхода на определенном горизонте и если другие счетчики повреждений достигают их предопределенных значений, которые им назначены, перегруппировывают назначенные действия по техническому обслуживанию и определяют количество и типы снятий.

Преимущественно, моделирование на определенном горизонте осуществляется большое число раз (например, несколько десятков тысяч) чтобы оценить среднее показателей технического обслуживания (число и типы снятий) с большой точностью.

В конце первой части Р1 (моделирование технического обслуживания), получают показатели оптимизации в дополнение к показателям технического обслуживания. Показатели оптимизации включают в частности два показателя, а именно доступность (блок В₆₁) модуля или двигателя и цену (блок В₆₂) связанные с техническим обслуживанием. Эти показатели оптимизации могут быть использованы второй частью Р2 блок-схемы для определения лучших стратегий технического обслуживания для применения.

Показатель цены является функцией с одним или несколькими результатами, которая зависит от связанной стратегии технического обслуживания и которая содержит расход части Р и цену снятия С. Например функция цены J взвешенная предопределенными весами w1 и w2 может иметь следующую форму:

$$J = w_1 P + w_2 C$$

Кроме того, показатель доступности является функцией, что может быть определена как отношение времени работы модуля (или двигателя) к количеству снятий. Преимущественно, показатель доступности может рассматриваться как актуальное время работы разделенное на сумму актуальных времен работы и времени работы, что могло бы быть истрачено, в то время как модуль находится на техническом обслуживании.

В блоке В₇, средства 7 обработки сконфигурированы для определения показателя компромисса между ценой и доступностью. Показатель компромисса может быть определен как функция желаемых цен и доступностей.

Например, индивидуальная желательность d^{DS} цены или доступности (отмечена Y)

может быть определена для каждой определенной задачи или цели Т следующим

$$5 \text{ образом: } d^{DS}(Y) = \begin{cases} 0 & \text{for } Y < LSL \\ \left(\frac{Y - LSL}{T - LSL} \right)^{\beta_1} & \text{for } LSL \leq Y \leq T \\ \left(\frac{USL - Y}{USL - T} \right)^{\beta_2} & \text{for } T < Y \leq USL \\ 0 & \text{for } USL < Y \end{cases}$$

10 Где LSL является нижним приемлемым пределом, USL верхним приемлемым пределом, и β_1, β_2 являются предопределенными параметрами, что зависят от применения. Следует отметить, что желаемость равная 0 представляет неприемлемое решение относительно целей, тогда как желаемость равная 1 представляет максимальную желаемую производительность.

15 Преимущественно, комбинируют показатели цены и доступности определяя глобальную желаемость D в зависимости от индивидуальных желаемых цены d_c^{DS} и доступности d_d^{DS} , следующим образом:

$$20 \quad D = \sqrt{d_c^{DS} \times d_d^{DS}}$$

Глобальная желаемость D используется для получения удовлетворяющей оптимизации одной цели.

В блоке B₈, средства 7 обработки сконфигурированы для применения алгоритма оптимизации с одним или несколькими выходными данными.

25 В основном, генетический алгоритм используется с этапами селекции, смешивания и мутации. Преимущественно, локальная оптимизация индивидуалов может быть добавлена с помощью алгоритма имитации отжига, в частности для оптимизации параметров стратегии.

В блоке B₉, средства 7 обработки сконфигурированы для выбора новой стратегии

30 технического обслуживания из предопределенного набора стратегий.

Например, предопределенный набор стратегий обслуживания включает стратегию с определенным горизонтом и стратегию с промежуточным верхним пределом.

35 Стратегия с определенным горизонтом заключается в оценке суммарного расхода всех других счетчиков повреждений на предопределенное количество будущих полетов, во время планирования снятия связанного с одним счетчиком повреждений. Операции обслуживания связанные с счетчиками повреждений достигающие их предопределенных значений, например равных верхнему пределу повреждений, затем группируются вместе.

40 Стратегия промежуточных верхних пределов состоит в выборе заранее определенных значений (так называемые промежуточных верхних пределов) ниже, чем верхние пределы повреждений. Таким образом, когда планируемое снятие относится к счетчику повреждений текущей моделируемой задачи, расход других счетчиков повреждений в текущей моделируемой задаче сравниваются с соответствующими промежуточными верхними пределами. Операции по техническому обслуживанию, связанные с счетчиками повреждений, достигших промежуточных верхних пределов, затем группируются вместе.

45 Промежуточный верхний предел счетчика повреждений может быть определен как определенный процент от верхнего предела повреждений, связанного со счетчиком.

Таким образом, стратегии технического обслуживания являются правилами хорошей практики, определяемые структурой и определенными параметрами. Цель оптимизации

заключается в поиске наиболее эффективных стратегий или комбинаций стратегий, связанных с этими параметрами.

Каждая новая стратегия может быть проверена с помощью запуска цикла блока В6 так, что она будет применена моделирующим устройством технического обслуживания (блок-В4) и возобновления этапов оптимизации.

Таким образом, последовательно применяют различные стратегии технического обслуживания. Для каждого приложения, определяет показатели стоимости и доступности, связанные с текущей стратегией. Затем определяют показатель компромисса как функции этих показателей стоимости и доступности. Показатели компромисса разных стратегий сравниваются друг с другом, чтобы выбрать оптимальную стратегию технического обслуживания.

Преимущественно, обучающая база данных обновляется чтобы адаптироваться к обычным задачам и/или будущим конкретному парка двигателей летательных аппаратов. Таким образом, экспериментальные задачи, изначально записанные в базе данных, могут быть заменены репрезентативными данными задач, осуществляемых каждой группой летательных аппаратов.

Фиг. 6А-6D схематически иллюстрируют два примера применения способа в соответствии с данным изобретением. В каждом из двух примеров, осуществляется моделирование суммарного расхода множества модулей для нового двигателя для горизонта прогнозирования в 1400 полетов. В начальный момент времени все счетчики повреждений равны нулю. Кроме того, моделирование на выбранном горизонте производится по крайней мере, 1000 раз для того, чтобы улучшить точность результатов.

Более конкретно, фиг. 6А-6В иллюстрируют первый сценарий, в котором 5 операций по обслуживанию выполняются в индивидуальном порядке, по мере того как они срабатывают. Фиг. 6А иллюстрирует распределение операций по техническому обслуживанию, определенных соответствующими счетчиками повреждений. Следует отметить, что время между снятиями может иногда быть очень коротким. Кроме того, фиг. 6В иллюстрирует распределение количества проверок на снятие и дает 200 индивидуальных снятий.

Фиг. 6С-6D иллюстрируют второй сценарий, в котором операции по техническому обслуживанию с короткими интервалами сгруппированы вместе. Таким образом, когда действия по техническому обслуживанию должны быть задействованы, все действия, которые были бы осуществлены в течение следующих 50 рейсов упреждаются. Фиг. 6D иллюстрирует распределение 140 снятий в том числе 50 снятий, что группируют несколько операций по техническому обслуживанию, что делает улучшает доступность самолета, по сравнению с первым сценарием.

Наконец, следует отметить, что данное изобретение является инструментом для априорного осуществления стратегий обслуживания или реализации в зависимости от текущего состояния двигателя или парка двигателей. Другими словами, этот инструмент может быть использован для выбора оптимальных стратегий, либо игнорируя текущее состояние парка (т.е. a priori), или с учетом текущего состояния парка в режиме реального времени.

(57) Формула изобретения

1. Способ прогнозирования операций по техническому обслуживанию, применяемых к двигателю летательного аппарата, включающему в себя множество компонентов, отслеживаемых счетчиками повреждений, каждый счетчик повреждений ограничен соответствующим верхним пределом повреждения, отличающийся тем, что включает

в себя следующие этапы, на которых:

- моделируют расход указанных счетчиков (C1-Cm) повреждений, итеративно извлекая последовательность моделируемых задач из обучающей базы данных (31);

- для каждой итерации, определяют суммарный расход каждого из указанных счетчиков повреждений, до тех пор, пока по меньшей мере один счетчик повреждений, относящийся к текущей моделируемой задаче, не достигнет заданного значения, ограниченного верхним пределом повреждения, связанным с указанным счетчиком повреждений;

- применяют стратегию технического обслуживания к указанной текущей моделируемой задаче для определения показателей технического обслуживания, представляющих операции по техническому обслуживанию, прогнозируемые на двигателе летательного аппарата (19).

2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что он включает в себя следующие этапы, на которых:

- применяют последовательность различных стратегий технического обслуживания, содержащих, для каждого применения текущей стратегии, определение показателей стоимости и доступности, связанных с текущей стратегией, и определение показателя компромисса в зависимости от указанных показателей стоимости и доступности, а также

- сравнивают показатели компромисса различных стратегий для выбора оптимальной стратегии технического обслуживания.

3. Способ по п. 1 или 2, отличающийся тем, что применение стратегии технического обслуживания включает в себя следующие этапы:

- оценка суммарного расхода каждого из счетчиков повреждений до определенного числа полетов; и

- перегруппировка операций технического обслуживания, связанных со счетчиками повреждений, достигающими своих верхних пределов повреждений.

4. Способ по п. 1 или 2, отличающийся тем, что применение стратегии технического обслуживания включает в себя следующие этапы:

- сравнение расхода счетчиков повреждений указанной текущей моделируемой задачи с промежуточными верхними пределами, ниже верхних пределов повреждения, а также

- перегруппировка операций по техническому обслуживанию, связанных со счетчиками повреждений, достигающими указанных промежуточных верхних пределов.

5. Способ по п. 1 или 2, отличающийся тем, что он содержит следующие этапы, на которых:

- повторяют моделирование расхода счетчиков повреждений множество раз для определения набора значений расхода, связанных с каждым показателем технического обслуживания, и

- вычисляют среднее указанных значений расхода, связанных с каждым показателем технического обслуживания.

6. Способ по п. 1 или 2, отличающийся тем, что обучающая база данных включает в себя:

- набор экспериментальных задач и расход датчиков потенциала, связанных с каждой из указанных экспериментальных задач, и

- predetermined plan of technical maintenance, including in itself upper limits of damage, related to sensors of potential and corresponding actions for technical maintenance.

7. Способ по п. 6, отличающийся тем, что обучающая база данных дополнительно

включает в себя показатели задач, включая показатель тяжести каждой задачи, показатель продолжительности полета для каждой задачи и показатель типа задачи.

8. Способ по п. 1 или 2, отличающийся тем, что извлечение указанной последовательности моделируемых задач осуществляют случайным образом из подмножества экспериментальных задач.

9. Способ по п. 1 или 2, отличающийся тем, что он включает в себя обновление базы данных.

10. Инструмент прогнозирования технического обслуживания, применяемого к парку двигателей летательных аппаратов согласно способу по любому из пп. 1-9.

11. Система для прогнозирования операций по техническому обслуживанию, применяемых к двигателю летательного аппарата, включающему в себя множество компонентов, отслеживаемых счетчиками повреждений, каждый счетчик повреждений ограничен соответствующим верхним пределом повреждения, причем указанная система содержит:

- средства (7) обработки, выполненные для моделирования расхода указанных счетчиков (C_1 - C_m) повреждений путем итеративного извлечения последовательности моделируемых задач из обучающей базы данных, содержащей экспериментальные задачи;

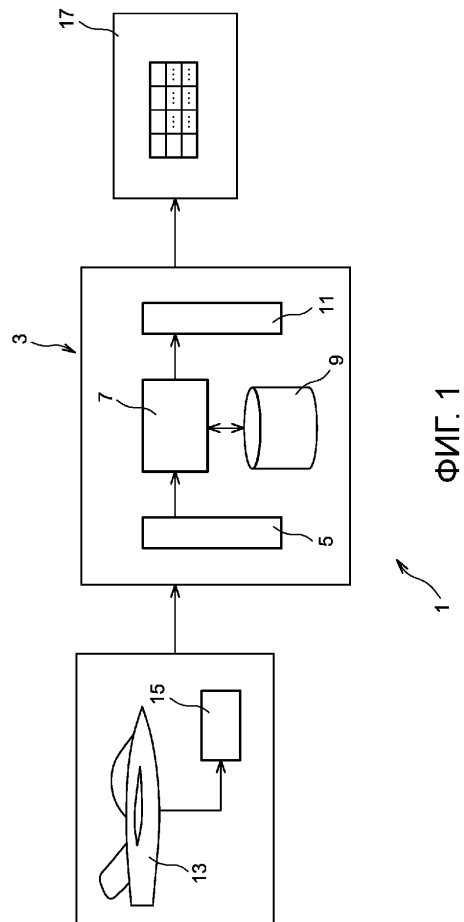
- средства (7) обработки, выполненные для определения, для каждой итерации, суммарного расхода каждого из указанных счетчиков повреждений, до тех пор, пока по меньшей мере один счетчик повреждений, относящийся к текущей моделируемой задаче, не достигнет верхнего предела повреждения, связанного с ним,

- средства (7) обработки, выполненные для применения стратегии технического обслуживания к указанной текущей моделируемой задаче для определения показателей технического обслуживания, представляющих операции по техническому обслуживанию, прогнозируемых на двигателе летательного аппарата.

1

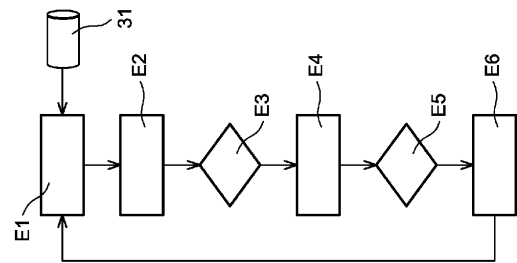
534506

1/6

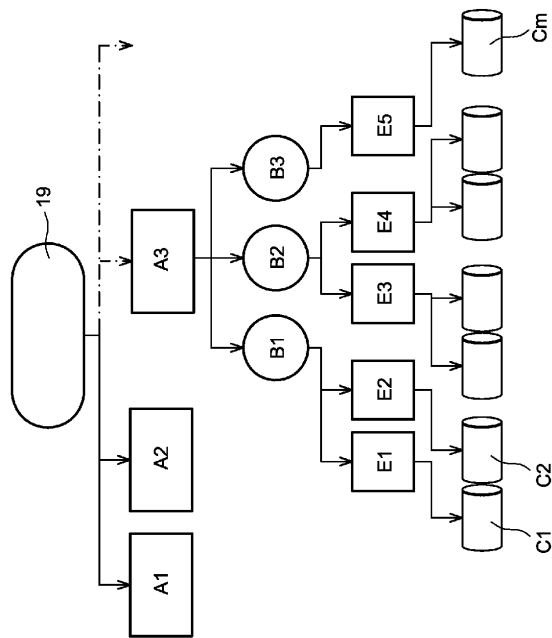


2

2/6



ФИГ. 3



ФИГ. 2

3/6

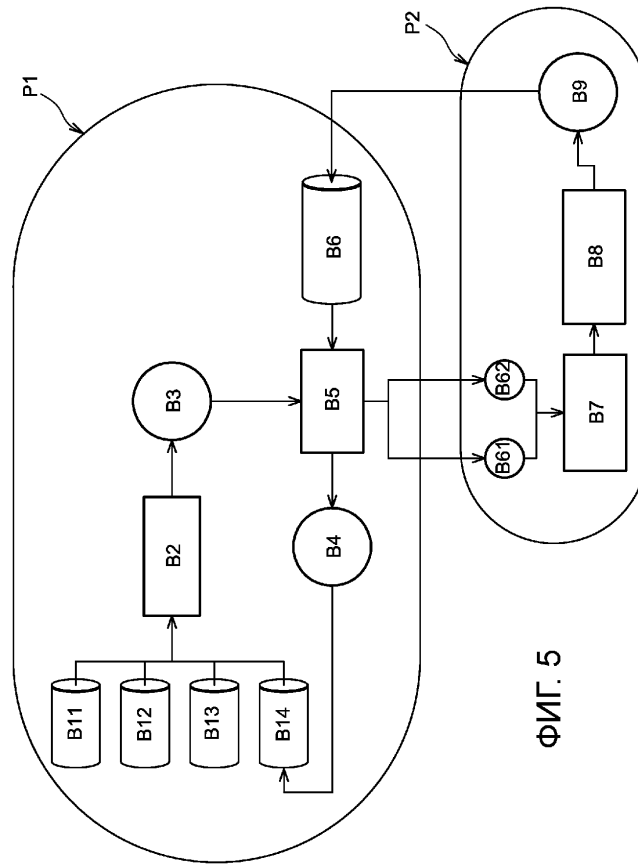
	C1	C2	Cm
M1
M2
⋮				
Mn

ФИГ. 4А

A1	B1	E1	C1	S1	I1	OP1
		E2	C2	S2		OP2
	B2	E3	C3	S3	I3	OP3
		E4	C4	S4		OP4
	B3	E5	C5	S5		OP5
⋮	⋮		⋮	⋮		
⋮	⋮		⋮	⋮		
⋮	⋮		⋮	⋮		
An			Cm	Sm	Im	OPm

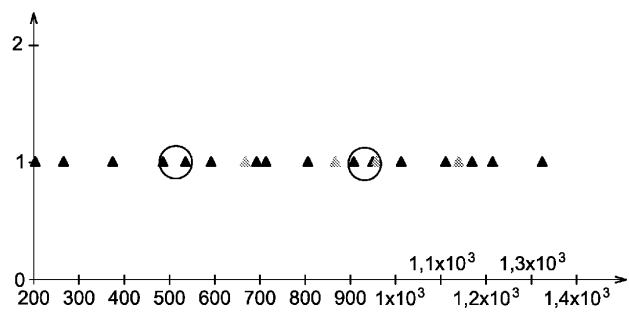
ФИГ. 4В

4/6

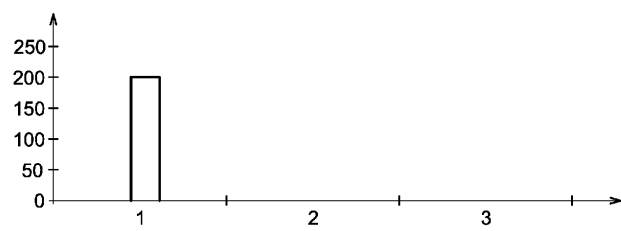


ФИГ. 5

5/6

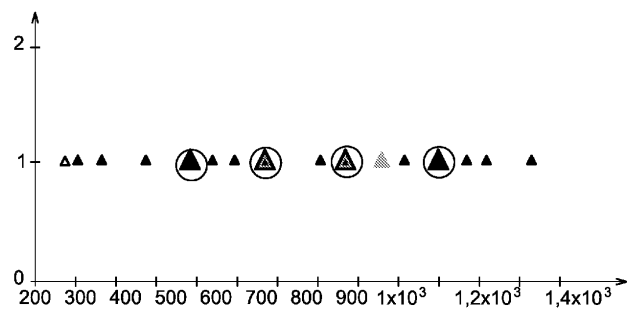


ФИГ. 6А

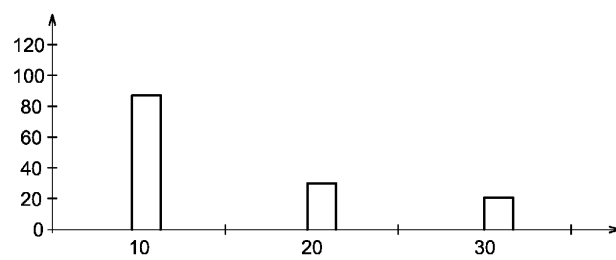


ФИГ. 6В

6/6



ФИГ. 6С



ФИГ. 6D