

(19)



Евразийское
патентное
ведомство

(21) 202292263 (13) A1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки
2022.11.09

(22) Дата подачи заявки
2021.02.25

(51) Int. Cl. *F16C 33/66* (2006.01)
F16C 19/52 (2006.01)
G01N 29/032 (2006.01)
G01N 29/14 (2006.01)
G01N 29/36 (2006.01)
F16C 19/26 (2006.01)
F16C 33/58 (2006.01)
F16N 7/38 (2006.01)
F16N 29/02 (2006.01)
G01N 29/44 (2006.01)

(54) СПОСОБ И СИСТЕМА ДЛЯ СМАЗЫВАНИЯ ОДНОГО ИЛИ БОЛЕЕ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ

(31) 20162123.2

(32) 2020.03.10

(33) EP

(86) PCT/EP2021/054738

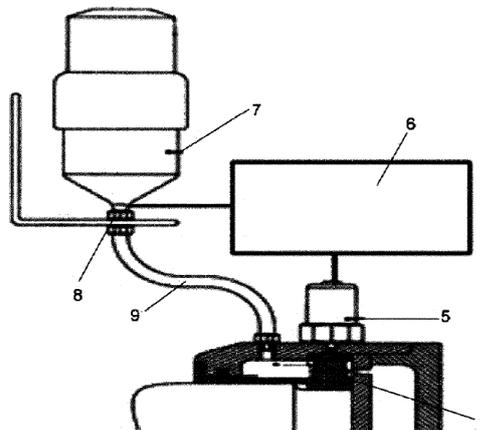
(87) WO 2021/180485 2021.09.16

(71) Заявитель:
СДТ ИНТЕРНЭШНЛ СА-НВ (BE)

(72) Изобретатель:
Тробрадович Харис (HR), Машадо Шарль (FR)

(74) Представитель:
Поликарпов А.В., Соколова М.В.,
Путинцев А.И., Черкас Д.А., Игнатьев А.В.,
Билык А.В., Дмитриев А.В.,
Бучака С.М., Бельтюкова М.В. (RU)

(57) Согласно способу согласно настоящему изобретению смазка подается постепенно в подшипник качения во время работы подшипника, т.е. вращения с заданной скоростью вращения. Смазка подается в последовательности последовательных этапов, вследствие чего на каждом этапе в подшипник подается составная часть предписанного количества смазки, после чего каждый раз следует ультразвуковое измерение. Первое ультразвуковое измерение выполняют перед первым этапом подачи, а начиная со второго этапа подачи, каждый результат измерения сравнивают, по меньшей мере, с предыдущим результатом, чтобы оценить состояние подшипника и на основании этой оценки принять решение о продолжении последовательности или прекращении последовательности. Решение о прекращении последовательности принимается, когда смазывание подшипника оценивается как успешное смазывание, безуспешное смазывание или избыточное смазывание. Настоящее изобретение также относится к системе для смазывания одного или более подшипников с применением способа согласно настоящему изобретению к каждому из указанных подшипников.



A1

202292263

202292263

A1

СПОСОБ И СИСТЕМА ДЛЯ СМАЗЫВАНИЯ ОДНОГО ИЛИ БОЛЕЕ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ

Область техники

[0001] Настоящее изобретение относится к контролю и смазыванию подшипников качения, применяемых во вращающихся механизмах.

Уровень техники

[0002] Подшипниками оснащены большинство промышленных активов и они остаются основной причиной повреждений, которые могут повлиять на работу вращающегося оборудования. Неожиданный отказ подшипника вызывает нежелательный сбой производства, что приводит к непредвиденным потерям, которые влекут за собой увеличение затрат и незапланированные простои. Одной из основных первопричин отказа является ненормальный износ и ухудшение состояния движущихся частей, возникающие из-за проблем, связанных со смазыванием. Подшипник обеспечивает функцию механического соединения, заключающуюся в направлении вращающихся деталей, одновременно поддерживая и передавая усилия с минимальным трением. Для того чтобы обеспечить или даже продлить заданный срок службы единицы оборудования, не отставая при этом от производственных затрат, развитие вибрационной техники, акустических, тепловых или электрических методов контроля в настоящее время не решает существующую проблему, связанную с управлением смазыванием.

[0003] Основными причинами отказов подшипников являются отсутствие смазки, чрезмерное обновление смазки из-за несоответствующей периодичности и/или количества, загрязнение и т. д. Следовательно, необходимо поддерживать оптимальный режим смазывания, чтобы повысить надежность и ограничить количество отказов.

[0004] Эмпирические исследования привели к созданию общих формул для составления программы смазывания. В настоящее время принято прибегать к стратегии периодического смазывания подшипника. Обычно считается, что 30% пустого пространства в подшипнике должно быть занято смазкой для оптимизации его работы. Производители разработали эмпирические подходы для расчета количества смазки, которую необходимо периодически впрыскивать, а также интервалов повторного смазывания.

[0005] Например, для расчета количества смазочного материала для подшипников необходимы геометрические размеры подшипника и предполагаемый способ. Производитель подшипников SKF предписывает следующее:

- количество пополнения $G = 0,005 D B$, если повторное смазывание осуществляется со стороны подшипника,
- $G = 0,002 D B$, если повторное смазывание осуществляется через отверстия в центре внутреннего или наружного кольца,

где G – количество смазочного материала в граммах, добавляемое при замене подшипника, D – наружный диаметр подшипника в миллиметрах, B – ширина подшипника в миллиметрах. Эта формула широко принята как наилучший способ расчета количества смазочного материала.

[0006] После расчета необходимого количества смазочного материала необходимо определить, как часто наносить это количество смазочного материала. Интервал повторного смазывания определяется как частота повторного смазывания. Для расчета требуются условия эксплуатации машины и дополнительная информация о подшипниках. Предпочтительный способ определения частоты смазывания следующий:

$$T = K * \left[\left(\frac{14 * 10^6}{n * \sqrt{d}} \right) - 4 * d \right] \quad (1)$$

где T – интервал времени между двумя операциями смазывания (в часах), N – скорость вращения в [об/мин], d – диаметр отверстия подшипника (в миллиметрах). K обозначает поправочный коэффициент, который является функцией условий эксплуатации. K – это произведение коэффициентов, соответственно определяемых температурой, загрязнением, влажностью, вибрацией, положением и конструкцией подшипника. Значения этих коэффициентов можно найти в литературе. Как правило, датчики не требуются.

[0007] Оценка пары $\{G, T\}$ для каждого подшипника позволяет определить планирование смазывания. Предлагаемые формулы являются результатом эмпирических испытаний, проведенных производителями подшипников. Следует отметить, что эти оценки могут отличаться у разных производителей. В полевых условиях, когда периодическому смазыванию подвергаются несколько, например, десятки, сотни и даже тысячи подшипников, связанная с этим логистика должна рассматриваться как важный источник ошибок. Это можно улучшить с помощью современных приложений, предназначенных для отслеживания, таких как предложенное в документе US 2019/257360.

[0008] Тем не менее, существующие способы смазывания, основанные на эмпирических формулах, таких как приведенные выше, не обеспечивают надлежащего уровня удовлетворения. Процедура смазывания часто выполняется «вслепую», т. е. без количественной оценки и индивидуального учета реальной потребности в смазке, поскольку для этого требуются физические измерения, выполняемые датчиками, а затем инструментом принятия решения. В большинстве случаев и, возможно, исходя из

ошибочных соображений о безопасности, операция смазывания выполняется слишком рано, что приводит к чрезмерному смазыванию, известному как избыточное смазывание, вызывая тепловые и механические напряжения, вредные для вращающегося оборудования.

[0009] Для преодоления этих ограничений все чаще прибегают к автоматическому и централизованному повторному смазыванию. Автоматические масленки часто распределяют измеренное и/или предписанное количество смазки в подшипник на основе определенного интервала времени. Устройство такого типа обеспечивает интересное преимущество в тех случаях, когда доступ к положениям затруднен, или когда оборудование эксплуатируется удаленно без местного обслуживающего персонала. Некоторые примеры автоматических масленок приведены в документах EP 0 704 654 B1 и EP 0 806 602 A1. Однако эти системы не предусматривают достаточной проверки результата подаваемой смазки. Возможно, что смазка не достигает поверхности качения из-за препятствия, утечки или избыточной смазки в корпусе и т. д. Физические и/или трибологические свойства смазки также могут быть нарушены из-за окисления, загрязнения инородными частицами или просто из-за старения смазки. Более того, два одинаковых подшипника в разных условиях эксплуатации или креплениях могут иметь потенциально разный расход смазки.

[0010] Существующие автоматические смазочные устройства, оснащенные датчиками давления и/или температуры, описаны в документах US2012/145482 и в EP 0 399 323 E1. Предполагается, что датчик давления обнаруживает препятствие или утечку вдоль смазочной трубки. Как описано ранее, эти устройства впрыскивают предписанное количество, обычно постоянное количество, смазочного материала через заданные интервалы, независимо от реальной потребности. Другие устройства, оснащенные датчиками вибрации, тахометрами и/или другими датчиками, описаны в документах US10197044 A1, US9353908 и FR3009057, где показатели, выведенные в результате анализа, т. е. анализа вибрации, должны определять состояние смазывания подшипника при эксплуатации. Эти системы основаны на измерениях вибрации, обычно выполняемых на низкой частоте [10 Гц, 1000 Гц]. Скалярный результат этого измерения вибрации, который часто задается в единицах скорости (обычно среднеквадратичная скорость), состоит из комбинации нескольких колебательных мод. Эти сигнатуры по своей природе гораздо более энергичны, чем те, которые влияют на трение в подшипнике, и поэтому они маскируют развитие режимов смазывания и их возможные последствия. Поэтому такие системы часто не способны обнаружить конкретные проблемы, связанные со смазыванием подшипника. В документах DE102013100988 и US2003/0047386 раскрыты другие системы смазывания, количественно определяющие толщину пленки смазки при эксплуатации на

основе ультразвукового эхо-резонансного метода или на основе изменения электрических свойств смазки. Из-за большой вариативности применений этот подход требует, помимо прочего, сложных настроек, процедур калибровки, предполагающих значения в качестве целей для достижения удовлетворяющего оптимального режима смазки, и потенциальной модернизации, что может ограничить масштабируемость всей системы смазывания.

[0011] Более успешные системы контроля смазывания, такие как вспомогательные системы смазывания, основаны на ультразвуковых измерениях. Портативные ультразвуковые устройства контроля состояния смазывания хорошо известны в данной области техники, и ряд таких устройств был разработан заявителем. Эти устройства включают пьезоэлектрический преобразователь, установленный на резонансной конструкции, например, в диапазоне 20–100 кГц (ультразвуковая область), который при установке в контакте с подшипником качения для измерения вибрации или виброакустического отклика, генерируемого подшипником, демонстрирует высокую чувствительность в соответствующей ультразвуковой области, подходящей для смазывания. Возбуждение резонансной частоты позволяет обнаружить высокочастотные явления, связанные с состоянием смазывания, такие как трение качения и удары, вызывающие дефекты. Звуковой сигнал, полученный на основе преобразования с гетеродинированием, часто предоставляется в режиме реального времени в качестве субъективного и пассивного инструмента принятия решения, когда пользователь принимает решение о добавлении неизвестного количества смазки. Для большей объективности и улучшения повторяемости цепочка обработки сигнала, реализованная в вышеупомянутых портативных устройствах и используемая для обработки, т. е. сбора и фильтрации, сигнала, производимого преобразователем, также хорошо известна в уровне техники. Эти способы обработки в основном предназначены для выведения из ультразвукового сигнала ряда скалярных показателей, которые связаны с конкретными условиями подшипника. Для улучшения чувствительности применяется фильтр в соответствии с откликом преобразователя. Наиболее важным показателем является среднеквадратичное значение (RMS) ультразвукового сигнала, выраженное в децибелах (дБ).

[0012]

Для временного сигнала $x(t)$, состоящего из N отсчетов x_k , равномерно разнесенных, т. е. полученных, во времени, в зависимости от начальных параметров и встроенной электроники, среднеквадратичное значение определяется следующим образом:

$$x_{\{RMS\}} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N x_k^2} \text{ что преобразуется в } dBx_{\{RMS\}} = 20 \log_{10} \left(\frac{x_{\{RMS\}}}{1 \mu V} \right)$$

где 1 мкВ представляет собой эталонное значение.

Сущность изобретения

[0013] Целью настоящего изобретения является предоставление решения вышеупомянутых задач. Эта цель достигается с помощью способа и системы согласно прилагаемой формуле изобретения. Согласно способу согласно настоящему изобретению смазка подается постепенно в подшипник качения во время работы подшипника, т. е. вращения с заданной скоростью вращения. Смазка подается в последовательности последовательных этапов, вследствие чего на каждом этапе в подшипник подается составная часть предписанного количества смазки, после чего каждый раз следует ультразвуковое измерение. Первое ультразвуковое измерение выполняют перед первым этапом подачи, а начиная со второго этапа подачи, каждый результат измерения сравнивают по меньшей мере с предыдущим результатом, чтобы оценить состояние подшипника и на основании этой оценки принять решение о продолжении последовательности или прекращении последовательности. Согласно предпочтительным вариантам осуществления решение о прекращении последовательности принимается, когда смазывание подшипника оценивается как успешное смазывание, безуспешное смазывание или избыточное смазывание. Другими словами, в настоящем изобретении предлагается способ контроля и саморегулирования, т. е. самонастройки, подачи смазки, выраженной в количестве впрыскиваемой смазки. Настоящее изобретение также относится к системе для смазывания одного или более подшипников с применением способа согласно настоящему изобретению к каждому из указанных подшипников.

[0014] В частности, настоящее изобретение относится к способу контроля и смазывания по меньшей мере одного подшипника качения машины путем постепенной подачи смазки в подшипник на одном или более последовательных этапах подачи, и причем:

- определяют предписанное количество (G) смазки,
- перед первым этапом подачи измеряют ультразвуковой сигнал посредством преобразователя, установленного в соединении с подшипником, и из сигнала выводят начальное значение (M0) скалярного показателя, которое характеризует (начальное) состояние смазывания подшипника, и указанное измерение и выведение значения повторяют после каждого последующего этапа подачи смазки, при этом каждое измерение выполняют после периода стабилизации после подачи, причем продолжительность периода стабилизации такова, что позволяет полностью использовать поданную смазку,

- количество (g_n) смазки, подаваемой на последовательных этапах, меньше предписанного количества (G) смазки,
- начиная со второго выведенного значения (M_1), оценивают каждое значение (M_n) скалярного показателя относительно начального значения (M_0), и начиная с третьего измерения – относительно одного или более ранее выведенных значений (M_1, M_2, \dots, M_{n-1}),
- на основе каждой из оценок принимают решение о прекращении или продолжении последовательности смазывания.

[0015] Предпочтительно решение о прекращении или продолжении последовательности смазывания является автоматическим решением.

[0016] Согласно одному варианту осуществления предписанное количество (G) смазки используется в качестве значения по умолчанию для инициализации способа. Согласно дополнительному варианту осуществления предписанное количество (G) смазки может последовательно настраиваться в зависимости от ультразвуковых измерений, выполняемых между каждым этапом. Предписанное количество смазки может быть увеличено или уменьшено в зависимости от результатов последовательных измерений. Например, со временем подшипнику качения может потребоваться большее количество смазки из-за ненормального уровня трения, выявленного ультразвуковыми измерениями, например, в результате ненормального использования, ненормального потребления или утечки через уплотнение или трубу. Тогда предписанное количество смазки может быть увеличено для обеспечения подачи большего количества смазки в подшипник качения, при этом смазка подается согласно настоящему изобретению.

[0017] Согласно одному варианту осуществления скалярный показатель представляет собой среднеквадратичное значение (RMS) сигнала.

[0018] Согласно одному варианту осуществления последовательность продолжается, когда выведенное RMS значение значительно ниже, чем ранее выведенное значение. «Значительно ниже» или «значительно выше» в данном контексте предпочтительно означает, что RMS по меньшей мере на один дБ ниже или выше. «По существу такой же», как предыдущее значение, в настоящем контексте предпочтительно означает, что RMS находится в диапазоне от -1 дБ до +1 дБ (включая или исключая эти значения) по сравнению с предыдущим значением.

[0019] Согласно одному варианту осуществления последовательность продолжается, когда выведенное значение по существу такое же, как ранее выведенное значение, если только выведенное значение не остается неизменным в течение заданного

числа последовательных измерений и выведений значений, в этом случае последовательность прекращается, и состояние смазывания считается успешным.

[0020] Согласно одному варианту осуществления последовательность прекращается, чтобы избежать состояния избыточного смазывания, когда выведенное значение превышает начальное значение (M_0). Избыточное смазывание или состояние избыточного смазывания, как правило, происходит во время первых этапов последовательности. Следовательно, количество смазки, подаваемой по меньшей мере в один подшипник качения, в момент обнаружения избыточного смазывания обычно меньше предписанного количества (G) смазки.

[0021] Согласно одному варианту осуществления последовательность прекращается из-за состояния успешного смазывания, когда выведенное значение значительно выше предыдущего значения, после того как указанное предыдущее значение было значительно ниже значения, предшествующего указанному предыдущему значению.

[0022] Согласно одному варианту осуществления последовательность прекращается из-за состояния безуспешного смазывания, когда выведенное значение значительно выше предыдущего значения, после того как указанное предыдущее значение было по существу таким же, как значение, предшествующее указанному предыдущему значению.

[0023] Согласно одному варианту осуществления способ дополнительно включает промежуточное измерение ультразвукового сигнала в течение времени стабилизации после первого этапа подачи смазки и перед первым выводением значения скалярного показателя (M_1), и выведение значения (M') скалярного показателя из промежуточного сигнала, и причем последовательность прекращается из-за предполагаемого отказа подшипника, если значение M' значительно ниже начального значения (M_0), тогда как первое выведенное значение (M_1) значительно выше промежуточного выведенного значения (M').

[0024] Согласно одному варианту осуществления скалярный показатель или дополнительный скалярный показатель представляет собой коэффициент эксцесса.

[0025] Способ может дополнительно включать определение интервала (T) пополнения, при этом способ согласно настоящему изобретению выполняют несколько раз с интервалами, равными или меньшими, чем интервал пополнения. Предпочтительно интервал (T) пополнения является оптимальным интервалом пополнения.

[0026] Согласно одному варианту осуществления интервал пополнения обновляется между последующими применениями способа смазывания согласно

настоящему изобретению, и причем обновление основано на результатах этапов способа смазывания.

[0027] Согласно одному варианту осуществления более короткий интервал пополнения применяется, когда определено, что требуется большее общее количество смазки, чем предписанное количество (G), прежде чем последовательность смазывания будет прекращена.

[0028] Согласно одному варианту осуществления способ полностью автоматизирован.

[0029] Настоящее изобретение также относится к системе для подачи смазки по меньшей мере в один подшипник качения, содержащей:

- резервуар для подачи смазки, снабженный устройством управления потоком для управления потоком смазки из резервуара,
- по меньшей мере одну трубку для подачи смазки из резервуара по меньшей мере в один подшипник качения,
- по меньшей мере один преобразователь, подходящий для измерения ультразвукового сигнала, когда преобразователь установлен в соединении с подшипником качения,
- блок обработки сигнала, соединенный по меньшей мере с одним преобразователем и устройством управления потоком и выполненный с возможностью
 - расчета и сохранения значения скалярного показателя, характеризующего состояние смазывания подшипника,
 - запуска или остановки потока из резервуара к подшипнику в зависимости от оценки значения, в соответствии со способом согласно настоящему изобретению,
 - передачи информации о состоянии смазывания и/или состоянии подшипника пользователю системы.

[0030] Преимущественно система содержит по меньшей мере один подшипник качения. Преимущественно система согласно настоящему изобретению содержит датчик, содержащий по меньшей мере один преобразователь. Предпочтительно преобразователь представляет собой чувствительную часть датчика. Преимущественно датчик подходит для измерения ультразвукового сигнала. Предпочтительно датчик установлен в соединении с подшипником качения.

[0031] Преимущественно система представляет собой систему для саморегулирования, т. е. самонастройки, подачи смазки по меньшей мере в один подшипник качения. Предпочтительно система способна саморегулировать подачу смазки

по меньшей мере в один подшипник качения. Преимущественно система способна осуществлять способ согласно настоящему изобретению.

[0032] Преимущественно блок (6) обработки сигнала дополнительно выполнен с возможностью получения, фильтрации и обработки ультразвукового сигнала в определенном диапазоне частот. Предпочтительно ультразвуковой сигнал получают, фильтруют и обрабатывают перед расчетом и сохранением значения скалярного показателя, характеризующего состояние смазывания подшипника.

[0033] Предпочтительно поток из резервуара к подшипнику регулируется в виде последовательного количества смазки (gn) в зависимости от ультразвукового значения.

[0034] Предпочтительно передаваемая информация включает данные и статус состояния смазывания и/или состояния подшипника. Предпочтительно информация передается в программную систему и/или пользователю системы.

[0035] Система согласно настоящему изобретению может работать без участия человека, сохраняя при этом отслеживаемость автоматизированных решений. Использование соответствующих скалярных показателей позволяет заменить принятие решений человеком. Использование соответствующих скалярных показателей также позволяет системе надлежащим образом саморегулировать количество смазки, подаваемой по меньшей мере к одному подшипнику качения. Для этого система содержит контур регулирования, предусматривающий двунаправленный и интерактивный обмен между управлением потоком смазки и ультразвуковыми последствиями.

[0036] Согласно одному варианту осуществления система выполнена с возможностью автоматической работы.

Краткое описание графических материалов

[0037] На фиг. 1a и 1b изображена система для подачи смазки в подшипник и для выполнения ультразвуковых измерений состояния смазывания подшипника.

[0038] На фиг. 2 представлено общее изображение формы кривой Штрибека для неконформных контактов, выражающих различные режимы смазывания подшипника.

[0039] На фиг. 3 представлена блок-схема начальных последовательностей способа согласно настоящему изобретению согласно одному варианту осуществления указанного способа.

[0040] На фиг. 4a–4d представлены примеры измеренных RMS значений, преобразованных в дБмкВ в ряде возможных последовательностей в соответствии с блок-схемой на фиг. 3.

[0041] На фиг. 5a и 5b представлены блок-схемы последующего этапа, следующего за схемой на фиг. 3.

[0042] На фиг. 6a–6e представлены примеры измеренных RMS значений в ряде возможных последовательностей в соответствии с блок-схемами на фиг. 5a.

[0043] На фиг. 7a–7d представлены примеры измеренных RMS значений в ряде возможных последовательностей в соответствии с блок-схемами на фиг. 5b.

[0044] На фиг. 8a и 8b представлены общие блок-схемы n-го этапа в последовательности этапов способа, применяемых согласно настоящему изобретению.

Подробное описание изобретения

[0045] Согласно предпочтительным вариантам осуществления способ согласно настоящему изобретению выполняют многократно в течение периода активной эксплуатации машины, содержащей один или более подшипников качения, причем способ применяется к каждому из указанных подшипников. Для подшипника заданных размеров, вращающегося с заданной скоростью, интервал T между необходимыми пополнениями смазки может быть рассчитан в соответствии с существующими способами, предпочтительно по формуле (1), приведенной выше. Кроме того, предписанное количество G смазки, которое должно подаваться при каждом пополнении, рассчитывается известным способом, о котором упоминалось выше. Однако вместо подачи полного количества G , способ согласно настоящему изобретению обеспечивает постепенную подачу составных частей G , контролируемую последовательными ультразвуковыми измерениями, предназначенными для определения влияния каждой составной части на состояние подшипника. Таким образом, способ согласно настоящему изобретению позволяет самостоятельно настраивать фактическое необходимое количество смазки относительно предписанного количества (G) смазки.

[0046] Способ согласно настоящему изобретению предпочтительно осуществляется автоматизированным способом с помощью «умной» автоматической системы смазывания согласно настоящему изобретению, как показано на фиг. 1a и 1b. На фиг. 1a схематически изображен подшипник 1 качения, поддерживающий вращающуюся ось 2 единицы оборудования 3. Система 4 выполнена с возможностью подачи смазки, например, смазочного материала заданной вязкости, в подшипник, а также для выполнения и оценки ультразвуковых измерений. На фиг. 1b показаны компоненты системы 4: пьезоэлектрический преобразователь 5, подходящий для выполнения ультразвуковых измерений, блок 6 обработки сигнала и резервуар 7 для подачи смазки, снабженный механизмом 8 управления потоком для регулирования потока из резервуара 7 в подшипник через подающую трубку 9. Блок обработки 6 сигнала выполнен с возможностью выведения

одного или более скалярных показателей, таких как RMS значение, характеризующих состояние смазывания подшипника, из ультразвукового сигнала, создаваемого преобразователем 5. Электронные компоненты обработки сигнала, присутствующие в блоке 6 обработки, могут соответствовать известным конструкциям, реализованным, например, в портативных ультразвуковых устройствах контроля смазывания, которые являются частью уровня техники. Кроме того, блок 6 обработки сигнала выполнен с возможностью оценки измерений и управления последовательностью этапов подачи в соответствии со способом согласно настоящему изобретению. Блок 6 также выполнен с возможностью передачи данных о подшипнике и/или состоянии смазывания пользователю системы, например, путем отображения сообщений на экране (не показан). Система согласно настоящему изобретению может быть выполнена с возможностью смазывания нескольких подшипников, расположенных в разных местах на машине или на нескольких машинах. Один блок обработки может быть выполнен с возможностью контроля состояния смазывания множества подшипников и управления потоком смазки из одного резервуара в несколько мест расположения подшипников. Механизм управления потоком может содержать насос для направления потока смазки к местам расположения подшипников. Система может содержать несколько преобразователей, некоторые или все из которых могут быть постоянно установлены в местах расположения подшипников.

[0047] В отличие от способов предшествующего уровня техники, требующих целевого значения смазки с установленной периодичностью, в способе согласно настоящему изобретению используется алгоритмическая сходимость. Алгоритмическая сходимость приводит к тому, что процесс пополнения выполняется этап за этапом посредством саморегулирующегося контура. Следовательно, количество смазки, подаваемой в подшипник качения, является оптимальным количеством смазки, установленным путем прямых измерений, в то время как способы предшествующего уровня техники часто полагаются на косвенные измерения, такие как толщина смазывания, или решения человека.

[0048] Последовательность этапов подачи смазки согласно настоящему изобретению эквивалентна алгоритму дерева принятия решений, корни которого уходят в кривую Штрибека, хорошо известную в области трибологии. Схематическое изображение общего вида кривой Штрибека для неконформных контактов показано на фиг. 2. Кривая Штрибека для конформных контактов имеет аналогичную общую форму, и настоящее изобретение применимо к подшипникам, в которых имеют место либо конформные, либо неконформные контакты. Кривая иллюстрирует коэффициент трения в зависимости от безразмерного скалярного показателя, связанного со смазыванием, т. е. скалярного

показателя, который увеличивается, когда больше смазки присутствует на границе раздела между контактирующими поверхностями, предпочтительно контактирующими поверхностями в подшипнике. Например, это может быть удельная безразмерная толщина пленки (лямбда), которая выражает соотношение между толщиной пленки смазки между контактирующими поверхностями в подшипнике и шероховатостью контактирующих поверхностей. Коэффициент трения зависит от сил трения, воздействующих на подшипник, например, между поверхностями качения сфер шарикоподшипника относительно внутренней и наружной обойм подшипника. Кривая Штрибека характеризуется появлением четырех рабочих областей, обозначенных цифрами I, II, III и IV на фиг. 2:

I: Граничная смазка: Твердые поверхности входят в непосредственный контакт, нагрузка воспринимается в основном поверхностными неровностями (контакт металл-металл), что приводит к высокому трению. Эта область типична для подшипника с крайне недостаточным смазыванием.

II : Смешанная смазка: Возникают некоторые контакты неровности; нагрузка воспринимается как неровностями, так и вязкой смазкой, что приводит к значительной изменчивости трения. Эта область характеризует изменение поведения при подаче смазки в недостаточно смазанный подшипник: шероховатость постепенно покрывается смазкой по мере добавления смазки (слева направо по кривой), а коэффициент трения быстро уменьшается по мере увеличения толщины пленки смазки.

III : Жидкостная смазка эласто-гидродинамической (EHD) тонкой пленкой, которая характеризует оптимальный режим.

IV : Жидкостная смазка в гидродинамическом режиме (полная пленка – HD).

Области III и IV характеризуются незначительным контактом неровности; нагрузка в основном воспринимается смазкой за счет подъема, давления, физических свойств смазки и т. д. Коэффициент трения низок в области EHD, но постепенно увеличивается в зависимости от соотношения толщины пленки/шероховатости в области HD. Область EHD считается идеальным рабочим режимом подшипника. График, показанный на фиг. 2, является лишь примером кривой Штрибека. Детали могут отличаться для каждого подшипника. Например, скорость изменения коэффициента трения в областях EHD и HD может отличаться от кривой, показанной на фиг. 2.

[0049] Интервал повторного смазывания T рассчитывается, как описано в предыдущем абзаце, и зависит от эмпирически определенных факторов, которые зависят от температуры, влажности, загрязнения подшипника и т. д. Количество пополнения G также определяется на основе эмпирических формул. Тем не менее, фактическая потребность подшипника в смазывании никогда не может быть правильно оценена во всех

обстоятельствах по этим двум эмпирическим значениям T и G , но может зависеть от факторов, которые изменяются во времени, или которые типичны для конкретных конструктивных деталей оборудования, в котором установлен подшипник. По этой причине подача G через интервалы T может в некоторых обстоятельствах привести к недостаточному смазыванию или избыточному смазыванию подшипника, или может не позволить обнаружить неисправный подшипник.

[0050] Настоящее изобретение решает эту задачу следующим образом: подается не сразу все количество G , а смазка подается поэтапно, предпочтительно путем самостоятельного настраивания количества смазки поэтапно, в сопровождении ультразвуковых измерений для проверки эффекта последовательных добавлений смазки. Ряд скалярных величин на основе ультразвука, в частности RMS, характеризуют поведение подшипника при трении, выражаемое кривой Штрибека. Таким образом, авторы настоящего изобретения обнаружили, что для подшипника, который, как предполагается, работает правильно и требует пополнения смазки, способ согласно настоящему изобретению позволяет подавать смазку таким образом, что кривая Штрибека следует слева направо, пока не будет достигнута точка, в которой подшипник работает в режиме EHD или в нижней области режима HD. Кроме того, конкретные варианты осуществления способа позволяют обнаружить предполагаемую неисправность подшипника, безуспешное смазывание или избыточное смазывание подшипника путем обнаружения поведения, которое недопустимым образом отклоняется от кривой Штрибека. Способ согласно настоящему изобретению не требует точного знания кривой Штрибека для подшипника, к которому применяется способ, но применяет логику принятия решения, основанную на общей тенденции, наблюдаемой на любой кривой Штрибека, например, тенденция к снижению в области II с последующей тенденцией к повышению в областях III и IV. При обнаружении избыточного смазывания предписанное количество (G) смазки может быть автоматически настроено, в данном случае уменьшено, чтобы избежать избыточного смазывания в следующей последовательности. Альтернативно или дополнительно при обнаружении избыточного смазывания начальный временной интервал (T) может быть автоматически увеличен.

[0051] Далее подробно описывается предпочтительный вариант осуществления алгоритма дерева принятия решений согласно настоящему изобретению. Однако последующее описание не ограничивает объем настоящей патентной заявки. На фиг. 3 показана блок-схема, представляющая первые этапы способа согласно предпочтительному варианту осуществления, выполняемого на подшипнике качения с использованием установки, показанной на фиг. 1a и 1b. Для рассматриваемого подшипника

определяются параметры T и G. Последовательность начинается не более чем через T секунд после предыдущего пополнения подшипника смазкой. Последовательность может быть начата раньше, чем через T секунд после последнего пополнения, например, при соотношении, таком как 0,5T или 0,7T. Это может быть решено при определении начальных параметров для применения способа. Соотношение T также может быть изменено в течение срока службы подшипника в соответствии с результатами последовательностей, применяемых в соответствии с настоящим изобретением. Кроме того, хранилище данных системы может быть также использовано для настройки начальных параметров для применения способа.

[0052] Последовательность начинается с начального ультразвукового измерения, в результате которого получают RMS значение M0, измеренное в единицах напряжения и выраженное в дБ (мкВ, где опорное напряжение V0 составляет 1 мкВ). M0 сохраняется в запоминающем устройстве, встроенном в блок 6 обработки или связанным с ним. Затем количество g1 смазки, равное 0,25G, подается в подшипник через подающую трубку 9 путем управляемого открытия механизма 8 управления потоком. Определяется время стабилизации, предпочтительно на основе эмпирических и научных данных, вследствие чего по истечении этого времени стабилизации считается, что добавленная смазка полностью работает в подшипнике. Время стабилизации может быть рассчитано в зависимости от параметра скорости подшипника, определяемого как $n_{\omega} = \frac{(d+D)}{2} \omega$ [мм/мин], где d и D – внутренний и наружный диаметры (в мм) подшипника, а ω – скорость вращения подшипника (в об/мин), в соответствии со следующей таблицей:

n_{ω} (мм/мин)	Время стабилизации (с)
≤ 46000	18
$\in]4600,52000]$	16
$\in]52000,58000]$	14
$\in]58000,64000]$	12
$\in]64000,70000]$	10
$\in]70000,76000]$	8
>76000	7

[0053] В течение времени стабилизации измеряется промежуточное RMS значение M', т. е. до достижения стабилизированного рабочего режима. Значение M' предпочтительно определяется путем вычисления RMS значений, которые обновляются через короткие интервалы, например, 250 мс, в течение всего времени стабилизации. В

конце времени стабилизации минимальное значение полученных RMS значений сохраняется в запоминающем устройстве для использования в алгоритме дерева принятия решений в качестве значения M' .

[0054] Затем в момент истечения времени стабилизации или вскоре после него измеряется еще одно RMS значение M_1 , представляющее состояние смазывания в стабилизированном подшипнике после добавления g_1 . Затем рассчитываются и сохраняются следующие дифференциальные скалярные величины:

$$\Delta_1 = M_0 - M_1$$

$$\Delta' = M_0 - M'$$

[0055] И выполняются следующие оценки в соответствии с блок-схемой на фиг. 3:

[0056] Если $\Delta' > 3$ и $\Delta' - \Delta_1 > 3$, состояние подшипника оценивается как неисправное. Это соответствует случаю, когда M' более чем на 3 дБ ниже, чем M_0 и M_1 , т. е. RMS значение падает более чем на 3 дБ и снова возрастает более чем на 3 дБ в течение интервала стабилизации. В этот момент последовательность прекращается, и подшипник осматривается.

[0057] Если $\Delta_1 < -1$, состояние подшипника оценивается как «избыточно смазанное»: M_1 более чем на 1 дБ выше, чем M_0 . Поскольку нормальная тенденция Штрибека является нисходящей в зависимости от пленки смазки большей толщины, тенденция к повышению указывает на то, что дополнительный смазочный материал не требуется, и процесс прекращается, после чего подшипник предпочтительно осматривается.

[0058] Следующим этапом проверки, если состояние не оценивается как «избыточно смазанное», является проверка выполнения или невыполнения условия ' $-1 \leq \Delta_1 < 1$ '. Если нет, это означает, что $\Delta_1 \geq 1$, т. е. M_1 по меньшей мере на 1 дБ ниже, чем M_0 . В этом случае считается, что состояние смазывания улучшилось, и можно добавить дополнительное количество смазки. Если условие ' $-1 \leq \Delta_1 < 1$ ' выполняется, это означает, что M_1 находится в диапазоне минус 1 дБ или плюс 1 дБ по отношению к M_0 , т. е. состояние смазывания существенно не изменилось. Регистрируется состояние «без изменений», и последовательность также переходит к дальнейшему добавлению смазки.

[0059] Снова обратимся к блок-схеме на фиг. 3, количество g_2 , равное $0,15G$, подается в подшипник после результата «смазывание улучшено» или «без изменений» после подачи g_1 . После подачи g_2 дают истечь интервалу стабилизации, а затем получают и сохраняют еще одно ультразвуковое измерение M_2 , которое впоследствии оценивают следующим образом:

[0060] Если $\Delta_2 (= M_0 - M_2) < 0$, состояние подшипника оценивается как «избыточно смазанное». Другими словами, когда RMS значение M_2 выше, чем начальное RMS значение M_0 , после первого значения M_1 более чем на 1 дБ ниже или более или менее равно M_0 , подшипник оценивается как избыточно смазанный, и последовательность прекращается, и предпочтительно за этим следует осмотр подшипника. Эта последовательность показана на фиг. 4а.

[0061] Если подшипник не является избыточно смазанным, проверяется следующее условие: ' $\Delta_2 - \Delta_1 < -1$ '. Если это условие выполнено, состояние смазывания оценивается как «успешное смазывание», и последовательность прекращается. Другими словами, когда M_2 (будучи ниже M_0) более чем на 1 дБ выше M_1 после того, как M_1 более или менее равно или по меньшей мере на 1 дБ ниже M_0 , состояние смазывания считается удовлетворительным. Регистрируется состояние «успешное смазывание», и последовательность прекращается. Эта последовательность показана на фиг. 4b.

[0062] Если ' $\Delta_2 - \Delta_1 < -1$ ' не выполняется, проверяется условие ' $-1 \leq \Delta_2 - \Delta_1 < 1$ '. Если последнее условие выполняется, т. е. M_2 равно или в пределах 1 дБ выше или ниже M_1 , условие снова рассматривается как «без изменений», и выполняется дальнейший этап подачи. Эта последовательность показана на фиг. 4с. Если $-1 \leq \Delta_2 - \Delta_1 < 1$ не выполняется, т. е. M_2 более чем на один дБ ниже M_1 , состояние смазывания оценивается как «улучшенное», и последовательность продолжается с дальнейшей подачей $g_3 (= 0,1G)$ и получением M_3 . Эта последовательность показана на фиг. 4d. После последующих подач смазки, начиная с g_3 , оценка отличается в соответствии с результатами предыдущих этапов, как объясняется далее. Например, три последовательных случая состояния «без изменений» приведут к прекращению процедуры.

[0063] На фиг. 5а и 5b изображены следующие этапы последовательности. Подается количество $g_3 = 0,1G$ и дается истечь времени стабилизации. Затем получают дополнительное RMS значение M_3 , и оценка теперь зависит от результатов предыдущих этапов. На фиг. 5а изображена блок-схема, которая может применяться, если g_3 добавляется после состояния «без изменений», следующего за g_2 .

[0064] Сначала оценивается условие ' $\Delta_3 (= M_0 - M_3) < 0$ ', т. е. является ли M_3 выше M_0 ? Если ответ положительный, состояние смазывания оценивается как «избыточно смазанное», и последовательность прекращается, за чем предпочтительно следует осмотр подшипника. Пример этой последовательности показан на фиг. 6а. Если ответ отрицательный, проводится дополнительная проверка в отношении условия ' $\Delta_3 - \Delta_2 < -1$ ', т. е. является ли M_3 более чем на 1 дБ выше, чем M_2 ? Если это так, т. е. за «отсутствием изменений» после g_2 непосредственно следует повышение более чем на 1 дБ после g_3 ,

состояние смазывания подшипника оценивается как «безуспешное смазывание». Пример этой последовательности показан на фиг. 6b. Последовательность прекращается, и подшипник осматривается. Качественно это означает, что «отсутствие изменений» после второй подачи g_2 , за которой следует повышение более чем на 1 дБ после третьей подачи, в то время как M_3 все еще ниже M_0 , свидетельствует о ненормальном поведении подшипника. Рост RMS указывает на то, что подшипник потенциально работает слишком далеко в HD области IV кривой Штрибека в этот момент.

[0065] Если ' $\Delta_3 - \Delta_2 < -1$ ' не верно, проводится дополнительная проверка в отношении условия ' $\Delta_3 - \Delta_1 < -1,5$ ', т. е. является ли M_3 , будучи ниже M_0 и менее чем на 1 дБ выше M_2 , более чем на 1,5 дБ выше M_1 ? Если это так, то состояние смазывания оценивается как «безуспешное» и последовательность прекращается. Другими словами, если за «отсутствием изменений» после g_2 следует повышение более чем на 1,5 дБ по сравнению с M_1 , состояние смазывания считается «безуспешным». Пример такой последовательности показан на фиг. 6c.

[0066] Если ' $\Delta_3 - \Delta_1 < -1,5$ ' не верно, т. е. M_3 не более чем на 1,5 дБ выше M_1 и M_3 также не более чем на 1 дБ выше M_2 , оценивается условие ' $-1 \leq \Delta_3 - \Delta_2 < 1$ '. Если это условие верно, т. е. M_3 равно или в пределах 1 дБ выше или ниже M_2 , состояние смазывания оценивается как «без изменений». Однако на этом третьем этапе выполняется дополнительная проверка, а именно, является ли это «отсутствие изменений» третьим последовательным состоянием «отсутствия изменений», которое было оценено. Если это так, то считается, что состояние подшипника стабильно и приемлемо, т. е. регистрируется «успешное смазывание», и последовательность прекращается. Пример такой последовательности показан на фиг. 6d. В этот момент можно предположить, что подшипник вошел в область EHD и что эта область EHD демонстрирует очень низкую скорость изменения коэффициента трения. Если это не так, т. е. когда M_3 более чем на 1 дБ ниже M_2 после «отсутствия изменений» после g_2 , состояние смазывания оценивается как «улучшено», и подается дополнительное количество g_4 . Эта последовательность показана на фиг. 6e.

[0067] На фиг. 5b изображена блок-схема, которая может применяться, если g_3 добавляется после состояния «смазывание улучшено».

[0068] Сначала, как и в схеме на фиг. 5a, оценивается условие ' $\Delta_3 (= M_0 - M_3) < 0$ ', т. е. является ли M_3 больше M_0 ? Если ответ положительный, подшипник считается избыточно смазанным, и последовательность прекращается, за чем предпочтительно следует осмотр подшипника. Эта последовательность показана на фиг. 7a. Если ответ отрицательный, проводится дополнительная проверка в отношении условия ' $\Delta_3 - \Delta_2 < -1$ ',

т. е. является ли M_3 более чем на 1 дБ выше, чем M_2 ? Если это так, т. е. если за условием «смазывание улучшено» после g_2 (M_2 более чем на 1 дБ ниже M_1) следует увеличение более чем на 1 дБ (M_3 более чем на 1 дБ выше M_2), состояние смазывания оценивается как «успешное смазывание» и последовательность прекращается. Пример этой последовательности показан на фиг. 7b. Качественно это означает, что подшипник вошел в режим EHD, что определяется тенденцией к повышению после тенденции к снижению на предыдущем этапе.

[0069] Если ' $\Delta_3 - \Delta_2 < -1$ ' не верно, т. е. M_3 не более чем на 1 дБ выше, чем M_2 , оценивается условие ' $-1 \leq \Delta_3 - \Delta_2 < 1$ '. Если это условие верно, т. е. M_3 равно или в пределах 1 дБ выше или ниже M_2 , состояние смазывания оценивается как «без изменений». Учитывая тот факт, что предыдущее состояние было «смазывание улучшено», состояние «без изменений» не является третьим последовательным состоянием «без изменений». В этом случае выполняется дальнейший этап подачи g_4 . Пример такой последовательности показан на фиг. 7c. Если это не так, т. е. когда M_3 более чем на 1 дБ ниже M_2 после «смазывание улучшено» после g_2 , состояние смазывания оценивается как «улучшено», и подается дополнительное количество g_4 . Пример такой последовательности показан на фиг. 7d.

[0070] Последовательности, показанные на фиг. 5a и 5b, могут быть обобщены, в результате чего получаются блок-схемы, показанные на фиг. 8a и 8b, которые описывают оценку измерения M_n с учетом результата измерения M_{n-1} , для $n \geq 3$.

[0071] Алгоритм дерева принятия решений всегда сходится к заданному конечному статусу, либо «успешное смазывание», либо «безуспешное смазывание», либо «избыточное смазывание». Если посмотреть на графики на фиг. 4a–4d, 6a–6e и 7a–7d, то становится ясно, что при $n \geq 3$ успешность смазывания связана со стабилизацией RMS в течение трех последовательных подач или со значительным ростом RMS после предшествующего значительного падения RMS. Эти состояния отражает кривая Штрибека, соответственно, когда подшипник находится в режиме EHD или когда подшипник входит в режим EHD после тенденции к снижению RMS в режиме смешанной смазки. Графики, указывающие на безуспешное смазывание, связаны с ростом RMS после предшествующей стабилизации RMS, что указывает на вхождение подшипника в область HD, которая нежелательна для оптимальной работы подшипника.

[0072] Таким образом, поэтапная подача смазки позволяет оценить состояние подшипника гораздо более детально по сравнению с подачей полного количества G , что позволяет более эффективно обнаружить безуспешное смазывание.

[0073] Как указано, описанный выше алгоритм является лишь одним примером возможного алгоритма дерева принятия решений, и многие детали могут варьироваться в отношении описанных выше последовательностей. Например, составные части g_1 , g_2 и т. д. могут представлять больший или меньший процент от количества G , или количества подачи могут отличаться заданным образом в зависимости от n .

[0074] Не все этапы проверки должны быть включены. Например, дополнительная проверка $\Delta n - \Delta n - 2 < -1,5$ может быть опущена. Также может быть опущено промежуточное измерение M' .

[0075] Дополнительная проверка абсолютного уровня M_0 и предпочтительно также M_1 может быть выполнена перед запуском последовательности или остальной части последовательности. Если M_0 или M_1 выходят за пределы определенного диапазона безопасности вокруг заданного абсолютного уровня, может быть подан сигнал тревоги.

[0076] Количество смазки $g_1=0,25G$, $g_2=0,15G$, $g_n=0,1G$ при $n \geq 3$ представляет собой предпочтительную последовательность, применимую для большинства смазок, например, для смазочного материала, подаваемого в подшипник качения. Однако в рамках настоящего изобретения могут применяться и другие соотношения G . В большинстве случаев способ сходится к состоянию «успешное смазывание» или «безуспешное смазывание/избыточное смазывание» до того, как сумма подаваемых количеств достигнет G . Однако возможно также, что сумма подаваемых количеств превышает G , что указывает на то, что оценка G была слишком консервативной. Согласно одному варианту осуществления интервал пополнения T сокращается, если определено, что способ не сходится при $n \geq 9$.

[0077] Вместо или в дополнение к RMS в способе согласно настоящему изобретению могут быть использованы другие связанные со смазыванием скалярные показатели для усиления решения, такие как x_K (коэффициент эксцесса), определяемый следующим образом:

$$x_K = x_{\{Kurtosis\}} = \frac{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N x_k^4}{\left(\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N x_k^2\right)^2} - 3$$

[0078] Точные критерии оценки этого скалярного показателя на каждом этапе могут отличаться по сравнению с оценкой RMS.

[0079] Как указано выше, способ согласно настоящему изобретению особенно подходит для применения в полностью автоматизированном режиме интеллектуальной автоматизированной системой смазывания согласно настоящему изобретению. Это может быть система, изображенная на фиг. 2, причем блок 6 обработки выполнен с возможностью

автоматического выполнения этапов способа, т. е. для выполнения алгоритма дерева принятия решений и для выполнения пополнения постепенно, пока не будет достигнуто состояние «избыточного смазывания», «успешного смазывания» или «безуспешного смазывания». В первом и третьем случаях система может генерировать сигнал или сообщение о необходимости осмотра или ремонта подшипника. Система выполнена с возможностью выполнения нескольких пополнений через заданные интервалы, например, разделенных T секундами или меньше. Система также может автоматически пересчитать интервал T на основе результатов алгоритма дерева принятия решений. Система может содержать несколько преобразователей, установленных в постоянном контакте с несколькими подшипниками.

[0080] Хотя настоящее изобретение было подробно проиллюстрировано и описано на графических материалах и в предыдущем описании, такие изображения и описание должны рассматриваться как иллюстративные или примерные, а не ограничивающие. Другие варианты раскрытых вариантов осуществления могут быть поняты и осуществлены специалистами в данной области техники при практической реализации заявленного изобретения на основании изучения графических материалов, описания и прилагаемой формулы изобретения. В формуле изобретения слово «содержащий» не исключает других элементов или этапов, а формы единственного числа не исключают форм множественного числа. Тот факт, что определенные меры указаны во взаимно различных зависимых пунктах формулы, не означает, что комбинация этих мер не может быть использована с пользой. Любые ссылочные обозначения в формуле изобретения не должны рассматриваться как ограничивающие объем правовой охраны.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ контроля и смазывания по меньшей мере одного подшипника (1) качения машины (3) путем постепенной подачи смазки в подшипник на одном или более последовательных этапах подачи, и причем:

- определяют предписанное количество (G) смазки,
- перед первым этапом подачи измеряют ультразвуковой сигнал посредством преобразователя, установленного в соединении с подшипником, и из сигнала выводят начальное значение (M_0) скалярного показателя, которое характеризует состояние смазывания подшипника, и указанное измерение и выведение значения повторяют после каждого последующего этапа подачи смазки, при этом каждое измерение выполняют после периода стабилизации после подачи, причем продолжительность периода стабилизации такова, что позволяет полностью использовать поданную смазку,
- количество (gn) смазки, подаваемой на последовательных этапах, меньше предписанного количества (G) смазки,
- начиная со второго выведенного значения (M_1), оценивают каждое значение (M_n) скалярного показателя относительно начального значения (M_0), и начиная с третьего измерения – относительно одного или более ранее выведенных значений (M_1, M_2, \dots, M_{n-1}),
- на основе каждой из оценок принимают решение о прекращении или продолжении последовательности смазывания.

2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что скалярный показатель представляет собой среднеквадратичное значение (RMS) сигнала.

3. Способ по п. 2, отличающийся тем, что последовательность продолжается, когда выведенное значение значительно ниже, чем ранее выведенное значение.

4. Способ по п. 2, отличающийся тем, что последовательность продолжается, когда выведенное значение по существу такое же, как ранее выведенное значение, если только выведенное значение не остается неизменным в течение заданного числа последовательных измерений и выведений значений, в этом случае последовательность прекращается, и состояние смазывания считается успешным.

5. Способ по п. 2, отличающийся тем, что последовательность прекращается из-за избыточного смазывания, когда выведенное значение выше или по меньшей мере на заданную величину выше начального значения (M_0).

6. Способ по п. 2, отличающийся тем, что последовательность прекращается из-за состояния успешного смазывания, когда выведенное значение значительно выше предыдущего значения, после того как указанное предыдущее значение было значительно ниже значения, предшествующего указанному предыдущему значению.

7. Способ по п. 2, отличающийся тем, что последовательность прекращается из-за состояния безуспешного смазывания, когда выведенное значение значительно выше предыдущего значения, после того как указанное предыдущее значение было по существу таким же, как значение, предшествующее указанному предыдущему значению.

8. Способ по п. 2, отличающийся тем, что дополнительно включает промежуточное измерение ультразвукового сигнала в течение времени стабилизации после первого этапа подачи смазки и перед первым выведением значения скалярного показателя (M_1), и включает выведение значения (M') скалярного показателя из промежуточного сигнала, и причем последовательность прекращается из-за предполагаемого отказа подшипника, если значение M' значительно ниже начального значения (M_0), тогда как первое выведенное значение (M_1) значительно выше промежуточного выведенного значения (M').

9. Способ по любому из предыдущих пунктов, отличающийся тем, что скалярный показатель или дополнительный скалярный показатель представляет собой коэффициент эксцесса.

10. Способ по любому из предыдущих пунктов, отличающийся тем, что дополнительно включает определение интервала (T) пополнения, и причем способ по любому из предыдущих пунктов выполняют несколько раз с интервалами, равными или меньшими, чем интервал пополнения.

11. Способ по п. 10, отличающийся тем, что интервал пополнения обновляется между последующими применениями способа смазывания по любому из пп. 1–8, и причем обновление основано на результатах этапов способа смазывания.

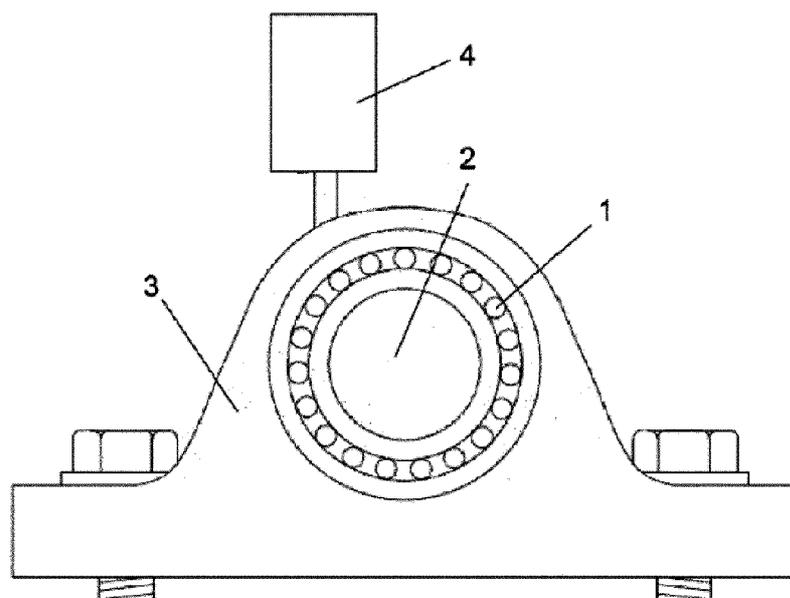
12. Способ по п. 11, отличающийся тем, что более короткий интервал пополнения применяют, когда определено, что требуется большее общее количество смазки, чем предписанное количество (G), прежде чем последовательность смазывания будет прекращена.

13. Способ по любому из предыдущих пунктов, отличающийся тем, что способ полностью автоматизирован.

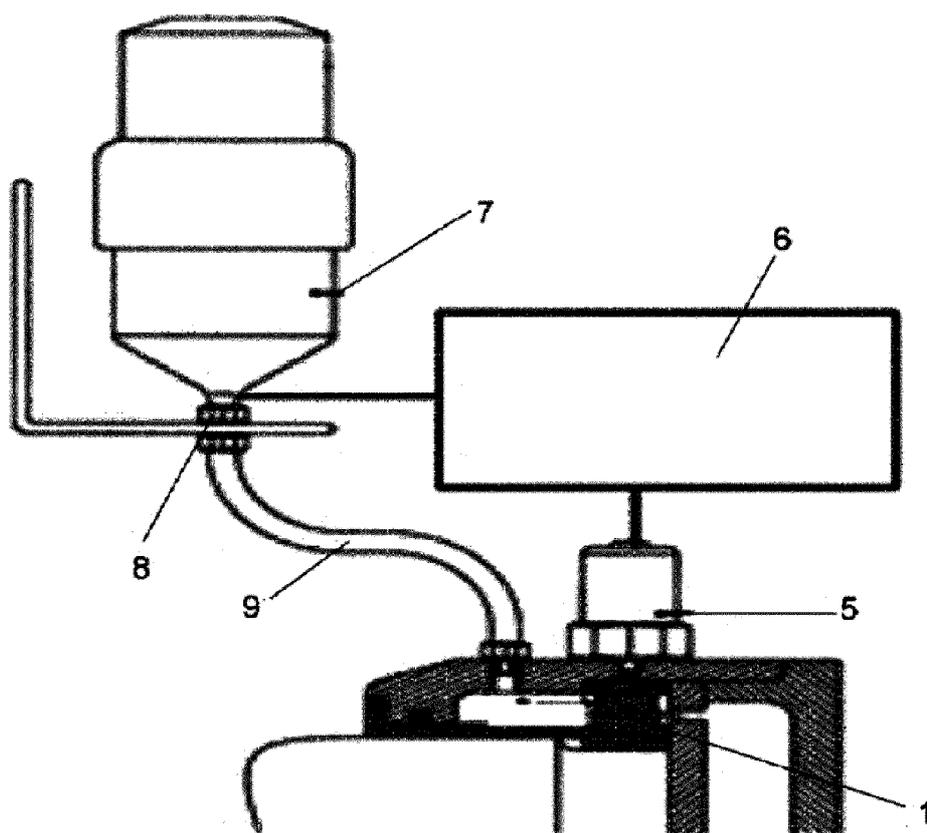
14. Система для подачи смазки по меньшей мере в один подшипник качения, содержащая:

- по меньшей мере один подшипник (1) качения,
- резервуар (7) для подачи смазки, снабженный устройством (8) управления потоком для управления потоком смазки из резервуара,
- по меньшей мере одну трубку (9) для подачи смазки из резервуара по меньшей мере в один подшипник (1) качения,
- по меньшей мере один преобразователь (5), подходящий для измерения ультразвукового сигнала, когда преобразователь установлен в соединении с подшипником качения,
- блок (6) обработки сигнала, соединенный по меньшей мере с одним преобразователем и устройством управления потоком и выполненный с возможностью
 - расчета и сохранения значения скалярного показателя, характеризующего состояние смазывания подшипника,
 - запуска или остановки потока из резервуара к подшипнику в зависимости от оценки значения, в соответствии со способом по любому из пп. 1–13,
 - передачи информации о состоянии смазывания и/или состоянии подшипника пользователю системы.

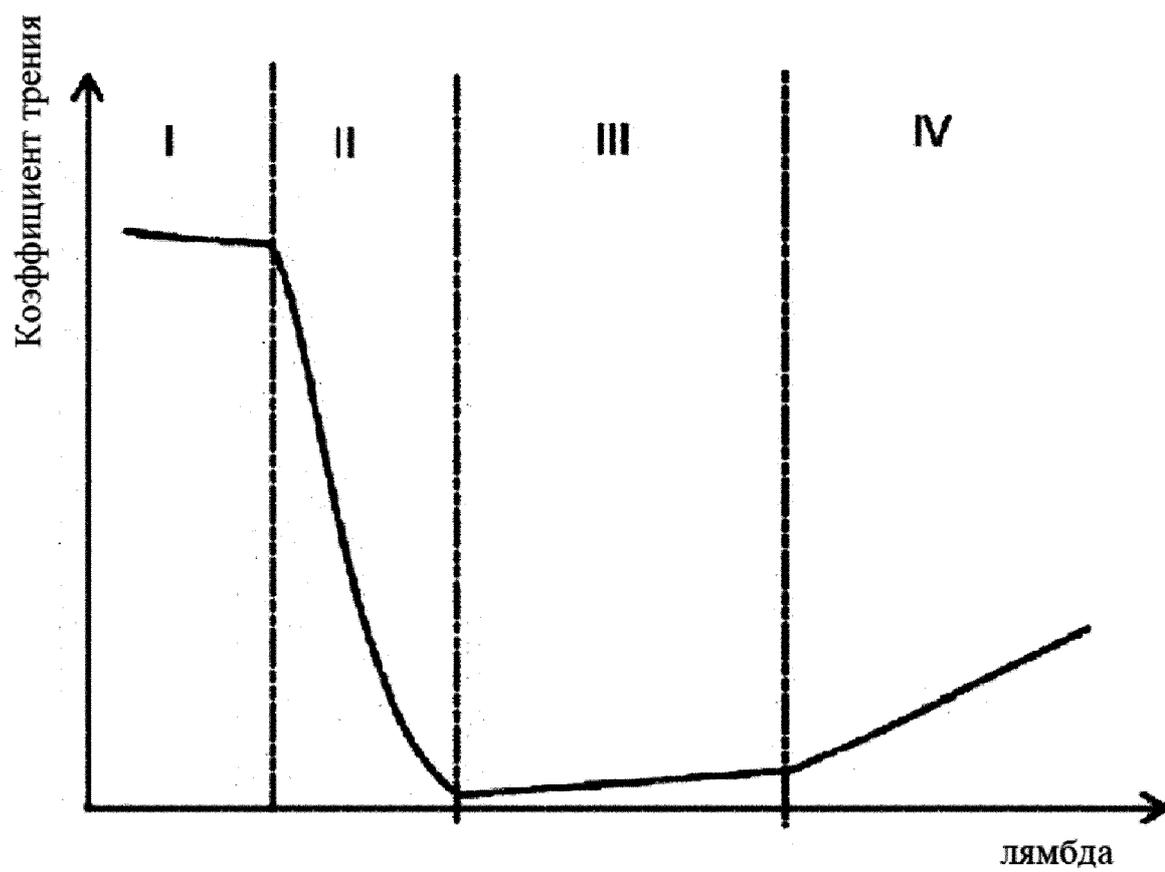
15. Система по п. 14, отличающаяся тем, что система выполнена с возможностью автоматической работы.



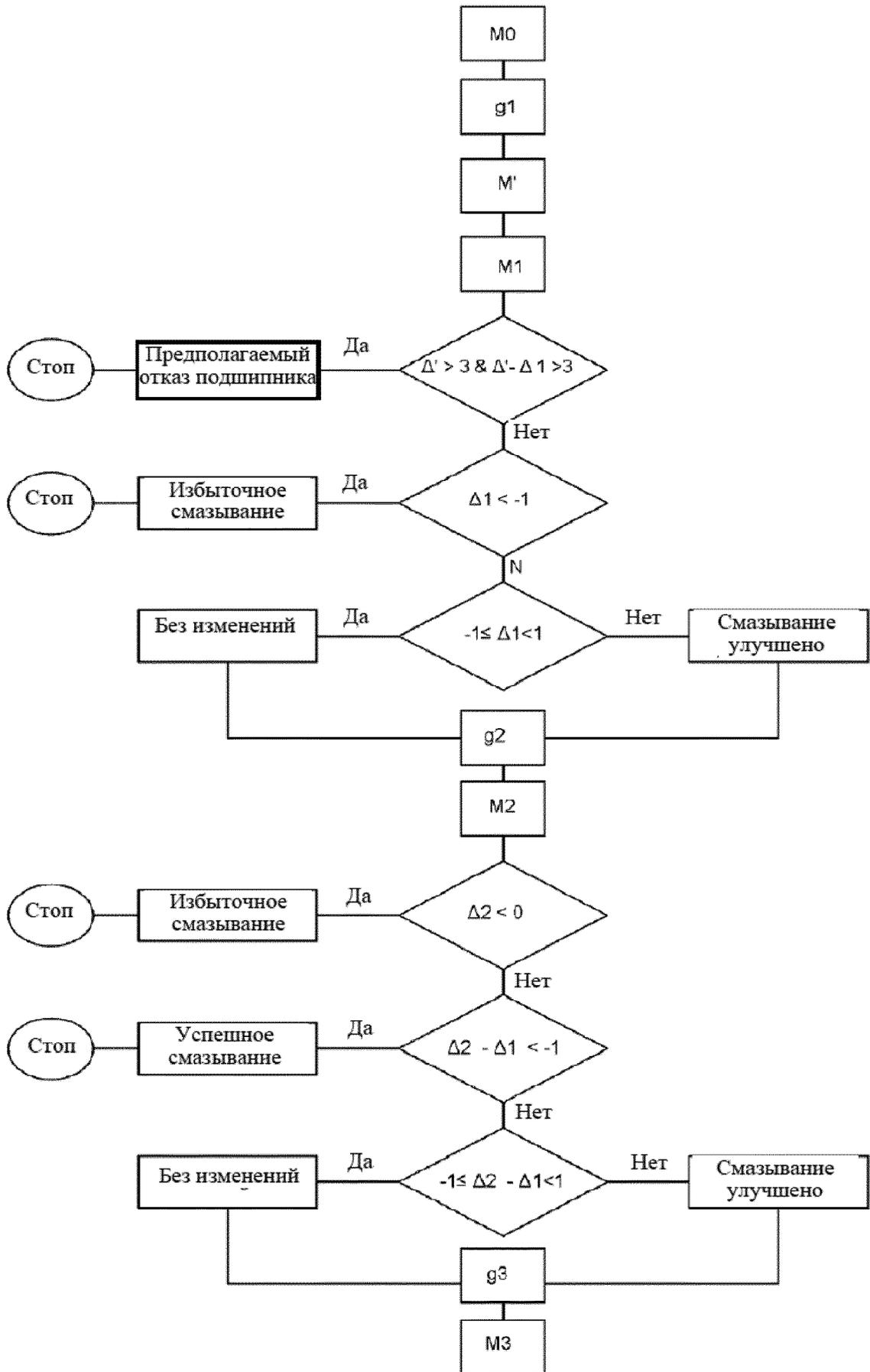
Фиг. 1а



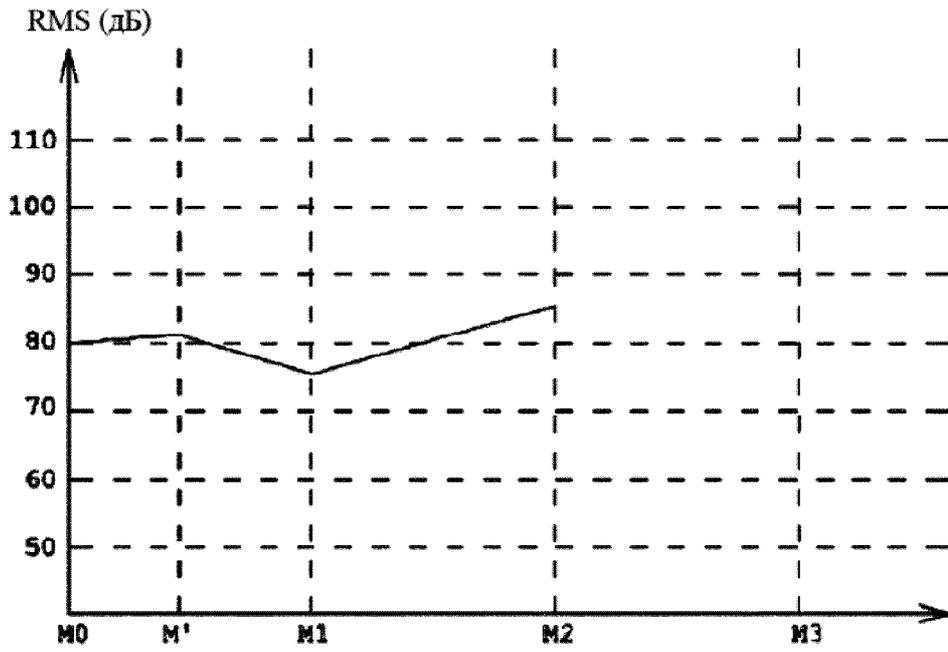
Фиг. 1б



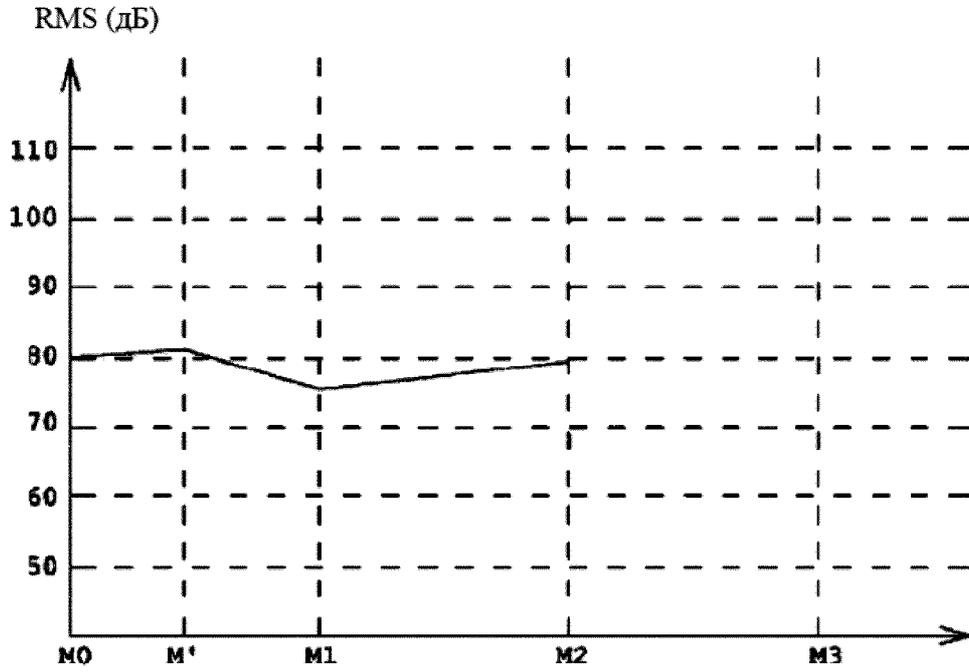
Фиг. 2



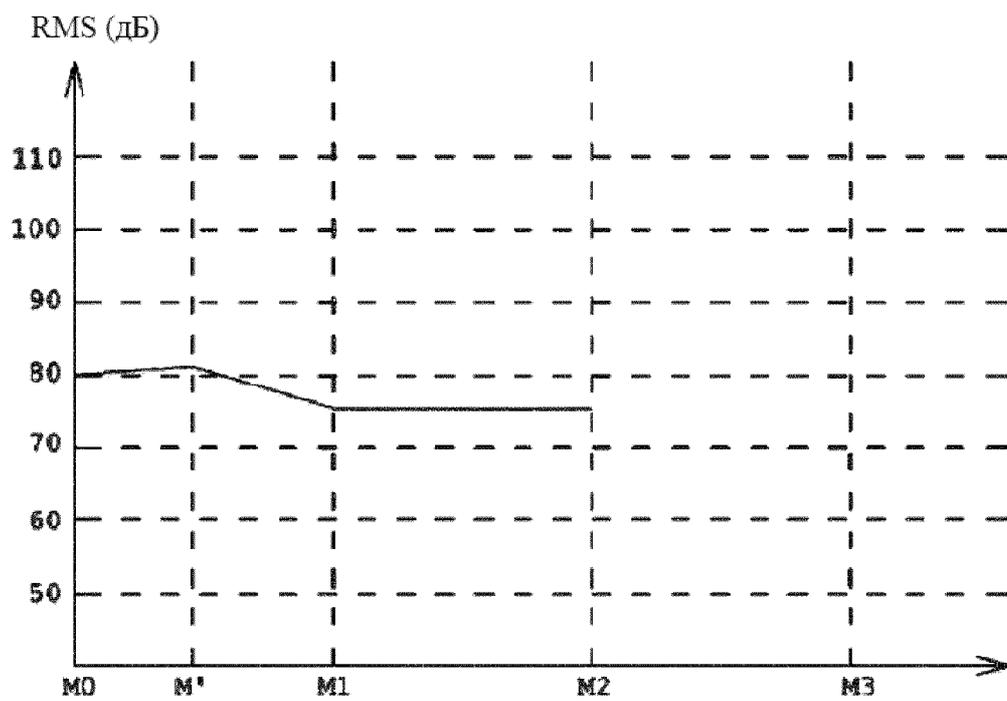
Фиг. 3



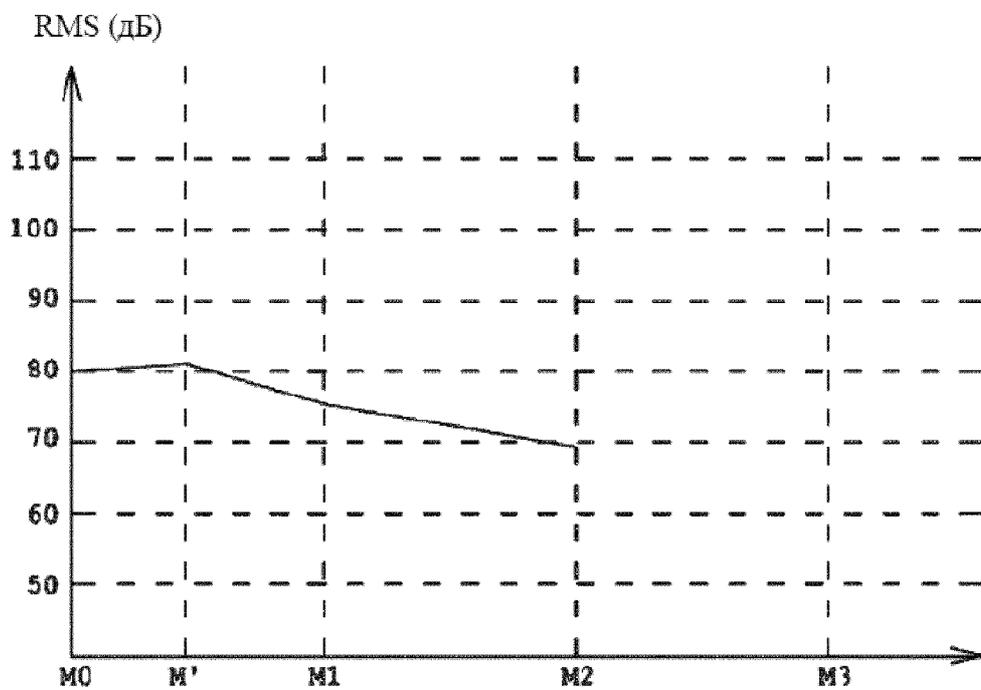
Фиг. 4а



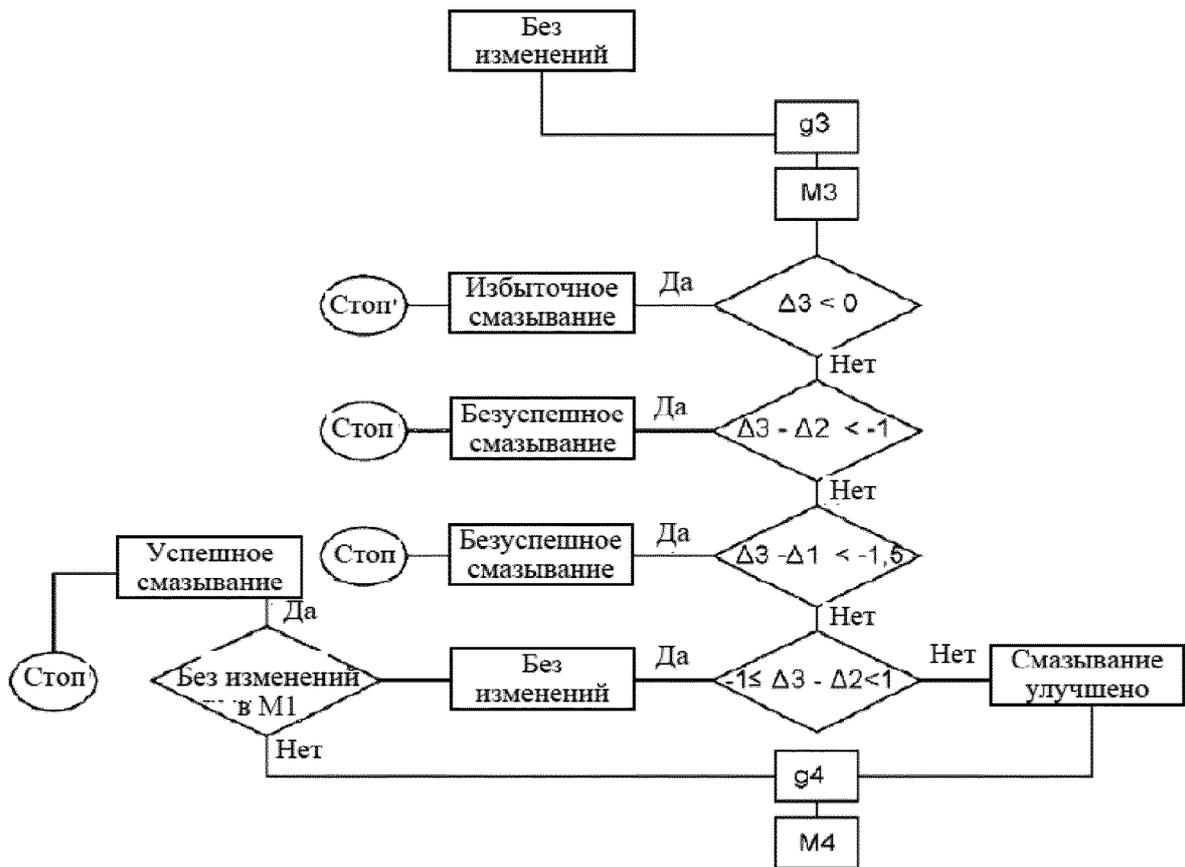
Фиг. 4б



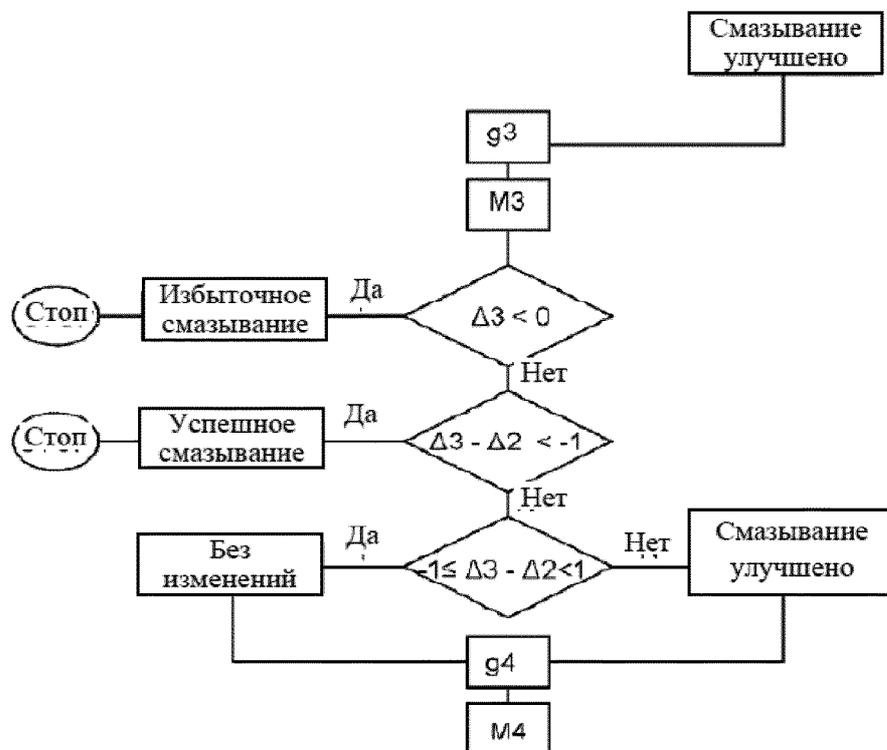
Фиг. 4с



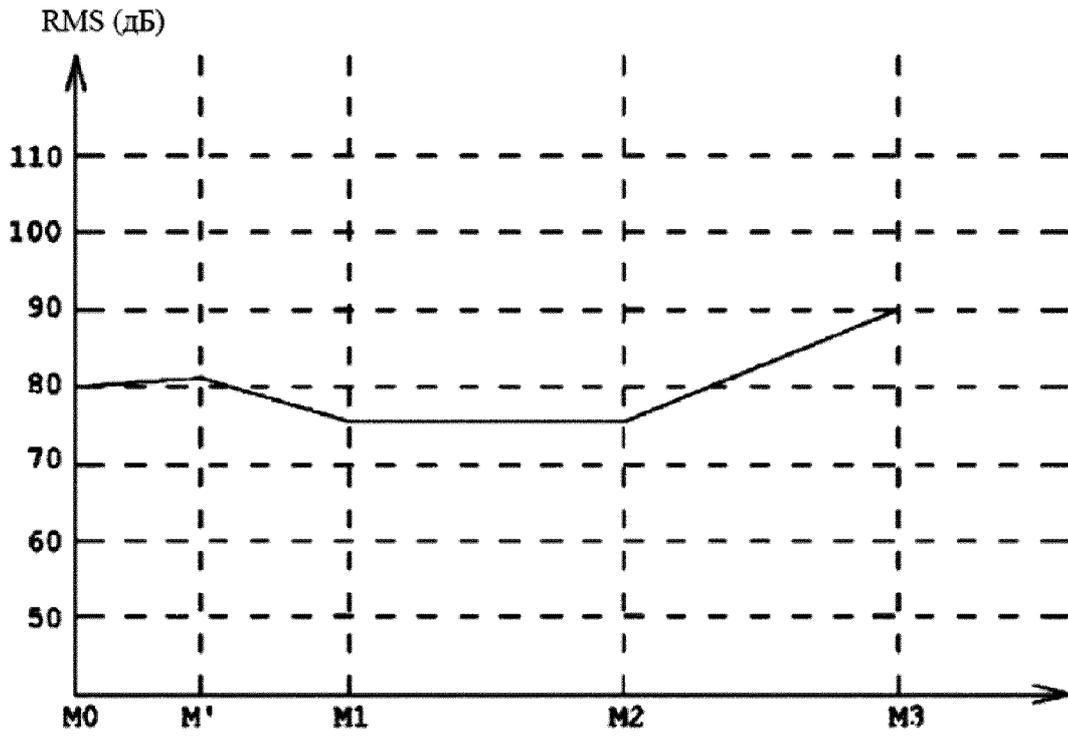
Фиг. 4d



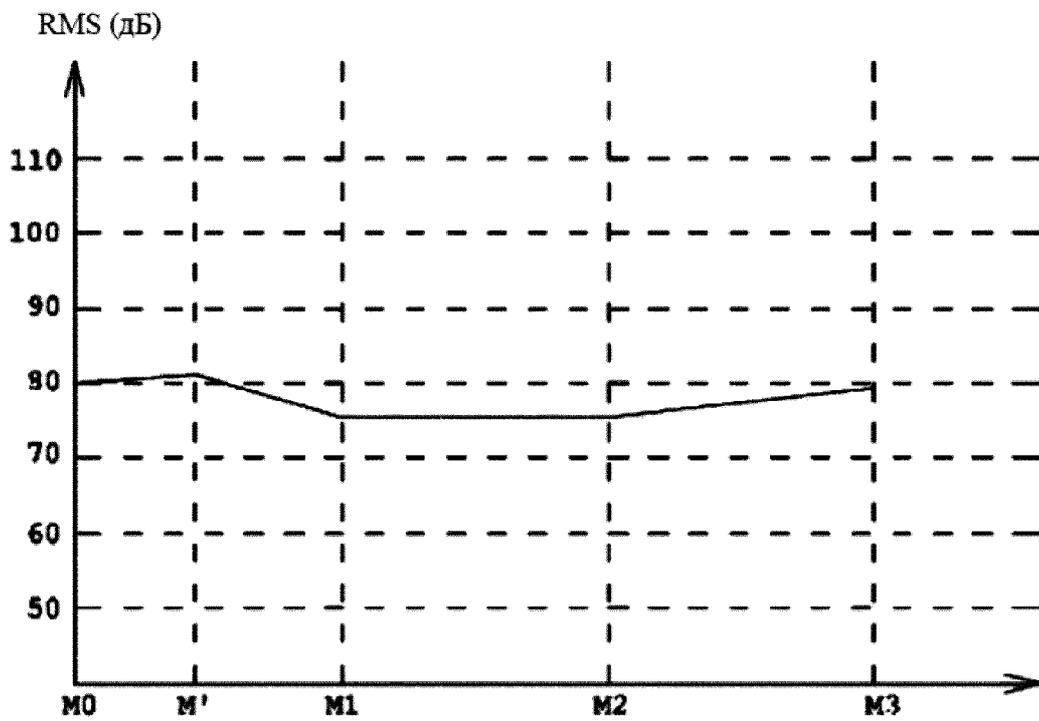
Фиг. 5а



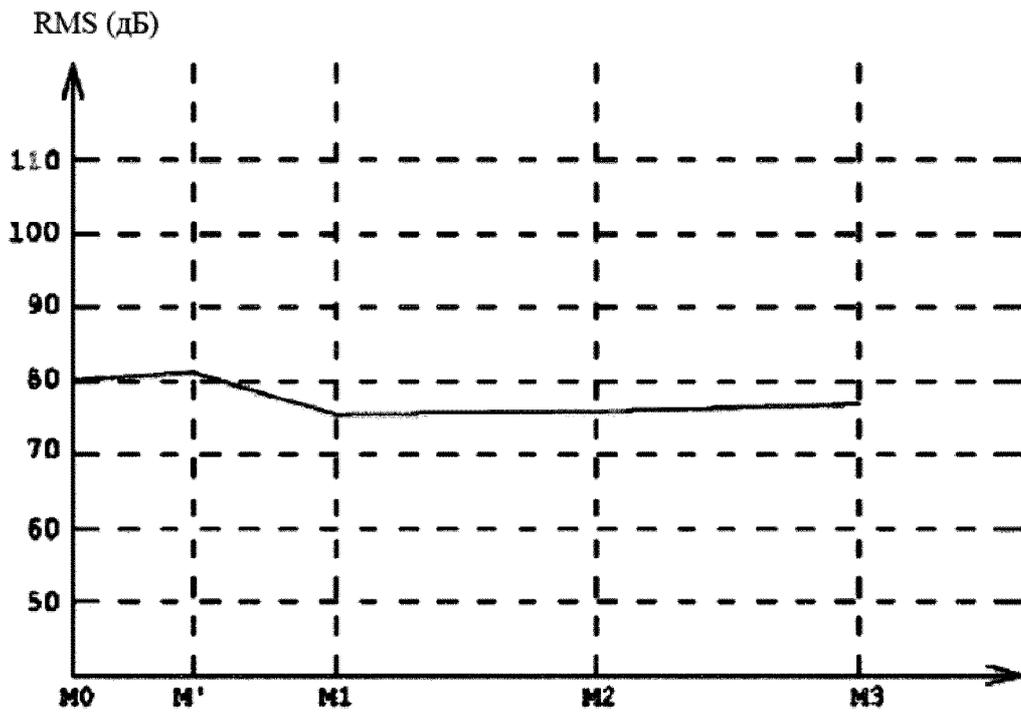
Фиг. 5b



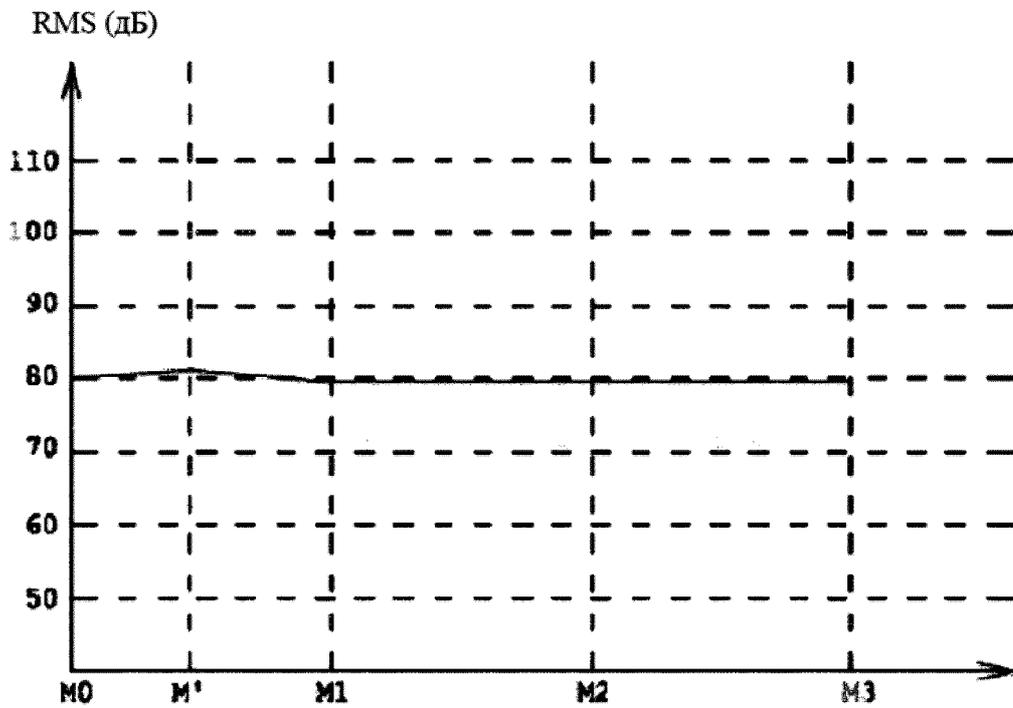
Фиг. 6а



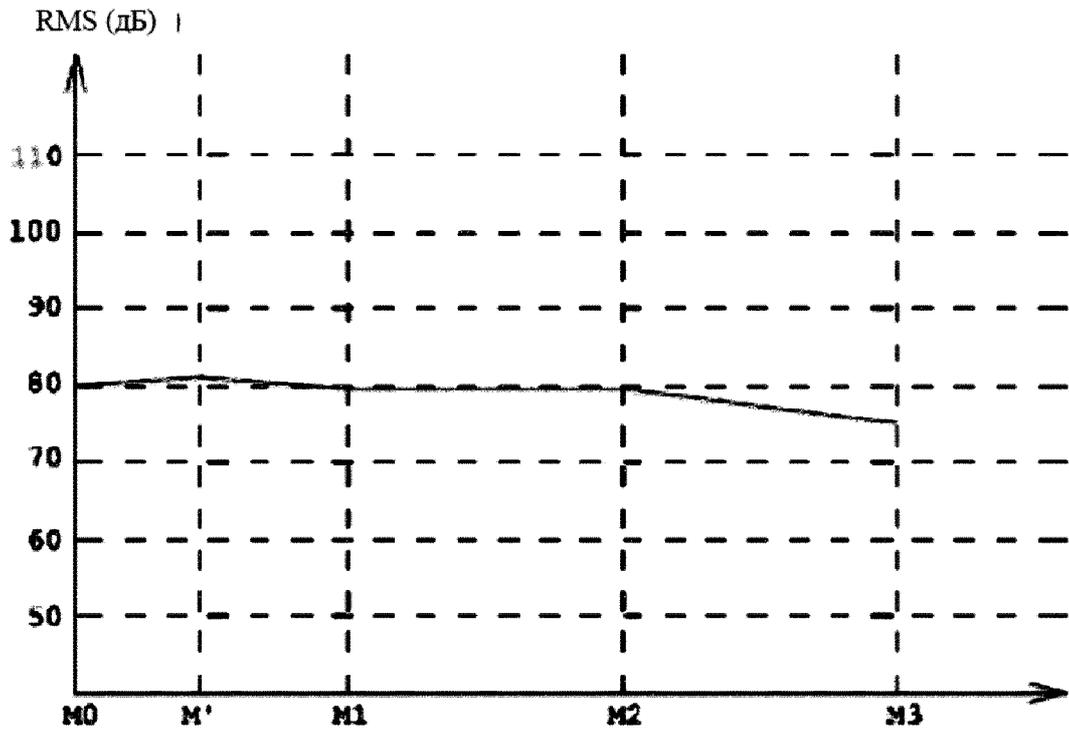
Фиг. 6б



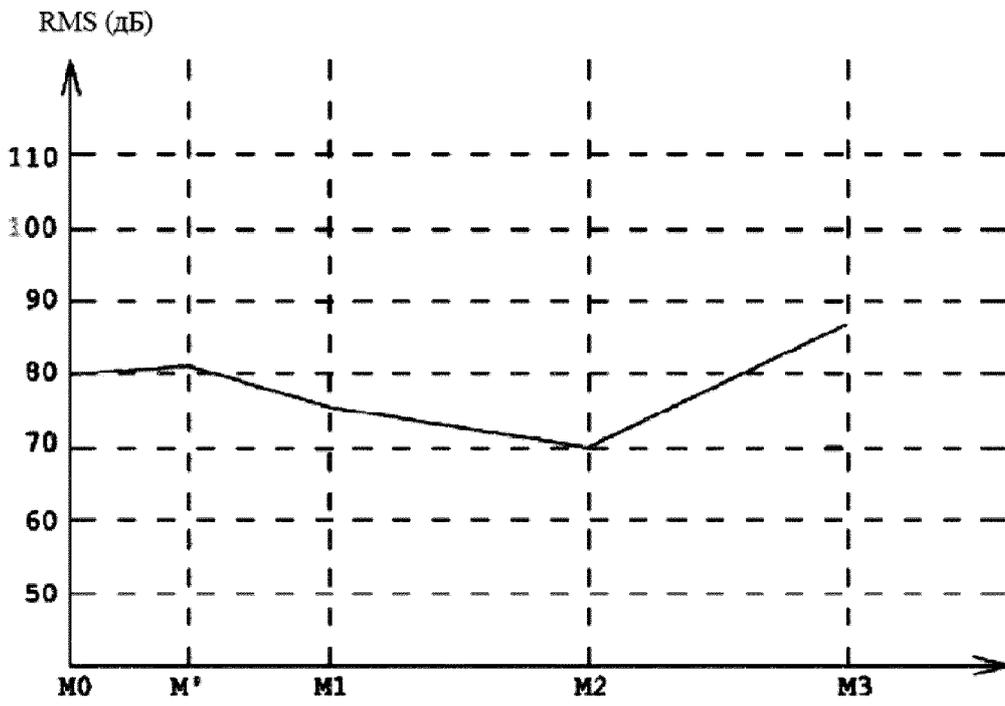
Фиг. 6с



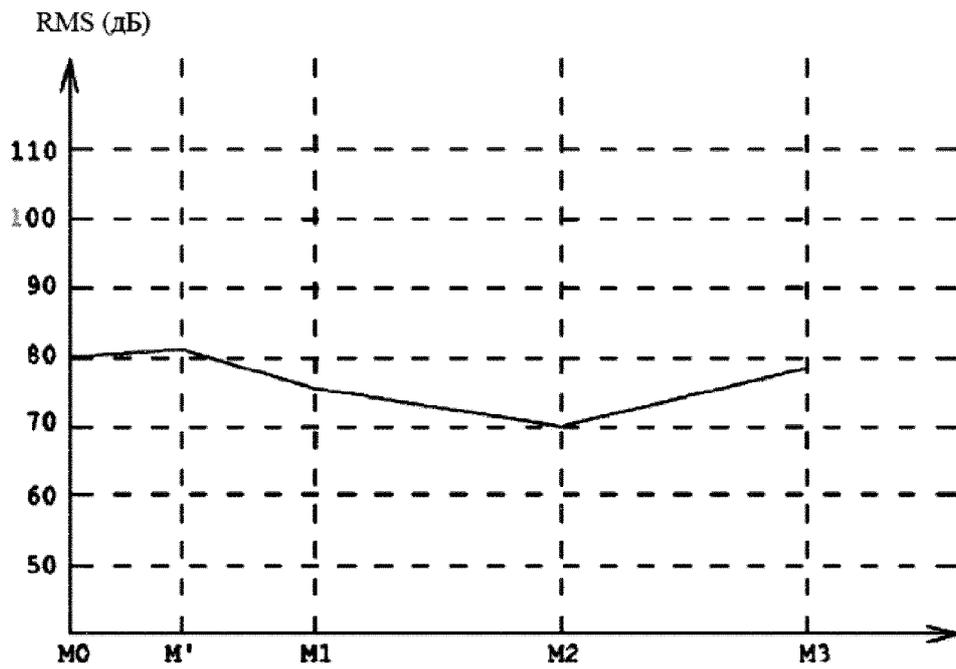
Фиг. 6d



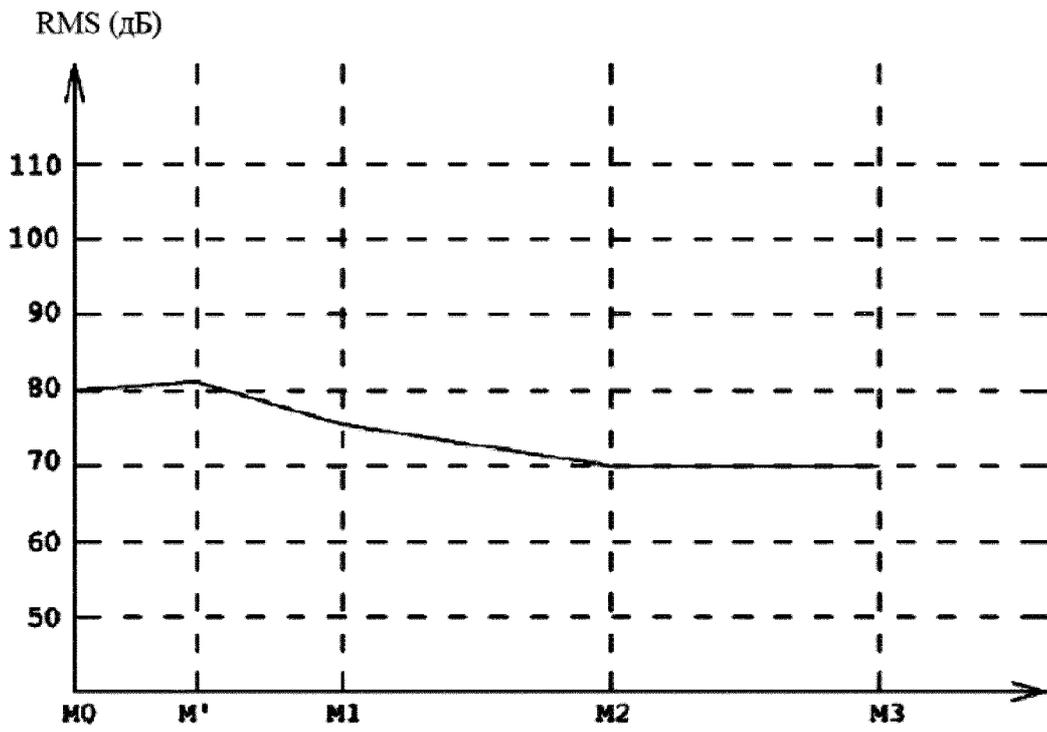
Фиг. 6е



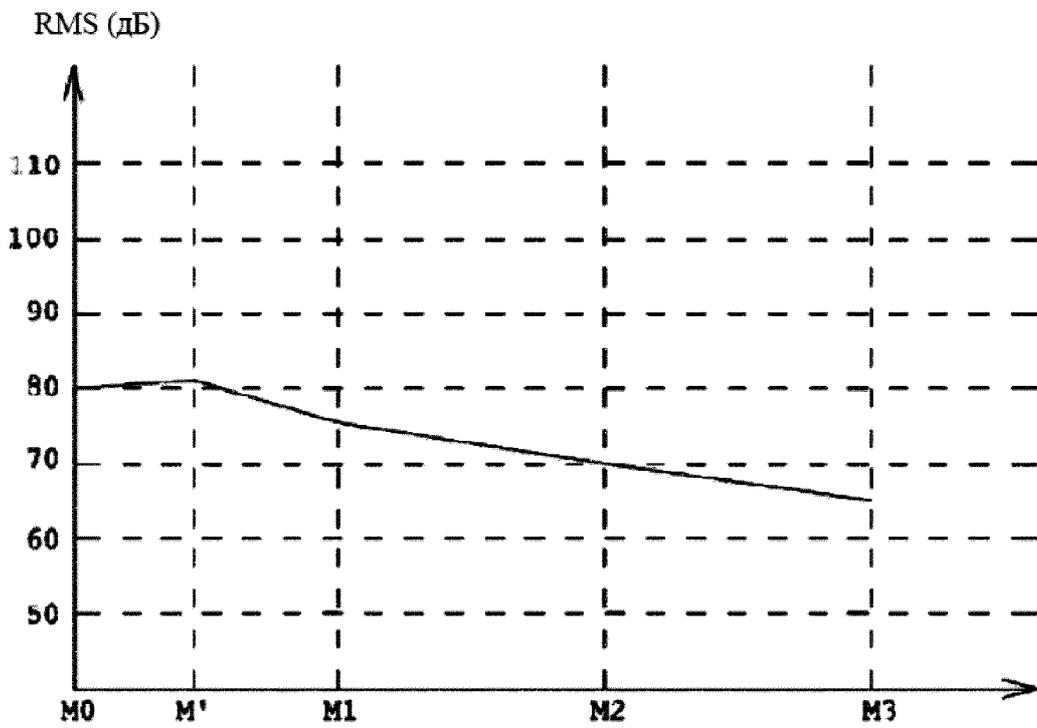
Фиг. 7а



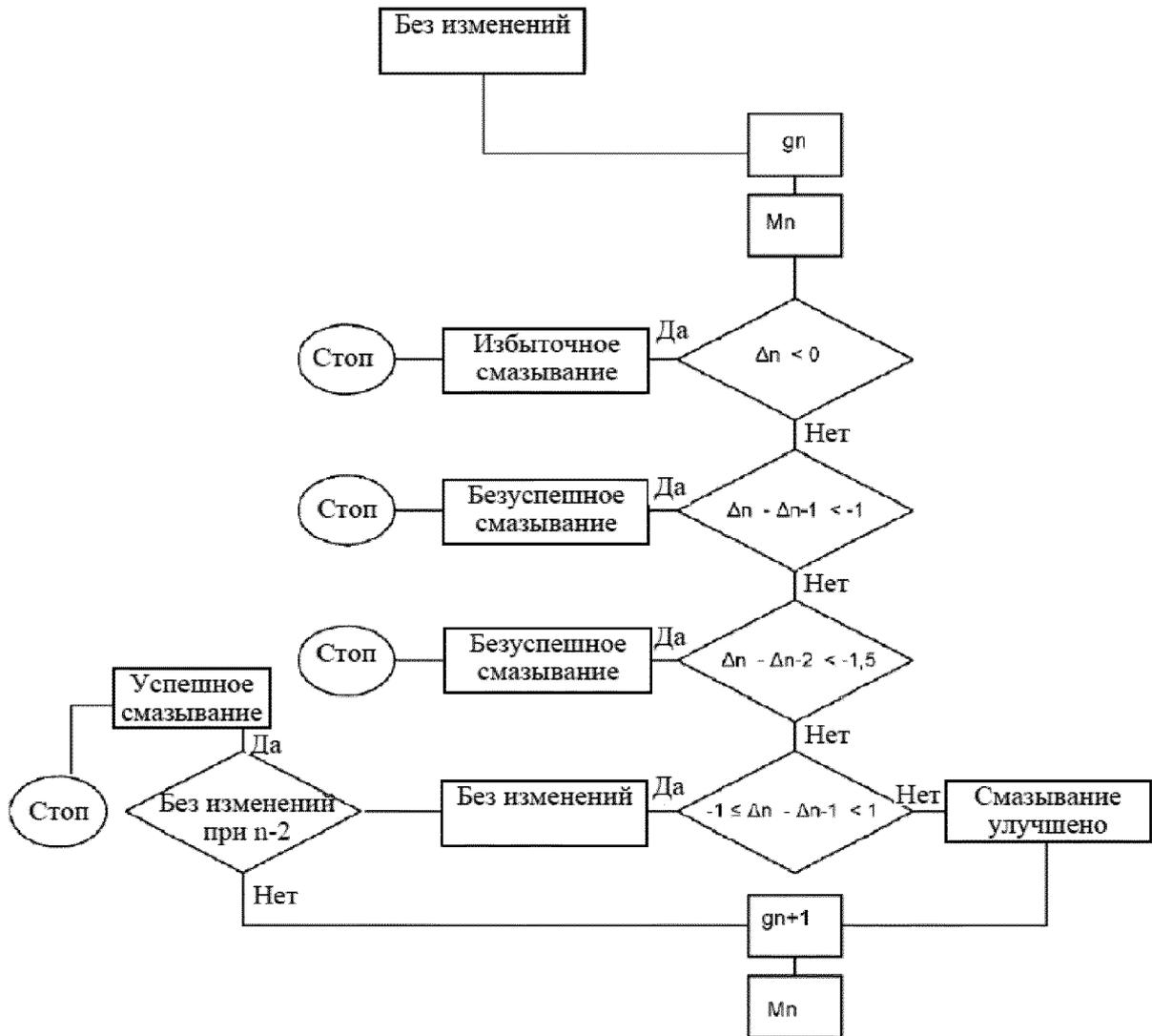
Фиг. 7б



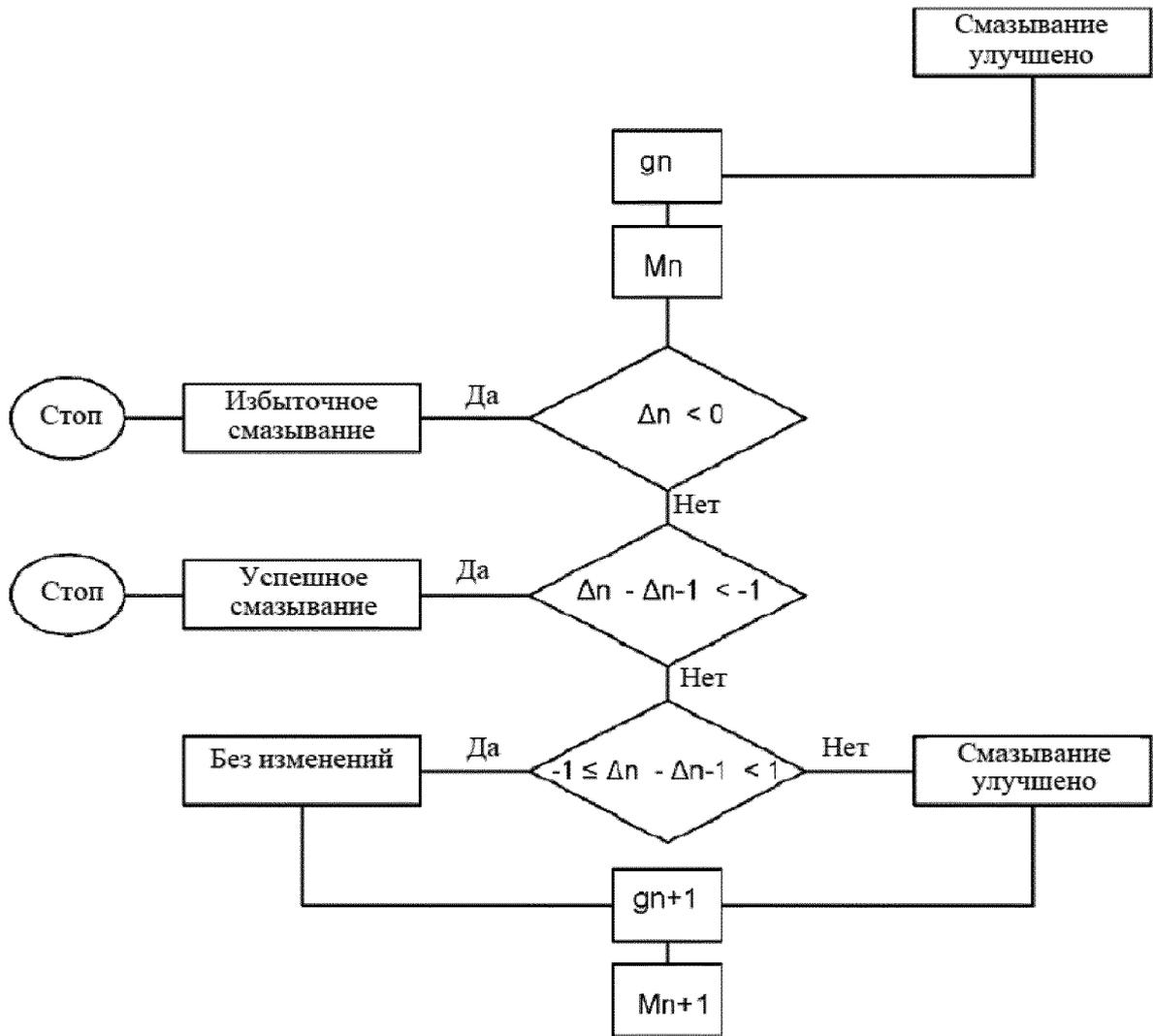
Фиг. 7с



Фиг. 7d



Фиг. 8а



Фиг. 8b