



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 2004127250/09, 10.02.2003

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
10.02.2003(30) Конвенционный приоритет:
11.02.2002 US 60/356,476
23.07.2002 US 60/398,004
21.08.2002 US 60/404,872

(43) Дата публикации заявки: 27.01.2006

(45) Опубликовано: 20.12.2006 Бюл. № 35

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: US 5441305, 15.08.1995. EP 1168888
A2.02.01.2002. GB 2259287, 10.03.1993. US
3256920, 21.03.1986. FR 2570333, 21.03.1986.(85) Дата перевода заявки РСТ на национальную фазу:
13.09.2004(86) Заявка РСТ:
US 03/04170 (10.02.2003)(87) Публикация РСТ:
WO 03/069955 (21.08.2003)

Адрес для переписки:
129010, Москва, ул. Б. Спасская, 25, стр.3,
ООО "Юридическая фирма Городисский и
Партнеры", пат.пов. Ю.Д.Кузнецову, рег.№ 595

(72) Автор(ы):
ПЕТРЕНКО Виктор (US)(73) Патентообладатель(и):
ДЗЕ ТРАСТРИЗ ОФ ДАРТМУТ КОЛЛЕДЖ (US)

RU 2 289 892 C2

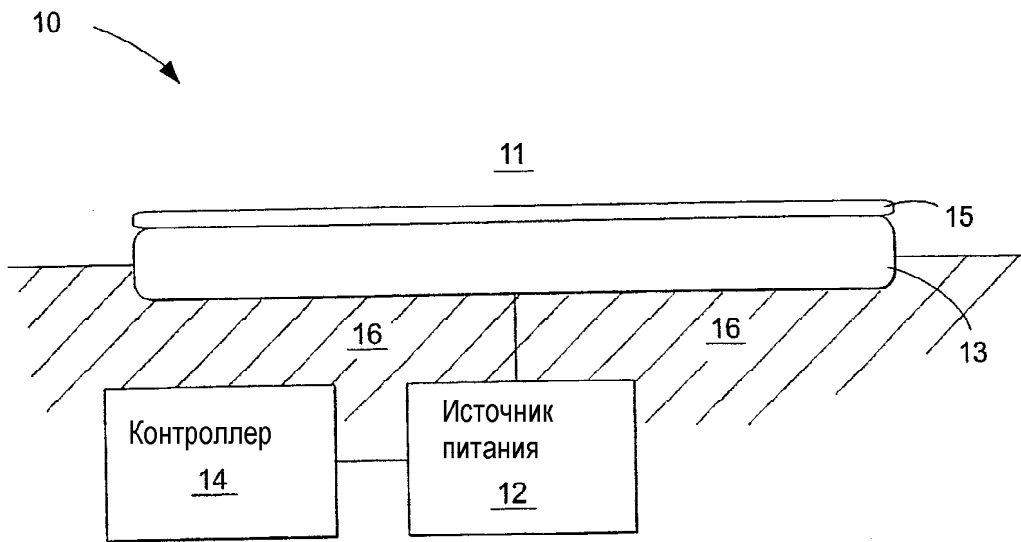
RU 2 289 892 C2

(54) СИСТЕМЫ И СПОСОБЫ ИЗМЕНЕНИЯ ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛА МЕЖДУ ЛЬДОМ И ОБЪЕКТОМ

(57) Реферат:

Система содержит источник питания, способный генерировать определенную величину мощности. Величина мощности достаточна для растапливания слоя льда на границе раздела, причем толщина граничного слоя обычно составляет от одного микрона до одного миллиметра. Контроллер можно использовать для ограничения длительности

генерации источником питания определенной величины мощности, чтобы ограничивать ненужное рассеяние энергии в окружающую среду. Изменение импульсной энергии нагрева, поступающей на границу раздела, приводит к изменению коэффициента трения между объектом и льдом, что облегчает удаление обледенения. 9 н. и 78 з.п. ф-лы, 69 ил.



Фиг. 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,
PATENTS AND TRADEMARKS

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: **2004127250/09, 10.02.2003**

(24) Effective date for property rights: **10.02.2003**

(30) Priority:
11.02.2002 US 60/356,476
23.07.2002 US 60/398,004
21.08.2002 US 60/404,872

(43) Application published: **27.01.2006**

(45) Date of publication: **20.12.2006 Bull. 35**

(85) Commencement of national phase: **13.09.2004**

(86) PCT application:
US 03/04170 (10.02.2003)

(87) PCT publication:
WO 03/069955 (21.08.2003)

Mail address:
129010, Moskva, ul. B. Spasskaja, 25, str.3,
OOO "Juridicheskaja firma Gorodisskij i
Partnery", pat.pov. Ju.D.Kuznetsovu, reg.№ 595

(72) Inventor(s):
PETRENKO Viktor (US)

(73) Proprietor(s):
DZE TRASTRIZ OF DARTMUT KOLLEDZh (US)

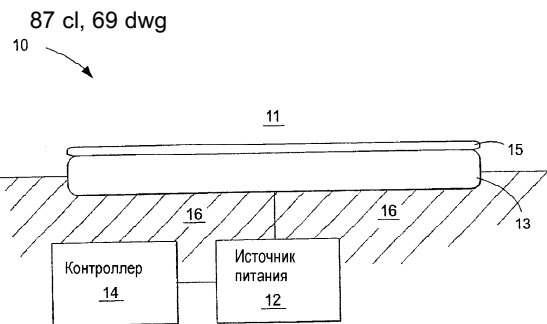
(54) **SYSTEMS AND METHODS FOR THERMAL CHANGE OF ICE-TO-OBJECT INTERFACE**

(57) Abstract:

FIELD: deicing systems and methods.

SUBSTANCE: proposed system has power supply capable of definite-value power generation. Power generated is sufficient for melting ice crust at interface, boundary layer thickness being usually from one micron to one millimeter. Controller can be used for limiting time of definite power generation by power supply to limit unwanted power dissipation into environment. Varying heating energy pulse arriving at interface changes object-to-ice friction.

EFFECT: facilitated deicing procedure.



Фиг. 1

RU 2 289 892 C2

RU 2 289 892 C2

Родственные заявки

Данная заявка опирается на приоритет предварительной заявки на патент США №60/356476, поданной 11 февраля 2002 г., на приоритет предварительной заявки на патент США №60/398004, поданной 23 июля 2002 г., и на приоритет предварительной
5 заявки на патент США №60/404872, поданной 21 августа 2002 г.

Область техники

Настоящее изобретение относится к системам и способам изменения границы раздела между льдом и объектом.

Предшествующий уровень техники

10 Обледенение создает много проблем в различных областях промышленности. Такая проблема существует в авиационной промышленности, когда лед образуется на поверхности самолета. Лед на поверхности самолета, например крыле, может создавать опасные условия для самолета в полете. Другой пример можно привести для наземного транспорта, когда лед образуется на ветровом стекле автомобиля и может создавать
15 опасные условия для водителя автомобиля. Удаление льда с таких поверхностей позволяет свести опасность к минимуму.

Современные системы для удаления льда включают в себя электрические нагреватели, которые подают энергию на резистивные элементы для генерации тепла. Другие известные системы включают в себя химические растворы для реализации химических реакций для
20 термического растворения льда. Электрические нагреватели подают определенную энергию на резистивный элемент, чтобы непосредственно и пропорционально растапливать весь лед с поверхности, контактирующей с электрическими нагревателями. Химические растворы могут термически растворять лед, но не действуют в течение длительного времени и создают нежелательные условия для окружающей среды. Эти
25 системы неэффективны, поскольку стремятся растопить весь лед.

Способы удаления льда включают в себя использование механического скребка. Механические скребки часто используются для удаления прилипшего к поверхности объекта льда. Однако механические скребки часто бывают ручными и неудобны в
30 использовании. Кроме того, механические скребки не всегда эффективно удаляют лед и могут повреждать поверхность, к которой прилип лед.

Несвоевременное удаление льда с поверхности объекта может, в принципе, иметь катастрофические последствия. Например, перегруз за счет льда на самолете в полете может опасно снизить подъемную силу самолета и нарушить правильную работу некоторых узлов самолета. Другой пример включает нарастание льда на ветровом стекле автомобиля,
35 если лед не удалить, видимость для водителя может ухудшиться настолько, что он не сможет вести машину.

Сущность изобретения

Следующие патенты и патентные заявки обеспечивают полезную информацию и поэтому включены в описание посредством ссылки: патент США №6027075; патент США
40 №6427946; заявка PCT PCT/US/25124, поданная 26 октября 1999 г.; заявка PCT PCT/US/28330, поданная 30 ноября 1999 г.; заявка PCT PCT/US/01858, поданная 22 января 2002 г.; заявка PCT PCT/US00/35529, поданная 28 декабря 2000 г.; заявка на патент США №09/971287, поданная 4 октября 2001 г.; и заявка на патент США №09/970555, поданная 4 октября 2001 г.

45 Согласно одному аспекту импульсная антиобледенительная система нагревает границу раздела лед-поверхность объекта, нарушая прилипание льда и/или снега (или просто лед) к поверхности. Для снижения энергопотребления, в одном варианте осуществления предусмотрено, что импульсный антиобледенитель использует очень малую скорость распространения тепла в неметаллических твердых материалах, включая лед и снег, и
50 подает энергию нагрева на поверхность в течение достаточно короткого времени, чтобы тепло не уходило далеко от границы раздела. Соответственно, большая часть тепла используется для нагрева и растапливания только очень тонкого слоя льда (далее именуемого «границный лед»). Система содержит источник питания, способный

генерировать определенную мощность. В одном случае мощность обратно пропорциональна величине энергии, используемой для растапливания льда на границе раздела. Импульсная антиобледенительная система может также включать в себя контроллер для ограничения времени, в течение которого источник питания генерирует определенную величину мощности. Длительность, по существу, обратно пропорциональна квадрату величины мощности. Источник питания может также включать в себя переключаемый источник питания, способный выдавать импульсное напряжение. Импульсное напряжение может выдаваться накопительным устройством, например батареей или конденсатором. Таким образом, батарею или конденсатор можно использовать для подачи мощности на нагревательный элемент, который термически связан с границей раздела. В некоторых случаях импульсное напряжение можно непосредственно подавать на нагревательный элемент, чтобы нарушать прилипание льда к поверхности. Согласно другому аспекту нагревательный элемент включает в себя тонкую пленку из проводящего материала или тонкую пленку, содержащую полупроводниковый материал. Полупроводниковый материал не затрудняет обзор через тонкую пленку, что позволяет использовать его с таким «объектом», как ветровое стекло машины. Источник питания может модулировать мощность, подаваемую на полупроводниковый материал, для преобразования мощности в тепловую энергию. Модулированная мощность переносит определенную величину тепловой энергии, которая может нарушать прилипание льда к поверхности.

В некоторых аспектах, конденсатор является либо суперконденсатором, либо ультраконденсатором. Источником питания является маховик и/или высоковольтный источник питания. Мощность от источника питания может преобразовываться в тепловую энергию, чтобы нарушать прилипание льда к поверхности объекта. Например, система может использовать источник питания для удаления льда и снега с поверхности самолета, шины, ветрового стекла автомобиля, лодки, дороги, моста, тротуара, морозильника, холодильника, здания, беговой дорожки или окна. Специалистам в данной области техники ясно, что с помощью импульсной антиобледенительной системы можно удалять лед и с других объектов.

Согласно еще одному аспекту система теплопередачи использует подсистему аккумуляции тепла, подключенную к нагревательному элементу. Нагревательный элемент может включать в себя теплопроводящий материал, например металл. Нагревательный элемент может включать в себя мембрану, присоединенную к нагревательному элементу. Мембрана, например, может быть надувной, что препятствует переносу тепла к поверхности объекта, с которого надлежит удалять лед. Когда мембрана сдувается, нагревательный элемент переносит тепловую энергию к поверхности, что нарушает прилипание льда к поверхности. Мембрану можно часто надувать и сдувать, чтобы модулировать перенос тепловой энергии к поверхности.

Согласно другому аспекту нагревательный элемент содержит два участка теплопроводящего материала, разделенные теплоизолятором. По меньшей мере один из участков теплопроводящего материала присоединен к теплоизолятору с возможностью перемещения, так что когда участки располагаются определенным образом, два участка физически контактируют друг с другом. Перемещение по меньшей мере одного из участков можно модулировать с определенной частотой, в результате чего один участок теплопроводящего материала переносит на другой участок надлежащую величину тепловой энергии. Перенос тепловой энергии нарушает прилипание льда к поверхности другого участка.

Согласно еще одному аспекту предусмотрен способ термического изменения граничного льда на границе раздела между объектом и льдом. Способ включает в себя этап подачи тепловой энергии на границу раздела для растапливания граничного слоя льда. Этап подачи ограничен по времени, в результате чего происходит рассеяние энергии нагрева, подаваемого на границу раздела, причем расстояние рассеяния тепла во льду не превышает толщину граничного слоя льда.

Этап подачи тепловой энергии содержит этап подачи на границу раздела мощности, величина которой по меньшей мере приблизительно обратно пропорциональна величине энергии, используемой для растапливания граничного слоя льда. Ограничение длительности осуществляется путем ограничения длительности этапа подачи мощности на границу раздела так, что длительность по меньшей мере приблизительно обратно пропорциональна квадрату величины мощности.

В другом случае этап подачи энергии нагрева включает в себя этап подачи на границу раздела мощности, величина которой, по существу, обратно пропорциональна величине энергии, используемой для растапливания граничного льда. Ограничение длительности осуществляется путем ограничения длительности так, что длительность, по существу, обратно пропорциональна квадрату величины мощности.

Способ включает в себя дополнительный этап облегчения повторного замораживания граничного слоя льда для влияния на коэффициент трения между объектом и льдом. Например, этап облегчения может включать в себя один или несколько из следующих этапов: (1) ожидание повторного замораживания после этапа ограничения длительности; (2) обдувание границы раздела холодным воздухом; (3) распыление воды на границе раздела.

Согласно определенным аспектам объектом является один из элементов: конструкция самолета, ветровое стекло, зеркало, фара, линия электропередачи, конструкция фуникулера, поверхность ротора ветряной установки, поверхность ротора вертолета, крыша, палуба, конструкция здания, дорога, конструкция моста, конструкция морозильника, антенна, спутниковая антенна, железнодорожная конструкция, конструкция туннеля, кабель, дорожный знак, снегоступ, лыжа, сноуборд, конек и ботинок.

Согласно другому аспекту этап подачи энергии нагрева на границу раздела включает в себя этап подачи тепловой энергии на границу раздела для растапливания граничного слоя льда толщиной менее, пяти сантиметров. В некоторых случаях этап способа ограничивает длительность, в результате чего граничный слой льда имеет толщину менее одного миллиметра. Согласно другому варианту расстояние рассеяния тепла дополнительно ограничивают путем ограничения длительности импульса, в результате чего толщина граничного слоя составляет от одного микрона до одного миллиметра.

На этапе ограничения длительности тепловую энергию на границу раздела подают в течение максимум 100 с. Согласно другому варианту на этапе ограничения длительности длительность подаваемой тепловой энергии ограничивают величиной от 1 мс до 10 с.

Согласно еще одному аспекту этап подачи тепловой энергии на границу раздела включает в себя этап подачи мощности на нагревательный элемент, термически связанный с границей раздела, находящийся в объекте и/или контактирующий с границей раздела. Этап подачи тепловой энергии может содержать этап создания электрического сопротивления для мощности с помощью нагревательного элемента.

Этапы подачи и ограничения периодически повторяют для создания нужного коэффициента трения между объектом и льдом.

Мощность повторно подается на границу раздела после повторного замораживания граничного слоя для избирательной регулировки коэффициента трения между льдом и объектом, когда объект перемещается по льду.

Специалистам в данной области известно, что в определенных случаях лед может содержать или быть заменен снегом без отклонения от объема изобретения.

Согласно одному аспекту объект представляет собой скользящее тело, например ботинок, сноуборд или лыжу.

Согласно изобретению предложен способ управления коэффициентом трения между объектом и льдом, содержащий следующие этапы:

- (1) подают импульсную мощность на границу раздела между объектом и льдом, чтобы растопить граничный слой льда на границе раздела и снизить коэффициент трения,
- (2) облегчают повторное замораживание граничного льда на границе раздела, чтобы увеличить коэффициент трения,

(3) повторяют под контролем этапы (1) и (2), при этом управляют средним коэффициентом трения между объектом и льдом.

Этап облегчения повторного замораживания включает в себя этап перемещения объекта по льду для понижения температуры объекта. Например, автомобильная шина может быть нагрета, а затем вращаться (при движении машины) для приведения нагретой шины в контакт с обледеневшей дорогой, для облегчения повторного замораживания.

Этап подачи импульсной мощности включает в себя этапы обдува объекта (например, автомобильной шины) первым воздухом, который имеет температуру выше точки замерзания и перемещения объекта в контакте со льдом. Этап облегчения повторного замораживания включает в себя этап обдува объекта (например, шины) вторым воздухом, температура которого ниже температуры первого воздуха.

Предусмотрено, что поверхность скользящего тела должна контактировать со льдом или снегом. Источник питания (например, батарея) генерирует мощность. Нагревательный элемент способен преобразовывать мощность в тепло на поверхности, причем тепла достаточно для растапливания граничного слоя льда на границе раздела. Контроллер управляет подачей мощности на нагревательный элемент, чтобы регулировать коэффициент трения между скользящим телом и льдом или снегом.

В качестве скользящего тела может выступать, например, ботинок, сноуборд, лыжа или снегоступ.

Согласно одному аспекту скользящее тело представляет собой лыжу, конек или сноуборд, а контроллер реагирует на команды пользователя, модулируя мощность, подаваемую на поверхность, что позволяет управлять скоростью скользящего тела. Таким образом, лыжник может, по желанию, регулировать свою скорость при спуске на лыжах.

Согласно еще одному аспекту предусмотрен антиобледенитель ветрового стекла. Антиобледенитель ветрового стекла содержит ветровое стекло и практически прозрачный нагревательный элемент, размещенный на ветровом стекле, который генерирует тепло при подаче мощности в количестве, достаточном для растапливания граничного слоя льда на ветровом стекле.

Нагревательный элемент выбирают из визуально прозрачного полупроводникового материала, у которого ширина запрещенной зоны для электронов превышает примерно 3 эВ. В качестве такого материала можно использовать ZnO, ZnS или их смеси.

Согласно другому варианту выполнения нагревательный элемент выбирают из прозрачного проводящего материала. Например, в качестве проводящего материала можно использовать оксид индия-олова (ITO), оксид олова, тонкие металлические пленки или их смеси.

Краткое описание чертежей

В дальнейшем изобретение поясняется описанием предпочтительных вариантов воплощения со ссылками на сопровождающие чертежи, на которых:

фиг.1 изображает схему импульсной антиобледенительной системы для изменения границы раздела между объектом и льдом согласно изобретению;

фиг.2 - схему импульсной антиобледенительной системы согласно изобретению;

фиг.3 - схему импульсной антиобледенительной системы согласно изобретению;

фиг.4 - схему импульсной антиобледенительной системы согласно изобретению;

фиг.5 - схему импульсной антиобледенительной системы согласно изобретению;

фиг.6 - схему импульсной антиобледенительной системы для крыла самолета согласно изобретению;

фиг.7 - схему многослойного нагревательного элемента импульсного антиобледенителя согласно изобретению;

фиг.8 - схему нагревательного элемента импульсного антиобледенителя согласно изобретению;

фиг. 9 и 10 - расстояние рассеяния тепла за определенное время для импульсного антиобледенительного устройства согласно изобретению;

фиг.11 - диаграмму зависимости времени размораживания от энергии удаления льда

для импульсной антиобледенительной системы согласно изобретению;

фиг.12 - схему ВЧ антиобледенительной системы для изменения границы раздела льда и объекта согласно изобретению;

фиг.13 - схему ВЧ антиобледенительной системы согласно изобретению;

5 фиг.14 - диаграмму для анализа ВЧ антиобледенительной системы согласно изобретению;

фиг.15 - множество видов одной гребенчатой электронной схемы, используемой в ВЧ антиобледенительной системе согласно изобретению;

10 фиг.16 - общий вид и вид сверху гребенчатой электронной схемы, используемой в ВЧ антиобледенительной системе согласно изобретению;

фиг.17 - диаграмму частотной зависимости электропроводности льда и диэлектрической проницаемости льда согласно изобретению;

фиг.18 - электрическую схему ВЧ антиобледенителя согласно изобретению;

15 фиг.19-29 - диаграммы результатов определенных испытаний схемы, показанной на фиг.18 согласно изобретению;

фиг.30-35 - диаграммы конвекционного механизма теплопередачи в ВЧ антиобледенительной системе и перенос тепла через подложку ВЧ антиобледенительной системы согласно изобретению;

20 фиг.36 - схему антиобледенительной системы с теплопередачей для изменения границы раздела объекта и льда согласно изобретению;

фиг.37 - схему антиобледенительной системы с теплопередачей согласно изобретению;

фиг.38 - схему антиобледенительной системы с теплопередачей согласно изобретению;

фиг.39 - схему импульсной антиобледенительной системы, позволяющая сравнить ее с антиобледенительной системой с теплопередачей согласно изобретению;

25 фиг.40 - схему антиобледенительной системы с теплопередачей согласно изобретению;

фиг.41 - схему антиобледенительной системы с теплопередачей согласно изобретению;

фиг.42-46 - диаграммы для анализа антиобледенительной системы с теплопередачей согласно изобретению;

фиг. 47 и 48 - характеристики скользящего тела согласно изобретению;

30 фиг.49 - схему скользящего устройства, иллюстрирующую испытание на изменение трения на границе раздела объекта и льда, согласно изобретению;

фиг. 50 и 51 - скользящее тело в виде лыжи согласно изобретению;

фиг.52 - скользящее тело в виде сноуборда согласно изобретению;

фиг.53 - скользящее тело в виде ботинка согласно изобретению;

35 фиг.54 - скользящее тело в виде шины согласно изобретению;

фиг.55 - схему испытательной конфигурации скользящего тела согласно изобретению;

фиг.56 - скользящее тело в виде гусеницы согласно изобретению;

фиг.57 - скользящее тело в виде лыжи согласно изобретению;

фиг.58 - скользящее тело в виде шины согласно изобретению;

40 фиг.59 - схему испытательной конфигурации скользящего тела согласно изобретению;

фиг.60 - диаграмму зависимости между коэффициентами трения скользящих тел и напряжением, подаваемым на нагревательные элементы, присоединенные к скользящим телам согласно изобретению;

45 фиг.61 - диаграмму зависимости между силой трения покоя и нормальным давлением, оказываемым скользящими телами на снег согласно изобретению;

фиг.62 - диаграмму зависимости между коэффициентами трения скользящих тел и напряжением, подаваемым на присоединенный нагревательный элемент согласно изобретению;

50 фиг.63 - диаграмму зависимости между коэффициентами трения одного скользящего тела и временем, необходимым для остановки скользящего тела согласно изобретению;

фиг.64 - диаграмму другой зависимости между коэффициентами трения одного скользящего тела и напряжением, подаваемым на присоединенный нагревательный элемент согласно изобретению;

фиг. 65 и 66 - диаграммы тепловой энергии и времени охлаждения скользящего тела согласно изобретению;

фиг.67 - схему, позволяющую проанализировать увеличение трения для скользящего тела, согласно варианту осуществления, где в качестве скользящего тела выступает шина согласно изобретению;

фиг. 68 и 69 - диаграммы трения между скользящим телом и снегом согласно изобретению.

Подробное описание изобретения

Описанные ниже конкретные варианты осуществления изобретения относятся к системам и способам изменения границы раздела между объектом и льдом. Согласно одному варианту осуществления система подает энергию на границу раздела между льдом (или снегом) и поверхностью объекта для удаления льда с поверхности с целью «антиобледенения» объекта. Согласно другому варианту осуществления система модулирует растапливание в граничном слое льда на границе раздела лед-объект, в результате чего растопленный граничный слой быстро повторно замораживают, что позволяет изменять коэффициент трения между поверхностью объекта и льдом.

Определенные варианты осуществления антиобледенителей или скользящих тел предусматривают использование высокочастотных (ВЧ) источников питания переменного тока (АС), другие варианты осуществления антиобледенителей или скользящих тел предусматривают использование источников питания постоянного тока (DC) и/или системы переноса тепловой энергии (например, системы аккумуляции тепла).

Нижеследующие разделы озаглавлены так: «Импульсные антиобледенительные системы», «Нагревательные элементы, используемые в импульсных антиобледенительных системах», «Анализ импульсных антиобледенительных систем», «ВЧ антиобледенительные системы», «Гребенчатая электронная схема для использования в импульсной антиобледенительной системе», «Анализ ВЧ антиобледенительных систем», «Антиобледенительные системы с теплопередачей», «Анализ антиобледенительных систем с теплопередачей», «Способы регулировки коэффициента трения» и «Анализ регулировки коэффициента трения».

В некоторых разделах, описывающих импульсные антиобледенительные системы, описаны операции удаления льда путем растапливания граничного слоя льда, налипшего на поверхность объекта. Нагревательные элементы некоторых импульсных антиобледенительных систем также могут использоваться для растапливания граничного слоя, например, путем электрического подключения к источнику питания постоянного или переменного тока. Другие варианты осуществления импульсных антиобледенительных систем предусматривают модуляцию нагрева на границе раздела льда и объекта, из-за чего объект повторно замораживается (в течение периода отсутствия нагрева) и коэффициент трения между объектом и льдом изменяется. Некоторые импульсные антиобледенители действуют в качестве скользящего тела или совместно с ним, что описано ниже.

В некоторых разделах, описываются операции по удалению льда путем растапливания граничного слоя льда, налипшего на поверхность объекта. Гребенчатые электроды некоторых ВЧ антиобледенительных систем могут использоваться для растапливания граничного слоя и могут запитываться, например, от источника питания переменного тока.

Другие варианты осуществления ВЧ антиобледенительных систем можно использовать для изменения коэффициента трения между льдом и скользящим телом. Под скользящим телом подразумевается объект, который может контактировать со льдом и/или снегом. Он может скользить в силу взаимодействия со льдом и/или снегом и коэффициента трения между скользящим телом и льдом и/или снегом. Примеры скользящих тел включают в себя шины, лыжи, сноуборды, ботинки, гусеницы снегоходов, полозья саней, шасси самолетов и т.д.

В некоторых разделах описаны антиобледенительные системы с теплопереносом для удаления льда путем растапливания граничного слоя льда, налипшего на поверхность

объекта. Антиобледенительные системы с теплопереносом могут содержать подсистемы аккумуляции тепла, в которых накапливается тепловая энергия. Тепловая энергия, накопленная в подсистемах аккумуляции тепла, может переноситься на нагревательный элемент, термически связанный с границей раздела объекта и льда. Некоторые варианты

5 осуществления антиобледенительных систем с теплопереносом предусматривают аккумуляцию тепловой энергии и избирательный или управляемый перенос этой энергии на границу раздела объекта со льдом.

В других приведенных ниже вариантах осуществления изобретения описаны системы, изменяющие коэффициент трения между льдом и скользящим телом путем растапливания

10 граничного слоя льда, примыкающего к скользящему телу. После растапливания граничный слой повторно замораживают для создания связи между скользящим телом и льдом. Эта связь действует как «тормоз», который увеличивает коэффициент трения между скользящим телом и льдом. Затем повторно растапливают граничный слой для разрушения связи, вновь изменяя коэффициент трения. Это модулируемое взаимодействие

15 замораживания и повторного замораживания на границе раздела объекта и льда позволяет регулировать коэффициент трения до нужной величины. Регулируемый коэффициент трения полезен в таких устройствах, как лыжи для гонок, снегоступы, ботинки, сноуборды, коньки и другие устройства, взаимодействующие со льдом и снегом.

Импульсные антиобледенительные системы

20 Импульсные антиобледенительные системы можно использовать для удаления льда с поверхности объекта. Системы можно также использовать для расплавления граничного слоя льда и/или изменения коэффициента трения на границе раздела объекта и льда, что более подробно описано ниже.

На фиг.1 показана импульсная антиобледенительная система 10 для изменения

25 границы 15 раздела между объектом 16 и льдом 11. Система 10 содержит источник 12 питания, контроллер 14 и нагревательный элемент 13. Источник 12 питания способен генерировать мощность, величина которой обратно пропорциональна величине энергии, используемой для растапливания граничного льда (ниже именуемого «граничный лед») на границе 15 раздела. Нагревательный элемент 13 подключен к источнику 12 питания для

30 преобразования мощности в тепло на границе 15 раздела. Контроллер 14 подключен к источнику 12 питания для ограничения времени, в течение которого нагревательный элемент 13 преобразует мощность в тепло. Время, в течение которого нагревательный элемент 13 преобразует мощность в тепло на границе 15 раздела, по существу, обратно пропорционально квадрату величины мощности.

35 В частности, когда плотность мощности нагрева W ($\text{Вт}/\text{м}^2$) поступает в течение времени t на границу раздела между льдом и подложкой, тепло распространяется на расстояние l_{pl} во льду и на расстояние l_{pn} в подложке. Толщина этих нагретых слоев и их соответствующие теплоемкости определяют, насколько поглощается тепло. Если обозначить коэффициенты теплопроводности льда и

40 подложки λ_l и λ_n соответственно, ρ_l и ρ_n - соответствующие плотности и C_l и C_n - соответствующие удельные теплоемкости, то, как известно специалисту в этой области техники, тепловой поток Q_l во льду и тепловой поток Q_n в подложке можно выразить следующим образом:

$$Q_l \approx C_l l_{pl} \rho_l (T_T - T), \quad (0-1)$$

45 где $T_T - T$ - разность температур на границе раздела,

$$Q_n \approx C_n l_{pn} \rho_n (T_T - T) \quad (0-2)$$

$$l_{pl} = \sqrt{\frac{\lambda_l t}{\rho_l C_l}} \quad (0-3)$$

$$50 \quad l_{pn} = \sqrt{\frac{\lambda_n t}{\rho_n C_n}} \quad (0-4)$$

Решая Ур. (0-1) - Ур. (0-4) относительно суммарного количества теплоты, отводимого

с границы раздела, можно найти:

$$Q = Q_l + Q_n \approx W \cdot t = \frac{(T_r - T)^2}{W} \left[\sqrt{\rho_l c_l \lambda_l} + \sqrt{\rho_n c_n \lambda_n} \right] \quad (0-5)$$

где W - плотность мощности нагрева на границе раздела.

Вышеприведенный алгебраический анализ дает приближенный результат энергопотребления, предусмотренного импульсной антиобледенительной системой. Точный математический расчет путем решения уравнений в частных производных позволяет прогнозировать, для времени t удаления льда и энергии Q удаления льда, следующий иллюстративный вариант осуществления.

Например, контроллер 14 может регулировать время подачи мощности на нагревательный элемент 13 согласно следующему соотношению:

$$t = \frac{\pi(T_r - T)^2}{4W^2} \left[\sqrt{\rho_l c_l \lambda_l} + \sqrt{\rho_n c_n \lambda_n} \right]^2 \quad (1-1)$$

где T_r - температура таяния льда; T - температура окружающей среды; λ - коэффициент теплопроводности; ρ - плотность материала; C - удельная теплоемкость материала (нижний индекс «л» обозначает лед и/или снег, и нижний индекс «п» обозначает материал подложки); W - мощность на квадратный метр.

В этом примере контроллер 14 также регулирует величину мощности, подаваемой на нагревательный элемент 13, чтобы энергия Q на границе 15 раздела была, по существу, обратно пропорциональна величине мощности. В этом примере, контроллер 14 регулирует величину мощности согласно следующему соотношению:

$$Q = W \cdot t = \frac{\pi(T_r - T)^2}{4W} \left[\sqrt{\rho_l c_l \lambda_l} + \sqrt{\rho_n c_n \lambda_n} \right]^2 \quad (1-2)$$

Соответственно, чтобы достичь нужной температуры (например, для растапливания льда на границе 15 раздела), затратив меньше энергии, нужно повысить мощность нагрева W , подавая мощность нагрева в течение более короткого промежутка времени. Для сравнения, результат упрощенного анализа ур. 0-5 отличается от более точного решения ур. 1-2 коэффициентом $\pi/4 = 0,785$. Эти уравнения, в частности, полезны для описания коротких импульсов мощности, когда длина рассеяния тепла меньше толщины целевого объекта (например, толщины граничного льда на границе 15 раздела).

Более точное приближение можно получить, сложив энергию, используемую для растапливания очень тонкого слоя граничного льда и для нагрева тонкого нагревателя толщиной $d_{\text{наг}}$, Q_{min} :

$$Q_{\text{min}} = l_l \cdot q_l \cdot \rho_l + d_{\text{наг}} \cdot C_{\text{наг}} \cdot \rho_{\text{наг}} \cdot (T_r - T), \quad (1-3)$$

где l_l - толщина растопленного слоя; ρ_l - плотность льда; q_l - скрытая теплота плавления льда; $C_{\text{наг}}$ и $\rho_{\text{наг}}$ - удельная теплоемкость и плотность нагревателя. В данном примере, контроллер 14 может регулировать величину мощности согласно следующему соотношению:

$$Q = \frac{\pi(T_r - T)^2}{4W} \left[\sqrt{\rho_l c_l \lambda_l} + \sqrt{\rho_n c_n \lambda_n} \right]^2 + d_{\text{наг}} \cdot q_l \cdot \rho_l + d_{\text{наг}} \cdot C_{\text{наг}} \cdot \rho_{\text{наг}} \cdot (T_r - T). \quad (1-4)$$

Энергия, полученная по Ур. 1-4, приведена из расчета на квадратный метр (Дж/м²). В ур. 1-4 можно также добавить член, связанный с конвективным механизмом теплопроводности, но этим членом обычно пренебрегают из-за очень малой длительности импульса нагрева. Когда толщина подложки и/или слоя льда меньше длин рассеяния тепла (ур. 0-3, ур. 0-4 соответственно), энергия оказывается даже меньше полученной из Ур. 1-4.

Систему 10 можно, например, использовать в автомобиле для удаления льда с ветрового стекла (как объекта 16). В этом примере, нагревательный элемент 13 прозрачен и встроен в ветровое стекло 16, а источник 12 питания и контроллер 14 действуют совместно, подавая мощность, достаточную для растапливания граничного льда на границе 15 раздела в соответствии с ур. 1-1 и 1-2.

Чтобы дальше проиллюстрировать работу системы 10, рассмотрим свойства льда:

$$\lambda_{\text{л}} = 2,2 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}, \rho_{\text{л}} = 920 \text{ кг/м}^3, c_{\text{л}} = 2 \text{ кДж/кг}\cdot\text{К}, q_{\text{л}} = 333,5 \text{ кДж/кг}. \quad (1-5)$$

Свойства обычного ветрового стекла (например, в качестве подложки) таковы:

$$\lambda_{\text{п}} \approx 1 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}, \rho_{\text{п}} \approx 3000 \text{ кг/м}^3, c_{\text{п}} \approx 1,54 \text{ кДж/кг}\cdot\text{К}. \quad (1-6)$$

5 Согласно ур. 1-1 время, необходимое для достижения температуры таяния льда (0°C) при начальной температуре -10°C и при плотности потока энергии 100 кВт/м^2 , составляет $t \approx 0,142$ секунд для подложки 16 из стекла или стеклоподобного материала. Коррекция на основании ур. 1-3 может добавить к длительности около $0,016$ секунд, т.е. около 10%.

10 При снижении пиковой мощности нагрева в десять раз (например, со 100 кВт/м^2 до 10 кВт/м^2) это время возрастает примерно на два порядка. Для сравнения, при -30°C полное время удаления льда при $W = 100 \text{ кВт/м}^2$ может составлять $1,42$ секунд. Соответствующую полную энергию Q удаления льда при $W = 100 \text{ кВт/м}^2$ и -10°C можно выразить как

$$Q = 100 \text{ кВт/м}^2 \cdot 0,158 \text{ с} = 15,8 \text{ кДж/м}^2. \quad (\text{Ур. 1-7})$$

15 При той же температуре и более низкой мощности $W = 10 \text{ кВт/м}^2$ энергия Q , выражаемая посредством Ур. 1-4, будет

$$Q = 144 \text{ кДж/м}^2. \quad (\text{Ур. 1-8})$$

Этот результат почти на порядок величины больше, чем при $W = 100 \text{ кВт/м}^2$.

20 Преимущество вышеприведенного примера состоит в использовании пониженной энергии удаления льда по сравнению с известными системами, примерно на один порядок величины за счет увеличения плотности потока энергии примерно на порядок при сокращении времени подачи мощности примерно на два порядка. Благодаря ограничению времени подачи мощности на границу 15 раздела ограничивается сток тепловой энергии в окружающую среду и в массу льда 11. Напротив, благодаря более коротким импульсам мощности больше энергии остается в пределах границы 15 раздела для растапливания граничного льда.

На фиг.2 показана импульсная антиобледенительная система 20 согласно другому варианту осуществления изобретения. Антиобледенительная система 20 содержит источник 22 питания постоянного тока, конденсатор 26, резистивный нагревательный элемент 28 и переключатель 24. Источник 22 питания постоянного тока способен подавать мощность для зарядки конденсатора, когда переключатель 24 замкнут на контакт 23. Конденсатор 26, будучи подключен к резистивному нагревательному элементу 28 через контакт 25, способен выдавать определенную мощность в соответствии с уравнениями фиг.1. Переключатель 24 находится, например, под оперативным управлением контроллера или микропроцессора для выдачи импульса тока с конденсатора 26 на резистивный нагревательный элемент 28, когда переключатель 24 замкнут на контакт 25 (Ур. 1-1 фиг.1). Источник питания 22 постоянного тока заряжает конденсатор 26, когда переключатель 24 замкнут на контакт 23. После зарядки конденсатора 26 переключатель 24 размыкается, а затем замыкается на контакт 25 для разряда тока в резистивный нагревательный элемент 28. Резистивный нагревательный элемент 28 генерирует достаточную мощность нагрева для растапливания граничного слоя льда на границе объекта, например на границе 15 (фиг.1). В зависимости от применения импульсной антиобледенительной системы 20 астапливание граничного слоя полезно для удаления льда с поверхности объекта, предотвращения его образования на поверхности и/или изменения прочности его прилипания и/или изменения коэффициента трения между льдом или снегом и объектом.

На фиг.3 показана импульсная антиобледенительная система 30 согласно еще одному варианту осуществления. Импульсная антиобледенительная система 30 содержит пару силовых шин 32, нагревательный элемент 34, конденсатор 38, переключатель 36 и источник 37 питания. Импульсная антиобледенительная система 30 способна удалять лед, примыкающий к элементу 34 (например, элемент 34 расположен с, в и/или на объекте, с которого нужно удалить лед). В показанном на фиг.3 варианте осуществления конденсатор 38 является суперконденсатором, имеющим емкость около 1000 Ф и потенциал около $2,5 \text{ В}$,

например суперконденсатор PC2500 производства Maxwell Technology. Кроме того, нагревательный элемент 34 содержит лист фольги из нержавеющей стали толщиной 50 мкм, присоединенный к пластине из плексигласа толщиной 1 см, и источник 37 питания представляет собой источник питания постоянного тока с ЭДС 2,5 В. Переключатель 36
5 может действовать как сильноточный механический переключатель для ограничения времени, в течение которого источник 37 питания подает мощность на нагревательный элемент 34. В некоторых случаях переключатель 36 действует как электрический переключатель, получающий управляющий сигнал от контроллера, например контроллера 14 (фиг.1). Сопротивление нагревательного элемента 34 составляет около 6 мОм. При
10 начальной плотности мощности около 40 кВт/м², полной накопленной энергии около 3,125 кДж и полной плотностью энергии около 83,33 кДж/м² импульсная антиобледенительная система 30 эффективно удаляет около 2 см льда на площади поверхности около 375 см² приблизительно за одну секунду при температуре окружающей среды около -10°C с использованием плотности энергии около 40 кДж/м².

15 Согласно еще одному варианту осуществления импульсной антиобледенительной системы 30 конденсатор 38 является автомобильным аккумулятором, например, EverStart®; автомобильным аккумулятором с пиковым током около 1000 А и потенциалом около 12 В. Кроме того, согласно этому варианту осуществления нагревательный элемент 34 содержит лист фольги из нержавеющей стали толщиной 100 мкм, присоединенный к
20 пластине из плексигласа толщиной 1 см. Переключатель 36 может представлять собой, например, реле. При начальной плотности мощности около 25 кВт/м² импульсная антиобледенительная система 30 эффективно удаляет около 2 см льда на площади поверхности около 375 см² приблизительно за две секунды при температуре окружающей
25 среды около -10°C с использованием плотности энергии около 50 кДж/м². Согласно еще одному варианту осуществления источник питания 37 представляет собой источник питания постоянного тока 2,5 В, который заряжает конденсатор 38.

На фиг.4 показана одна импульсная антиобледенительная система 40, отвечающая еще одному варианту осуществления изобретения. Антиобледенительная система 40 содержит
30 источник 42 питания постоянного тока, конденсатор 45, резистивный нагревательный элемент 46, преобразователь 44 постоянного тока и переключатель 48. Источник 42 питания постоянного тока способен подавать мощность через преобразователь 44 постоянного тока, чтобы заряжать конденсатор 45, когда переключатель 48 замкнут на контакт 41. Преобразователь 44 постоянного тока способен повышать напряжение,
35 выдаваемое источником 42 питания постоянного тока. Конденсатор 45 подключен к резистивному нагревательному элементу 46 через контакт 43 и способен выдавать некоторую мощность в соответствии с уравнениями фиг.1. Переключатель 48 находится, например, под оперативным управлением контроллера или микропроцессора для выдачи импульса тока с конденсатора 45 на резистивный нагревательный элемент 46, когда
40 переключатель 48 замкнут на контакт 43 (Ур. 1-1 фиг.1). Источник 42 питания постоянного тока заряжает конденсатор 45, когда переключатель 48 замкнут на контакт 43. После зарядки конденсатора 45 переключатель 48 размыкается, а затем замыкается на контакт 43 для разряда тока в резистивный нагревательный элемент 46. Резистивный
45 нагревательный элемент 46 генерирует достаточную мощность нагрева для растапливания граничного слоя льда. В зависимости от применения импульсной антиобледенительной системы 40 растапливание граничного слоя полезно для удаления льда с поверхности объекта, предотвращения его образования на поверхности и/или изменения прочности его прилипания и/или изменения коэффициента трения между льдом и объектом. Импульсная
50 антиобледенительная система 40 также полезна, когда недоступны большие подачи мощности или когда объекты имеют малую площадь поверхности контакта со снегом, например, для ботинка (например, ботинок 684, фиг.61). Согласно одному варианту осуществления импульсная антиобледенительная система 40 используется в качестве «импульсного тормоза», подробно описан ниже.

На фиг.5 показана импульсная антиобледенительная система 50 согласно еще одному

варианту осуществления изобретения. Импульсная антиобледенительная система 50 способна удалять лед с объекта и содержит антиобледенитель 62, пару силовых шин 64, термопару 63, блок 52 термопары, усилитель 54, батарею 58, реле 59, конденсатор 61, полупроводниковое реле (ППР) 60 и компьютерную систему 57. Антиобледенитель 62

5 подключен к силовым шинам 64 для приема мощности от батареи 58. Компьютерная система 57 подключена к антиобледенителю 62 через блок 52 термопары и усилитель 54 для приема температурной информации об антиобледенителе 62 через термопару 63. Компьютерная система 57 может включать в себя плату 55 аналого-цифрового преобразователя (АЦП), способную принимать температурную информацию в аналоговом

10 виде и преобразовывать аналоговую температурную информацию в цифровой формат для использования компьютерной системой 57, которая подключена к антиобледенителю 62 через ППР 60 для управления длительностью и величиной мощности, подаваемой на антиобледенитель 62, например, в соответствии с уравнениями фиг.1. Компьютерная система 57 оперативно управляет ППР 60 и реле 59 для подачи мощности от батареи 58 на

15 антиобледенитель 62.

ППР 60 можно заменить электромагнитом 67 и переключателем 66. Компьютерная система 57 может дополнительно включать в себя блок 56 транзисторно-транзисторной логики (ТТЛ) для подачи управляющей информации на ППР 60, так что, когда электромагнит 68 получает шаговый входной сигнал от модуля 56 ТТЛ, электромагнит 68

20 замыкает переключатель 65. Когда переключатель 65 закрыт, конденсатор 61 разряжается в электромагнит 67 для замыкания переключателя 66. Когда переключатель 66 замкнут, батарея 58 подает мощность на антиобледенитель 62. Компьютерная система 57 отключает мощность от антиобледенителя 62, когда температура возрастает до определенного уровня, что определяется термопарой 63. Компьютерная система 57

25 принимает температурную информацию от термопары 63 через блок 52 термопары и усилитель 54. Блок 52 термопары передает температурную информацию на компьютерную систему 57. Усилитель 54 усиливает температурную информацию, после чего плата 55 А/Ц преобразователя оцифровывает температурную информацию для компьютерной системы 57. Когда температура антиобледенителя 62 достигает определенного уровня,

30 достаточного для растапливания граничного слоя льда, компьютерная система 57 предписывает блоку 56 ТТЛ разомкнуть переключатель 65 посредством электромагнита 68. Поскольку переключатель 65 открывается, когда компьютерная система определяет, что следует отключить подачу мощности от антиобледенителя 62, конденсатор 61 разряжается и переключатель 66 размыкается, поскольку на электромагнит 67 уже не поступает

35 напряжение. При этом электромагнит 67 начинает заряжать конденсатор 61.

Антиобледенитель 62 выполнен из нержавеющей стали толщиной 50 мкм и присоединен к переднему краю малой аэродинамической поверхности (например, переднему открытому участку крыла самолета). Согласно этому варианту осуществления аэродинамическая поверхность имеет размах около 20 см и толщину около 5 см, и антиобледенитель 62

40 имеет размеры около 20 см x 10 см.

Система 50 была испытана следующим образом. Антиобледенитель 62 сформировали на аэродинамической поверхности и поместили в обледеняющую аэродинамическую трубу, его испытывали при скорости воздуха около 142 км/ч при -10°C с каплями воды размером около 20 мкм. На аэродинамической поверхности образовывался атмосферный лед. После

45 нарастания льда толщиной от 5 мм до 10 мм компьютерная система 57 предписывала батарее 58 подать мощность на антиобледенитель 62 в виде импульсов, как показано на фиг.5. При плотности мощности W около 100 Вт/м^2 и длительности t импульса мощности около 0,3 секунд антиобледенитель 62 растапливает граничный слой льда на аэродинамической поверхности, в результате чего прилипание льда к аэродинамической

50 поверхности существенно изменяется и/или исчезает. После этого лед удаляется с аэродинамической поверхности силой лобового сопротивления воздуха. Длительность импульса в этом примере больше, чем в примере ветрового стекла, по причине большей теплоемкости нагревателя из металлической фольги.

На фиг.6 показана импульсная антиобледенительная система 70 для крыла 80 самолета согласно одному варианту осуществления. Импульсная антиобледенительная система 70 содержит источник 74 питания и контроллер 78. Источник 74 питания способен генерировать мощность, величина которой, по существу, обратно пропорциональна
 5 величине энергии, используемой для растапливания граничного слоя льда на границе 73 раздела. Показано, что граница 73 раздела - это поверхность крыла 80 самолета, контактирующая со льдом и/или снегом. Импульсная антиобледенительная система 70 также содержит нагревательный элемент 75, подключенный к источнику 74 питания для преобразования мощности в тепло на границе 73 раздела. Система 70 содержит
 10 контроллер 78, подключенный к источнику 74 питания, для ограничения времени, в течение которого нагревательный элемент 75 преобразует мощность в тепло. Длительность подачи мощности, например, обратно пропорциональна квадрату величины мощности.

Система 70 также содержит детектор 72 льда и датчик 76 температуры. Датчик 76 температуры присоединен к границе 73 раздела, чтобы регистрировать температуру на границе 73 раздела. Датчик 76 температуры выдает температурную информацию о границе 73 раздела в виде сигнала обратной связи на контроллер 78. Контроллер 78 обрабатывает температурную информацию для управления режимом подачи мощности на нагревательный элемент 75 и/или границу 73 раздела.

Детектор 72 льда способен регистрировать толщину льда на границе 73 раздела. Детектор 72 льда может, например, включать в себя сетку из электродов, которая облегчает измерение толщины льда. Поскольку лед имеет уникальную диэлектрическую постоянную, отличающуюся от диэлектрических постоянных воды и воздуха, наличие и толщину льда можно определить, измерив межэлектродную емкость детектора 72 льда.
 25 Детектор 72 льда передает информацию о льде (например, наличие и толщину льда) на контроллер 78. Контроллер 78 обрабатывает информацию, чтобы определить, когда нужно подавать мощность на нагревательный элемент 75. Согласно одному варианту осуществления, когда лед на крыле 80 самолета достигает определенной толщины, контроллер 78 автоматически определяет необходимость удаления льда и оперативно
 30 предписывает источнику 74 питания подать мощность на нагревательный элемент 75.

Ниже описан пример эксплуатационных характеристик системы 70. Рассмотрим окружающую среду антиобледенителя, в которой внешняя температура T составляет около -10°C , скорость воздуха около 320 км/ч и толщина крыла 80 самолета около 10 см , при коэффициенте конвективного теплообмена h_k около $1200\text{ Вт/К}\cdot\text{м}^2$ (на основании
 35 экспериментальных данных).

Для сравнения, известная антиобледенительная система подает мощность W на поверхность крыла 80 самолета, чтобы поддерживать температуру T_T на поверхности крыла 80 самолета выше точки замерзания воды (например, 0°C), согласно следующему уравнению:

$$40 \quad W = h_k(T_T - T) = 12\text{ кВт/м}^2. \quad (\text{Ур. 6-1})$$

Поддержание этой мощности в течение трех минут дает большое количество энергии Q , выражаемое следующим уравнением:

$$W = 12 \cdot 10^3\text{ Вт/м}^2 \cdot 180\text{ с} = 432\text{ кДж/м}^2. \quad (\text{Ур. 6-2})$$

Импульсная антиобледенительная система 70 отличается от известной антиобледенительной системы тем, что растапливает граничный слой льда на границе
 45 раздела, а не весь лед. Импульсная антиобледенительная система 70 очищает аэродинамическую поверхность ото льда, используя только 30 кДж/м^2 . При трехминутном интервале между импульсами импульсная антиобледенительная система 70 потребляет
 50 очень низкую «среднюю» мощность:

$$W_{\text{сред}} = 30\text{ кДж/180 с}\cdot\text{м}^2 = 0,167\text{ кВт/м}^2. \quad (\text{Ур. 6-3})$$

В частности, результат Ур. 6-3 составляет только $1,4\%$ от того, что использует электротепловой антиобледенитель согласно Ур. 6-2.

Согласно этому варианту осуществления импульсная антиобледенительная система 70

выдает импульсы энергии на нагревательный элемент 75 согласно уравнениям фиг.1. Нагревательный элемент 75 может содержать сетку из электродов для растапливания граничного слоя льда на границе 73 раздела. Когда толщина льда достигает

определенного заранее заданного значения (например, 3 мм), контроллер 78 предписывает

5 источнику 74 питания подать короткий импульс мощности на нагревательный элемент 75. Длительность импульса зависит от температуры, выдаваемой датчиком 76 температуры, мощности, выдаваемой источником 74 питания, и физическими свойствами материала подложки (например, поверхности крыла 80 самолета и/или нагревательного элемента 75). Например, длительность импульса подаваемой мощности может выражаться Ур. 1-1 фиг.1.

10 В импульсной антиобледенительной системе 70 применяется второй датчик (не показан) вблизи нагревательного элемента 75 для улучшения регулировки мощности. Например, когда граничная температура достигает определенного значения при подаче импульсной мощности, контроллер 78 может предписать источнику 74 питания отключить мощность от нагревательного элемента 75 и, таким образом, сократить энергопотребление.

15 Эксперименты с различными нагревателями, например ВЧ нагревателем с потерями в диэлектрике и нагревателем постоянного тока, дают результаты, соответствующие вышеописанным теоретическим прогнозам. В некоторых рассмотренных здесь вариантах осуществления, когда площадь обледенения слишком велика, чтобы источник питания мог одновременно нагревать всю площадь, антиобледенение можно осуществлять участок за

20 участком. Например, можно удалить лед со всей структуры, последовательно удаляя лед с этих участков. Силы лобового сопротивления самолета могут дополнительно удалять лед с аэродинамической поверхности. Однако, поскольку требуется время, чтобы большая часть крыла 80 самолета, обращенная вперед, поддерживалась незамерзшей (например, разделительная полоса), может повыситься средняя мощность, выраженная в Ур. 6-3. В

25 импульсной антиобледенительной системе 70 можно использовать другие нагреватели, например нагреватель на отбираемом у компрессора горячем воздухе, имеющийся во многих самолетах.

Нагревательные элементы, используемые в импульсных антиобледенительных системах

30 В некоторых нижеописанных вариантах описаны нагревательные элементы, используемые в различных импульсных антиобледенительных системах. Эти нагревательные элементы получают мощность от источника питания, например источника питания постоянного тока, а затем растапливают граничный слой льда на границе

раздела. Когда граничный слой льда растоплен, лед удаляется или повторно

35 замораживается в зависимости от требований, что более подробно описано ниже.

На фиг.7 показана многослойная структура 90 нагревательного элемента антиобледенителя для удаления льда со структуры 92, например, путем подачи мощности в соответствии с уравнениями фиг.1. Многослойная структура 90 содержит электрический и теплоизолятор 94 подложки, электропроводящий слой 96 и защитный слой 98. Слой 96

40 получает мощность и преобразует ее в тепло для удаления льда со структуры 92 и/или предотвращения его формирования. Слой 96 является одним из различных описанных здесь нагревательных элементов. Согласно одному варианту осуществления многослойная структура 90 содержит совокупность отдельных компонентов, присоединенных к структуре 92, образующих «ячейки», в которых лед можно по отдельности удалять (например,

45 удалять ячейку за ячейкой или участок за участком).

Мощность, подаваемая на многослойную структуру 90, составляет от 10 кВт/м² до 100 кВт/м². Соответственно для подачи такой мощности нужно выбрать источник питания емкостью примерно от 10 кДж/м² до 100 кДж/м² в зависимости от требуемого времени

удаления льда и внешней температуры. Некоторые источники питания с такими

50 характеристиками представляют собой химические батареи, суперконденсаторы, ультраконденсаторы, электролитические конденсаторы, маховики, связанные с генераторами, преобразователи постоянного тока и инверторы и их комбинации.

Современные химические батареи отличаются высокой плотностью накопленной

электрической энергии (например, 60 кДж/кг для свинцовой батареи). Однако химические батареи имеют сравнительно низкую плотность мощности. Например, автомобильный аккумулятор может выдавать примерно до 1000 А при двенадцати вольтах в течение примерно десяти секунд, что соответствует мощности около 12 кВт. Типичный
5 автомобильный аккумулятор имеет большую емкость, примерно $Q \approx 12 \text{ В} \times 100 \text{ А} \times 3600 \text{ с} = 4,32 \cdot 10^6 \text{ Дж}$. Поэтому для использования в импульсных антиобледенительных системах и способах автомобильный аккумулятор может эффективно удалять лед с площадями примерно до 1,5 м², что идеально для автомобильных ветровых стекол.

10 Суперконденсаторы и ультраконденсаторы известны как хорошие источники пиковой мощности и пиковой емкости. Некоторые суперконденсаторы могут накапливать 10 Дж/кг и выдавать 1,5 кВт/кг мощности (например, суперконденсатор PC2500 производства Maxwell Technology). В качестве источника питания суперконденсаторы могут быть весьма пригодны для использования с многослойной структурой 90 в импульсных антиобледенительных системах.

15 Маховик, выполненный из легких композитных материалов и связанный с генератором, обеспечивает другой накопитель энергии. Некоторые маховики могут аккумулировать до 2 МДж/кг и, будучи связаны с генератором, могут выдавать плотность мощности около 100 кВт/кг. Например, мотор-генератор первоначально действует как мотор, раскручивая маховик до высокой скорости. Мотор использует маломощный источник, например источник
20 в 100 ватт или 1000 ватт (например, батарею). Когда нужна пиковая мощность, обмотки мотора отключаются от маломощного источника и подключаются к низкоомной нагрузке (например, электропроводящему слою 96), тем самым преобразуя кинетическую энергию, накопленную маховиком, в тепло.

25 Некоторые варианты применения импульсных антиобледенителей предусматривают использование высокоомных электронагревателей (например, резистивного нагревательного элемента антиобледенителя автомобильного ветрового стекла) и поэтому могут нуждаться в высоковольтном источнике питания. Например, антиобледенитель автомобильного ветрового стекла может использовать от 120 вольт до 240 вольт. Это напряжение превышает выходное напряжение обычного автомобильного аккумулятора
30 (например, около 12 вольт) и суперконденсатора (например, около 2,5 вольт). Вместо использования блока батарей для повышения напряжения можно использовать инверторы или ступенчатые преобразователи постоянного тока для увеличения напряжения.

Тонкие электронагревательные слои, например электропроводящий слой 96 (фиг.7), полезны для снижения энергопотребления и тепловой инерции антиобледенения. Примеры
35 материалов, которые можно использовать в качестве слоя 96, включают в себя тонкие металлические фольги, например фольгу из нержавеющей стали, титановую фольгу, медную фольгу и алюминиевую фольгу. Можно также использовать металлические напыления, сплавы, проводящие оксиды металлов, проводящие волокна (например, углеродные волокна) и проводящие краски. Типичная толщина слоя 96 может составлять
40 примерно от 50 нм до 100 мкм; однако можно использовать и другие диапазоны, например, от 10 нм до 1 мм.

В некоторых случаях защитный слой 98 способен защищать слой 96 от неблагоприятной окружающей среды. Например, слой 98 защищает слой 96 от истирания, эрозии,
45 высокоскоростных ударов и/или царапин. Защитный слой 98 может быть как диэлектрическим, так и проводящим и накладываться непосредственно на слой 96. Например, слой 96 может иметь сравнительно высокие тепловые характеристики электропроводности и сравнительно высокую механическую прочность. Некоторые примеры материалов, которые можно использовать в качестве защитного слоя 98,
50 включают в себя TiN, TiCN, карбид вольфрама, WC, Al₂O₃, SiO₂, Cr, Ni, CrNi, TiO₂ и AlTiO. Защитный слой 98 можно накладывать на слой 96 путем распыления, химического осаждения из паровой фазы (ХПО), физического осаждения из паровой фазы (ФПО) и/или золь-гелевыми методами (например, с помощью коллоидной взвеси частиц оксида кремния, которая желеирует с образованием твердого тела). Напыление, как известно

специалистам в данной области, может включать в себя помещение подложки в вакуумную камеру. Плазма, генерируемая пассивным газообразным источником (например, аргонном), генерирует ионную бомбардировку, направленную на цель на подложке, что приводит к «распылению» материала подложки. Распыленный материал осаждается на стенках

камеры и на подложке. Методы ХПО и ФПО известны специалистам в данной области. Поскольку энергопотребление импульсных антиобледенителей может зависеть от свойств подложки (например, $\sqrt{\rho_p c_p \lambda_p}$ в Ур. 1-1, 1-2, 1-4), мощность антиобледенения

можно снизить для материалов подложки, имеющих низкую плотность, высокую теплоемкость и/или низкую теплопроводность. Многие полимеры имеют малое произведение ($\rho_p c_p \lambda_p$), тогда как металлы имеют большое произведение ($\rho_p c_p \lambda_p$). Твердые вспененные материалы также имеют малое произведение ($\rho_p c_p \lambda_p$). Стекло имеет произведение ($\rho_p c_p \lambda_p$) более высокое, чем у обычного полимера, но сравнительно более низкое, чем у металлов. В зависимости от применения теплоизолятор 94 подложки может иметь толщину примерно от 100 нм до 1 мм, но обычно примерно от 0,1 мм до 20 мм.

На фиг.8 показан нагревательный элемент 100 антиобледенителя согласно варианту осуществления изобретения. Нагревательный элемент 100 способен растапливать граничный слой льда на объекте, получая импульсы энергии, например, согласно уравнениям фиг.1. Например, мощность можно подавать на нагревательный элемент 100 на клеммы 101 и 102, что позволяет нагревательному элементу 100 растапливать граничный слой льда. Источник питания может подавать мощность на нагревательный элемент 100 для растапливания граничного слоя льда. В зависимости от применения нагревательного элемента 100 растапливание граничного слоя льда может быть полезно для удаления льда с поверхности объекта, предотвращения его формирования на поверхности и/или для изменения прочности прилипания и изменения коэффициента трения между льдом и объектом. Элемент 100 может быть размещен, например, на, в или рядом с поверхностью объекта, подлежащего очистке ото льда.

Анализ импульсной антиобледенительной системы

Ниже представлен анализ некоторых характеристик различных импульсных антиобледенительных систем. Проиллюстрированы значения определенных элементов, чтобы показать, как тепло, выделяемое нагревательными элементами, рассеивается в лед для удаления льда с объекта.

На фиг.9 показано импульсное антиобледенительное устройство 120. Лед 124 прилипает к теплопроводящей подложке 126, образуя границу раздела 122 лед-объект. Нагревательный элемент расположен на границе 122 раздела (например, в подложке 126) для облегчения подачи импульсов энергии на границу 122 раздела. Подложка 126 представляет, например, крыло самолета, ветровое стекло, окно, наружное зеркало, фару автомобиля, ротор ветряной установки, здание, дорожную конструкцию, мост, холодильник, антенну, мачту связи, поезд, железнодорожный путь, туннель, дорожный знак, линию электропередач, трос, конструкцию фуникулера или трос фуникулера.

На фиг.10 показано расстояние рассеяния тепла за время t (например, t_1 и t_2), через лед 124 и подложку 126, под давлением температуры T на границе 122 раздела лед-объект. По оси X 123 отложено расстояние под прямым углом к границе 122 раздела (фиг.9); и по оси Y 125 отложена температура T . Каждая кривая t_1 или t_2 выражает время для расстояния распространения тепла в теплопроводящую подложку 126 и лед 124 по обе стороны границы 122 раздела. Показано, что пик каждой кривой t_1 и t_2 соответствует точке 127 плавления на оси Y 125, т.е. температуре, достаточной для растапливания граничного слоя льда на границе 122 раздела.

Две кривые t_1 и t_2 зависят от импульсной мощности, которая растапливает граничный слой льда. Показано, что t_1 меньше t_2 и соответствует более высокой плотности потока энергии. Поскольку импульсное количество энергии, подаваемой под каждой кривой t_1 и t_2 , достаточно для растапливания граничного слоя льда на границе раздела 122, предпочтительно подавать такую импульсную энергию в соответствии с t_1 , чтобы

обеспечивать более высокую плотность потока энергии, но, в целом, меньшую мощность по сравнению с t_2 .

В частности, рассмотрим следующее уравнение для времени рассеяния t на длину L в направлении оси X 123:

$$t = L^2/D, \text{ (Ур. 10-1)}$$

где D - коэффициент температуропроводности, выражающийся в виде

$$D = \lambda/\rho c, \text{ (Ур. 10-2)}$$

где λ - коэффициент теплопроводности; ρ - плотность материала; c - удельная теплоемкость материала. Более короткие импульсы мощности, подаваемые на границу 122 раздела, нагревают более тонкие граничные слои льда. Регулируя длительность мощности нагрева, можно лучше сфокусироваться на границе 122 раздела, где это необходимо. Время t и энергия Q , подаваемая на границу раздела для нагрева граничного слоя льда 124 от температуры T окружающей среды до точки 127 плавления, удовлетворяют уравнениям, рассмотренным в связи с фиг.1. Согласно уравнениям фиг.1 удаление льда с помощью устройства 120 позволяет экономить энергию. Кроме того, время t между импульсами нагрева можно регулировать в соответствии со скоростью нарастания льда и допустимой толщиной льда. Например, когда толщина льда на крыле самолета достигает около 3 мм, механизм обратной связи позволяет устройству 120 удалить лед 124 согласно рассмотренному в связи с фиг.6.

На фиг.11 показана зависимость времени удаления льда и энергии удаления льда (например, тепловой энергии) от плотности мощности нагрева для одной импульсной антиобледенительной системы, применяемой для ветрового стекла автомобиля. Например, слой проводящего оксида индия-олова (ИТО) толщиной 0,5 мкм, наложенный на одну сторону ветрового стекла, выполненного из стекла и имеющего размеры 10 см x 10 см x 5 мм, можно использовать в качестве нагревательного элемента в импульсной антиобледенительной системе. Когда лед нарастает на ветровом стекле до толщины около 2 см при внешней температуре около -10°C , на нагревательный элемент поступают импульсы мощности переменного тока частотой около 60 Гц для нагревания граничного слоя льда. Когда граничный слой льда растоплен, сила тяжести может удалить лед. Тепловая энергия Q , необходимая для растапливания граничного слоя льда, может зависеть от времени и плотности мощности, с которой мощность поступает на нагревательный элемент. На фиг.11 показана такая зависимость, где по оси Y 132 отложено время удаления льда и энергия удаления льда, а по оси X 133 отложена плотность потока энергии нагрева W ; время выражено в секундах, а энергия в килоджоулях/м².

Две диаграммы 130 и 131, по существу, соответствуют теоретическим прогнозам, данным в Ур. 1-4 на фиг. 1. Например, диаграммы 130 и 131 показывают, что время удаления льда обратно пропорционально квадрату плотности потока энергии W , тогда как тепловая энергия Q приблизительно обратно пропорциональна первой степени плотности потока энергии W . Соответственно, такая импульсная антиобледенительная система снижает величину средней мощности, подаваемой на нагревательный элемент для удаления льда с объекта или предотвращения его образования на нем.

ВЧ антиобледенительные системы

ВЧ антиобледенительные системы используются, например, для удаления льда с поверхности объекта. Как было указано выше, ВЧ антиобледенительные системы могут растапливать граничный слой льда на границе раздела объекта и льда, что позволяет нарушать, изменять и/или ликвидировать прилипание льда. После нарушения прилипания льда лед может быть удален с поверхности, например, под действием силы тяжести и/или ветра.

На фиг.12 показана ВЧ антиобледенительная система 140 согласно одному варианту осуществления. ВЧ антиобледенительная система 140 содержит бифилярную катушку 141, установленную на диэлектрической подложке 142. Лед и/или снег 143 прилип к поверхности 144 диэлектрической подложки 142. Катушка 141 может быть покрыта

диэлектрическим слоем для предотвращения механических повреждений и воздействий окружающей среды и/или для предотвращения электрического пробоя воздуха. Витки катушки 141 разнесены на диэлектрической подложке 142 на расстояние D. При подаче мощности на катушку 142, например, в соответствии с уравнениями фиг.1 ВЧ

5 антиобледенительная система 140 нарушает или изменяет прилипание льда и/или снега 143 к поверхности 144. Теперь опишем иллюстративные эксплуатационные характеристики ВЧ антиобледенительной системы 140.

Обычный лед имеет емкость на квадратный метр:

$$10 \quad C_{\text{л}} \cong \frac{1,2 \times 10^{-11} \text{ Ф}}{D(\text{м}) \text{ м}^2} \quad (\text{Ур. 12-1})$$

и ВЧ проводимость на квадратный метр

$$G_{\text{л}} = \frac{0,53 \cdot 10^{-4}}{D(\text{м})} \cdot e^{\frac{6670}{273} \left(\frac{1}{T(\text{К})} - \frac{1}{273} \right)} \left(\frac{1}{\text{Ом} \cdot \text{м}^2} \right), \quad (\text{Ур. 12-2})$$

15 где D выражается в метрах, T - в кельвинах. Электрический пробой воздуха происходит при напряжении $V_{\text{пр}}$ около

$$V_{\text{пр}} \approx 2,4 \times 10^6 D(\text{м}). \quad (\text{Ур. 12-3})$$

Если вычислять на уровне моря и использовать электрическое поле воздушного пробоя около 30 кВ/см, то среднеквадратичное значение (СКЗ) напряжения $V_{\text{пр}}$ составляет примерно

$$V_{\text{пр}} \approx 1,7 \times 10^6 D(\text{м}). \quad (\text{Ур. 12-4})$$

Предпочтительно максимальное напряжение определяется равным около 70% от $V_{\text{пр}}$ в (Ур. 10-4) из соображений безопасности. Соответственно, V_{max} равно

$$25 \quad V_{\text{max}} = 0,7 \cdot 1,7 \times 10^6 D(\text{м}) \approx 1,2 \times 10^6 D(\text{м}). \quad (\text{Ур. 12-5})$$

Объединяя Ур. 12-2 и 12-5, максимальная мощность нагрева равна

$$W_{\text{max}}(T) = G_{\text{л}} \cdot V_{\text{max}}^2 = 0,763 \cdot 10^8 \cdot D(\text{м}) \cdot e^{\frac{6670}{273} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{273} \right)}. \quad (\text{Ур. 12-6})$$

30 Время удаления льда ВЧ антиобледенительной системы 140 эвристически определяют, подавая «безопасные» напряжения согласно следующему уравнению:

$$W(T, V) = W_{\text{max}}(T) \cdot \left(\frac{V}{V_{\text{max}}} \right)^2. \quad (\text{Ур. 12-7})$$

35 Допустим, в катушке 141 намотаны провода толщиной 0,5 мм и на нее подано безопасное напряжение 600 вольт СКЗ, тогда время удаления льда ВЧ антиобледенительной системы 140 эвристически определяется равным около тринадцати секунд для растапливания граничного слоя льда 143 на поверхности 144 при внешней температуре -30°C . Другие значения времени удаления льда эвристически определены равными около 4,3 секунд при внешней температуре -20°C и около 1,2 секунд при

40 внешней температуре -10°C . Было обнаружено, что обычная скорость нарастания льда не превышает 1,5 мм/мин. Соответственно, если желательны сбросить лед 143 с поверхности 144 примерно каждые три минуты, приближенные средние мощности для удаления льда можно определить так:

$$1,75 \text{ кВт/м}^2 \text{ при } -30^\circ\text{C}. \quad (\text{Ур. 12-8})$$

45 Плотность мощности, используемая для поддержания разделительной полосы, свободной ото льда, шириной 0,2 дюйма, определяется путем прибавления плотности мощности защитной полосы шириной восемь дюймов к каждой из плотностей мощности Ур. 10-8, предполагая, что обычная плотность мощности равна 40 кВт/м^2 . Например, обычная плотность мощности для разделительной полосы шириной 5 мм с защитной полосой

50 шириной 8 дюймов определяется следующим образом:

$$W = 40(\text{кВт/м}^2) - 0,2''/8'' = 1 \text{ кВт/м}^2. \quad (\text{Ур. 12-9})$$

Соответственно, добавление Ур. 10-9 к плотностям мощности Ур. 12-8 дает следующие результаты:

4,1 кВт/м² при -30°C (Ур. 12-10)

Поэтому плотность мощности ВЧ антиобледенительной системы 140 при -30°C (например, 4,1 кВт/м²) составляет лишь около 10% от плотности мощности, развиваемой известным нагревателем постоянного тока.

5 На фиг.13 показана еще одна ВЧ антиобледенительная система 150. ВЧ антиобледенительная система 150 содержит совокупность электродов 154, установленных на диэлектрической подложке 152 в виде гребенчатой электронной схемы. ВЧ антиобледенительная система 150 удаляет лед 151 с поверхности 156 за счет подачи электрической мощности на электроды 154 от ВЧ источника питания 155 переменного тока.
10 ВЧ антиобледенительная система 150 имеет характеристики антиобледенения, в которых плотность мощности нагрева, по существу, зависит от размеров а и b, где а - расстояние между электродами 154 и b - ширина электрода. Согласно одному варианту осуществления электроды 154 сплетены в сетку.

15 Показаны электрическая мощность, подаваемая на электроды 154, электрические силовые линии 153, идущие от электродов 154. В ВЧ антиобледенительной системе 150 проводимость G схемы пропорциональна емкости C схемы на квадратный метр, обусловленной линиями 153 электрического поля над диэлектрической подложкой 152. Например,

$$20 \quad G \propto C \left(\frac{C}{G} \right) = \left(\frac{\varepsilon \varepsilon_0}{\sigma} \right), \quad (\text{Ур. 13-1})$$

где ε_0 - диэлектрическая проницаемость вакуума (например, $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м), ε - относительная диэлектрическая проницаемость льда; σ - электропроводность льда.

Положив $a = b$, получим

$$25 \quad C \propto G \propto \frac{1}{l} \cdot \frac{b}{a} \cdot \varepsilon \varepsilon_0 \propto \frac{1}{l} \propto \frac{\sigma}{l}, \quad (\text{Ур. 13-2})$$

где l равно а плюс b, также именуемое как период структуры. Среднее электрическое поле E равно

$$30 \quad E \approx V/l, \quad (\text{Ур.13-3})$$

где V - СКЗ напряжения, подаваемого на схему ВЧ антиобледенительной системы 150. Соответственно, мощность W нагрева на кубический метр равна

$$35 \quad W = GV^2 \propto \frac{\sigma V^2}{l} \propto \sigma \cdot l \cdot E^2. \quad (\text{Ур. 13-4})$$

Таким образом, если максимальная мощность W_{\max} нагрева ограничивается в ВЧ антиобледенительной системе 150 максимально возможным электрическим полем E_{\max} (например, полем пробоя), то W_{\max} удовлетворяют уравнению

$$40 \quad W_{\max} \propto \sigma \cdot l \cdot E_{\max}^2. \quad (\text{Ур. 13-5})$$

Поэтому согласно этому варианту осуществления W_{\max} возрастает линейно с ростом l . Кроме того, объемная плотность W_{\max}^V для W_{\max} не зависит от l , поскольку

$$45 \quad W_{\max}^V = \frac{W_{\max}}{l} \propto \sigma \cdot E_{\max}^2. \quad (\text{Ур. 13-6})$$

Поэтому, чтобы поддерживать постоянную W, E уменьшают с ростом l .

45 Соответственно, E можно уменьшать, чтобы не было коронного разряда (например, полезно при использовании полимерных подложек и изоляции электродов).

В эксперименте, ВЧ антиобледенительная система 150 работала при -12°C с различными мощностями нагрева и напряжениями и с электродами, имеющими размеры $a = b = 75$ мкм (например, при покрытии полиимидной пленкой толщиной 5 мкм, например, каптоновым полиимидом «Каптон»). Были получены следующие результаты:

$$50 \quad \begin{cases} W = 1 \text{ кВт/м}^2, \text{ при } V = 80 \text{ V} \\ W = 2 \text{ кВт/м}^2, \text{ при } V = 120 \text{ V.} \end{cases} \quad (\text{Ур. 13-7})$$

При задании новых размеров, $a=b=500$ мкм (например, периода структуры в мм), напряжение, поддерживающее мощность, растет как корень квадратный из отношения нового и предыдущего периодов структуры, что дает

$$5 \quad \begin{cases} V' = \sqrt{\frac{500 \text{ мкм}}{75 \text{ мкм}}} \cdot 80 \text{ В} \approx 207 \text{ В} (1 \text{ кВт} / \text{м}^2) \\ V' = \sqrt{\frac{500 \text{ мкм}}{75 \text{ мкм}}} \cdot 120 \text{ В} \approx 310 \text{ В} (2 \text{ кВт} / \text{м}^2). \end{cases} \quad (\text{Ур. 13-7})$$

10 Одно преимущество ВЧ антиобледенительной системы 150 состоит в том, что ее схему можно изготовить без применения фотолитографии, даже на искривленных поверхностях. Напряженность электрического поля также может снижаться со скоростью, по существу, равной росту ℓ .

Гребенчатая схема для использования в ВЧ антиобледенительной системе

15 Ниже описаны варианты осуществления и анализ гребенчатых схем, которые можно использовать в качестве нагревательных элементов в ВЧ антиобледенительных системах. Нагревательные элементы могут иметь возможность принимать ВЧ мощность переменного тока от источника питания переменного тока и могут использоваться для растапливания граничного слоя льда на границе раздела. Когда граничный слой льда растоплен, лед можно удалить или повторно заморозить в зависимости от требований, например, согласно описанному ниже в разделе «Способы регулировки коэффициента трения».

На фиг.14 показан анализ ВЧ антиобледенительной системы 140, изображенной на фиг.13. В этом анализе, для ℓ определяется улучшенное отношение a/b .

Например,

$$25 \quad G \propto \frac{1}{\ell} \cdot G', \quad (\text{Ур. 14-1})$$

где G' - проводимость одной ячейки. Поскольку проводимость пропорциональна емкости, то G' пропорциональна емкости одной ячейки, что выражается следующим образом:

$$30 \quad G' \propto C' \propto \frac{Q}{V} \propto \int_{a/2}^{(a+b)/2} \frac{E_y \cdot dx}{V} = \frac{1}{2} \ln\left(\frac{2a+b}{2a}\right) = \frac{1}{2} \ln\left(\frac{a+1}{2a}\right) \quad (\text{Ур. 14-2})$$

Из Ур. 14-2 можно определить мощность нагрева следующим образом:

$$35 \quad W \propto GV^2 \propto \frac{G'}{\ell} \cdot V^2 \propto \frac{V^2}{\ell} \cdot \ln\left(\frac{a+1}{2a}\right) \quad (\text{Ур. 14-3})$$

$$W \propto \frac{V^2}{\ell} \cdot \ln\left(\frac{a+1}{2a}\right) = \frac{E^2}{\ell^{\max}} \cdot a^2 \cdot \ln\left(\frac{a+\ell}{2a}\right), \quad (\text{Ур. 14-4})$$

где $0 \leq a \leq 1$. Согласно диаграмме на фиг.14, когда E поддерживается постоянной, максимальная мощность W_{\max} нагрева достигает точки 159, где $\frac{a}{1} \cong 0,576$ (например,

40 приближение $a \approx b$ сравнительно хорошо, поскольку $\ell = a + b$). Мощность W нагрева, когда $a = b = 0,5\ell$, равна примерно 97% максимальной мощности нагрева W_{\max} . Диаграмма на фиг.14 также иллюстрирует отношения 10% и 90% в соответствующих точках 157 и 158, где мощность нагрева W оказывается равной 17% и 43% максимальной мощности W_{\max} нагрева. Напротив, когда поддерживается постоянное напряжение, увеличение мощности нагрева достигается за счет увеличения ширины электродов, например, размера «b».

На фиг.15 показан ряд типов 160-163 гребенчатой схемы. Гребенчатую схему (фиг.15) можно использовать в антиобледенительной системе, например, описанной в разделе «ВЧ антиобледенительные системы» и в разделе «импульсные антиобледенительные системы». Гребенчатую схему (вид 160) первоначально монтируют путем жесткого анодирования одной стороны (например, «жесткий анодированный слой 172») толстой алюминиевой фольги 171. Жестко анодированную алюминиевую фольгу 171/172

прикрепляют к полимерной подложке 174 с помощью адгезива 173 (вид 161). Прикрепив жестко анодированную алюминиевую фольгу 171/172 к полимерной подложке 174, формируют электроды путем травления и/или литографирования алюминиевой фольги 171 из общей структуры (вид 162), например, литографированные края 175). После этого

5 структуру изгибают или подгоняют под нужную форму в зависимости от выбора конструкции. Оставшуюся открытой сторону алюминиевой фольги 171 жестко анодируют для инкапсуляции сформированных электродов и для заделки трещин в жестком анодированном слое 172, которые возникают при изгибании, как показано на виде 163.

На видах 160-163 представлен один способ формирования гребенчатой схемы,

10 возможны другие способы формирования гребенчатой схемы. Примеры других способов включают травление и/или литографирование медной фольги для формирования медных электродов и прикрепления медных электродов к каптоновой подложке. Пример медной гребенчатой схемы на каптоновой подложке показан на фиг.16.

На фиг.16 показаны два вида гребенчатой схемы 180 согласно одному варианту

15 осуществления. Гребенчатая схема 180 содержит медный анод 181, гребенчатый электрод 182, медный катод 183 и каптоновую подложку 184. Гребенчатая схема может быть сформирована аналогично представленной на фиг.15. Вид 185 представляет собой вид сверху. Согласно виду 186 шаг гребенчатой схемы 180 определяет дистальный промежуток между электродами гребенчатого электрода 182. Шаг гребенчатой схемы 180 может также

20 определять дистальный промежуток между электродами медного анода 181. Сдвиг гребенчатой схемы 180 задает промежуток между электродами гребенчатого электрода 182 и электродами медного анода 181. Ширина гребенчатой схемы 180 определяет размер по ширине электродов анода 181. Ширина гребенчатой схемы 180 также может определять размер по ширине электродов гребенчатого электрода 182.

Гребенчатую схему 180 можно использовать для изменения трения между объектом и льдом и/или снегом путем подачи электрического напряжения на гребенчатый электрод

25 182. Например, на гребенчатый электрод 182 можно подавать постоянный ток согласно уравнениям фиг.1. В другом примере, на гребенчатый электрод 182 можно подавать переменный ток.

Гребенчатая схема 180 изменяет коэффициент трения границы раздела поверхности

30 объекта и льда в сочетании с естественным изменением трения между объектом и льдом или снегом при изменении температуры. Например, стальной объект «скользящее тело» скользит по льду со скоростью 3,14 м/с, коэффициент трения скользящего тела на льду падает от 0,025 при -15°C до 0,01 при -1°C. Для увеличения температуры льда,

35 находящегося в непосредственном контакте со скользящим телом, гребенчатая схема 180 может либо нагреть непосредственно лед с помощью ВЧ электрических полей, либо нагреть поверхность скользящего тела.

Гребенчатая схема 180 может быть установлена на поверхности скользящего тела,

40 которая обычно контактирует со льдом и снегом. Для нагрева поверхности скользящего тела на гребенчатую схему 180 можно подавать напряжение постоянного или переменного тока. Например, подавая на поверхность скользящего тела электрическую мощность в соответствии с уравнениями (фиг.1), можно нагревать лед и/или поверхность и изменять коэффициент трения между поверхностью скользящего тела и льдом.

ВЧ электрическую мощность переменного тока подают на гребенчатую схему 180, чтобы

45 непосредственно нагревать лед. При поступлении ВЧ мощности на электроды гребенчатой схемы 180 линии электрического поля, например линии электрического поля 153 (фиг.15), проникают в граничный слой льда и генерируют во льду тепло в количестве

$$W_n = \sigma_l \cdot E^2, \text{ (Ур. 16-1)}$$

где W_n - мощность нагрева в ваттах на кубический метр; σ_l - электропроводность льда;

50 E - напряженность электрического поля. Электрическое поле проникает в лед или снег на глубину, приблизительно равную расстоянию или шагу между электродами гребенчатой схемы 180. Соответственно, мощность нагрева W_n удовлетворяет уравнению

$$W_H \approx \sigma_n \cdot \frac{V^2}{d^2}, \quad (\text{Ур. 16-2})$$

где V - СКЗ напряжения переменного тока. Мощность W_H в Ур. 16-2 обозначает электрическую мощность на единицу объема, но важнее знать мощность W на квадратный метр границы раздела лед/скользящий объект. Чтобы оценить мощность на квадратный метр $W_{\text{кв}}$, нужно умножить мощность W_H на толщину нагреваемого слоя, приблизительно d , как указано выше. Поэтому мощность на квадратный метр $W_{\text{кв}}$ выражается уравнением

$$W_{\text{кв}} \approx \sigma_n \cdot \frac{V^2}{d}. \quad (\text{Ур. 16-3})$$

Мощность нагрева на квадратный метр $W_{\text{кв}}$ может ограничиваться электрическим пробоем воздуха, происходящим при напряженности электрического поля $E_{\text{пр}}$, поэтому

$$\frac{V}{d} \leq E_{\text{пр}} \approx 3 \cdot 10^6 \text{ В/м}. \quad (\text{Ур. 16-4})$$

Из Ур. 16-3 и 16-4 можно вывести соотношение для максимальной мощности нагрева высокочастотным полем в расчете на единицу площади скользящего объекта:

$$W_{\text{кв}} \leq \sigma_n \cdot d \cdot E_{\text{пр}}^2. \quad (\text{Ур. 16-5})$$

Для практически чистого льда при -10°C электропроводность льда на высоких частотах (например, свыше 10 кГц) равна примерно 2×10^{-5} См/м. Подставив в Ур. 16-5 значения электропроводности σ_n , напряженности электрического поля $E_{\text{пр}}$ и расстояния $d \approx 0,25$ мм (например, типичный размер в ВЧ антиобледенителях), можно получить максимальный предел мощности ВЧ нагрева:

$$W_{\text{кв}} \leq 45 \text{ кВт/м}^2. \quad (\text{Ур. 16-6})$$

Более точное значение мощности, используемое для повышения температуры граничного слоя льда на ΔT , можно вычислить согласно следующему уравнению:

$$W_{\text{скор}} = l_p \cdot a \cdot v \cdot \rho \cdot C \cdot \Delta T, \quad (\text{Ур. 16-7})$$

где v - скорость скользящего тела; ρ - плотность льда или снега; a - ширина скользящего тела; C - удельная теплоемкость льда; l_p - длина рассеяния тепла во льду или в снегу. Длина рассеяния тепла l_p выражается как

$$l_p = \sqrt{D \cdot t}, \quad (\text{Ур. 16-8})$$

где t - время, в течение которого конкретный участок льда контактирует со скользящим телом, выражающееся как

$$t = \frac{L}{v}, \quad (\text{Ур. 16-9})$$

где L - длина скользящего тела, и D - коэффициент рассеяния тепла, выражающийся в виде

$$D = \frac{\lambda}{C \cdot \rho}, \quad (\text{Ур. 16-10})$$

где λ - коэффициент теплопроводности льда или снега. Подставляя Ур. 16-8, 16-9 и 16-10 в Ур. 16-7, получаем следующую оценку для изменения коэффициента трения между льдом и скользящим телом:

$$W_{\text{слой}} = a \cdot \Delta T \cdot \sqrt{v \cdot \lambda \cdot C \cdot L \cdot \rho}. \quad (\text{Ур. 16-11})$$

В качестве практического цифрового примера, для двух лыж с общей шириной около $a = 10^{-1}$ м и длиной $L = 1,5$ м может быть использована гребенчатая схема 180 для изменения коэффициента трения между лыжами и снегом. Допустим, лыжи перемещаются со скоростью $v = 10$ м/с. Плотность снега ρ составляет

$$\rho = 3 \cdot 10^2 \text{ кг/м}^2, \quad (\text{Ур. 16-12})$$

изменение температуры граничного слоя снега ΔT равно

$$\Delta T = 1^\circ\text{C}, \quad (\text{Ур. 16-13})$$

удельная теплоемкость снега C равна

$$C = 2 \cdot 10^3 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К. (Ур. 16-14)}$$

Исходя из этих значений, можно вычислить оценку энергопотребления $W_{\text{скор}}$:

$$W_{\text{скор}} = 134 \text{ Вт. (Ур. 16-15)}$$

Поскольку лишь малая доля лыж может в действительности находиться в контакте со снегом в любой данный момент времени, оценку энергопотребления $W_{\text{скор}}$ можно дополнительно снизить до доли $W_{\text{скор}}$ или $W_{\text{скор-доля}}$ следующим образом:

$$W_{\text{скор-доля}} = \frac{W}{H \cdot a \cdot L}, \quad (\text{Ур. 16-16})$$

где W - вес лыжника; H - прочность на сжатие снега паскалях (Па). Для тяжелого лыжника (например, 100 кг) и $H = 105 \text{ Па}$ $W_{\text{скор-доля}}$ будет составлять

$$W_{\text{скор-доля}} \approx 6,6\%. \quad (\text{Ур. 16-17})$$

Соответственно, ВЧ мощность, необходимая для изменения коэффициента трения, будет

$$W_{\text{скор}} = 134 \text{ Вт} \times 0,066 \approx 9 \text{ Вт. (Ур. 16-18)}$$

Хотя данный вариант осуществления показывает пример применения гребенчатой схемы 180 (например, применительно к лыжам), специалистам в данной области очевидно, что гребенчатую схему можно применять для изменения коэффициента трения между льдом и поверхностями других объектов, включая, например, сноуборды и снегоступы.

Анализ ВЧ антиобледенительной системы

Ниже представлен анализ и некоторых эксплуатационных характеристика различных ВЧ антиобледенительных систем. Значения определенных компонентов изменяются для иллюстрации различных условий, например изменяющихся условий окружающей среды и/или изменяющихся режимов теплопередачи.

На фиг.17 показана диаграмма 190 частотной зависимости электропроводности льда и диэлектрической проницаемости льда. По оси Y 193 отложена проницаемость ϵ , а по оси X 194 отложена частота. Диаграмма 190 также демонстрирует мощность ВЧ нагрева для гребенчатых схем, например гребенчатой схемы 180 (фиг.16).

Когда электропроводящий материал находится в электрическом поле E , генерируется объемная плотность тепла W , выражаемая следующим образом:

$$W = \sigma E^2, \quad (\text{Ур. 17-1})$$

где σ - электропроводность материала (например, электропроводность льда). Из Ур. 17-1 явствует, что плотность тепла пропорциональна электропроводности и квадрату напряженности электрического поля. Поэтому для повышения скорости нагрева и, стало быть, сокращения времени удаления льда можно увеличить электропроводность льда и/или напряженность электрического поля.

Электропроводность льда зависит от температуры, частоты и примесей во льду. Электропроводность льда возрастает за счет регулировки частоты мощности переменного тока, используемой для изменения коэффициента трения между льдом и поверхностью объекта. При этом частотную зависимость электропроводности льда можно выразить так:

$$\sigma'(\omega) = \sigma_s + \frac{\omega^2 \tau_D^2 (\sigma_\infty - \sigma_s)}{1 + \omega^2 \tau_D^2}, \quad (\text{Ур. 17-2})$$

где σ_s и σ_∞ - статическая и ВЧ электропроводности льда соответственно; ω - круговая частота мощности переменного тока; τ_D - время релаксации диэлектрика для льда.

Согласно диаграмме 190 электропроводность изменяется с ростом частоты в температурных условиях около $-10,1^\circ\text{C}$. Например, в соответствии с кривой 191 электропроводность возрастает с увеличением частоты, а в соответствии с кривой 192 электропроводность снижается с увеличением частоты. Соответственно, кривые 191 и 192 иллюстрируют различные способы изменения электропроводности границы раздела лед-объект путем регулировки частоты мощности ВЧ нагрева.

Согласно диаграмме 190 при $-10,1^\circ\text{C}$ лед имеет электропроводность около $0,1 \text{ См/м}$ при частоте около 10 кГц . Электропроводность льда экспоненциально снижается при

понижении температуры. Соответственно, электропроводность льда при -30°C будет примерно на порядок величины меньше электропроводности льда при -10°C.

Размеры нагревательного элемента ВЧ антиобледенителя, например гребенчатой схемы 180 (фиг.16), могут зависеть от электропроводности льда и желательной скорости нагрева. Соответственно, при генерировании количества теплоты на квадратный метр W' в толщине граничного слоя льда с использованием приложенного напряжения V при расстоянии d между электродами напряженность электрического поля E выражается уравнением

$$E = V/d. \text{ (Ур. 17-3)}$$

Количество теплоты на квадратный метр W' определяется

$$W' = Wd. \text{ (Ур. 17-4)}$$

Объединив Ур. с 17-1 по 17-4, получим следующее выражение для мощности нагрева на квадратный метр:

$$W' = \sigma V^2/d. \text{ (Ур. 17-5)}$$

Например, обычная плотность нагрева для автомобильного ветрового стекла составляет около 1 кВт/м², и напряжение V составляет около 100 вольт. Используя эти значения и значение электропроводности льда, получаем из Ур. 17-5 значение около 0,1 мм для шага между электродами. В других вариантах осуществления может быть получено другое значение.

На фиг.18 показана иллюстративная схема 200, характеризующая ВЧ антиобледенитель согласно одному варианту осуществления. Схема 200 содержит источник 201 питания переменного тока, конденсатор 203, конденсатор 204, резистор 202 и резистор 205. Резистор 202 подключен к источнику питания 201 и конденсатору 203 и имеет сопротивление $R_{вн}$, выражающее внутреннее сопротивление источника 201 питания. Резистор 205 подключен параллельно с конденсатором 204 и имеет сопротивление $R_{л}$, выражающее сопротивление льда. Конденсатор 204 имеет емкость $C_{л}$, выражающую емкость слоя льда. Конденсатор 203 подключен к резистору 205 и конденсатору 204 и имеет емкость $C_{д}$, выражающую емкость защитного диэлектрического слоя на антиобледенительных электродах, например катушке 141 (фиг.12). Схема 200 представляет собой принципиальную электрическую схему для моделирования и анализа некоторых антиобледенительных систем.

На фиг.19-23 изображены диаграммы, иллюстрирующие некоторые испытательные анализы схемы 200 согласно одному варианту осуществления, в котором схема 200 имеет слой диэлектрика, окружающий электроды (например, такая схема, как гребенчатая схема 180, фиг.16, с диэлектрическим слоем, окружающим электроды). В этой среде схему 200 можно охарактеризовать с помощью Таблицы 19-1:

Таблица 19-1

$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{12}$$

$$f = 10, 100.. 1 \cdot 10^5$$

$$\omega(f) = 2\pi f$$

$$T = 243, 244.. 273$$

$$\tau_D = 1,5 \cdot 10^{-4} \cdot \exp \left[6670 \left(\frac{1}{T} \right) - \left(\frac{1}{253} \right) \right]$$

$$\epsilon_s(T) = 25047/T$$

$$\epsilon_{inf} = 3,2$$

$$\sigma_{inf}(T) = 1,8 \cdot 10^{-5} \cdot \exp \left[6670 \left(\frac{1}{253} - \frac{1}{T} \right) \right]$$

$$\sigma_0 = 10^{-8}$$

$$\epsilon(f, T) = \epsilon_{inf} + \frac{(\epsilon_s(T) - \epsilon_{inf})}{1 + (\tau_D(T) \cdot \omega(f))^2}$$

$$\sigma(f, T) = \left[\frac{(\sigma_{inf}(T) - \sigma_0) \cdot (\tau_D(T) \cdot \omega(f))^2}{1 + (\tau_D(T) \cdot \omega(f))^2} \right] + \sigma_0$$

5

$$d = 10^{-7}, 2 \cdot 10^{-7}, 3 \cdot 10^{-5}$$

$$\epsilon_A = 9,9$$

$$C_A(d) = \frac{\epsilon_0 \epsilon_A}{8d}$$

10

$$l = 2,5 \cdot 10^{-4}$$

$$V = 500$$

$$R_{BH} = 0$$

$$R_n(f, T, d) = \frac{4 \left(\frac{3}{2} | - 2d \right)}{\sigma(f, T)}$$

15

$$C_n(f, T, d) = \frac{\epsilon_0 \epsilon(f, T)}{4 \left(\frac{3}{2} | - 2d \right)}$$

20

$$Z_n(f, T, d) = \frac{R_n(f, T, d)}{2\pi \cdot f \cdot C_n(f, T, d) \cdot \left(R_n(f, T, d) + \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C_n(f, T, d)} \right)}$$

25

$$Z(f, T, d) = Z_n(f, T, d) + \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot i \cdot C_A(d)}$$

$$I(f, T, d) = \frac{V}{R_{BH} + Z(f, T, d)} \pi$$

30

$$P_n(f, T, d) = V \cdot \text{Re}(I(f, T, d))$$

$$\epsilon_B = 80$$

$$\sigma_B = 5 \cdot 10^{-4}$$

$$R_B(d) = \frac{4 \left(\frac{3}{2} | - 2d \right)}{\sigma_B}$$

35

$$C_B(d) = \frac{\epsilon_0 \epsilon_B}{4 \left(\frac{3}{2} | - 2d \right)}$$

40

$$Z(f, d) = \frac{R_B(d)}{2\pi \cdot f \cdot i \cdot C_B(d) \cdot \left(R_B(d) + \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot i \cdot C_B(d)} \right)}$$

45

$$Z_B(f, d) = Z(f, d) + \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot i \cdot C_A(d)}$$

$$I_B(f, d) = \frac{V}{R_{BH} + Z_B(f, d)}$$

50

$$P_B(f, d) = V \cdot \text{Re}(I_B(f, d))$$

где ϵ_0 - диэлектрическая проницаемость вакуума; f - возрастающая частота; ω - круговая частота как функция f ; T - возрастающая внешняя температура в К; τ_D - время релаксации диэлектрика для льда; ϵ_s - статическая диэлектрическая проницаемость

льда; ϵ_{inf} - высокочастотная диэлектрическая проницаемость льда; σ_{inf} - высокочастотная электропроводность льда; σ_0 - статическая электропроводность льда; ϵ - диэлектрическая проницаемость льда (например, как функция частоты f и температуры T); σ - электропроводность льда (например, как функция частоты f и температуры T); d - толщина защитного диэлектрического слоя; ϵ_d - диэлектрическая проницаемость защитного диэлектрического слоя l ; V - напряжение; Z_l - импеданс льда (например, как функция частоты f , температуры T и расстояния d); $Z(f,T,d)$ - полный импеданс схемы, включая лед, покрывающий электроды (например, как функция частоты f , температуры T и расстояния d); I - подаваемый ток (например, как функция частоты f , температуры T и расстояния d); P_l - мощность, подаваемая для нагрева льда (например, как функция частоты f , температуры T и расстояния d); ϵ_b - диэлектрическая проницаемость воды; C_b - емкость воды; $Z(T,d)$ - полный импеданс схемы, включая воду, покрывающую электроды (например, как функция частоты f и расстояния d); I_b - подаваемый ток (например, как функция частоты f и расстояния d); P_b - мощность, поступающая в воду (например, как функция частоты f и расстояния d). Электрическую мощность вычислили для обоих из следующих случаев: когда лед покрывает электроды и когда лед растаял, и вода контактирует с электродами.

На фиг.19 показана зависимость мощности нагрева, генерируемой в дистиллированной воде (диаграмма 210) при 20°C и во льду (диаграмма 211) при -10°C от толщины диэлектрического покрытия электродов. На фиг.19 по оси Y 213 отложена мощность нагрева на m^2 , а по оси X 212 отложена толщина диэлектрического покрытия в метрах. Согласно данному варианту осуществления покрытие представляет собой покрытие из оксида алюминия. Частота мощности переменного тока равна около 2 кГц при напряжении около 500 вольт СКЗ. При толщине покрытия около 25 мкм мощность нагрева для воды и льда примерно одинакова.

На фиг.20 показана зависимость мощности нагрева, генерируемой в дистиллированной воде (диаграмма 220) при 20°C и во льду (диаграмма 221) при -10°C от частоты. На фиг.20 по оси Y 223 отложена мощность нагрева в Вт/ m^2 , а по оси X 222 отложена частота в Гц. При частоте около 20 кГц мощности нагрева для воды и льда равны. Это полезно для согласования мощностей нагрева для воды и льда во избежание холодных или горячих участков на антиобледенителе, на которых лед тает.

На фиг.21 показана зависимость мощности нагрева, генерируемой во льду (диаграмма 230) от температуры. На фиг.21 по оси Y 231 отложена мощность нагрева в Вт/ m^2 , а по оси X 232 отложена температура в °К. Соответственно, диэлектрическое покрытие на электродах ВЧ антиобледенителя можно использовать для регулировки производительности антиобледенителя.

На фиг.22 показана зависимость коэффициента теплопередачи (Вт/ m^2 ·К) от скорости воздуха (м/с) (диаграмма 240). На фиг. 22 по оси Y 241 отложен коэффициент теплопередачи, а по оси X 242 отложена скорость v . Фиг.22 может помочь в определении ВЧ мощности для удаления льда и/или предотвращения образования льда на плоском ветровом стекле. Размер ветрового стекла равен 0,5 м в описываемом варианте осуществления, схема 200 действует как ВЧ антиобледенитель в режиме удаления льда и в режиме предотвращения образования льда на ветровом стекле. В Таблице 19-2 показан файл MathCad, используемый для вычисления коэффициента конвективного теплообмена для ветрового стекла автомобиля:

Таблица 19-2

$v = 1, 1,1.. 30$

$L = 0,1, 0,2.. 1$

$Re_{tr} = 10^5$

$v = 1,42 \cdot 10^{-5}$

$$Re_L(v,L) = \frac{v \cdot L}{\nu}$$

$k = 0,0235$

$Pr = 0,69$

$Re_L(20, 0,5) = 7,042 \times 10^5$

5
$$h(v,L) = \frac{k}{L} \cdot \left[0,664 Re_{\nu}^{0,5} \cdot Pr^{\frac{1}{3}} + 0,036 Re_L(v,L)^{0,8} \cdot Pr^{0,43} \cdot \left[1 - \left(\frac{Re_{\nu}}{Re_L(v,L)} \right)^{0,8} \right] \right]$$

где v - скорость автомобиля; L - длина поверхности ветрового стекла; Re - диапазон числа Рейнольдса от 105 до 107; $h(v, L)$ - коэффициент теплопередачи (например, как функция скорости и L); k - коэффициент теплопроводности воздуха; Pr - число Прандтля для воздуха; ν - коэффициент кинематической вязкости воздуха. В данном варианте осуществления коэффициент теплопередачи $h(v, L)$ при скорости около 30 м/с и длине около 0,5 метров равен 89,389 Вт/м²·К. Соответственно, фиг.22 графически показывает (диаграмма 240) соотношение между коэффициентом теплопередачи $h(v, L)$ и скоростью воздуха.

На фиг.23 показана зависимость минимальной ВЧ мощности W_{min} схемы 200 от внешней температуры T (в °С) для скоростей автомобиля 10 м/с (диаграмма 252), 20 м/с (диаграмма 251) и 30 м/с (диаграмма 250). На фиг.23 по оси Y 253 отложена минимальная ВЧ мощность W_{min} в Вт/м², а по оси X 254 отложена температура T . Минимальная мощность нагрева W_{min} для поддержания наружной поверхности ветрового стекла при температуре около 1°С показана в Таблице 19-3 (файл MathCad):

Таблица 19-3

$S = 0, 0, 1.. 2$

$T = 0, -1.. -30$

25 $W_{min}(v,L,T,S) = h(v,L) \cdot S \cdot (1-T)$, где S - площадь ветрового стекла.

Соответственно, диаграммы 250, 251 и 252 могут помочь в принятии решений в отношении подаваемой мощности в соответствии со скоростью v автомобиля с использованием схемы 200.

30 Фиг.24-26 графически иллюстрируют другой анализ схемы 200 (фиг.18), в котором схема 200 имеет диэлектрический слой, покрывающий электроды (например, гребенчатая схема 180 (фиг.16) с диэлектрическим слоем, покрывающим электроды). В этом варианте осуществления, схему 200 можно охарактеризовать с помощью Таблицы 24-1 (файл MathCad):

Таблица 24-1

$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$

$f = 10, 100.. 1 \cdot 10^5$

$\omega(f) = 2\pi f$

$T = 243, 244.. 273$

40
$$\tau_D(T) = 1,5 \cdot 10^{-4} \cdot \exp \left[6670 \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{253} \right) \right]$$

$\epsilon_s(T) = 25047/T$

$\epsilon_{inf} = 3,2$

45
$$\sigma_{inf}(T) = 1,8 \cdot 10^{-5} \cdot \exp \left[6670 \left(\frac{1}{253} - \frac{1}{T} \right) \right]$$

$\sigma_0 = 10^{-8}$

50
$$\epsilon(f,T) = \epsilon_{inf} + \frac{(\epsilon_s(T) - \epsilon_{inf})}{1 + (\tau_D(T) \cdot \omega(f))^2}$$

$$\sigma(f, T) = \left[\frac{(\sigma_{\text{inf}}(T) - \sigma_0) \cdot (\tau_D(T) \cdot \omega(f))^2}{1 + (\tau_D(T) \cdot \omega(f))^2} \right] + \sigma_0$$

5

$$d = 10^{-7}, 2 \cdot 10^{-7}, 3 \cdot 10^{-5}$$

$$\varepsilon_A = 9,9$$

$$C_A(d) = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_A}{8d}$$

10

$$l = 2,5 \cdot 10^{-4}$$

$$V = 500$$

$$R_{\text{BH}} = 0$$

$$R_n(f, T, d) = \frac{4 \left(\frac{3}{2} l - 2d \right)}{\sigma(f, T)}$$

15

$$C_n(f, T, d) = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon(f, T)}{4 \left(\frac{3}{2} l - 2d \right)}$$

20

$$Z_n(f, T, d) = \frac{R_n(f, T, d)}{2\pi \cdot f \cdot C_n(f, T, d) \cdot \left(R_n(f, T, d) + \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot i \cdot C_n(f, T, d)} \right)}$$

25

$$Z(f, T, d) = Z_n(f, T, d) + \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot i \cdot C_A(d)}$$

$$I(f, T, d) = \frac{V}{R_{\text{BH}} + Z(f, T, d)} \pi$$

30

$$P_n(f, T, d) = V \cdot \text{Re}(I(f, T, d))$$

$$\varepsilon_B = 80$$

$$\sigma_B = 5 \cdot 10^{-4}$$

$$R_B(d) = \frac{4 \left(\frac{3}{2} l - 2d \right)}{\sigma_B}$$

35

$$C_B(d) = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_B}{4 \left(\frac{3}{2} l - 2d \right)}$$

40

$$Z(f, d) = \frac{R_B(d)}{2\pi \cdot f \cdot i \cdot C_B(d) \cdot \left(R_B(d) + \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot i \cdot C_B(d)} \right)}$$

45

$$Z_B(f, d) = Z(f, d) + \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot i \cdot C_A(d)}$$

$$I_B(f, d) = \frac{V}{R_{\text{BH}} + Z_B(f, d)}$$

50

$$P_B(f, d) = V \cdot \text{Re}(I_B(f, d))$$

где переменные такие же, как в Таблице 19-1, но с другими значениями. Например, σ_B - это электропроводность воды с тем же значением $5 \cdot 10^{-4}$ См/м.

Фиг.24-26 графически иллюстрируют зависимость мощности нагрева, генерируемой в

дистиллированной воде (диаграммы 261, 270, 281 соответствующих фиг. 24, 25 и 26) при 20°C и во льду (графики 260, 271, 280 соответствующих фиг. 24, 25 и 26) при -10°C, которые отличаются толщиной диэлектрического слоя: 10⁻⁵ м (фиг. 24), 10⁻⁶ м (фиг. 25), 2·10⁻⁵ м (фиг. 26). Мощность нагрева, показанная на фиг. 24, 25 и 26, зависит от частоты мощности переменного тока. При возрастании частоты величина подаваемой мощности, используемой для растапливания граничного слоя льда, выравнивается. Напряжение переменного тока составляет около 500 В. При толщине покрытия около 10 мкм (10⁻⁵ м) соответствующая мощность нагрева для воды и льда практически равны, как показано на фиг.24.

Фиг.27-29 графически иллюстрируют некоторые испытательные анализы схемы 200, в которых схема 200 применяется для скользящего тела, подробно описано ниже. В этом варианте осуществления учитывается изменение температуры снега под скользящим телом. Схему 200 можно охарактеризовать следующей Таблицей 26-1 (файл MathCad):

Таблица 27-1

$$\rho = 300 \text{ кг/м}^3$$

$$x = 0, 0,0001.. 0,1 \text{ м}$$

$$C=2 \cdot 10^3 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К}$$

$$\lambda = 0,2 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$$

$$W=1 \cdot 10^3 \text{ Вт/м}^2$$

$$D = \frac{\lambda}{C \rho}$$

$$D = 3,333 \times 10^{-7}$$

$$y(x,t) = \frac{x}{\sqrt{4 \cdot D \cdot t}}$$

$$\Delta(x,t) = \frac{W}{\lambda} \cdot \sqrt{4 \cdot D \cdot t} \int_{y(x,t)}^{\infty} (1 - \text{erf}(z)) dz$$

$$t = 0, 0,001.. 1 \text{ с}$$

$$a = 0,1 \text{ м}$$

$$L = 1,5 \text{ м}$$

$$v = 1, 2.. 30$$

$$W_{\text{скор}}(\Delta v) = a \cdot \Delta \cdot \sqrt{v \cdot \lambda \cdot C \cdot L \cdot \rho}$$

$$W_{\text{скор}}(1,10) = 134,164 \text{ Вт}$$

где ρ - плотность снега; x - расстояние в снегу от скользящего тела; C - теплоемкость снега; λ - коэффициент теплопроводности снега; W - мощность нагрева; D - коэффициент температуропроводности снега; t - длительность подачи мощности; a - ширина скользящего тела; L - длина скользящего тела; v - скорость скользящего тела; y - переменная интегрирования; $W_{\text{скор}}$ - мощность нагрева по отношению к скорости скользящего тела; Δ - температура перегрева.

На фиг.27 показана зависимость температуры перегрева Δ (например, в °C) от расстояния до скользящего тела. На фиг.27 по оси Y 295 отложена температура перегрева Δ (°C), а по оси X 294 отложено расстояние от скользящего тела (в метрах).

При мощности нагрева W около 1 кВт/м² диаграммы 290, 291, 292 и 293 иллюстрируют температурные зависимости импульсов нагрева, имеющих приблизительные длительности $t = 0,1 \text{ с}, 0,2 \text{ с}, 0,5 \text{ с}$ и 1 с соответственно. На фиг.28 показана зависимость температуры границы раздела снег/скользящий объект от времени (диаграмма 300) при подаче ВЧ мощности плотностью 1000 Вт/м². На фиг.28 по оси Y 301 отложена температура перегрева Δ (°C), а по оси X 302 показано время (в секундах).

На фиг.29 представлена мощность нагрева, необходимая для повышения температуры границы раздела на 1°C при перемещении скользящего тела со скоростью v около 30 м/с. На фиг.29 по оси Y 311 отложена мощность нагрева $W_{\text{скор}}$, а по оси X 312 отложена

скорость v . В данном примере, когда скользящее тело перемещается со скоростью около 5 м/с, мощность нагрева составляет около 100 ватт. Мощность нагрева $W_{\text{скор}}$ построена как функция скорости v (график 310).

На фиг.30-35 показаны диаграммы, иллюстрирующие анализ теплопередачи посредством конвекции для антиобледенительной системы и теплопередачи через подложку для ВЧ антиобледенительной системы. В этом примере иллюстративно характеризуется стационарное решение, например постоянная мощность. На фиг.30 показана зависимость коэффициента теплопередачи h_k от скорости воздуха (диаграмма 320) в предположении, что аэродинамическая поверхность является цилиндрической (передний край крыла самолета). На фиг.30 по оси Y 321 отложен коэффициент теплопередачи h_k , а по оси X 322 отложена скорость v . Коэффициент теплопередачи h_k для аэродинамической поверхности можно вычислить согласно Таблице 30-1:

Таблица 30-1 (файл MathCad)

$$\begin{aligned}
 &v = 89 \\
 &D = 0,03 \\
 &v = 10, 11.. 100 \\
 &h_k(v, D) = \frac{v^{0,63}}{D^{0,37}} \cdot \frac{0,190 \cdot 0,024 \cdot 0,69^{0,36}}{(1,2 \cdot 10^{-5})^{0,63}} \text{ Вт/м}^2\text{К} \\
 &h_k(89, 0,254) = 141,057 \text{ Вт/м}^2\text{К} \\
 &h_k(89, 0,0254) = 330,669 \text{ Вт/м}^2\text{К}
 \end{aligned}$$

где v - скорость воздуха; D - диаметр аэродинамической поверхности. Примерно половину коэффициента теплопередачи h можно приписать переднему участку аэродинамической поверхности при использовании числа Рейнольдса около $1,9 \times 10^5$.

Коэффициент теплопроводности h_k около $165 \text{ Вт/м}^2\text{К}$, используемый в ВЧ антиобледенителе, генерирует мощность W около 4,5 кВт на квадратный метр. Антиобледенитель содержит полимерный слой толщиной d с коэффициентом теплопроводности λ_d . Лед нарастает на антиобледенителе толщиной L . Коэффициент теплопроводности льда это λ , и толщина нагретого граничного слоя льда примерно равна одному межэлектродному расстоянию, т.е. около 0,25 мм. Статическую температуру перегрева граничного слоя льда $\Delta = T_{\text{гр}} - T_{\text{вн}}$, где $T_{\text{гр}}$ - температура границы, $T_{\text{вн}}$ - внешняя температура, можно вычислить согласно Таблице 30-2 (файл MathCad):

Таблица 30-2

$$\begin{aligned}
 &W = 4500 \text{ Вт/м}^2 \\
 &d = 0,002 \text{ м} \\
 &h = 165 \text{ Вт/м}^2\text{К} \\
 &L = 0, 0,0001.. 0,01 \text{ м} \\
 &l = 0,00001, 0,00002.. 0,001 \text{ м} \\
 &\lambda_l = 2,22 \text{ Вт/м}\cdot\text{К} \\
 &\lambda_d = 0,35 \text{ Вт/м}\cdot\text{К} \\
 &\Delta(L, l, \lambda_d) = W \cdot d \cdot \left[\frac{h \cdot L + (\lambda - l \cdot h) \cdot \left(1 - \exp\left(\frac{-L}{l}\right) \right)}{h \cdot (\lambda \cdot d + L \cdot \lambda_d) + \lambda \cdot \lambda_d} \right]
 \end{aligned}$$

На фиг.31 показана зависимость перегрева Δ в °С стационарного состояния (стационарного решения) от толщины льда в метрах. На фиг.31 по оси Y 335 отложен перегрев Δ , а по оси X 336 отложена толщина L . Диаграмма 330 показывает зависимость перегрева стационарного состояния в °С от толщины льда в метрах, при предположении наличия теоретически совершенного изолирующего слоя между антиобледенителем и аэродинамической поверхностью, а диаграмма 331 показывает зависимость при наличии

тефлоновой пленки толщиной 2 мм между антиобледенителем и аэродинамической поверхностью. Производительность антиобледенения достигает максимума, когда толщина льда превышает примерно 1 мм (точка 333 для теоретически совершенного изолирующего слоя и точка 334 для тефлоновой пленки толщиной 2 мм).

5 На фиг.32 показана зависимость перегрева Δ в °С стационарного состояния от размера электрода в метрах (диаграмма 340), при предположении наличия совершенного изолирующего слоя и толщине льда 1 мм. На фиг.32 по оси Y 341 отложен перегрев Δ , а по оси X 342 отложен размер l электрода. В данном примере можно наблюдать кипение в пограничном слое льда. Кипение объясняется испарением льда (например, пар) и

10 свидетельствует о перегреве более чем на 110°С. При эксплуатации антиобледенитель может иметь более высокую производительность, чем в лабораторных условиях. Например, физические свойства атмосферного льда, нарастающего на аэродинамической поверхности, иные, чем у сплошного льда.

15 Атмосферный лед может содержать незамерзшую воду и/или пузырьки газа. Эти включения атмосферного льда могут снижать теплопроводность и плотность льда.

Например, теплопроводность воды равна около 0,56 Вт/м·К, а теплопроводность сплошного льда равна около 2,22 Вт/м·К, граничный слой льда (например, слой льда, примыкающий к антиобледенителю) теплее остального льда и может содержать воду.

20 Используемый антиобледенитель с теплообменом можно моделировать путем аппроксимации коэффициента теплопроводности льда λ числом в пределах 0,5 Вт/м·К до 2,22 Вт/м·К. Пример рассчитан согласно Таблице 30-3:

Таблица 30-3

$$W = 4500 \text{ Вт/м}^2$$

$$d = 0,002 \text{ м}$$

$$h = 165 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$$

$$L = 0, 0,0001 \dots 0,01 \text{ м}$$

$$l = 0,00001, 0,00002 \dots 0,001 \text{ м}$$

$$\lambda = 1 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$$

$$\lambda_d = 0,35 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$$

$$\Delta(L, l, \lambda_d) = W \cdot d \cdot \left[\frac{h \cdot L + (\lambda - l \cdot h) \cdot \left(1 - \exp\left(\frac{-L}{l} \right) \right)}{h \cdot (\lambda \cdot d + L \cdot \lambda_d) + \lambda \cdot \lambda_d} \right]$$

На фиг.33 показана зависимость перегрева Δ в °С стационарного состояния (стационарного решения) от толщины льда в метрах. На фиг.33 по оси Y 355 отложен перегрев Δ , а по оси X 356 отложена толщина L . Диаграмма 350 показывает зависимость

40 перегрева стационарного состояния в °С от толщины льда в метрах, при предположении наличия теоретически совершенного изолирующего слоя между антиобледенителем и аэродинамической поверхностью, а диаграмма 351 показывает зависимость при наличии

45 тефлоновой пленки толщиной 2 мм между антиобледенителем и аэродинамической поверхностью. Производительность антиобледенения достигает максимума, когда толщина льда превышает примерно 1 мм (точка 352 для теоретически совершенного изолирующего слоя и точка 353 для тефлоновой пленки толщиной 2 мм).

Неоднородное распределение электрической мощности вблизи антиобледенительных электродов также может вызывать кипение граничного слоя льда. Например, локальная плотность мощности на поверхности электрода может превышать среднюю мощность

50 примерно на порядок величины в силу флуктуаций напряженности электрического поля. При этом в тех местах, где мощность превышает среднюю мощность, электрод может нагревать граничный слой льда быстрее, чем в других местах, с образованием пара.

Результаты решения, зависящего от времени, могут отличаться от результатов стационарных решений. Например, поскольку лед является материалом с низким

коэффициентом теплопроводности при подаче ВЧ мощности на граничный слой льда «тепловая волна» распространяется через лед. Соответственно, тонкий слой льда можно считать теплоизолированным слоем льда. При этом антиобледенитель может подавать мощность преимущественно только в этот слой. Зависящие от времени температурные кривые $\Delta(x, t)$ (диаграммы 360, 361, 362 and 363 FIG. 34) можно вычислить согласно Таблице 30-4:

Таблица 30-4 (файл MathCad)

$$\begin{aligned} &\rho = 920 \text{ кг/м}^3 \\ &C = 2 \cdot 10^3 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К} \\ &x = 0, 0,0001 \dots 0,1 \text{ м} \\ &\lambda = 1 \text{ Вт/м} \cdot \text{К} \\ &W = 4,5 \cdot 10^3 \text{ Вт/м}^2 \\ &D = \lambda / \rho \cdot C \\ &y(x, t) = \frac{x}{\sqrt{4 \cdot D \cdot t}} \\ &\Delta(x, t) = \frac{W}{\lambda} \cdot \sqrt{4 \cdot D \cdot t} \cdot \int_{y(x, t)}^{\infty} (1 - \text{erf}(z)) dz \\ &t = 0, 0,1 \dots 1000 \text{ с} \\ &D = 5,435 \times 10^{-7} \end{aligned}$$

где ρ - плотность льда; C - теплоемкость льда; λ - коэффициент теплопроводности льда; x - расстояние от нагревателя; W - подаваемая мощность на квадратный метр, D - коэффициент теплопроводности; и t - длительность подачи мощности (например, в импульсе нагрева). На фиг.34 показаны диаграммы 360, 361, 362 и 363 для соответствующих значений времени 200 с, 100 с, 25 с и 5 с, когда мощность W около 4,5 кВт/м² поступает в атмосферный лед, являющийся смесью сплошного льда, незамерзшей воды и пузырьков газа, имеющий коэффициент теплопроводности 1 Вт/м·К. На фиг.34 по оси Y 365 отложен перегрев Δ , а по оси X 366 отложено расстояние x от нагревателя.

Температура граничного слоя (т.е. температура граничного слоя льда) имеет типичное время рассеяния T , вычисленное согласно Таблице 30-5:

Таблица 30-5

$$\begin{aligned} &L = 10 \\ &\tau = L^2 / D \\ &\tau = 184 \text{ с} \end{aligned}$$

На фиг.35 показана зависимость температуры границы раздела от времени, демонстрируя зависимость граничной температуры перегрева Δ в °С от времени. На фиг.35 по оси Y 371 отложена температура перегрева Δ , а по оси X 372 отложено время.

При подаче короткого импульса нагрева тепловую энергию можно свести к минимуму и все же расплавить граничный слой льда. Например, тепловую энергию можно вычислить согласно Таблице 30-6:

Таблица 30-6 (файл MathCad)

$$\begin{aligned} &\Delta(x) = \frac{W}{\lambda} \cdot \sqrt{4 \cdot D \cdot t} \int_0^{\infty} (1 - \text{erf}(z)) dz \\ &\Delta(t) = 2 \cdot \frac{W}{\lambda} \cdot \sqrt{\frac{D \cdot t}{\pi}} \\ &t(\Delta) = \left(\frac{\Delta \cdot \lambda}{2W} \right)^2 \cdot \frac{\pi}{D} \end{aligned}$$

$$Q(W) = \left(\frac{\Delta \cdot \lambda}{2} \right)^2 \cdot \frac{\pi}{D \cdot W}$$

5 где t - время, необходимое для достижения нужной температуры перегрева Δ граничного слоя льда; Q - полная тепловая энергия, необходимая для достижения этой температуры. Как и на фиг.1, полная тепловая энергия Q может быть, по существу, обратно пропорциональна подаваемой мощности W , чтобы антиобледенитель имел более высокий К.П.Д. и чтобы экономить полную электрическую мощность.

10 Антиобледенительные системы с теплопередачей

В нижеследующих вариантах осуществления описаны антиобледенительные системы с теплопередачей. Антиобледенительные системы с теплопередачей можно использовать для удаления льда с поверхности объекта. В некоторых вариантах осуществления системы можно использовать для растапливания граничного слоя льда и изменения коэффициента трения на границе раздела поверхности объекта со льдом. Такие антиобледенительные системы с теплопередачей накапливают тепловую энергию и периодически переносят тепловую энергию от источника нагрева (или источника тепла) на нагревательный элемент.

На фиг.36 показана антиобледенительная система 460 с теплопередачей.

Антиобледенительная система 460 с теплопередачей представлена в двух состояниях - 460А и 460В. Антиобледенительная система 460 с теплопередачей содержит источник 464 питания, теплоизолятор 462, нагревательный элемент 466, мембрану 470 и клапан 468 мембраны. Антиобледенительная система 460 с теплопередачей способна удалять лед 472 с поверхности (например, включая наружную поверхность 471 мембраны 470) объекта, например самолета, крыла самолета, ветрового стекла автомобиля, лодки, самолета, дороги, тротуара, морозильника, холодильника, беговой дорожки и окна.

Антиобледенительная система 460 с теплопередачей может обеспечивать аккумуляцию тепла, что позволяет подавать, по мере необходимости, накопленное тепло в виде тепловых импульсов на границу раздела лед-объект. Источник 464 питания может включать в себя переключающийся источник питания, батарею, конденсатор, маховик и/или высоковольтный источник питания. В качестве конденсатора можно использовать суперконденсатор или ультраконденсатор.

В состоянии 460А мембрана 470 надувается газом через клапан 468 мембраны. В качестве газа можно использовать воздух или другие газы, обладающие свойством теплоизоляции. При подаче мощности на нагревательный элемент 466 мощность преобразуется в некоторое количество тепловой энергии, которая сохраняется в нагревательном элементе 466. Тепловая энергия, сохраненная в нагревательном элементе 466, переносится в граничный слой 473 за счет сдувания мембраны 470, как показано в состоянии 460В. При сдувании мембраны 470 тепловая энергия переносится с нагревательного элемента 466 в граничный слой 473 для растапливания граничного слоя 473, в результате чего происходит удаление льда 472. Состояние 460В поддерживается столько времени, сколько необходимо для растапливания граничного слоя льда 472.

На фиг.37 показана антиобледенительная система 480 с теплопередачей.

Антиобледенительная система 480 с теплопередачей проиллюстрирована в двух состояниях - 480А и 480В. Антиобледенительная система 480 с теплопередачей содержит источник 484 питания, теплоизолятор 486 и нагревательный элемент 482.

Антиобледенительная система 480 с теплопередачей способна удалять лед 492 с поверхности 491 объекта 493. Объект 493 может относиться к классу рассмотренных выше объектов. Антиобледенительная система 480 с теплопередачей может обеспечивать аккумуляцию тепла, что позволяет подавать, по мере необходимости, накопленное тепло в виде тепловых импульсов на границу раздела лед-объект, чтобы растапливать граничный лед.

В состоянии 480А нагревательный элемент 482 показан в виде двух слоев 482А и 482В, между которыми заключен теплоизолятор 486. Теплоизолятор 486 подвижно установлен между слоями 482А и 482В нагревательного элемента, что позволяет этим слоям при

скольжении приходиться в контакт друг с другом, как показано в состоянии 480В. Источник 484 питания подает некоторую величину мощности на нагревательный элемент 482. В качестве источника питания может выступать один или несколько источников питания. При подаче мощности на нагревательный элемент 482 происходит преобразование мощности в тепловую энергию. Когда слой 482А приходит в контакт со слоем 482В, тепловая энергия переносится от нагревательного элемента 482 в граничный слой льда 492 в количестве, достаточном для растапливания этого граничного слоя. Слои 482А и 482В нагревательного элемента часто перемещаются относительно друг друга, в результате чего теплоизолятор 486 периодически осуществляет теплоизоляцию слоев 482А и 482В и обуславливает периодический перенос тепловой энергии в граничный слой льда на поверхности 491. Периодический перенос тепловой энергии обеспечивает подачу средней энергии в граничный слой для поддержания объекта свободным ото льда.

Нагревательный элемент 482 может быть выполнен из проводящего материала, например, в виде фольги из металла или металлического сплава, тонкого слоя металла на диэлектрической подложке, тонкого слоя оксида металла на подложке, проводящей полимерной пленки, проводящей краски, проводящего адгезива, проволочной сетки и проводящих волокон. Примеры прозрачных проводников включают в себя SnO₂, ITO, TiN и ZnO. Примеры проводящих волокон включают в себя углеродные волокна.

На фиг.38 показана антиобледенительная система 500 с теплопередачей. Антиобледенительная система 500 с теплопередачей содержит источник 504 питания, нагревательный элемент 502, водяной насос 508, бак 506 и трубку 510. Антиобледенительная система 500 с теплопередачей способна удалять лед 512 с поверхности 511 объекта. Антиобледенительная система 500 с теплопередачей способна действовать как накопитель тепла, что позволяет подавать накопленное тепло в виде импульса тепла на границу раздела лед-объект на поверхности 511. При подаче мощности на нагревательный элемент 502 мощность преобразуется в тепловую энергию. Нагревательный элемент 502 повышает температуру теплопроводящей жидкости в баке 506. В качестве теплопроводящей жидкости может быть использована вода или другая теплопроводящая жидкость. Насос 508 прокачивает теплопроводящую жидкость через трубку 510. При закачке теплопроводящей жидкости в трубку 510 тепловая энергия переносится в граничный слой льда 512 на поверхности 511. В результате переноса тепловой энергии в граничный слой лед 512 отлипает от поверхности 511. Согласно одному варианту осуществления насос 508 часто прокачивает теплопроводящую жидкость через трубку 510, вызывая периодический перенос тепловой энергии в граничный слой, чтобы подавать на границу раздела среднюю тепловую энергию, необходимую для поддержания объекта свободным ото льда.

На фиг.39 показана импульсная антиобледенительная система 520, где показаны отличия антиобледенительных систем с теплопередачей (фиг. 37 и 38) от ранее описанных систем, например системы 10 (фиг.1). В этом варианте осуществления лед 528 прилипает к поверхности 531 на границе раздела объект-лед, прилегающей к поверхности 531. Импульсная антиобледенительная система 520 содержит источник 524 питания, один или несколько нагревательных элементов 526 и слои 522А и 522В. Импульсная антиобледенительная система 520 способна удалять лед 528 с поверхности 531 слоя 522В. Например, слой 522В является ветровым стеклом, с которого нужно удалить лед.

Нагревательные элементы 526 встроены в слой 522В и электрически подключены к источнику 524 питания, чтобы получать от него мощность. Слои 522А и 522В выполнены из практически прозрачного материала для использования в ветровом стекле или в качестве последнего.

Когда источник 524 питания подает мощность на нагревательные элементы 526 (которые также могут быть прозрачными), тепловая энергия излучается от нагревательных элементов 526 и нарушает прилипание льда 528 к поверхности 531 слоя 522В. Источник 524 питания подает мощность на нагревательные элементы 526 согласно уравнениям фиг.1. В качестве источника 524 питания может быть использован один или несколько

источников питания, например, как на фиг.36.

При подаче мощности на нагревательные элементы 526 происходит преобразование мощности в некоторое количество тепловой энергии. Тепловая энергия переносится в граничный слой льда 528 на поверхности 531 для нарушения прилипания льда 528 к поверхности 531. Мощность передается на нагревательные элементы 526 частыми импульсами для периодического переноса тепловой энергии в граничный слой в течение периодов, выражаемых Ур. 1-1.

Для сравнения, источник питания антиобледенительной системы с теплопереносом, например источники 484 и 504 питания (фиг. 37 и 38), подают мощность на нагревательные элементы, которые в свою очередь вырабатывают тепловую энергию. Антиобледенительная система с теплопереносом сохраняет тепловую энергию до подачи тепловой энергии на границу раздела лед-объект.

Нагревательные элементы 526 импульсной антиобледенительной системы 520 могут быть выполнены, например, из фольги из металлического сплава, тонкого слоя металла на диэлектрической подложке, тонкого слоя оксида металла на подложке, практически прозрачного проводника, проводящей полимерной пленки, проводящей краски, проводящего адгезива, проволочной сетки и/или проводящих волокон. Примеры прозрачных проводников включают в себя SnO₂, ITO, TiN и ZnO. Примеры проводящих волокон включают в себя углеродные волокна. Нагревательные элементы 526 могут также включать в себя полупроводниковые устройства, способные преобразовывать мощность в тепловую энергию. Благодаря использованию множественных нагревательных элементов 526 суммарное энергопотребление можно сегментировать или определять по отдельности. Например, сегмент 535 поверхности 531 требует существенно меньше энергии для растапливания граничного слоя льда в этой области по сравнению с растапливанием граничного слоя льда в этой области для всей поверхности 531. Соответственно, мгновенное энергопотребление для нарушения прилипания льда 528 снижается, когда последовательная подача импульсов на сегменты или участки приводит к частичному отлипанию льда 528 от всей поверхности 531 в течение времени.

На фиг.40 показана антиобледенительная система 540 с теплопередачей. Антиобледенительная система 540 с теплопередачей содержит проводник 542 тепла (например, «горячую плиту»), диэлектрическую пластину 546 и нагревательный элемент 544 (например, тонкую металлическую фольгу). Антиобледенительная система 540 с теплопередачей способна растапливать граничный слой льда 545 на объекте, подавая импульсы тепловой энергии в лед 545. Например, антиобледенительная система 540 с теплопередачей может находиться на поверхности объекта, в результате чего подача мощности нагрева на нагревательный элемент 544 приводит к растапливанию граничного слоя льда 545.

Проводник 542 тепла преобразует мощность в тепловую энергию, которая переносится от проводника 542 тепла на нагревательный элемент 544 через отверстия 547 в диэлектрической пластине 546. В одном примере проводник 542 тепла вибрирует, в результате чего, когда проводник 542 тепла контактирует с нагревательным элементом 544, проводник 542 тепла переносит тепловую энергию на нагревательный элемент 544, который растапливает граничный слой льда. В зависимости от применения антиобледенительной системы 540 с теплопередачей растапливание граничного слоя льда может быть полезно для удаления льда с поверхности объекта для предотвращения его формирования на поверхности или для изменения прочности прилипания и изменения коэффициента трения между льдом и объектом.

Антиобледенительная система 540 с теплопередачей используется как «импульсный тормоз», в котором импульс нагрева переносится от проводника 542 тепла на нагревательный элемент 544, когда проводник 542 тепла касается нагревательного элемента 544, присоединенного к основанию скользящего тела, которое граничит со льдом. При необходимости торможения проводник 542 тепла касается нагревательного элемента 544 в течение нескольких миллисекунд, через отверстия 547 в диэлектрической

пластине 546, создавая «горячие пятна», на которых лед тает. После убирания проводника 542 тепла растопленные пятна обычно замерзают в течение нескольких миллисекунд, обеспечивая связи между основанием скользящего тела и льдом.

Одним из параметров импульсного тормоза является время, необходимое для растапливания и последующего замерзания льда/снега. Когда происходит граничное охлаждение между льдом или снегом и основанием скользящего тела, время охлаждения можно оценить согласно выражению:

$$t_{\text{охл}} \approx \left[\frac{Q}{S} \cdot \frac{1}{(T_T - T) \left(\sqrt{\lambda_{\text{снег}} \cdot \rho_{\text{снег}} \cdot c_{\text{снег}}} + \sqrt{\lambda_{\text{лыж}} \cdot \rho_{\text{лыж}} \cdot c_{\text{лыж}}} \right)} \right]^2 \quad (\text{Ур. 40-1})$$

где T_T - температура таяния льда; T - внешняя температура; λ - коэффициент теплопроводности; ρ - плотность материала; c - теплоемкость материала (нижний индекс «снег» обозначает лед и/или снег, и нижний индекс «лыж» обозначает материал, используемый в качестве основания скользящего тела); W - мощность на квадратный метр; Q - выделяемая тепловая энергия; S - площадь основания скользящего тела.

На фиг.41 показана система 560 теплопередачи, которая была выполнена и испытана, в соответствии с вариантом осуществления, представленным на фиг.36. Согласно этому варианту осуществления система 560 теплопередачи содержит два алюминиевых диска 562 и 563 около шести дюймов в диаметре и толщиной 1 мм. Согласно одному варианту осуществления внутренние поверхности дисков 562 и 563 отшлифованы и отполированы для снижения оптической излучательной способности. Внешние поверхности дисков 562 и 563 анодированы в примерно 15% растворе серной кислоты для получения пленки оксида алюминия толщиной от 10 мкм до 12 мкм (жесткое анодирование). Диски 562 и 563 присоединены к плексигласовому кольцу 569 резиновым уплотнительным кольцом 570В. Диски 562 и 563 также присоединены к плексигласовому кольцу 572 и, таким образом, к клапану 571, уплотнительным кольцом 570А.

Система 560 теплопереноса также содержит нагревательный элемент 565, присоединенный к диску 563 и способный принимать электрическую мощность от источника 566 питания для преобразования этой мощности в тепловую энергию. Нагревательный элемент 565 содержит углеродную фольгу, инкапсулированную в каптоновую полиимидную подложку 568. Термопара 564 может быть присоединена к диску 563 через отверстие 579 в нагревательном элементе 565 посредством теплопроводящего клея. Согласно одному варианту осуществления термопара 564 способна контролировать температуру диска 562, когда нагревательный элемент 565 переносит тепло на диск 563. Согласно одному варианту осуществления источник питания 566 представляет собой источник питания постоянного тока, способный выдавать около 20 В.

Вакуумный насос может подключаться к клапану 571, чтобы приводить «холодный» и «горячий» диски в контакт и переносить тепловую энергию от горячего диска к холодному диску. Например, когда источник 566 питания подает мощность на нагревательный элемент 565, последний преобразует мощность в тепловую энергию и переносит эту энергию на диск 563, тем самым создавая горячий диск. Вакуумный насос откачивает воздух из камеры 573, чтобы камера сжалась и диск 562 соприкоснулся с диском 563 (например, с холодным диском). Когда диск 562 касается диска 563, тепловая энергия диска 563 переносится на диск 562. Когда перенос тепловой энергии больше не требуется, вакуумный насос накачивает воздух в камеру, чтобы разделить диски 562 и 563.

При температуре около -10°C и при наличии льда, наростшего на диске 562, и когда система 560 теплопередачи находится в вертикальном положении, мощность приблизительно 10-25 ватт, поданная на нагревательный элемент, нагревает диск 563 примерно до 20°C . Когда вакуумный насос откачивает воздух из камеры 573, в результате чего диски 562 и 563 касаются друг друга, лед 577 удаляется с диска 562, например, под действием силы тяжести. Хотя в камере 573 обычно используется воздух, альтернативно, в камере 573 можно использовать другие теплоизолирующие газы.

Анализ антиобледенительной системы с теплопередачей

В нижеследующем описании проанализированы различные антиобледенительные системы с теплопередачей и показаны их эксплуатационные характеристики. Например, проанализированы характеристики различных материалов, например льда, при определенной температуре, теплоемкость которого известна (например, C_n на фиг.18). В этих анализах, значения компонентов иллюстрируют различные условия, например условия окружающей среды и/или режимы теплопередачи.

На фиг.42-46 показаны графики, иллюстрирующие один иллюстративный анализ антиобледенительной системы с теплопередачей. В этом примере антиобледенительная система с теплопередачей содержит первый и второй проводники тепла и нагревательный элемент, имеющие равные теплоемкости. Система характеризуется естественным конвективным теплообменом Nu через воздушный зазор, в котором нагревательный элемент нагревает первый проводник тепла, чтобы второй проводник тепла нагревался до температуры около 275,5 К, когда два проводника тепла контактируют друг с другом.

Такую систему можно охарактеризовать с помощью Таблицы 42-1 (вычисляя число Нуссельта для естественной конвекции воздуха между дисками 562, 563 (фиг.41):

Таблица 42-1 (файл MathCad)

$$v = 1,57 \cdot 10^{-5}$$

$$L = 0,0125$$

$$g = 9,8$$

$$\beta = 1/273$$

$$Pr = 0,69$$

$$T_T = 273$$

$$T_n = 243, 244.. 273$$

$$T_n(T_n) = 2T_T - T_n + 5$$

$$\Delta(T_n) = T_n(T_n) - T_n$$

(т.е. разность температур между нагревателем и окружающей средой)

$$Ra_L(T_n) = \frac{g \cdot \beta \cdot L^3 \cdot Pr \cdot \Delta(T_n)}{v^2}$$

$$Ra_L(243) = 1,276 \times 10^4$$

$$Nu_1(T_n) = 0,0605 Ra_L(T_n)^{1/3}$$

$$Nu_2(T_n) = \left[1 + \left[\frac{0,104 Ra_L(T_n)^{0,293}}{1 + \left(\frac{6310}{Ra_L(T_n)} \right)^{1,36}} \right]^3 \right]^{1/3}$$

где T_n - температура материала подложки (диска 562); T_n - температура нагревательного элемента (диска 563); v - кинематическая вязкость воздуха; L - расстояние между дисками 562 и 563, g - ускорение свободного падения; β - коэффициент теплового расширения воздуха; Pr - число Прандтля для воздуха; T_T - температура таяния льда; T_n - возрастающая температура диска 562; Δ - разность температур; Ra - число Релея для воздуха; Nu_1 и Nu_2 - числа Нуссельта.

Соответственно на фиг.42 показана (диаграмма 580) зависимость числа Нуссельта от внешней температуры (холодного диска 562). Таблица 42-2 позволяет вычислить скорость естественной конвективной теплопередачи между дисками 562, 563:

Таблица 42-2 (файл MathCad)

$$\lambda = 0,025$$

$$W_k(T_n) = \frac{\lambda \cdot Nu(T_n) \cdot \Delta(T_n)}{L}$$

$$\frac{W_k(243)}{2} = 91,887 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

где $\lambda_{\text{в}}$ - коэффициент теплопроводности воздуха; $W_k/2$ - средняя скорость теплопередачи, когда нагреватель нагревает диск 563 от $T_{\text{п}}$ до $T_{\text{н}}$. На фиг.42 по оси Y 581 отложено Nu конвекции, а по оси X 582 отложена температура $T_{\text{п}}$ материала подложки. Средние потери тепла W_k через воздушный зазор показаны на фиг.43 (диаграмма 590). На фиг. 43 по оси Y 591 отложен конвективный перенос тепла $W_k/2$, а по оси X 592 отложена температура $T_{\text{п}}$ материала подложки.

На фиг.44 показан перенос тепла $W_{\text{из}}$ через заднюю изоляцию (например, изоляцию на задней стороне первого проводника тепла, диаграмма 600). В этом варианте осуществления изоляция представляет собой жесткую полиуретановую пену, имеющую толщину ℓ около 0,025 м и коэффициент теплопроводности $\lambda_{\text{в}}$ около 0,026. Перенос тепла $W_{\text{из}}$ можно вычислить согласно Таблице 42-3 (потери тепла через задний изолирующий слой):

Таблица 42-3 (файл MathCad)

$$W_{\text{из}}(T_{\text{п}}) = \lambda_{\text{из}} \cdot \Delta(T_{\text{п}}) / \ell$$

$$W_{\text{из}}(243) / 2 = 33,8 \text{ Вт/м}^2$$

Соответственно, излучательный перенос тепла $W_{\text{и}}$ через воздушный зазор можно вычислить согласно Таблице 42-4 (потери тепла через излучение):

Таблица 42-4 (файл MathCad)

$$\varepsilon = 0,04$$

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$$

$$W_{\text{и}}(T_{\text{с}}) = \varepsilon \cdot \sigma (T_{\text{н}}(T_{\text{п}})^4 - T_{\text{п}}^4)$$

$$W_{\text{и}}(243) = 12,502 \text{ Вт/м}^2$$

где ε - излучательная способность дисков 562 и 563; σ - постоянная Стефана-Больцмана. На основании Таблицы 42-4 можно построить диаграмму излучательного переноса тепла $W_{\text{и}}$ (диаграмма 600) как функции температуры $T_{\text{п}}$ на фиг.44 ($T_{\text{п}}$ и $T_{\text{т}}$ определены выше). На фиг.44 по оси Y 601 отложен излучательный перенос тепла $W_{\text{и}}$, а по оси X 602 отложена температура $T_{\text{п}}$ материала подложки.

На фиг.45 показаны суммарные средние потери тепла W (диаграмма 610) от нагревательного элемента. На фиг.45 по оси Y 611 отложены суммарные средние потери тепла W , а по оси X 612 отложена температура $T_{\text{п}}$ материала подложки. Поскольку температура нагревательного элемента периодически изменяется от $T_{\text{т}}$ до $T_{\text{н}}$, средняя разность температур между нагревательным элементом и окружающей средой составляет примерно $(3/4) \cdot (T_{\text{н}} - T_{\text{п}})$. Суммарные средние потери тепла W можно вычислить согласно Таблице 42-5 (суммарные потери тепла в окружающую среду):

Таблица 42-5 (файл MathCad)

$$W(T_{\text{п}}) = 3/4 \cdot (W_k(T_{\text{п}}) + W_{\text{из}}(T_{\text{п}}) + W_{\text{и}}(T_{\text{п}}))$$

$$W(243) = 197,907 \text{ Вт/м}^2$$

$$W(253) = 127,163 \text{ Вт/м}^2$$

$$W(263) = 63,602 \text{ Вт/м}^2$$

На фиг.46 показана средняя мощность $W_{\text{ср}}$ от источника питания, используемая в антиобледенительной системе с теплопередачей. На фиг.46 по оси Y 623 отложена средняя мощность $W_{\text{ср}}$, а по оси X 624 отложена температура. Результаты средней мощности показаны как функция трех внешних температур холодной пластины $T_{\text{п}}$ (диаграммы 620, 621 и 622). Суммарная величина тепловой энергии Q , необходимая для нагрева нагревательного элемента от температуры $T_{\text{п}}$ материала подложки до $T_{\text{н}}$, вычисляется в виде двух компонентов Q_1 и Q_2 . Q_1 - это тепловая энергия, обусловленная теплоемкостью нагревательного элемента, а Q_2 - это тепловая энергия, переносимая от нагревателя в окружающую среду (суммарные потери энергии из системы). Суммарную

величину тепловой энергии Q можно вычислить согласно следующей Таблице 42-6:

Таблица 42-6 (файл MathCad)

$$\begin{aligned}
 & d = 0,001 \\
 & t = 1, 2.. 300 \\
 & C_n = 900 \\
 & \lambda_n = 170 \\
 & \rho_n = 2700 \\
 & C_n = 2000 \\
 & \rho_n = 920 \\
 & \lambda_n = 2 \\
 & Q_1(T_n) = d \cdot C_n \cdot \rho_n \cdot (T_n(T_n) - T_T) \\
 & Q_1(243) = 8,505 \times 10^4 \text{ Дж/м}^2 \\
 & Q_2(T_n, t) = W(T_n) \cdot t
 \end{aligned}$$

где d - толщина нагревательного элемента; t - длительность теплообмена (например, теплового импульса); C - теплоемкость материала; λ - коэффициент теплопроводности; ρ - плотность материала (нижний индекс «л» обозначает лед и/или снег, и нижний индекс «п» обозначает материал подложки для большинства алюминиевых сплавов); T_n - температура подложки; T_n - температура нагревательного элемента; и T_T - температура льда. Среднюю мощность от источника питания, используемую в этой антиобледенительной системе с теплопередачей (антиобледенение каждые три минуты (180 с), можно вычислить согласно Таблице 42-7:

Таблица 42-7 (файл MathCad)

$$\begin{aligned}
 & W_{cp}(t, T_n) = Q_1(T_n)/t + W(T_n) \\
 & W_{cp}(180, 243) = 670,407 \text{ Вт/м}^2 \text{ (диаграмма 620)} \\
 & W_{cp}(180, 253) = 464,663 \text{ Вт/м}^2 \text{ (диаграмма 621)} \\
 & W_{cp}(180, 263) = 266,102 \text{ Вт/м}^2 \text{ (диаграмма 622)}.
 \end{aligned}$$

Антиобледенительная система с вышеозначенными характеристиками полезна в качестве антиобледенителя аэродинамической поверхности (например, крыла самолета). Такая антиобледенительная система может быть выполнена из алюминиевого сплава толщиной 1 мм и установлена позади передней кромки малой аэродинамической поверхности, т.е. передней открытой части крыла самолета. В данном примере, аэродинамическая система имеет размах около 20 см и толщину около 5 см; размеры антиобледенителя составляют 20 см x 10 см. При скорости воздуха около 142 км/ч и приблизительно -10°C. Каплями воды диаметром около 20 мкм на аэродинамической поверхности образуется атмосферный лед. Когда лед вырастает примерно до 5-10 мм, компьютерная система (например, контроллер 78 (фиг.6) предписывает источнику питания приступить к антиобледенению, чтобы растопить граничный слой льда на аэродинамической поверхности, чтобы существенно изменить и/или ликвидировать прилипание льда к аэродинамической поверхности. Тогда лед можно будет удалить с аэродинамической поверхности силой лобового сопротивления. Такая система очистки аэродинамической поверхности была построена и испытана, демонстрируя производительность, весьма близкую к теоретическим прогнозам, приведенным в Таблице 42-7.

Способы регулировки коэффициента трения

Нижеследующие варианты осуществления предусматривают изменение коэффициента трения между поверхностью объекта (например, входящей в состав скользящего тела) и льдом или снегом. Система, подобная системе 40 (фиг.4), использует уравнения фиг.1, чтобы оказывать влияние на коэффициент трения между скользящим телом и снегом (например, как описано для фиг. 47 и 48). Такая система позволяет увеличивать или уменьшать силу сцепления между поверхностью раздела и снегом, что определяется конкретным применением. Например, в некоторых описанных здесь скользящих телах

такая система используется в качестве импульсного тормоза для торможения скользящего тела при его перемещении по снегу.

На фиг. 47 и 48 показаны характеристики скользящего тела, например лыжи или автомобильной шины. Скользящее тело содержит подложку 632 скользящего тела и
 5 нагревательный элемент 633. Нагревательный элемент 633 присоединен к подложке 632 скользящего тела и может непосредственно контактировать со льдом и/или снегом 630. Нагревательный элемент 633 способен принимать мощность от источника питания, например, в соответствии с уравнениями для фиг.1.

На фиг.48 показано распределение температуры в подложке 632 скользящего тела и
 10 льда 630 при подаче мощности на нагревательный элемент 633 в виде импульса. Например, на фиг.48 показано расстояние рассеяния тепла вдоль оси X 636 в течение времени t через лед 630 и подложку 632 как функция изменения температуры T вдоль оси T 639 на границе раздела лед-объект. Кривая t_1 выражает изменение температуры, обусловленное рассеянием тепла во льду 630 и в подложке 632 при данной длительности
 15 импульса. Показано, что пик t_1 кривой соответствует определенной температуре 638 на оси T 639. Температуры 638 достаточно для растапливания граничного слоя льда 630. Закрашенная область (m) под кривой t_1 представляет растопленный граничный слой.

До подачи мощности на нагревательный элемент 633 температура внешней среды
 20 представлена точкой 637. При подаче импульса мощности на нагревательный элемент 633 температура элемента 633 начинает расти и переходит в лед 630 на расстояние 631 (расстояние граничного слоя льда 630) и в подложку 632. Эта температура растет до точки 635, где лед начинает таять, и продолжает расти на протяжении длительности импульса мощности. Тепловая энергия растапливает тонкий граничный слой (m) льда 630. После отключения мощности от нагревательного элемента 633 температура начинает
 25 падать ниже точки плавления 635, кривая t_2 . По мере снижения температуры нагревательного элемента прилипание льда 630 к подложке 632 скользящего тела изменяется вследствие повторного замораживания. Повторное замораживание увеличивает прилипание льда 630 к подложке 632 и способствует торможению скользящего тела на границе раздела нагревательного элемента 633.

30 Согласно этому варианту осуществления характеристики скользящего тела удовлетворяют уравнениям фиг.10. Например, время t рассеяния на длину L в направлении оси X 636 можно выразить следующим образом:

$$t = L^2/D, \text{ где} \quad (\text{Ур. 11-1})$$

D - коэффициент теплопроводности, выражаемый как

$$35 \quad D = \lambda/\rho c, \quad (\text{Ур. 11-2})$$

где λ - коэффициент теплопроводности; ρ - плотность материала; c - теплоемкость материала. Соответственно, уравнения 11-1 и 11-2 показывают, что тепловая энергия, поглощенная льдом 630 и подложкой 632, рассеивается на расстояние, пропорциональное
 40 квадратному корню из времени t . Чем меньше длительность подачи мощности на нагревательный элемент 633, тем тоньше граничный слой льда, подвергающийся воздействию. Время t и энергия Q , подаваемая на нагревательный элемент 633 для нагрева граничного слоя льда 630 от внешней температуры T до точки плавления T_T (точка плавления 638), удовлетворяют уравнениям, рассмотренным для фиг.1.

На фиг.49 показано одно скользящее тело 640 для иллюстрации изменений трения на
 45 границе раздела лед-объект. Скользящее тело 640 содержит акриловый ползун 644, датчик 642 силы и нагревательный элемент 646, например титановую фольгу толщиной от 12,5 мкм до 25 мкм. Скользящее тело 640 использует нагревательный элемент 646, который растапливает граничный слой льда 641, примыкающий к скользящему телу 640, за счет подачи в слой импульсов тепловой энергии, например, согласно уравнениям для фиг.1.
 50 Мощность можно подавать на нагревательный элемент 646 на клеммы 645 и 647, в результате чего нагревательный элемент 646 растапливает граничный слой льда 641. После растапливания граничному слою льда 641 позволяют повторно замерзнуть вследствие более низкой внешней температуры, что обеспечивает связь между льдом 641

и ползуном 644.

Датчик 642 силы получает информацию о силе, прилагаемой ползуном 644 ко льду 641. Датчик 642 силы может передавать эту информацию на контроллер 643 для определения, как подавать мощность на нагревательный элемент 646. Источник питания, аналогичный
5 описанному выше, может подавать мощность на нагревательный элемент 646 для растапливания граничного слоя льда 641. Растапливание граничного слоя льда 641 приводит к изменению прочности прилипания льда 641 к скользящему телу 640 и изменению коэффициента трения между льдом 641 и ползуном 644.

На фиг. 50 и 51 показано использование скользящего тела 650 в виде лыжи 654.

10 Скользящее тело 650 содержит металлические нагревательные элементы 652, например титановую фольгу, связанную с поверхностью 651 лыжи, которая контактирует со снегом 653. Нагревательные элементы 652 способны растапливать слой граничного снега, взаимодействующего с поверхностью 651, за счет подачи импульсов энергии в слой снега 653, например, согласно уравнениям для фиг.1. Мощность подается на нагревательные
15 элементы 652 одним из нескольких описанных здесь устройств. После растапливания граничного слоя снега 653 он повторно замораживается вследствие более низкой внешней температуры и обеспечивает связь между снегом 653 и поверхностью 651. Связь обеспечивает повышенное сцепление со снегом 653 за счет изменения коэффициента трения между льдом и скользящим телом 650.

20 Скользящее тело 650 может также содержать крепление 658, показанное на фиг.51. Переключатель 660 размещен на креплении 658 для управления режимом подачи мощности на нагревательные элементы 652. В качестве переключателя 660 может быть использован механический переключатель. Переключатель 660 может также содержать
25 ручной переключатель, переключатель движения лыжи, переключатель, реагирующий на давление, акселерометр, переключатель с дистанционным управлением и/или датчик движения. Каждый переключатель можно использовать в скользящем теле 650, чтобы активировать нагрев и повторное замораживание граничного слоя льда для обеспечения нужного коэффициента трения.

В частности, на фиг.50 дополнительно показано, как нагревательные элементы 652
30 могут быть присоединены к лыже 654. Согласно фиг.51 лыжный ботинок 656 вставлен в крепление 658. Лыжный ботинок 656, при желании, можно использовать для управления переключателем 660, чтобы подавать мощность на нагревательные элементы 652. Мощность может подаваться от источников питания. Когда ботинок 656 переключает
35 переключатель 660, последний проводит мощность от источника питания на нагревательные элементы 652 для растапливания граничного слоя снега 653 и, таким образом, для изменения коэффициента трения между лыжей 654 и снегом 653.

На фиг.52 показано скользящее тело в виде сноуборда 674. Скользящее тело 670
40 содержит нагревательные элементы 672, присоединенные к нижней поверхности 675 сноуборда 674. Поверхность 675 контактирует со снегом в ходе эксплуатации сноуборда 674. Эксплуатационные характеристики скользящего тела 670 могут быть такими же, как у лыжи 654 (фиг. 50 и 51). Нагревательные элементы 672 могут также быть встроены в сноуборд 674, но находиться в тепловой связи с поверхностью 675 согласно одному варианту осуществления.

На фиг.53 показано скользящее тело 680 в виде ботинка 684. Скользящее тело 680
45 содержит металлические нагревательные элементы 682, например титановую фольгу, присоединенную к каблук 688 и подошве 686, каблук 688 и подошва 686 контактируют со снегом или льдом, когда человек идет по снегу или льду. Нагревательные элементы 682 могут также быть встроены в ботинок 684 (или каблук 686) при условии, что они находятся в тепловой связи с внешней поверхностью каблука 688. Нагревательные
50 элементы 682 могут быть выполнены в виде тонкой проводящей пленки (например, пленки из TiN, пленки из Cr), напыленной либо на полимерную подложку (например, каптон, ABS), либо на керамическую подложку (например, стеклокерамику, диоксидциркониевую керамику). На нагревательные элементы 682 подается энергия, в результате чего

нагревательные элементы 682 растапливают граничный слой льда, примыкающий к каблук и/или подошве 688, 686. После растапливания граничного слоя льда или снега ему позволяют повторно замерзнуть под действием внешней температуры, что обеспечивает связь льда или снега с каблуком и/или подошвой 688, 686. Мощность

5 поступает, как описано для фиг.1. В качестве источника питания используют малую батарею 683 (например, батарею типа D-элемент). Переключатель 48 (фиг.4) подключает мощность от источника питания к нагревательным элементам 682. Когда пользователь переключает переключатель, последний проводит мощность от батареи 683 на

10 нагревательные элементы 682 для растапливания граничного слоя льда или снега и изменения коэффициента трения между ботинком 684 и льдом или снегом, что способствует повышению сцепления ботинка 684.

На фиг.54 показано скользящее тело 690 в виде шины 692. Скользящее тело 690 содержит металлические нагревательные элементы 694, внедренные в шину 692. Мощность поступает на нагревательные элементы 694, в результате чего нагревательные

15 элементы 694 растапливают граничный слой льда или снега 693. После растапливания граничного слоя льда он повторно замораживается под действием внешней температуры и обеспечивает связь между льдом/снегом 693 и шиной 692. Мощность можно подавать на нагревательные элементы 694 одним из нескольких указанных способов. Скользящее тело 690 использует в качестве источника питания, например, автомобильный аккумулятор.

20 В другом примере нагревательные элементы 694 включают в себя тонкие металлические провода, способные принимать мощность и преобразовывать эту мощность в тепловую энергию для растапливания граничного слоя льда/снега 693, контактирующего с шиной 692. Кроме того, скользящее тело 690 может содержать контроллер 78 (фиг.6) для управления подачей мощности (фиг.1). Согласно варианту осуществления

25 пользователь активирует переключатель, что позволяет подавать мощность на нагревательные элементы 694, когда это необходимо для обеспечения дополнительного сцепления шины 692 с поверхностью дороги, покрытой льдом и снегом 693. Когда пользователь переключает переключатель, нажимая специальную кнопку на панели управления автомобиля, переключатель проводит мощность от источника питания на

30 нагревательные элементы 694 для растапливания граничного слоя льда и снега 693 и, таким образом, для изменения коэффициента трения между шиной 692 и льдом и снегом, порывающими поверхность дороги, когда граничный слой повторно замораживается и повышает сцепление шины 692 на снегу/льду 693.

Таким образом, нагревательные элементы 694 могут действовать как «импульсные

35 тормоза», выдавая импульс нагрева на границу раздела между шиной 692 и снегом/льдом 693. Например, когда необходимо торможение, граничный слой льда растапливается. Когда импульс прекращается, растопленные пятна на шине 692 обычно повторно замораживаются за несколько миллисекунд под действием внешней температуры, обеспечивая сильные связи между шиной 692 и льдом/снегом 693. Эти связи способствуют

40 торможению движения шины 692 относительно льда/снега 693. Для более быстрого охлаждения растопленного граничного слоя льда используется элемент Пельтье 695.

Примером элемента Пельтье 695 является термоэлектрический модуль, состоящий из массива гранул из полупроводника, легированного теллуридом висмута, который имеет

45 один тип носителей заряда (например, положительный или отрицательный) для переноса основного тока. Пары гранул с положительными и отрицательными основными носителями заряда имеют такую конфигурацию, что они электрически соединены последовательно, но термически соединены параллельно. Металлизированные керамические подложки могут обеспечивать платформу для гранул. Термоэлектрические модули могут функционировать

50 самостоятельно или группами с последовательными, параллельными или последовательно-параллельными соединениями.

При подаче напряжения постоянного тока на элемент Пельтье 695 положительные и отрицательные носители заряда в массиве гранул поглощают тепловую энергию с одной поверхности подложки и выделяют ее на противоположной поверхности подложки.

Подложка, на которой происходит поглощение тепловой энергии, может понижать температуру без использования движущихся деталей, компрессоров или газов. Противоположная подложка, на которой происходит выделение тепловой энергии, в результате нагревается.

- 5 На фиг.55 показана конфигурация скользящего тела 700, иллюстрирующая, как скользящее тело оказывает влияние на трение с примыкающим снегом или льдом. Скользящее тело 700 содержит совокупность металлических нагревательных элементов, внедренных в область 704, иллюстрирующую электропроводную резину шины. Мощность подают на нагревательные элементы 712, чтобы растапливать граничный слой льда 714.
- 10 После растапливания граничного слоя льда он повторно замораживается под действием внешней температуры и обеспечивает связь между льдом 714 и скользящим объектом 700. Нагревательный элемент 712 представляет собой тонкий металлический провод, способный принимать мощность и преобразовывать эту мощность в тепловую энергию для растапливания граничного слоя льда 714, контактирующего со скользящим телом 700.
- 15 Тонкий электрический изолятор 706 около нагревательного элемента окружает нагревательный элемент 712. Когда нагревательный элемент принимает мощность от источника 702 питания, нагревательные элементы 712 преобразуют мощность в тепловую энергию посредством удельного сопротивления. Тепловая энергия проводится (линии 710 теплового излучения) в лед 714 и нагреваемую область 708, в которой граничный слой
- 20 льда 714 растапливается. Растопленный граничный лед изменяет коэффициент трения между скользящим телом 700 и льдом 714, в результате чего сцепление между скользящим телом 700 и льдом 714 увеличивается. Коэффициент трения изменяется вследствие таяния и повторного замерзания, когда электрическая мощность подается и отключается от нагревательного элемента 712. Например, импульс электрической мощности, имеющий
- 25 длительность в соответствии с Ур. 1.4 для фиг.1, растапливает граничный слой льда 714, поскольку он преобразуется в тепловую энергию нагревательным элементом 712. Когда импульс электрической мощности спадает, область 708 получает возможность повторного замерзания под действием более низкой внешней температуры и нерастаявшего льда 714. Таким образом, растапливание и повторное замораживание льда
- 30 714 изменяет коэффициент трения и повышает сцепление и торможение, когда, например, скользящее тело 700 является таким объектом, как шина или лыжа.

- На фиг.56 показано скользящее тело в виде гусеницы 724, например, используемой для снегохода. Скользящее тело 720 содержит нагревательные элементы 722, внедренные в гусеницу 724. Мощность поступает на нагревательные элементы 722, в результате чего
- 35 нагревательные элементы 722 растапливают граничный слой льда, примыкающий к гусенице 724. Когда граничный слой льда растоплен и мощность больше не поступает, растопленный граничный слой воды повторно замерзает вследствие внешней температуры и обеспечивает связь льда с гусеницей 724. Скользящее тело 720 использует в качестве источника питания, например, аккумулятор. Иллюстративно, гусеница 724 показана вокруг
- 40 гусеничных колес 725. Нагревательные элементы 722 могут быть в виде тонких металлических проводов или в виде тонкой металлической фольги, преобразующих(ей) мощность в тепловую энергию для растапливания граничного слоя льда, контактирующего с гусеницей 724. Пользователь, при желании, может активировать переключатель, чтобы подать мощность на нагревательные элементы 722, например, когда пользователь
- 45 определяет необходимость в дополнительном сцеплении между гусеницей 724 и землей, покрытой льдом и снегом. Когда пользователь переключает переключатель, переключатель проводит мощность от источника питания (например, аккумулятора снегохода) на нагревательные элементы 722 для расплавления граничного слоя льда/снега, чтобы изменить коэффициент трения между гусеницей 724 и снегом, повысив сцепление
- 50 гусеницы 724 со снегом в результате последующего повторного замерзания.

На фиг.57 показано одно скользящее тело 780 в виде лыжи 782; лыжа 782 показана более подробно на виде 781. Скользящее тело 780 содержит нагревательный элемент 784 и может иметь эксплуатационные характеристики, как у лыжи 654 (фиг. 50 и 51).

Нагревательный элемент 784 может быть выполнен, например, из титановой фольги или устойчивых к истиранию проводящих красок (например, красок на основе никеля или серебра), или в виде напыленного слоя TiN. Нагревательный элемент 784 присоединен к поверхности лыжи 782 (установлен для обеспечения тепловой связи с поверхностью), чтобы непрерывно контактировать со снегом и растапливать граничный снег или лед, как описано для фиг.1.

На виде 781 представлен способ присоединения нагревательного элемента 784 к лыже 782. Например, нагревательный элемент 784 присоединен к лыже 782 посредством стоек 783. Стойки 783 обычно выполнены в виде металлического проводника, служащего клеммами электрической шины, а также для защиты нагревательного элемента 784 от повреждений. Стойки 783 можно использовать для передачи мощности от источника питания на нагревательный элемент 784, чтобы растапливать граничный слой снега и, таким образом, изменять коэффициент трения между лыжей 782 и снегом.

Нагревательный элемент 784 содержит, например, защитное покрытие 785, защищающее от повреждения камнями. Нагревательный элемент 784, стойки 783 и подложка 786 могут быть заменяемыми. Когда нагревательный элемент 784 содержит проводящий слой краски, царапины можно исправлять с помощью красок для мелкого ремонта.

На фиг.58 показано скользящее тело 800 в виде шины 802 согласно варианту осуществления. Скользящее тело 800 содержит нагревательный блок 806 и необязательную выпускную подсистему 804. Подсистема 804 выпуска воздуха может содержать выпуск холодного воздуха автомобильного кондиционера. Нагревательный блок 806 может содержать нагревательную лампу или другое нагревательное устройство для нагрева области 805 шины 802 импульсной или непрерывной тепловой энергией. Скользящее тело 800 может использовать в качестве источника питания автомобильный аккумулятор.

Согласно варианту осуществления элемент 806 нагревательного блока содержит и использует выпуск кондиционера или двигателя автомобиля. В другом варианте осуществления нагревательный блок 806 содержит или использует водораспылитель, который создает мельчайшие капельки воды. Капельки воды покрывают автомобильную шину тонкой водяной пленкой, которая замерзает при контакте со льдом, тем самым обеспечивая сильные связи между шиной и льдом.

Согласно еще одному варианту осуществления нагревательный блок 806 содержит горячий цилиндр, касающийся шины, и может вращаться вместе с шиной. Горячий вращающийся цилиндр может нагреваться системой электропитания автомобиля, автомобильным кондиционером и/или выхлопными газами автомобиля.

В рабочем примере нагревательный блок 806 способен принимать мощность и преобразовывать эту мощность в тепловую энергию, чтобы расплавлять граничный слой льда 810 в области 807 контакта с шиной 802. Когда нагревательный блок 806 получает энергию от источника питания, он преобразует ее в тепловую энергию и образует нагретую область 805. Ввиду малой длительности воздействия нагрева нагревается обычно только тонкий слой резины шины. При вращении шины 802 нагретая область 805 растапливает граничный слой льда 810 в области 807. Когда шина продолжает вращаться, растопленный слой льда повторно замерзает в области 808 и изменяет коэффициент трения между шиной 802 и льдом 810 в области 809, тем самым создавая связь между шиной 802 и льдом 810, что приводит к возрастанию сцепления между шиной 802 и льдом 810.

Поскольку шина 802 имеет значительную площадь контакта со льдом 810, резина шины 802 обычно повторно охлаждается прежде, чем будет снова нагрета нагревательным блоком 806. Таким образом, в дополнительном охлаждении обычно не бывает необходимости, когда внешняя температура ниже точки плавления льда. Тем не менее, дополнительное охлаждение может использоваться, например холодный воздух из автомобильного кондиционера можно использовать для охлаждения шины через

выпускную подсистему 804.

Поскольку нагревательный блок 806 может выдавать импульсную тепловую энергию, коэффициент трения может дискретно изменяться в результате растапливания и повторного замораживания граничного льда 810 при подаче и отключении электрической мощности (например, шина 802 постоянно нагревается и охлаждается во время вращения. Согласно варианту осуществления нагревательный блок 806 может содержать нагретую металлическую щетку, прижатую к вращающейся шине 802. Тепловой поток от щетки к поверхности 801 шины 802 нагревает тонкий слой резины шины, вызывая последующее растапливание граничного льда.

Средняя мощность, используемая нагревательным блоком 806, обычно зависит от внешней температуры и скорости автомобиля, но может быть в пределах от 10 ватт до 100 ватт. В некоторых экстремальных случаях, она может быть в пределах от 1 ватта до 1000 ватт. Кроме того, в зависимости от температурных и скоростных условий период, в течение которого резина шины 802 нагревается нагревательным блоком 806, находится в пределах от 3 мс до 100 мс, но, в более экстремальных случаях, может составлять от 1 мс до 1 с. Время повторного замораживания может быть примерно таким же, как для импульсной антиобледенительной системы, например, для фиг.1-6 (обычно в пределах от 1 мс до 100 мс). Это время можно регулировать так, чтобы обеспечить максимальное сцепление, когда большая часть области контакта шины с дорогой повторно заморожена.

На фиг.59 показана конфигурация одного скользящего тела 820. Скользящее тело 820 содержит границу 825 раздела скользящего тела и лампы 826 фотовспышки. Лампа 826 фотовспышки способна освещать поверхность раздела скользящего тела 825 импульсом света (например, вспышкой света). Лампа 826 фотовспышки получает мощность от источника питания 822 для растапливания граничного слоя льда 821. Лампа 826 фотовспышки выдает импульсы света на тонкий зачерненный слой 827 граничного льда 821. Типичная длительность и энергия для одного импульса лампы 826 составляет от 1 мс до 10 мс, генерируя энергию примерно от 1 Дж до 100 Дж.

Согласно варианту осуществления единичная вспышка от лампы 826 фотовспышки растапливает граничный слой льда 821, когда лампа 826 фотовспышки облучает границу 825 раздела скользящего тела. Граница 825 раздела скользящего тела является прозрачной и преобразует энергию вспышки в тепловую энергию, когда свет падает на зачерненный слой 827. Например, свет от лампы 826 (например, видимый свет или инфракрасный свет) поглощается слоем 827 и преобразуется в тепловую энергию. Затем преобразованная тепловая энергия поглощается в граничном слое льда 821, примыкающем к скользящему телу 820. При поглощении энергии граничным слоем 821 слой растапливается. Затем слой повторно замораживается под действием внешней температуры для обеспечения связи между скользящим телом 824 и льдом 821.

Анализ изменения коэффициента трения

Ниже приведены анализы, в которых коэффициент трения изменяется на границе раздела лед-объект или на границе раздела снег-объект. Эти анализы могут экспериментально и графически иллюстрировать изменение коэффициента трения.

На фиг. 60 показана диаграмма 830, иллюстрирующая соотношение между коэффициентами трения определенных скользящих тел и напряжением, поданным на нагревательные элементы, присоединенные к скользящим телам. Для зарядки конденсатора 2,35 мкФ использовали электрическую схему (фиг.2). Затем конденсатор разряжали через нагревательный элемент. На фиг.60 по оси Y отложена сила трения, а по оси X отложено напряжение. Диаграмма 830 позволяет различить два аналогичных скользящих тела, каждое из которых имеет нагревательный элемент (один нагревательный элемент содержит титановую фольгу толщиной около 12,5 мкм, а другой нагревательный элемент содержит титановую фольгу толщиной около 25 мкм). При подаче около 50 В мощности на нагревательные элементы коэффициент трения между скользящими телами и снегом изменяется, как показано. При напряжении около 100 В коэффициенты трения скользящих тел по снегу начинают отличаться друг от друга.

Соответственно, толщина материала нагревательного элемента, по существу, не зависит от напряжения примерно до 100 В, что может влиять на конструктивные решения.

На фиг.61 показана диаграмма 840, иллюстрирующая соотношение между силой трения покоя некоторых скользящих тел и нормальным давлением, оказываемым скользящим телом на снег. На фиг.61 по оси Y 841 отложена сила трения покоя, а по оси X 842 отложено нормальное давление. Диаграмма 840 позволяет различить два аналогичных скользящих тела, каждое из которых имеет нагревательный элемент (один нагревательный элемент содержит титановую фольгу толщиной около 12,5 мкм, а другой нагревательный элемент содержит титановую фольгу толщиной около 25 мкм). На двух нижеприведенных диаграммах показана сила трения покоя для тех же скользящих тел без подачи импульсов нагрева. Другие экспериментальные данные, например напряжение постоянного тока (90 В), температура (-11°C) и конденсатор, используемый в схеме на фиг.2, показаны на вставке.

На фиг.62 показана диаграмма 850, иллюстрирующая соотношение между коэффициентами трения некоторых скользящих тел и напряжением, поданным на присоединенный нагревательный элемент, согласно варианту осуществления. На фиг.62 по оси Y 853 отложена сила трения, а по оси X 852 отложено напряжение. Диаграмма 850 позволяет различить два аналогичных скользящих тела, каждое из которых имеет нагревательный элемент (один нагревательный элемент содержит титановую фольгу толщиной около 12,5 мкм, а другой нагревательный элемент содержит титановую фольгу толщиной около 25 мкм). Каждое скользящее тело имеет среднюю кривую, определяемую диапазоном коэффициентов трения, связанных с конкретным приложенным напряжением. Например, скользящее тело с нагревательным элементом в виде титановой фольги толщиной 25 мкм имеет коэффициент трения, изменяющийся в пределах от 4,9 Н до 6 Н (точка 851). На фиг. 62 показано, что импульсный тормоз хорошо работает даже, когда внешняя температура очень близка к точке плавления (-2°C), хорошая тормозная сила достигается даже при -0,5°C.

На фиг.63 показана диаграмма 860, иллюстрирующая соотношение между коэффициентами трения одного скользящего тела и временем скольжения с постоянной скоростью 3,5 мм/с. На фиг.63 по оси Y 863 отложена сила трения, а по оси X 864 отложено время. Согласно варианту осуществления было подано четыре коротких импульса мощности нагрева, в течение которых скользящее тело перемещалось со скоростью около 3,5 м/с. Конденсатор 1,36 мкФ разряжался на нагревательный элемент при напряжении около 110 В в четырех импульсах 861. Длительность импульсов нагрева составляла около 2,5 мс. Нагревательный элемент, присоединенный к скользящему телу, принимал мощность от источника питания в течение ограниченного времени (импульса мощности), например, согласно уравнениям для фиг.1. Нагревательный элемент преобразовывал эту мощность в тепловую энергию и подавал тепловую энергию на границу раздела поверхности со льдом. Нагревательный элемент растапливал граничный слой снега или льда, примыкающий к скользящему объекту. Растапливание граничного слоя изменяет прилипание снега на поверхности скользящего тела и изменяет коэффициент трения между скользящим телом и снегом или льдом. В течение каждого импульса 861 коэффициент трения меняется. Изменение коэффициента трения между скользящим телом и снегом приводит к тому, что скользящее тело сопротивляется скольжению, т.е. сила трения возрастает. Это показано на фиг.63 в виде острых пиков силы трения. Изменяя энергию импульса и интервалы между импульсами, можно добиться нужной величины силы трения. Специалистам в данной области понятно, что такой регулируемый тормоз можно связать с системой измерения скорости, чтобы снабдить лыжу системой «круиз-контроль»: лыжник может задать нужную максимальную скорость для себя и своих детей, чтобы обеспечить безопасность лыжной прогулки.

На фиг.64 показана диаграмма 870, иллюстрирующая другое соотношение между коэффициентами трения одного скользящего тела и напряжением, подаваемым на присоединенный нагревательный элемент, согласно варианту осуществления. На фиг.64

по оси Y 871 отложена сила трения, а по оси X 872 отложено напряжение. Напряжение изменяли, чтобы определить коэффициенты трения в зависимости от мощности. При подаче мощности с напряжением 50 В на нагревательные элементы, коэффициент трения изменялся. При около 90 В коэффициент трения скользящего тела относительно снега достигает насыщения, после чего остается почти постоянным примерно до 110 В. Соответственно, напряжение от 90 В до 110 В может обеспечивать возрастание коэффициента трения, которое практически не зависит от напряжения между 90 В и 110 В. Эта информация полезна при выборе источника питания для скользящего тела.

На фиг. 65 и 66 показаны диаграммы, иллюстрирующие тепловую энергию Q и время охлаждения $t_{охл}$ скользящего тела. На фиг.65 по оси Y 881 отложено рассеяние тепла в снегу L_p , а по оси X 882 отложено время. На фиг.66 по оси Y 891 отложена тепловая энергия, а по оси X 892 отложено сопротивление нагревателя. В течение первых 10 миллисекунд нагрева тепло проникает в снег только на глубину тридцать шесть микрон. Такой тонкий слой снега имеет малую теплоемкость, поэтому для нагрева его до точки плавления (т.е. 273К) требуется малая энергия. Нижеприведенная Таблица 65-1 позволяет вычислить полную энергию Q(Δ , R), используемую для растапливания десятимикронного слоя льда и для нагрева граничного материала снега и льда на $\Delta^\circ\text{C}$. Когда мощность нагрева не зависит от T, результат приведен в Таблице 65-1:

Таблица 65-1

$$W = 10^4, 2 \cdot 10^4, 10^6$$

$$\lambda_{\text{льж}} = 0,2$$

$$\rho_{\text{льж}} = 1000$$

$$C_{\text{льж}} = 1,54 \cdot 10^3$$

$$\rho_{\text{снег}} = 300$$

$$C_{\text{снег}} = 2,2 \cdot 10^3$$

$$\lambda_{\text{снег}} = 0,2$$

$$D_{\text{снег}} = \lambda_{\text{снег}} / (\rho_{\text{снег}} \cdot C_{\text{снег}}) \text{ с}$$

$$R = 0,1, 0,2, \dots 10 \text{ Ом}$$

$$C = 10^{-4}, 2 \cdot 10^{-4}, \dots 2 \cdot 10^{-2} \text{ Ф}$$

$$t(R, C) = R \cdot C$$

$$D_{\text{льж}} = \lambda_{\text{льж}} / (\rho_{\text{льж}} \cdot C_{\text{льж}})$$

$$\Delta = 0,01, 0,02, \dots 10$$

$$T = 0, 10^{-4}, \dots 10^{-1}$$

Согласно фиг. 65 и 66 длина рассеяния тепла L_p (т.е. диаграмма 880, фиг.65) выражается так:

$$L_p(t) = \sqrt{D_{\text{снег}} \cdot t}$$

$$L_p(10^{-2}) = 5,505 \times 10^{-5}$$

$$L_p(1) = 5,505 \times 10^{-4}$$

$$L_p(0,1) = 1,741 \times 10^{-4}$$

$$L_p(0,01) = 5,505 \times 10^{-5}$$

$$V = 100$$

$$S = 0,0025$$

$$W(R) = V^2 / 2RS$$

$$d_{\text{нагр}} = 1,25 \cdot 10^{-5}$$

$$C_{\text{нагр}} = 523$$

$$\rho_{\text{нагр}} = 4,5 \cdot 10^3$$

$$l_{\text{растоп}} = 1 \cdot 10^{-5}$$

$$q_{\text{плав}} = 3,33 \cdot 10^5$$

$$Q = \frac{\pi \Delta^2 S}{4W(R)} \left[\sqrt{\rho_{\text{снег}} C_{\text{снег}} \lambda_{\text{снег}}} + \sqrt{\rho_{\text{льж}} C_{\text{льж}} \lambda_{\text{льж}}} \right]^2 + d_l \cdot q_l \cdot \rho_l + d_{\text{нагр}} C_{\text{нагр}} \rho_{\text{нагр}} (T_T - T)$$

$$C(\Delta R) = \frac{2Q(\Delta R)}{V^2}$$

$$C(20, 2,5) = 8,464 \times 10^{-4}$$

$$\Delta = 20$$

$$d_{\text{нагр}} \cdot S \cdot \rho_{\text{нагр}} \cdot \Delta \cdot C_{\text{нагр}} = 1,471$$

$$l_{\text{растоп}} \cdot \rho_{\text{снег}} \cdot S \cdot q_{\text{плав}} = 2,498$$

5

10

15

где S - площадь нагревателя; T_T - температура таяния; T - внешняя температура; λ - коэффициент теплопроводности; ρ - плотность материала; C - теплоемкость материала (нижний индекс «лед» обозначает лед и/или снег, нижний индекс «лыж» обозначает материал подложки, например лыжи или сноуборда, нижний индекс «нагр» обозначает нагревательный элемент); Q - тепловая энергия; D - коэффициент температуропроводности; Δ - изменение температуры; t - время; V - напряжение; d - толщина; R - сопротивление; W - мощность на квадратный метр; l_{растоп} - толщина растопленного слоя; и q - скрытая теплота плавления. Для очень коротких импульсов почти вся тепловая энергия Q используется для растапливания тонкого слоя снега (диаграмма 890, фиг.66); теплоемкость снега и лыжи дают малый вклад в Q. Расчет времени повторного замораживания показан в Таблице 65-2:

Таблица 65-2

20

$$\lambda_{\text{лыж}} = 0,5$$

$$\lambda_{\text{снег}} = 0,5$$

$$t_{\text{охл}}(\Delta R) = \left[\frac{2Q(\Delta R)}{\Delta \cdot S \cdot \left(\sqrt{\lambda_{\text{снег}} \cdot \rho_{\text{снег}} \cdot C_{\text{снег}}} + \sqrt{\lambda_{\text{лыж}} \cdot \rho_{\text{лыж}} \cdot C_{\text{лыж}}} \right)} \right]^2$$

25

$$t_{\text{охл}}(20,1) = 0,013 \text{ "с"}$$

Таблица 65-3 иллюстрирует типичные емкости обычных батарей, используемых в качестве источников питания в устройстве импульсного тормоза. Например, пару малых батарей AA можно использовать в устройстве импульсного тормоза для лыжных гонок в течение около одного часа.

30

Таблица 65-3					
№	Размер батареи	Тип	Напряжение		
			А·ч	Вт·ч	
1	AA, Duracell Пара	обычный	1,5	2,85	4,275
			3	5,7	8,55
2	C, Duracell пара	обычный	1,5	7,8	11,7
			3	15,6	23,4
3	D, Duracell пара	обычный	1,5	15	22,5
			3	30	45
4	D, Varta Пара	обычный	1,5	16,5	24,75
			3	33	49,5
5	9v, Duracell пара 4 штуки	обычный	9	0,58	5,22
			18	1,16	10,44
			36		20,88
--преобразователь не нужен--					
6	Тип D TL2300/S D, Li Пара	Li-ионна перезар ж.	3,6	16,5	59,4
			7,2	33	(\$20,65) 118,4
					(\$41,30)
7	DD TL5137/TDD, Li	Li-ионна перезар ж.	3,6	35	126
					(\$48,93)
8	AA TL5104/PT2 AA, Li	Li-ионна перезар ж.	3,6	2,1	7,56
9	C TL2200/SC, Li, 7200 мА·ч Пара	Li-ионна перезар ж.	3,6	7,2	25,92
			7,2	14,4	(\$16,73)
					52

35

40

45

50

На фиг.67 показан анализ скользящего тела 900, иллюстрирующий усиления трения для варианта осуществления, в котором скользящее тело представляет собой шину 902 с различными тепловыми зонами. Согласно этому анализу φ_0 - зона нагрева; φ_1 - зона воздушного охлаждения; φ_2 - зона растапливания; φ_3 - зона повторного замораживания; φ_4 - зона связывания; ω_0 - угловая скорость шины; v_0 - линейная скорость автомобиля; R - радиус шины 902; и A - ширина шины 902. Предполагая, что зона нагрева φ_0 равномерно нагревается полной мощностью w' , получаем следующее выражение для плотности мощности на квадратный метр:

$$w = \frac{w'}{R \cdot \varphi_0 \cdot A} \quad (\text{Ур. 67-1})$$

Каждая точка зоны нагрева φ_0 может быть «поверхностно нагретой» за время t, выражаемое как

$$t = \frac{\varphi_0}{\omega} = \frac{\varphi_0 R}{v} \quad (\text{Ур. 67-2})$$

Например, при $v_0 = 30$ м/с (108 км/ч) и $\varphi_0 R = 0,1$ м, $t \approx \frac{0,1 \text{ м} \cdot \text{с}}{3 \cdot 10^1 \text{ м}} \approx 3,3 \cdot 10^{-3} \text{ с}$ и

зона нагрева φ_0 получает плотность энергии

$$Q = t \cdot w = \frac{w' \cdot \varphi_0 \cdot R}{R \cdot \varphi_0 \cdot A \cdot v_0} = \frac{w'}{A \cdot v_0} \quad (\text{Ур.67-3})$$

Оценивая минимальную Q и предполагая толщину растопленного льда равной 10 мкм, получаем

$$Q = d \cdot q \cdot \rho_{\text{л}}, \quad (\text{Ур. 67-4})$$

где d - толщина растопленного слоя в зоне φ_2 , ρ - плотность льда, q - скрытая теплота плавления. Соответственно,

$$d \cdot q \cdot \rho_{\text{л}} = \frac{w'}{A \cdot v_0} \quad \text{и, следовательно, (Ур. 67-5)}$$

$$w' = A \cdot v_0 \cdot d \cdot q \cdot \rho_{\text{л}} \quad (\text{Ур.67-6})$$

Теперь оценим зону повторного замораживания, которая увеличивает коэффициент трения до $\mu = 0,5$. Например, при нормальном давлении $2 \cdot 10^5$ Па сила трения на квадратный метр, соответствующая $\mu = 0,5$, равна 10^5 Па. Для границы раздела лед/резина прочность сцепления на сдвиг составляет около 1 МПа. Таким образом, для повторного замораживания может потребоваться только около 10% площади контакта лед/шина (т.е. зона повторного замораживания φ_3), чтобы обеспечить $\mu = 0,5$. Когда растопленный слой льда имеет толщину около 3,3 мкм, энергопотребление составляет около 500 ватт для скорости v_0 , равной около 108 км/ч. Для скорости v_0 около 7,2 км/ч при той же толщине энергопотребление составляет лишь около 33 ватт.

При скорости v_0 20 км/ч каждая точка поверхности шины может находиться в контакте со льдом в течение около $t = \frac{2 \cdot 10^{-1} \text{ м}}{6 \text{ м/с}} = 30 \text{ мс}$. Это время доступно для действий

растапливания и повторного замораживания и достаточно велико для осуществления этих действий.

На фиг. 68 и 69 представлены экспериментальные результаты, в которых трение о лед снижается либо за счет подачи ВЧ мощности (фиг.68), либо за счет подачи низкоэнергичных импульсов нагрева (фиг.69). На фиг.68 по оси Y 915 отложена сила трения, а по оси X 914 отложено время в секундах. Например, на фиг.68 показана сила трения (Н) в зависимости от времени для скользящего тела при движении по льду с внешней температурой T около -5°C , нормальным давлением P около 42 кПа и скорости скольжения около 1 см/с. В этом варианте осуществления система, изменяющая трение, содержит гребенчатую схему, прикрепленную к основанию скользящего тела, которое

граничит со льдом. Гребенчатая схема также содержит медные электроды, имеющие межэлектродное расстояние около 75 мкм. Источник питания выдает на электроды ВЧ напряжение переменного тока около 30 В СКЗ с частотой около 20 кГц. Электроды генерируют во льду тепло с плотностью около 100 Вт/м². Когда скользящее тело движется со скоростью около 1 см/с и на электроды поступает мощность, сила трения снижается примерно на 40%. Например, источник питания выдает на электроды ВЧ мощность в момент времени 910 (вблизи момента времени t , равного 10 с). Электроды преобразуют мощность в тепловую энергию, которая рассеивается по направлению ко льду. Скользящее тело начинает скользить в момент времени 912, т.е. примерно в момент времени t , равный 13 с. В этом варианте осуществления ВЧ мощность отключается в момент времени 911 (т.е. примерно в момент времени t , равный 28 с). Без подачи ВЧ мощности трение о лед возрастает с 4 Н до 7 Н. Последняя представляет собой фоновую силу трения о лед при отсутствии подачи мощности на скользящее тело, которое останавливается в момент времени 913 (т.е. вблизи момента времени t , равного 33 с).

Согласно этому варианту осуществления непрерывная подача ВЧ мощности повышает температуру льда, тем самым снижая силу трения без растапливания льда, и, таким образом, изменяет коэффициент трения.

На фиг.69 показана сила трения (Н) в зависимости от времени для скользящего тела, движущегося по снегу при внешней температуре T около -10°C , нормальном давлении P около 215 кПа и скорости v скольжения около 3 мм/с. На фиг.69 по оси Y 925 отложена сила трения, а по оси X 926 отложено время в секундах. Согласно этому варианту осуществления система, изменяющая трение, содержит нагреватель из титановой фольги. Короткие импульсы нагрева мощности постоянного тока поступают на нагреватель в моменты времени 922 и 923, вызывая уменьшение трения о снег, в отличие от эффекта торможения, описанного в той же системе выше. Главным отличием этого варианта осуществления является импульсное торможение. Как показано на фиг.69, величины энергии нагрева недостаточно для растапливания снега. В отсутствие растопленного слоя повторного замерзания не происходит, поэтому торможение отсутствует. Тем не менее, поскольку нагреватель нагревает снег, трение снижается. В эксперименте, показанном на фиг.69, поверхность снега нагревается импульсами от -10°C до примерно -1°C . Скользящее тело испытывает быстрое увеличение трения покоя между льдом и скользящим телом в момент времени 921 (например, вблизи момента времени t , равного 31 с). Источник питания выдает на электроды импульс мощности в моменты времени 922 и 923 (время t , равное 38 с и 42 с соответственно). В этом варианте осуществления, скользящее тело останавливается в момент времени 924, когда время t равно 50 с.

Согласно некоторым вариантам осуществления электроды гребенчатой схемы выполнены из твердых проводящих материалов, например нитрида титана, оксида циркония, легированных другими оксидами (например, оксидом иттрия), а также из фольги из титана и нержавеющей стали с покрытием TiN, для повышения устойчивости схемы к истиранию. Другие варианты осуществления могут предусматривать защиту электродов покрытиями из защитных пленок, например оксида алюминия.

Вышеприведенное описание следует рассматривать как иллюстративный материал, не предусматривающий ограничения.

Формула изобретения

1. Способ термического изменения границы раздела между льдом и объектом, заключающийся в том, что подают энергию нагрева на границу раздела для растапливания граничного слоя льда, ограничивают длительность подачи энергии нагрева на границу раздела, в результате чего энергия нагрева имеет расстояние рассеяния тепла во льду, которое не превышает толщину граничного слоя льда.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что этап подачи энергии нагрева содержит этап, на котором подают на границу раздела мощность, величина которой, по меньшей мере, обратно пропорциональна величине энергии, используемой для растапливания граничного

слоя льда.

3. Способ по п.2, отличающийся тем, что этап ограничения длительности содержит этап, на котором ограничивают длительность этапа подачи мощности на границу раздела, в результате чего длительность, по меньшей мере, обратно пропорциональна квадрату величины мощности.

4. Способ по п.1, отличающийся тем, что этап подачи энергии нагрева содержит этап, на котором подают на границу раздела мощность, величина которой, по существу, обратно пропорциональна величине энергии, используемой для растапливания граничного слоя льда, а этап ограничения длительности содержит этап, на котором ограничивают длительность этапа подачи мощности на границу раздела, в результате чего длительность, по существу, обратно пропорциональна квадрату величины мощности.

5. Способ по п.1, отличающийся тем, что дополнительно содержит этап, на котором облегчают повторное замораживание граничного слоя льда, чтобы влиять на коэффициент трения между объектом и льдом.

6. Способ по п.5, отличающийся тем, что этап облегчения повторного замораживания содержит один или несколько этапов, на которых (1) ожидают повторного замораживания после этапа ограничения длительности, (2) обдувают границу раздела холодным воздухом, (3) распыляют воду на границе раздела.

7. Способ по п.1, отличающийся тем, что объект выбирают из группы, состоящей из конструкции самолета, ветрового стекла, зеркала, фары, линии электропередач, конструкции фуникулера, поверхности ротора ветряной установки, поверхности ротора вертолета, крыши, палубы, конструкции здания, дороги, конструкции моста, конструкции морозильника, антенны, спутниковой антенны, железнодорожной конструкции, конструкции туннеля, кабеля, дорожного знака, снегоступа, лыжи, сноуборда, конька и ботинка.

8. Способ по п.1, отличающийся тем, что этап подачи энергии нагрева на границу раздела содержит этап, на котором подают энергию нагрева на границу раздела, чтобы растопить граничный слой льда, толщина которого меньше примерно пяти сантиметров.

9. Способ по п.1, отличающийся тем, что этап подачи энергии нагрева на границу раздела содержит этап, на котором подают энергию нагрева на границу раздела, чтобы растопить граничный слой льда, толщина которого меньше около одного миллиметра.

10. Способ по п.1, отличающийся тем, что этап подачи энергии нагрева на границу раздела содержит этап, на котором подают энергию нагрева на границу раздела, чтобы растопить граничный слой льда, толщина которого составляет от одного микрона до одного миллиметра.

11. Способ по п.1, отличающийся тем, что этап ограничения длительности этапа подачи энергии нагрева на границу раздела содержит этап, на котором подают энергию на границу раздела в течение максимум 100 с.

12. Способ по п.1, отличающийся тем, что этап подачи энергии нагрева на границу раздела содержит этап, на котором подают мощность на нагревательный элемент, термически связанный с границей раздела.

13. Способ по п.12, отличающийся тем, что этап подачи энергии нагрева на границу раздела содержит этап, на котором подают мощность на нагревательный элемент, находящийся внутри объекта.

14. Способ по п.12, отличающийся тем, что этап подачи энергии нагрева на границу раздела содержит этап, на котором подают мощность на нагревательный элемент, находящийся на поверхности объекта и контактирующий с поверхностью раздела.

15. Способ по п.12, отличающийся тем, что этап подачи энергии нагрева на границу раздела содержит этап, на котором создают электрическое сопротивление для мощности с помощью нагревательного элемента.

16. Способ по п.12, отличающийся тем, что этап ограничения длительности содержит этап, на котором регулируют длительность этапа подачи мощности согласно соотношению

$$t = \frac{\pi(T_T - T)^2}{4W^2} \left[\sqrt{\rho_l c_l \lambda_l} + \sqrt{\rho_n c_n \lambda_n} \right]^2.$$

где: t - длительность; T_T - температура таяния льда; T - температура окружающей среды; λ_L - коэффициент теплопроводности льда; ρ_L - плотность материала льда; c_L - удельная теплоемкость льда; λ_n - коэффициент теплопроводности одного или обоих объекта и/или нагревательного элемента; ρ_n - плотность материала одного или обоих объекта и/или нагревательного элемента; c_n - удельная теплоемкость материала одного или обоих объекта и/или нагревательного элемента; W - мощность.

17. Способ по п.12, отличающийся тем, что этап подачи мощности содержит этап, на котором регулируют энергию согласно соотношению:

$$Q = W \cdot t = \frac{\pi(T_T - T)^2}{4W} \left[\sqrt{\rho_L c_L \lambda_L} + \sqrt{\rho_n c_n \lambda_n} \right]^2,$$

где Q - энергия, которая термически растапливает граничный лед; T_T - температура, необходимая для растапливания граничного льда; T - температура окружающей среды; λ_L - коэффициент теплопроводности льда; ρ_L - плотность материала льда; c_L - удельная теплоемкость льда; λ_n - коэффициент теплопроводности одного или обоих объекта и/или нагревательного элемента; ρ_n - плотность материала одного или обоих объекта и/или нагревательного элемента; c_n - удельная теплоемкость материала одного или обоих объекта и/или нагревательного элемента; W - мощность.

18. Способ по п.12, отличающийся тем, что этап подачи мощности содержит этап, на котором регулируют энергию согласно соотношению

$$Q = \frac{\pi(T_T - T)^2}{4W} \left[\sqrt{\rho_L c_L \lambda_L} + \sqrt{\rho_n c_n \lambda_n} \right]^2 + d_L \cdot q_L \cdot \rho_L + d_{нагр} C_{нагр} \rho_{нагр} (T_T - T),$$

где Q - энергия, которая термически растапливает граничный лед; T_T - температура, необходимая для растапливания граничного льда; T - температура окружающей среды; λ_L - коэффициент теплопроводности льда; ρ_L - плотность материала льда; c_L - удельная теплоемкость льда; λ_n - коэффициент теплопроводности одного или обоих объекта и/или нагревательного элемента; ρ_n - плотность материала одного или обоих объекта и/или нагревательного элемента; c_n - удельная теплоемкость материала одного или обоих объекта и/или нагревательного элемента; d_L - толщина граничного слоя льда; ρ_L - плотность льда; q_L - скрытая теплота плавления льда; W - мощность; $C_{нагр}$ и $\rho_{нагр}$ - удельная теплоемкость и плотность, соответственно, нагревательного элемента.

19. Способ по п.1, отличающийся тем, что дополнительно содержит этап, на котором периодически повторяют этапы подачи и ограничения, чтобы генерировать требуемый коэффициент трения между объектом и льдом.

20. Способ по п.1, отличающийся тем, что этап ограничения длительности содержит этап, на котором ограничивают длительность до величины от 1 мс до 10 с.

21. Способ по п.1, отличающийся тем, что дополнительно содержит этап, на котором повторно подают мощность на границу раздела после повторного замораживания граничного слоя, чтобы избирательно регулировать коэффициент трения между льдом и объектом, когда объект перемещается по льду.

22. Способ по п.1, отличающийся тем, что лед содержит снег.

23. Способ по п.1, отличающийся тем, что объект содержит скользящее тело.

24. Способ по п.23, отличающийся тем, что скользящее тело содержит один элемент, выбранный из группы, состоящей из ботинка, сноуборда и лыжи.

25. Способ регулирования коэффициента трения между объектом и льдом, заключающийся в том, что (1) подают импульсную энергию на границу раздела между объектом и льдом, чтобы растопить граничный слой льда на границе раздела и снизить коэффициент трения, (2) облегчают повторное замораживание граничного льда на границе раздела, чтобы повысить коэффициент трения, (3) повторяют этапы (1) и (2), чтобы регулировать средний коэффициент трения между объектом и льдом.

26. Способ по п.25, отличающийся тем, что этап облегчения повторного замораживания содержит этап, на котором перемещают объект по льду, чтобы снизить температуру

объекта.

27. Способ по п.25, отличающийся тем, что этап подачи импульсной энергии содержит этапы, на которых обдувают объект первым воздухом, причем первый воздух имеет температуру выше замерзания, и перемещают объект в контакте со льдом.

5 28. Способ по п.27, отличающийся тем, что объект содержит автомобильную шину.

29. Способ по п.27, отличающийся тем, что этап облегчения повторного замораживания содержит этап, на котором обдувают объект вторым воздухом, причем второй воздух имеет температуру ниже температуры первого воздуха.

10 30. Скользящее тело, имеющее поверхность, предназначенную для контакта со снегом или льдом, содержащее источник питания для генерации мощности, нагревательный элемент для преобразования мощности в тепло на поверхности, причем тепла, достаточного для растапливания пограничного слоя льда на границе раздела, контроллер для регулирования длительности подачи тепла к нагревательному элементу для регулировки коэффициента трения между скользящим телом и льдом или снегом путем

15 ограничения распространения тепла на границе раздела.

31. Скользящее тело по п.30, отличающееся тем, что скользящее тело имеет форму, выбранную из группы, состоящей из ботинка, сноуборда лыжи и снегоступа.

32. Скользящее тело по п.30, отличающееся тем, что источник питания содержит батарею.

20 33. Скользящее тело по п.30, отличающееся тем, что скользящее тело имеет форму, выбранную из группы, состоящей из лыжи, конька и сноуборда, при этом контроллер отвечает на команды пользователя, модулируя мощность, подаваемую на поверхность, в результате чего скорость скользящего тела является управляемой.

25 34. Система термического изменения границы раздела льда с объектом, содержащая источник питания для генерации мощности, нагревательный элемент, подключенный к источнику питания, для преобразования мощности в тепло у границы раздела, контроллер, подключенный к источнику питания, для ограничения длительности подачи мощности на нагревательный элемент, в результате чего на границе раздела растапливается только граничный слой льда.

30 35. Система по п.34, отличающаяся тем, что граничный слой имеет толщину менее пяти сантиметров.

36. Система по п.34, отличающаяся тем, что граничный слой имеет толщину от одного микрона до одного миллиметра.

35 37. Система по п.34, отличающаяся тем, что источник питания способен генерировать мощность, величина которой, по существу, обратно пропорциональна величине энергии, необходимой для растапливания граничного льда, при этом контроллер способен ограничивать длительность, в результате чего длительность, по существу, обратно пропорциональна квадрату величины мощности.

40 38. Система по п.34, отличающаяся тем, что дополнительно содержит датчик, подключенный к контроллеру, для определения температуры границы раздела и для генерации сигнала обратной связи, сообщающего температуру контроллеру.

39. Система по п.34, отличающаяся тем, что источник питания содержит, по меньшей мере, один элемент, выбранный из группы, состоящей из батареи, конденсатора, маховика, высоковольтного источника питания.

45 40. Система по п.39, отличающаяся тем, что конденсатор выбран из группы, состоящей из, по меньшей мере, суперконденсатора, электролитического конденсатора и ультраконденсатора.

50 41. Система по п.34, отличающаяся тем, что нагревательный элемент содержит тонкую пленку из проводящего материала, которая переносит тепло от нагревательного элемента на границу раздела для изменения коэффициента трения между объектом и льдом.

42. Система по п.34, отличающаяся тем, что нагревательный элемент содержит полупроводниковый материал для преобразования мощности в тепло на границе раздела для изменения коэффициента трения между объектом и льдом.

43. Система по п.34, отличающаяся тем, что дополнительно содержит переключатель, подключенный к контроллеру, для приема от контроллера управляющего сигнала на ограничение длительности подачи мощности на нагревательный элемент.

44. Система по п.34, отличающаяся тем, что источник питания, нагревательный элемент и контроллер конфигурированы с объектом, который образует границу раздела льда с объектом, причем объект выбран из группы, состоящей из самолета, ветрового стекла, зеркала, фары, линии электропередачи, конструкции фуникулера, ротора ветряной установки, ротора вертолета, крыши, палубы, конструкции здания, дороги, конструкции моста, конструкции морозильника, антенны, железнодорожной конструкции, конструкции туннеля, кабеля, поезда, корабля, буровой платформы, льдогенератора и дорожного знака.

45. Способ нагрева объекта до температуры T , заключающийся в том, что подают на объект мощность W , величина которой приблизительно обратно пропорциональна энергии, достаточной для повышения температуры объекта до температуры T , регулируют длительность подачи мощности W так, чтобы она была обратно пропорциональна W^2 .

46. Способ охлаждения объекта до температуры T , заключающийся в том, что отбирают от объекта мощность W , величина которой обратно пропорциональна энергии, достаточной для понижения температуры объекта до температуры T , регулируют длительность мощности W так, чтобы она была обратно пропорциональна W^2 .

47. Антиобледенитель ветрового стекла, содержащий ветровое стекло, по существу прозрачный нагревательный элемент, размещенный совместно с ветровым стеклом, который генерирует тепло в результате подачи мощности в количестве, достаточном для растапливания граничного слоя льда на ветровом стекле, контроллер для ограничения длительности подачи тепла, так что глубина рассеяния тепла в лед меньше, чем толщина граничного слоя.

48. Антиобледенитель ветрового стекла по п.47, отличающийся тем, что нагревательный элемент выбран из визуально прозрачного полупроводникового материала, имеющего запрещенную зону для электронов выше около 3 эВ.

49. Антиобледенитель ветрового стекла по п.48, отличающийся тем, что материал содержит одно из веществ, выбранных из группы, состоящей из ZnO, ZnS и их смесей.

50. Антиобледенитель ветрового стекла по п.47, отличающийся тем, что нагревательный элемент выбран из прозрачного проводящего материала.

51. Антиобледенитель ветрового стекла по п.50, отличающийся тем, что материал содержит одно вещество, выбранное из группы, состоящей из оксида индия-олова (ITO), оксида олова, тонких металлических пленок и их смесей.

52. Антиобледенитель ветрового стекла по п.47, отличающийся тем, что дополнительно содержит защитное покрытие на нагревательном элементе.

53. Антиобледенитель ветрового стекла по п.47, отличающийся тем, что дополнительно содержит источник питания для генерации мощности.

54. Антиобледенитель ветрового стекла по п.51, отличающийся тем, что источник питания содержит автомобильный аккумулятор.

55. Антиобледенитель ветрового стекла по п.53, отличающийся тем, что толщина составляет от одного микрона до одного миллиметра.

56. Антиобледенитель ветрового стекла по п.53, отличающийся тем, что нагревательный элемент состоит из множества нагревательных элементов, образующих множество сегментированных областей, при этом контроллер способен подавать мощность на каждый из множества нагревательных элементов для удаления льда с сегментов ветрового стекла.

57. Способ изменения трения между объектом и льдом/снегом, заключающийся в том, что используют нагревательный элемент для подачи первого импульса тепловой энергии на границу раздела между объектом и льдом/снегом, причем первый импульс достаточен для растапливания граничного слоя льда/снега, примыкающего к объекту, повторно замораживают воду, образующую граничный слой, чтобы сформировать первую связь между объектом и льдом/снегом.

58. Способ по п.57, отличающийся тем, что дополнительно содержит этапы, на которых

используют указанный нагревательный элемент для подачи второго импульса тепловой энергии после этапа повторного замораживания для повторного растапливания, по меньшей мере, части граничного слоя, повторно замораживают повторно растопленный граничный слой, чтобы сформировать вторую связь между объектом и льдом/снегом.

5 59. Способ по п.57, отличающийся тем, что на этапе использования нагревательного элемента прижимают горячий цилиндр к объекту в виде автомобильной шины.

60. Способ по п.59, отличающийся тем, что дополнительно используют электрический нагрев горячего цилиндра.

10 61. Способ по п.59, отличающийся тем, что на этапе повторной заморозки прижимают холодный цилиндр к автомобильной шине.

62. Способ по п.57, отличающийся тем, что на этапе повторной заморозки используют автомобильный кондиционер.

15 63. Способ по п.57, отличающийся тем, что используют нагревательный элемент, содержащий металлический нагреватель, на этапе использования нагревательного элемента подают импульсную мощность на металлический нагреватель, термически связанный с границей раздела.

64. Способ по п.57, отличающийся тем, что указанный нагревательный элемент выполнен из материала с низкой теплоемкостью.

20 65. Способ по п.57, отличающийся тем, что дополнительно содержит этап, на котором разряжают конденсатор на нагревательный элемент.

66. Способ по п.65, отличающийся тем, что дополнительно содержит этап, на котором заряжают конденсатор от источника питания.

67. Способ по п.66, отличающийся тем, что дополнительно используют переключатель для зарядки и, соответственно, разрядки конденсатора.

25 68. Способ по п.57, отличающийся тем, что на этапе использования нагревательного элемента присоединяют горячую пластину через одно или несколько отверстий к основанию скользящего тела, примыкающему к льду/снегу.

30 69. Способ по п.57, отличающийся тем, что на этапе использования нагревательного элемента подают мощность электрического импульса на нагревательный элемент, соединенный с основанием объекта в виде лыжи.

70. Способ по п.69, отличающийся тем, что дополнительно предусматривает активацию действия торможения лыжи посредством устройства, выбранного из группы, состоящей из ручного переключателя, переключателя движения лыжи, акселерометра, переключателя, активируемого давления, и датчика движения.

35 71. Способ по п.57, отличающийся тем, что на этапе использования нагревательного элемента подают импульсную электрическую энергию на один или несколько нагревательных элементов в основании объекта в виде сноуборда.

72. Способ по п.57, отличающийся тем, что дополнительно используют портативную батарею в качестве источника энергии на этапе использования нагревательного элемента.

40 73. Способ по п.57, отличающийся тем, что на этапе использования нагревательного элемента используют лампу импульсного действия для нагрева объекта.

74. Способ по п.73, отличающийся тем, что объект имеет вид вращающейся шины, свет лампы временно нагревает соответствующие зоны шины, в которых растапливается слой, и вращение шины приводит к повторному замораживанию слоя.

45 75. Способ по п.57, отличающийся тем, что на этапе использования нагревательного элемента используют металлическую щетку, расположенную напротив объекта в виде автомобильной шины.

76. Способ по п.57, отличающийся тем, что на этапе использования нагревательного элемента используют лампу фотовспышки, облучающую слой через объект.

50 77. Способ по п.57, отличающийся тем, что на этапе использования нагревательного элемента используют автомобильный выхлоп для нагрева горячего цилиндра.

78. Способ по п.57, отличающийся тем, что на этапе повторного замораживания используют автомобильный кондиционер.

79. Способ по п.57, отличающийся тем, что на этапе повторного замораживания используют электрический элемент Пельтье.

80. Способ нагрева объекта до требуемой температуры, заключающийся в том, что накапливают тепловую энергию изолированно от объекта и в количестве, по меньшей мере, достаточном для нагрева объекта до нужной температуры, и регулируют физические и/или тепловые свойства границы раздела между тепловой энергией и объектом для переноса по меньшей мере части тепловой энергии на объект.

81. Способ по п.80, отличающийся тем, что дополнительно содержит этап, на котором переносят энергию в граничный слой льда, чтобы нарушить прилипание льда к поверхности объекта, причем требуемая температура равна 0°C или выше.

82. Способ по п.80, отличающийся тем, что на этапе переноса нарушают прилипание льда к поверхности, по меньшей мере, одного из объектов, выбранных из группы, состоящей из самолета, крыла самолета, ветрового стекла автомобиля, лодки, дороги, моста, тротуара, морозильника, холодильника, ледогенератора, корабля, поезда, буровой платформы, здания, беговой дорожки, окна.

83. Способ по п.80, отличающийся тем, что на этапе регулировки переносят тепловую энергию с первой поверхности мембраны на вторую поверхность мембраны путем дефляции (спуска воздуха) мембраны.

84. Способ по п.80, отличающийся тем, что на этапе регулировки периодически подают импульсы на границу раздела для периодического нагрева объекта.

85. Способ по п.80, отличающийся тем, что этап периодической подачи импульсов содержит этап, на котором периодически перемещают компоненты нагревательного элемента для изменения скорости теплопередачи между хранилищем тепла и объектом.

86. Способ по п.85, отличающийся тем, что компоненты содержат совокупность рифленых изолирующих элементов.

87. Способ по п.86, отличающийся тем, что на этапе накопления нагревают жидкость и/или газ, на этапе регулировки пропускают жидкость и/или газ рядом с объектом, при этом происходит перенос тепловой энергии жидкости или газа на объект и объект нагревается.

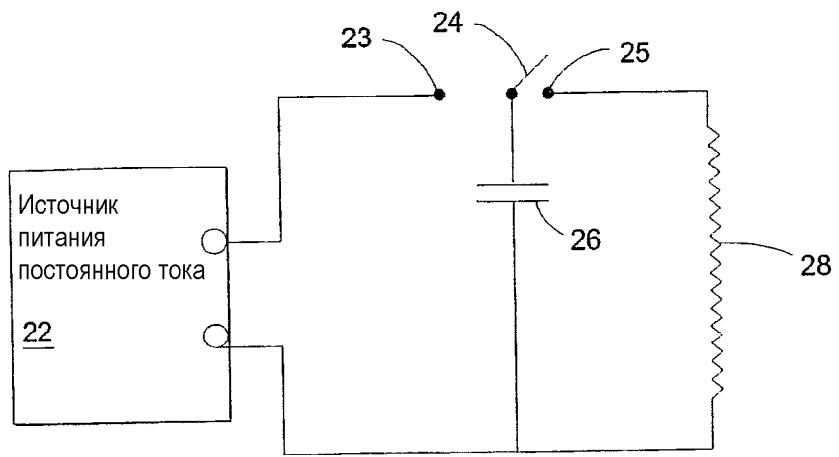
Приоритет по пунктам:

11.02.2002 по - пп.1-4, 6, 7, 8-20, 22-24, 34-48, 50-57;

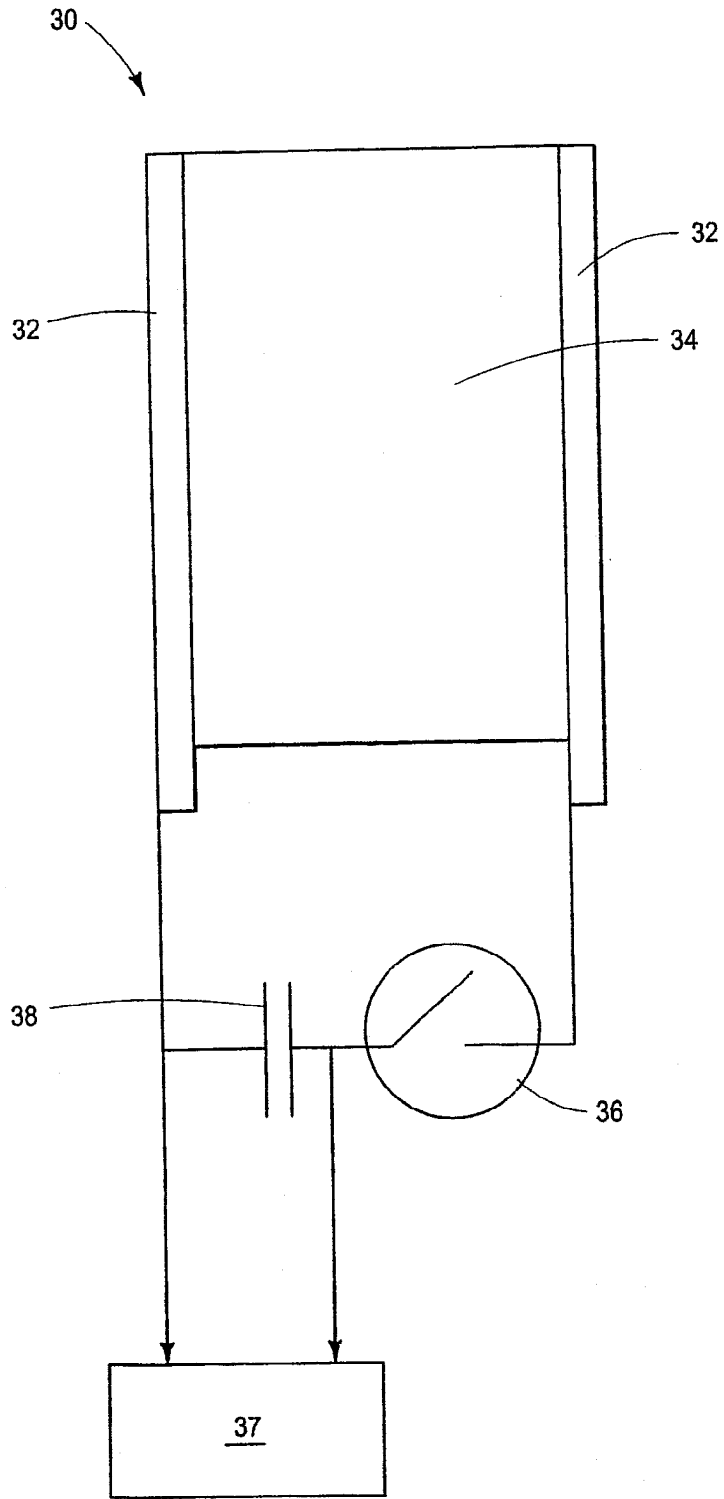
23.07.2002 по - пп.5, 21, 25-29, 30-33, 58-80;

21.08.2002 по - пп.49, 81-88.

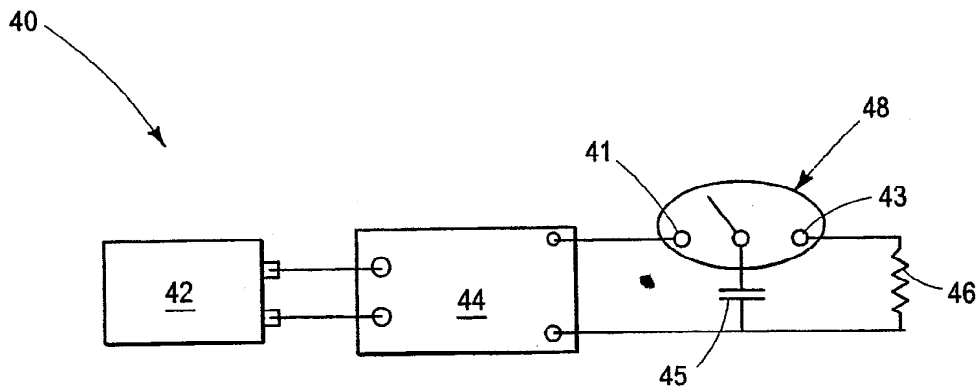
20



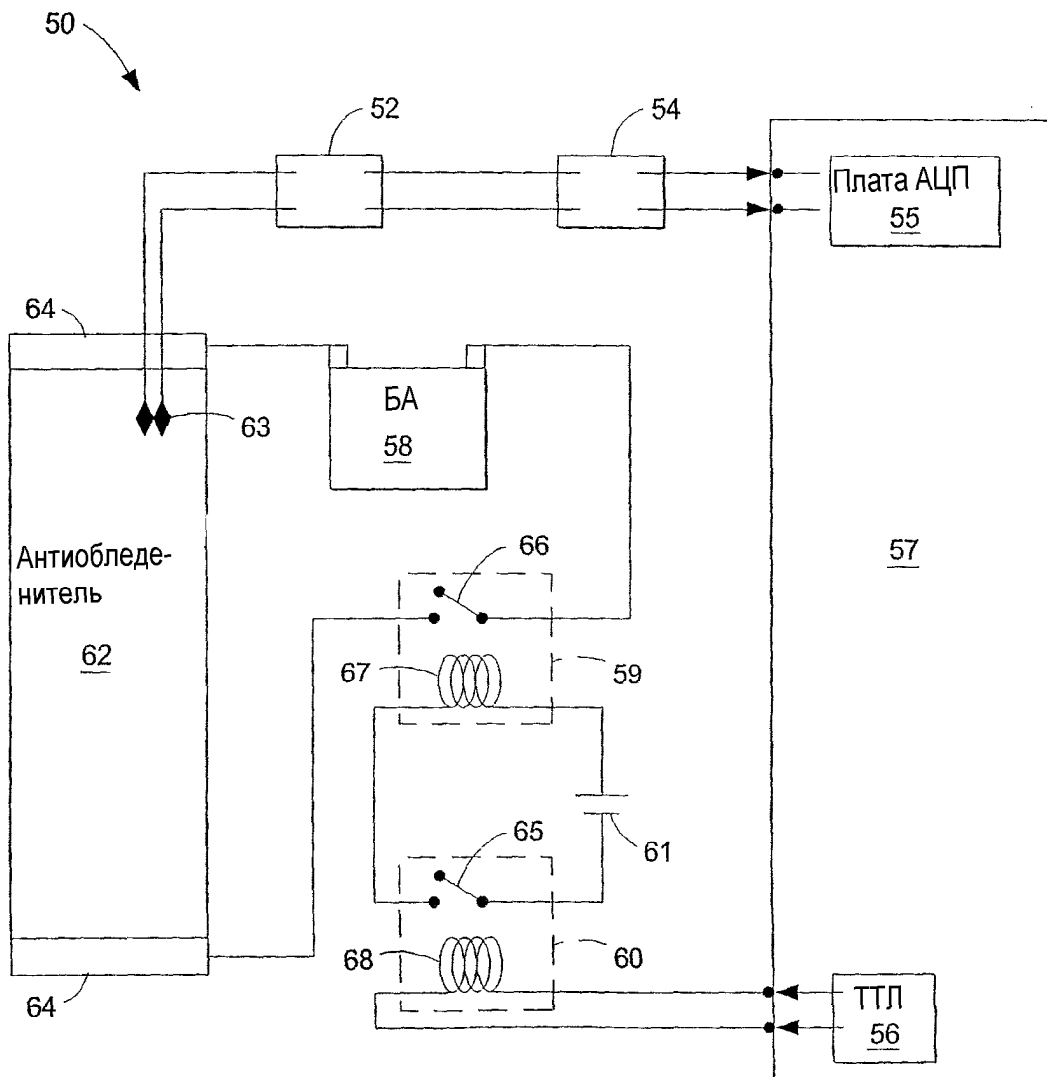
Фиг. 2



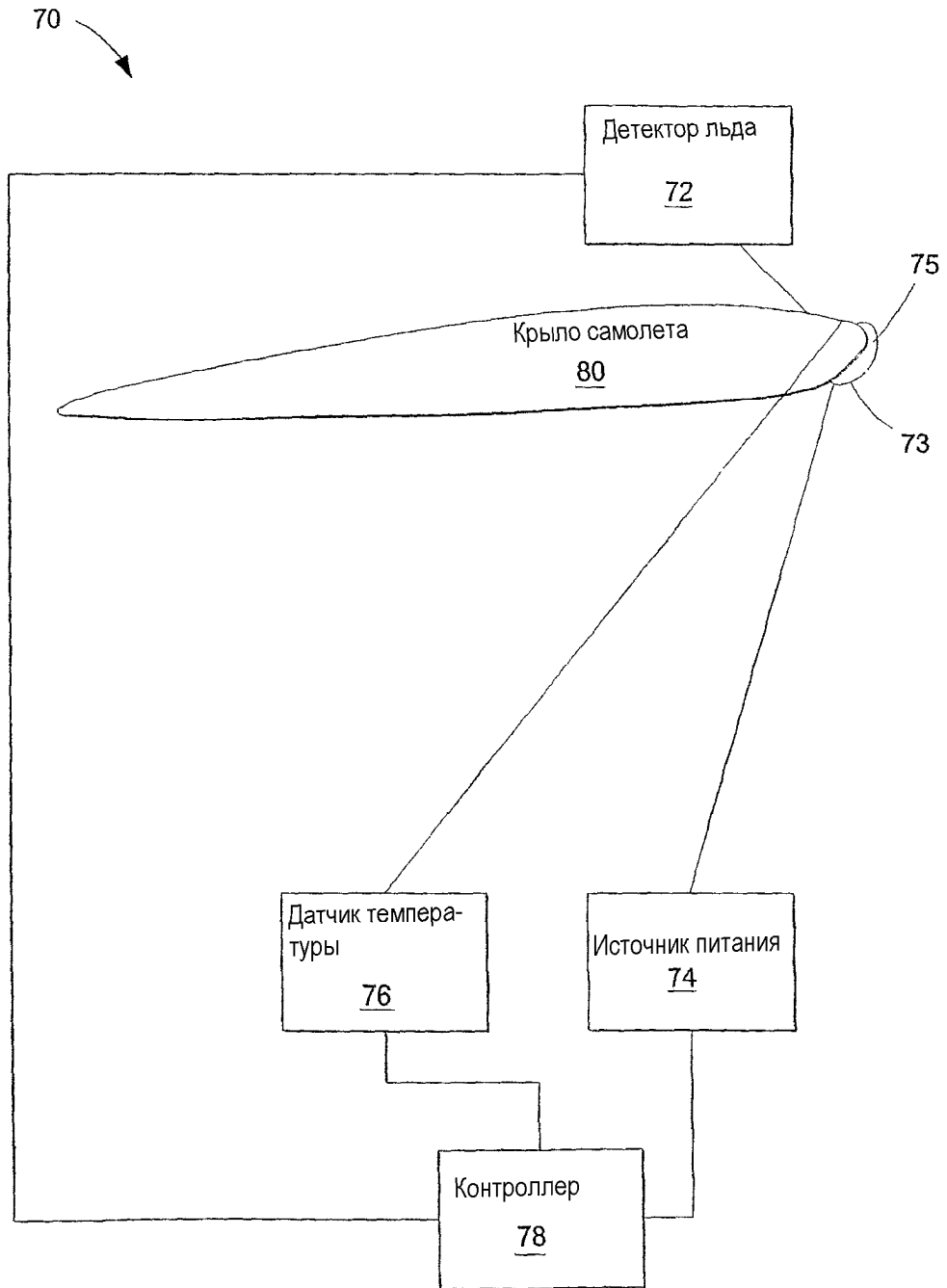
Фиг. 3



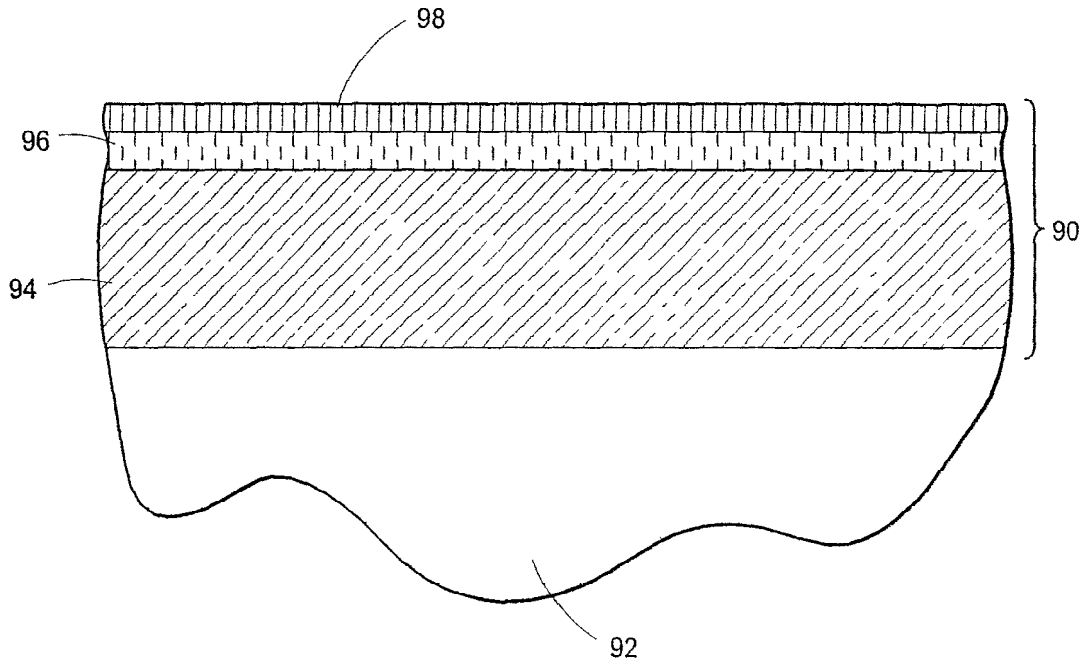
Фиг. 4



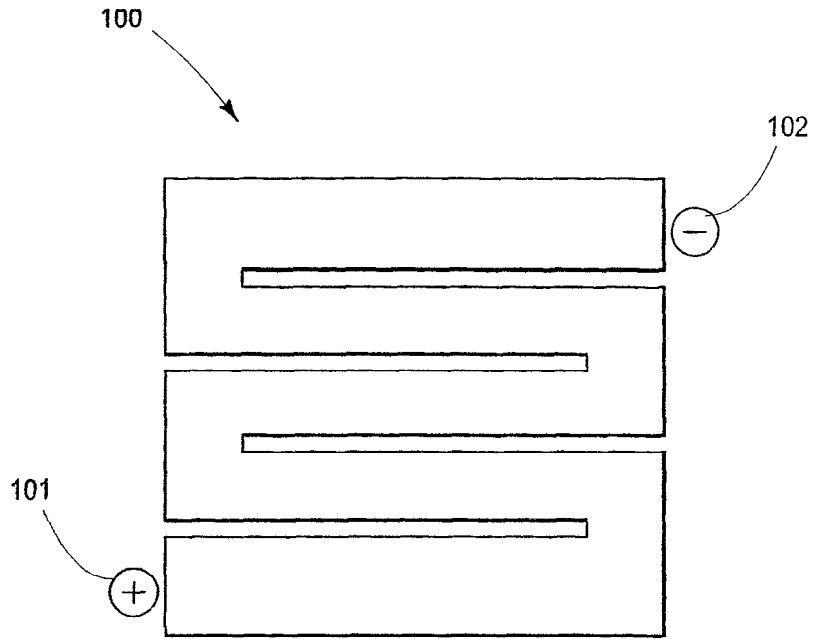
Фиг. 5



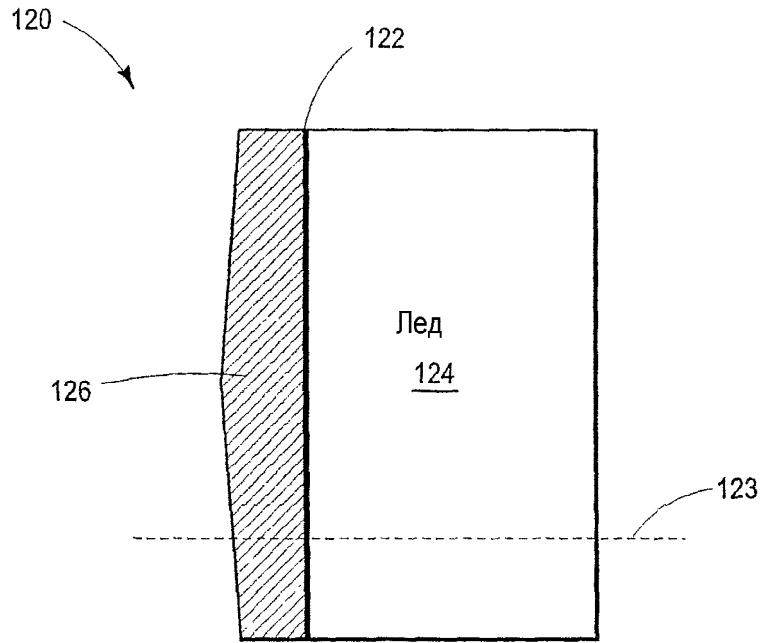
Фиг. 6



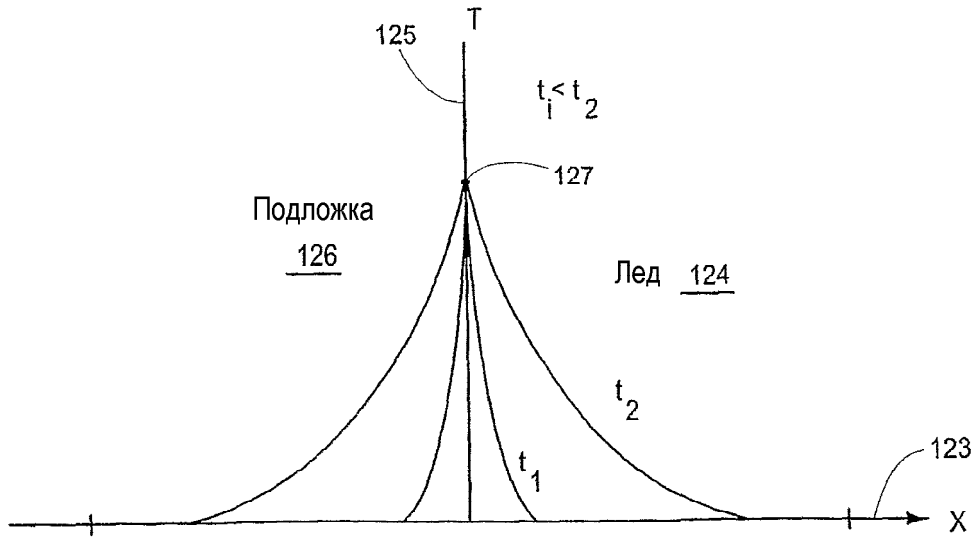
Фиг. 7



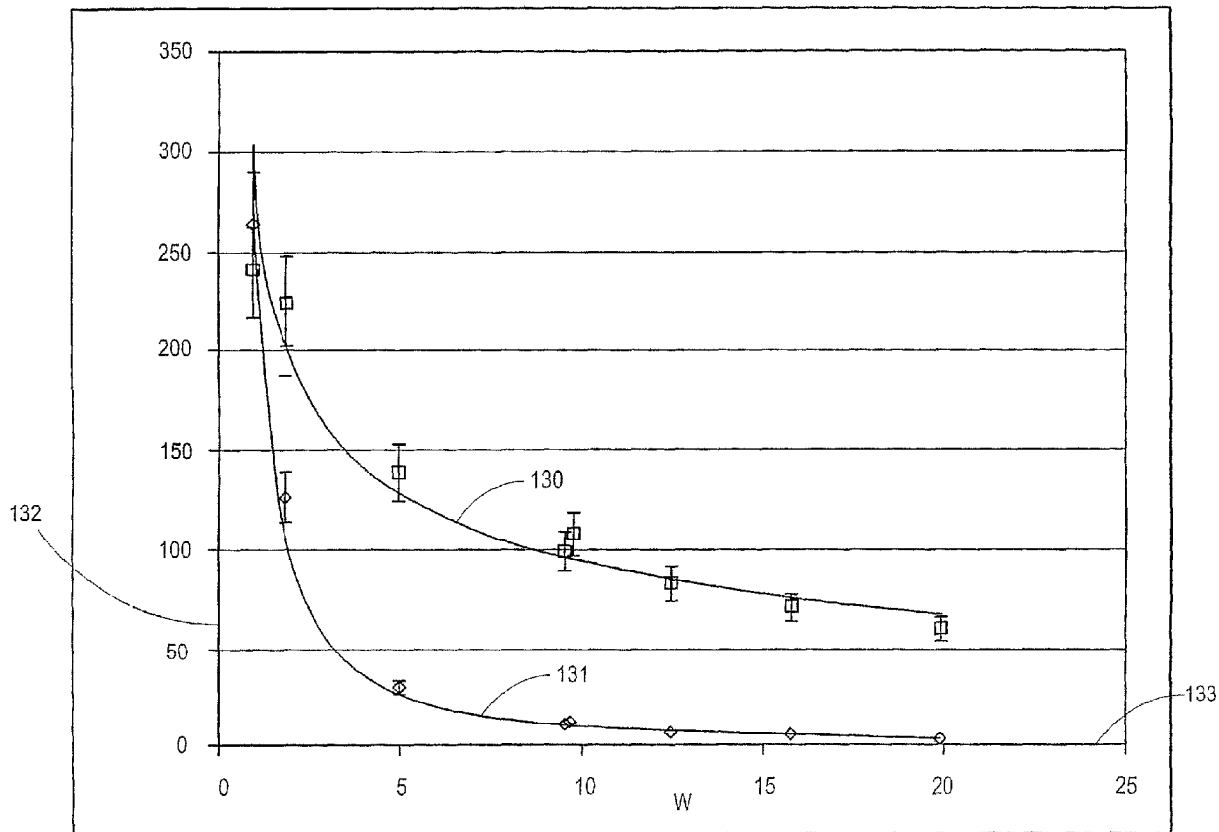
Фиг. 8



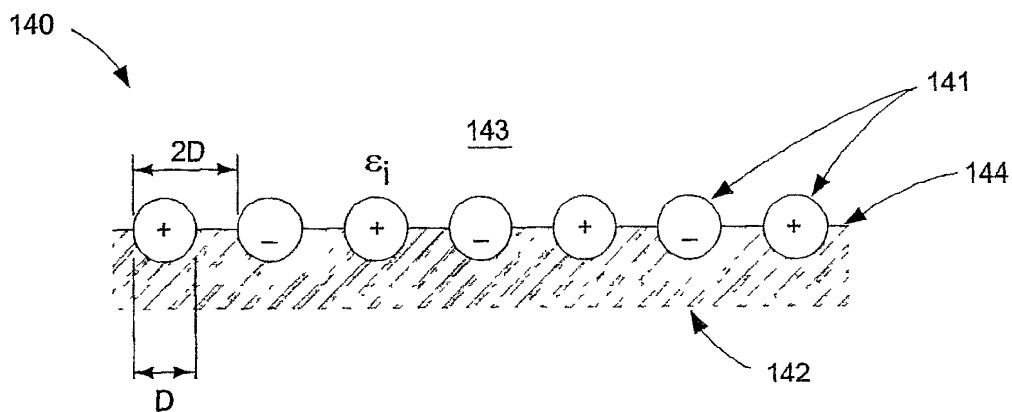
Фиг. 9



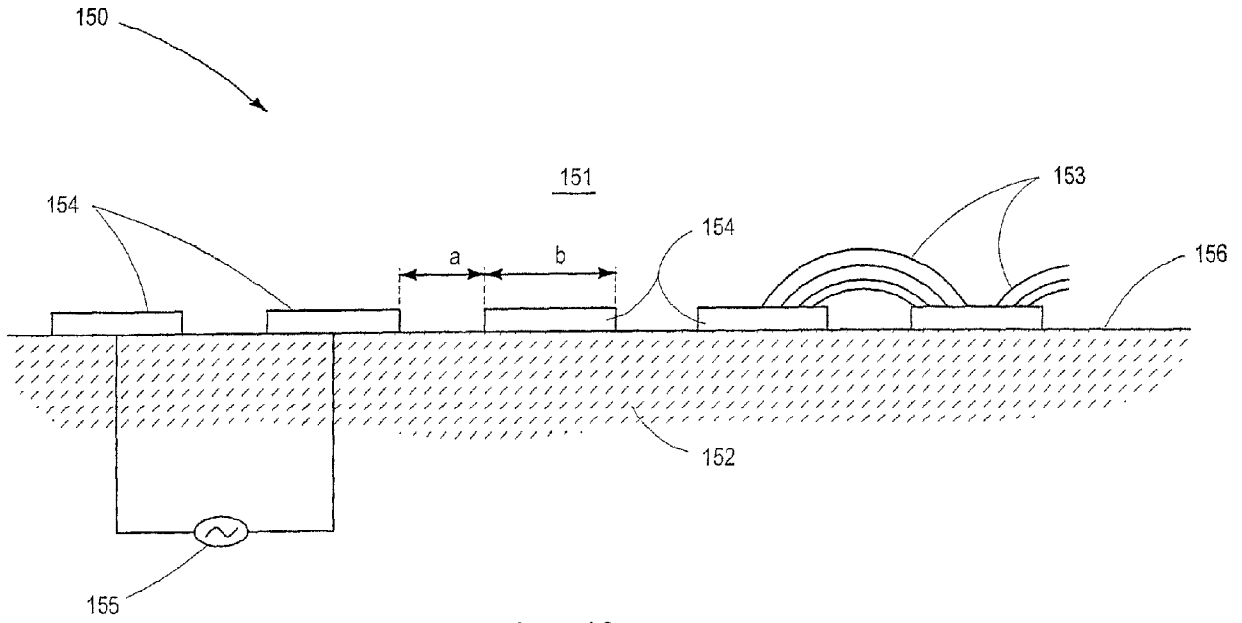
Фиг. 10



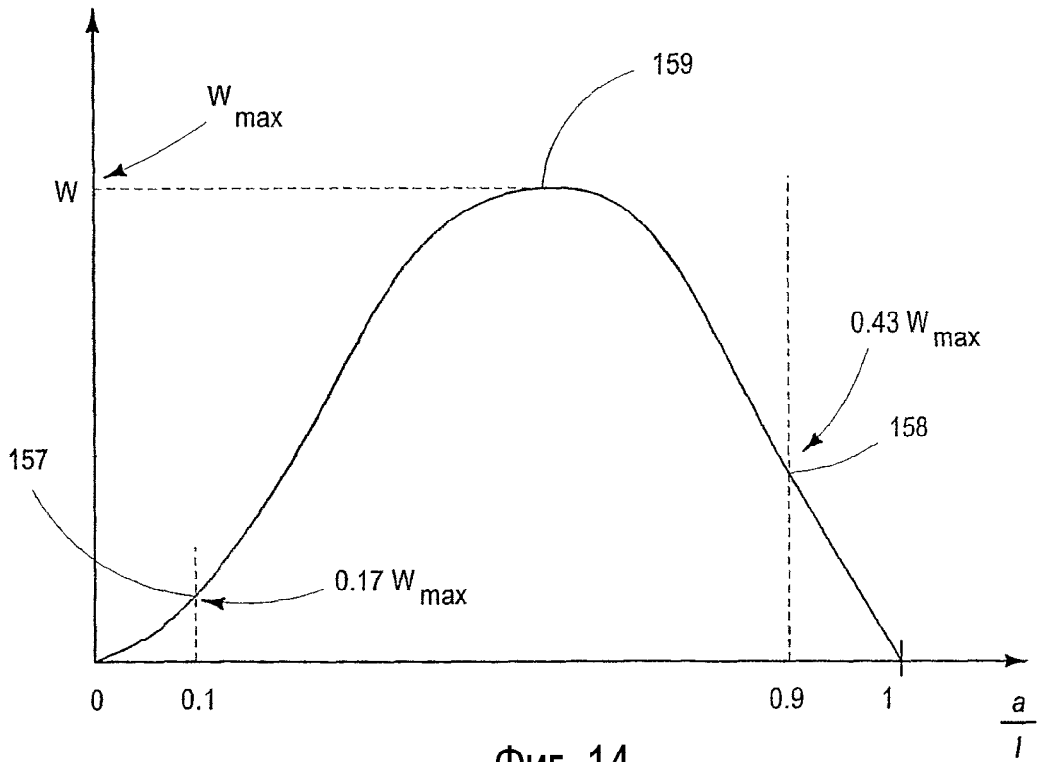
Фиг. 11



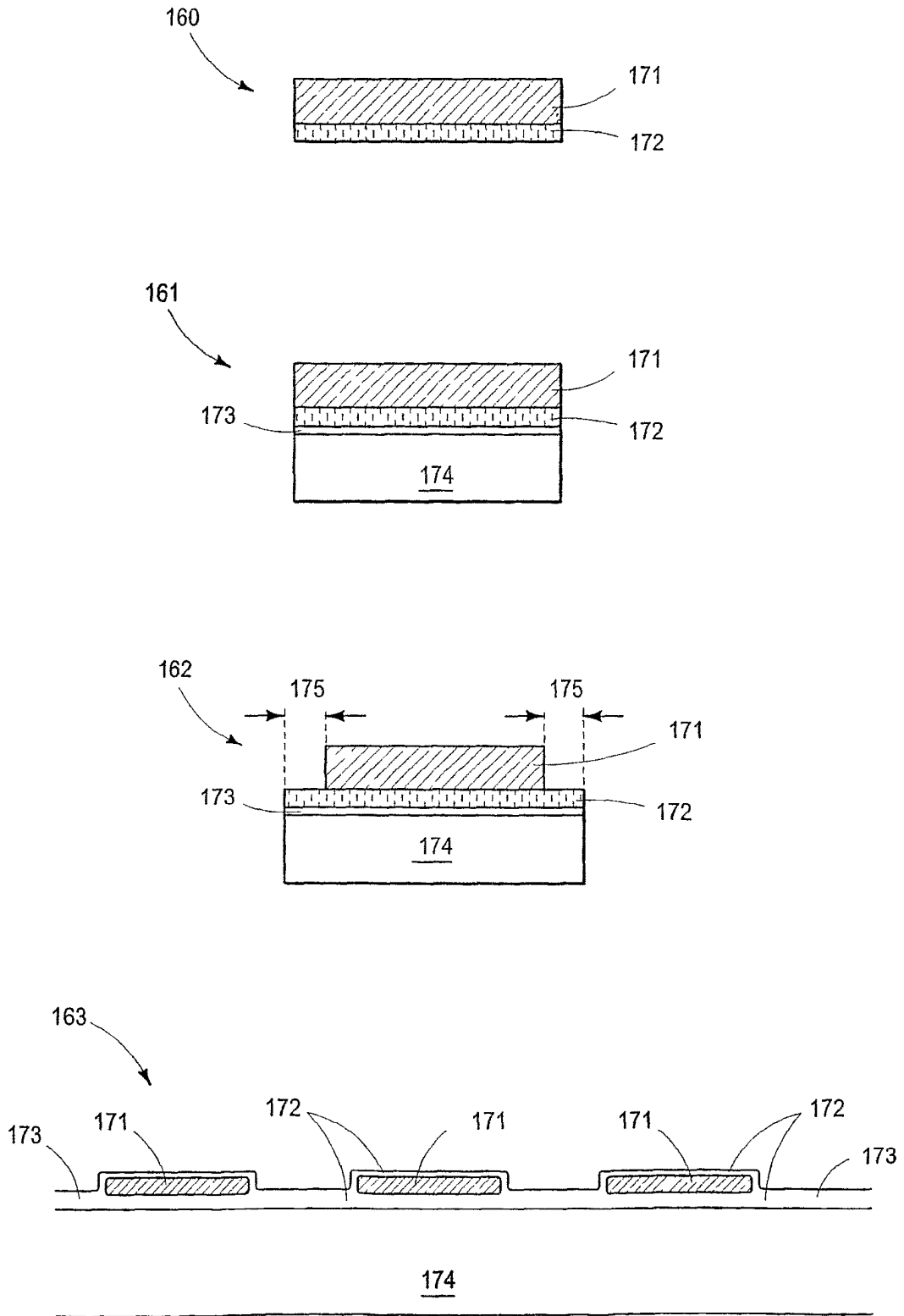
Фиг. 12



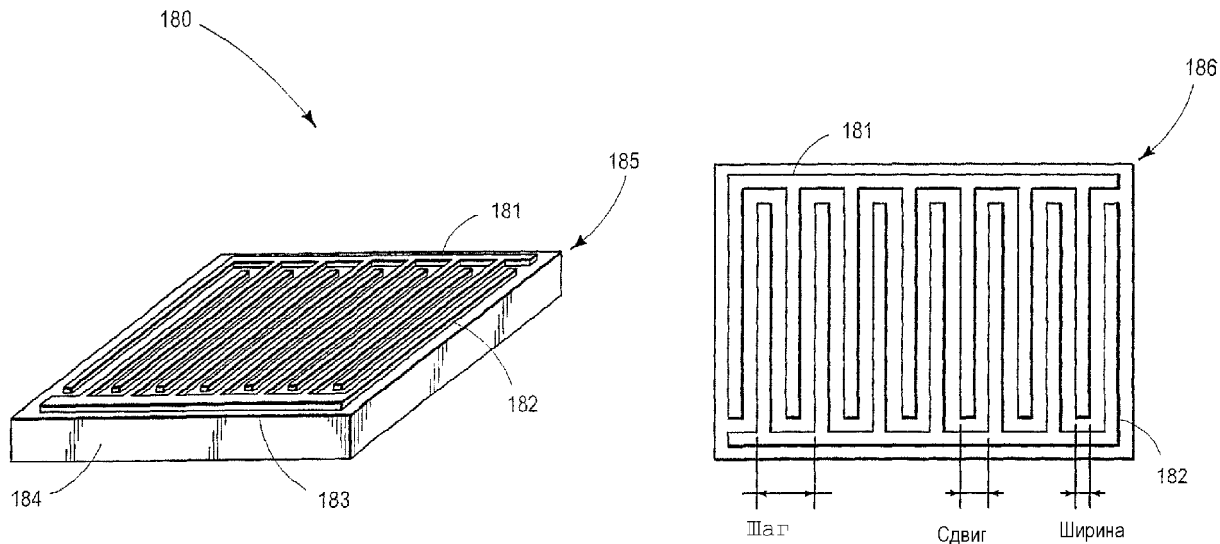
Фиг. 13



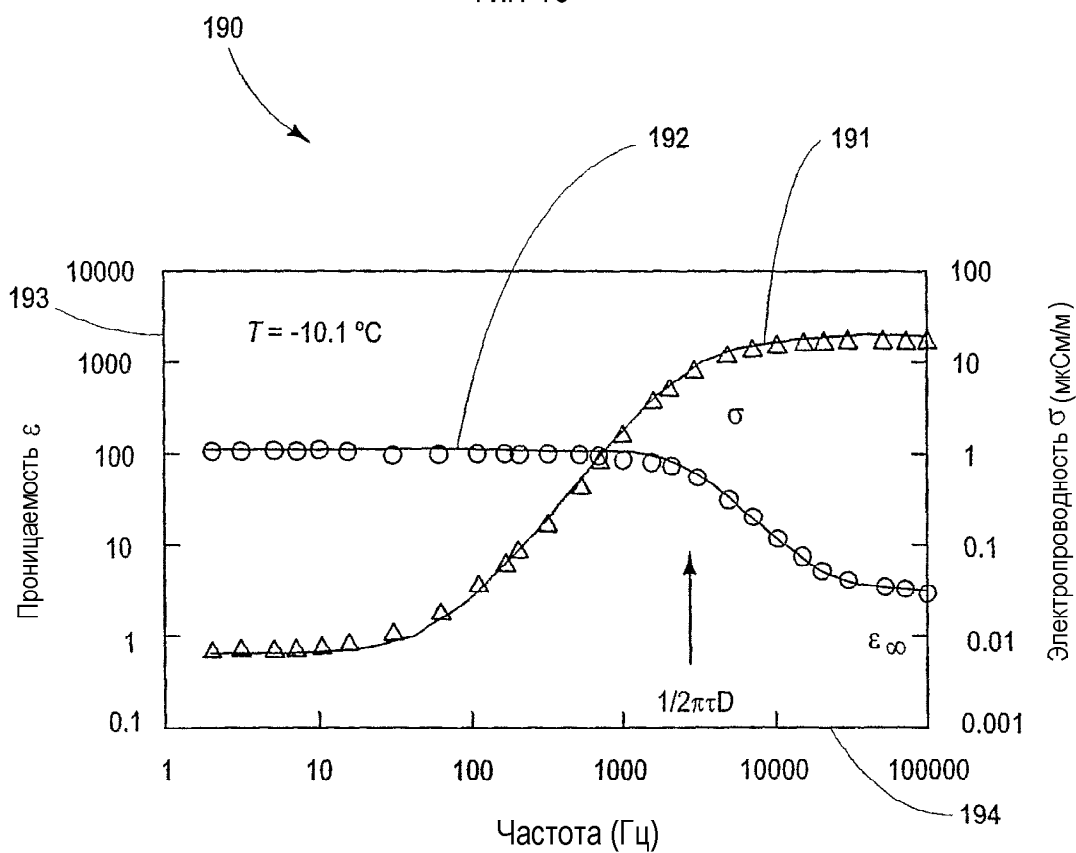
Фиг. 14



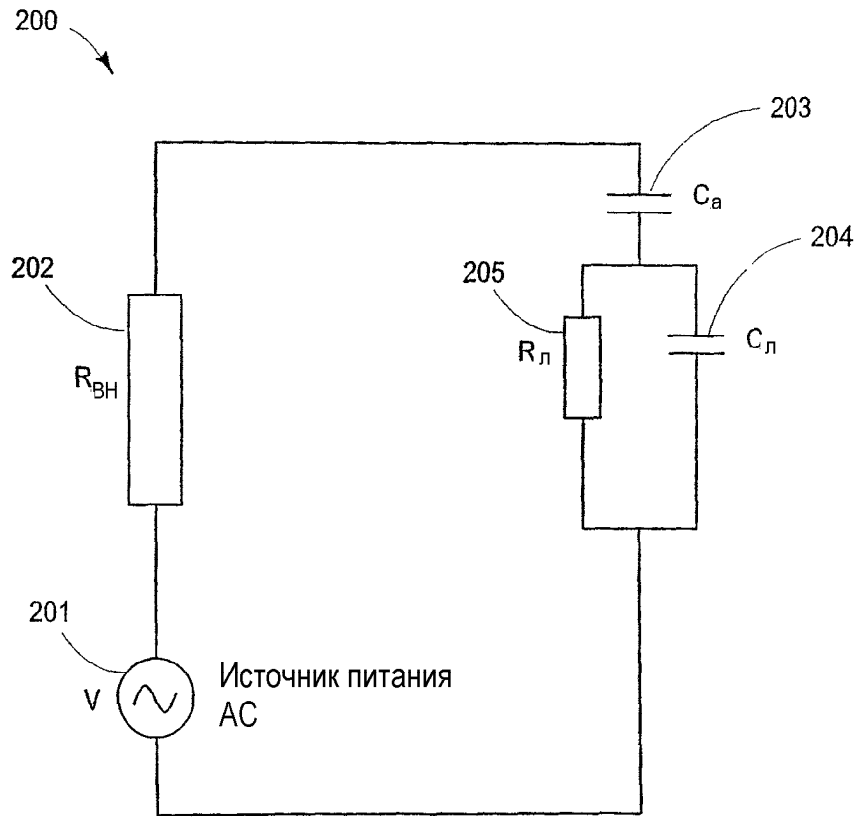
Фиг. 15



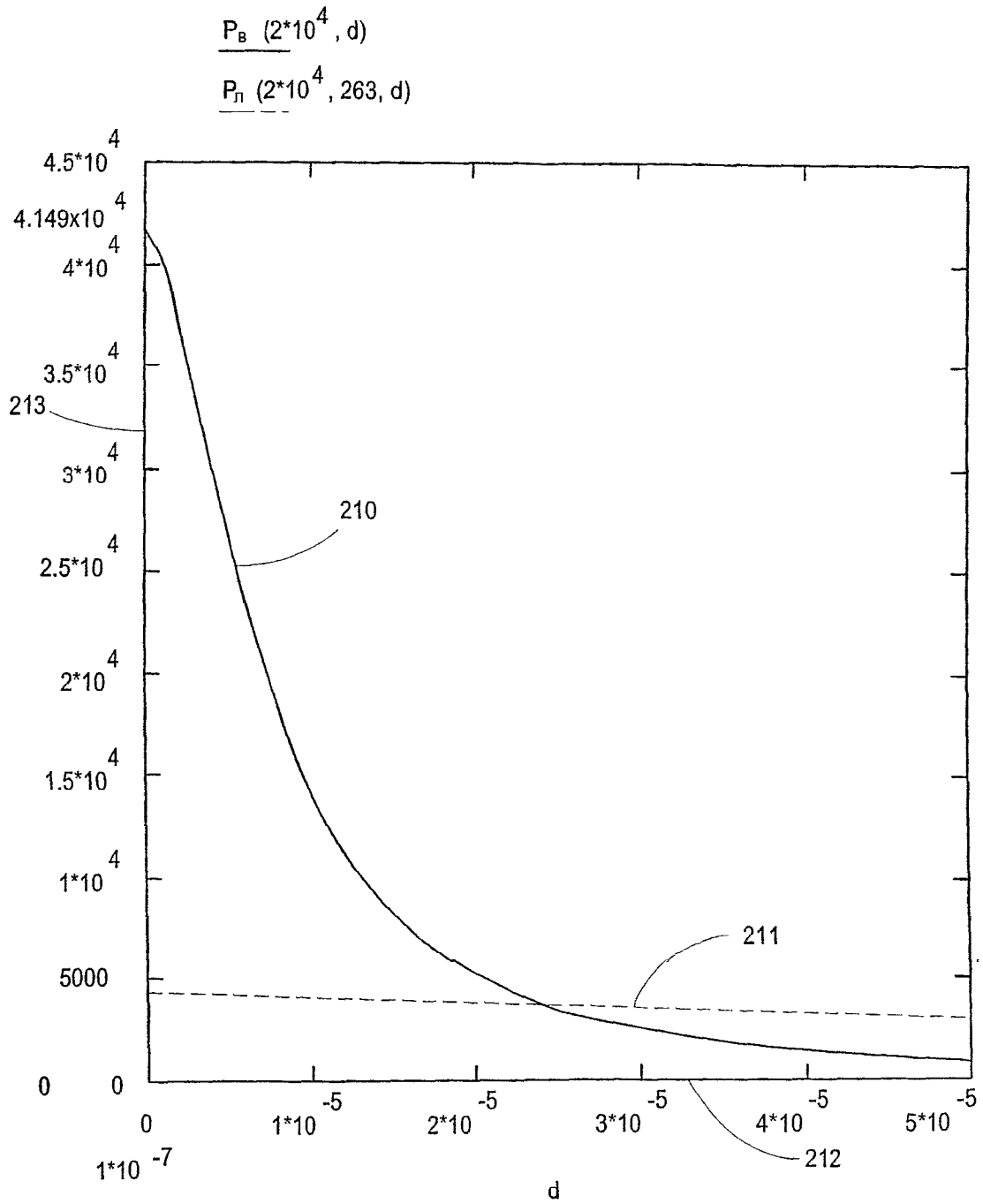
Фиг. 16



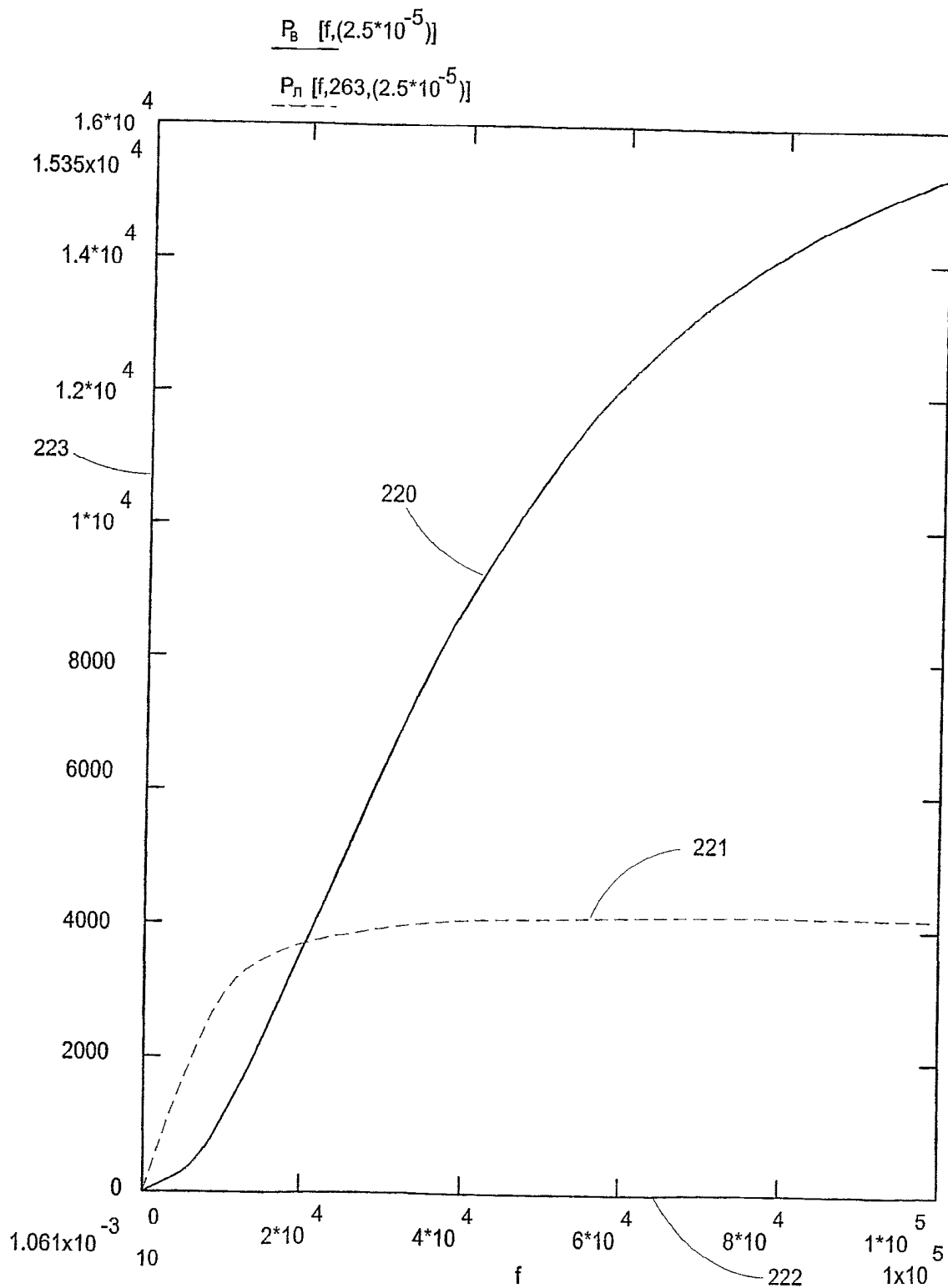
Фиг. 17



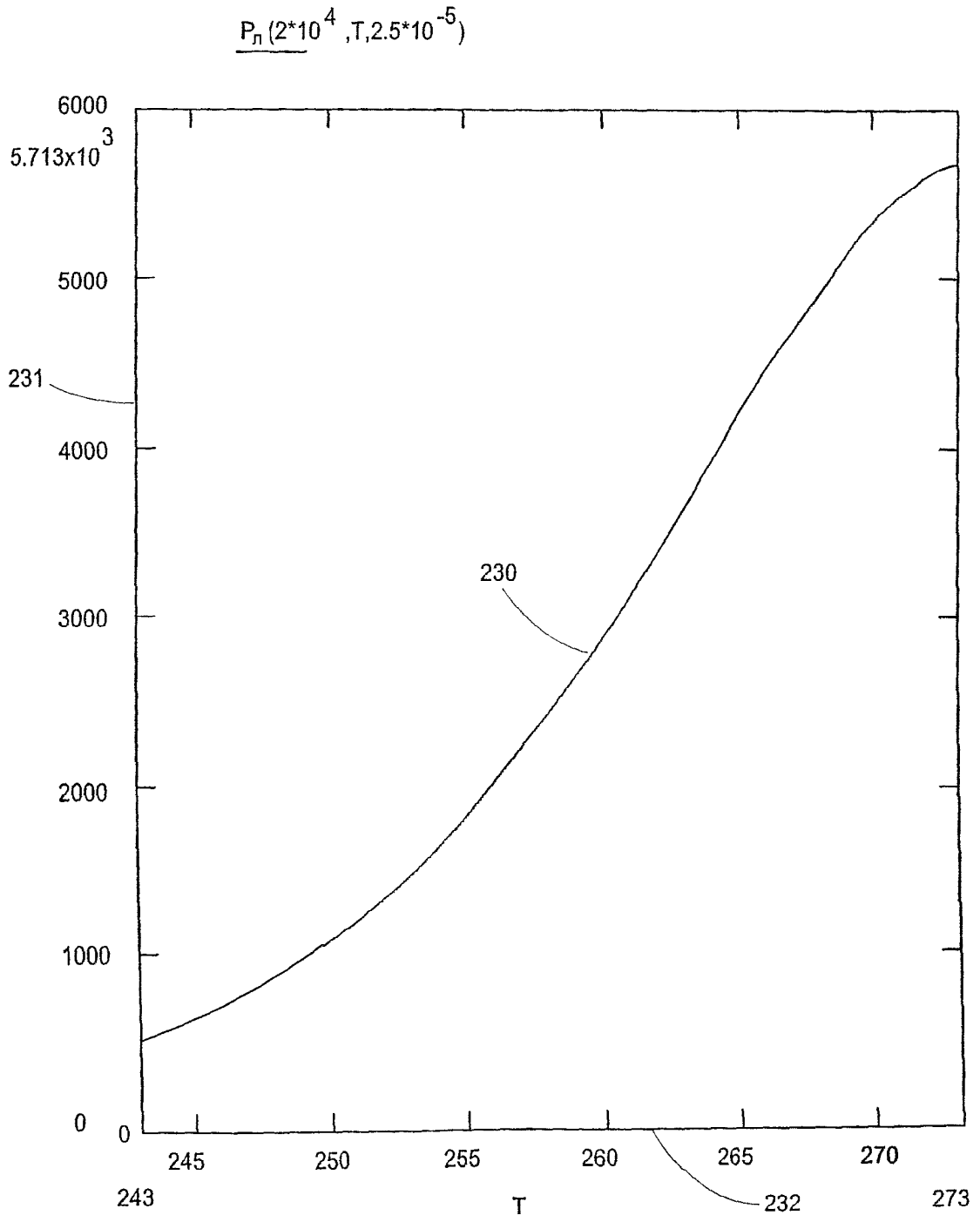
Фиг. 18



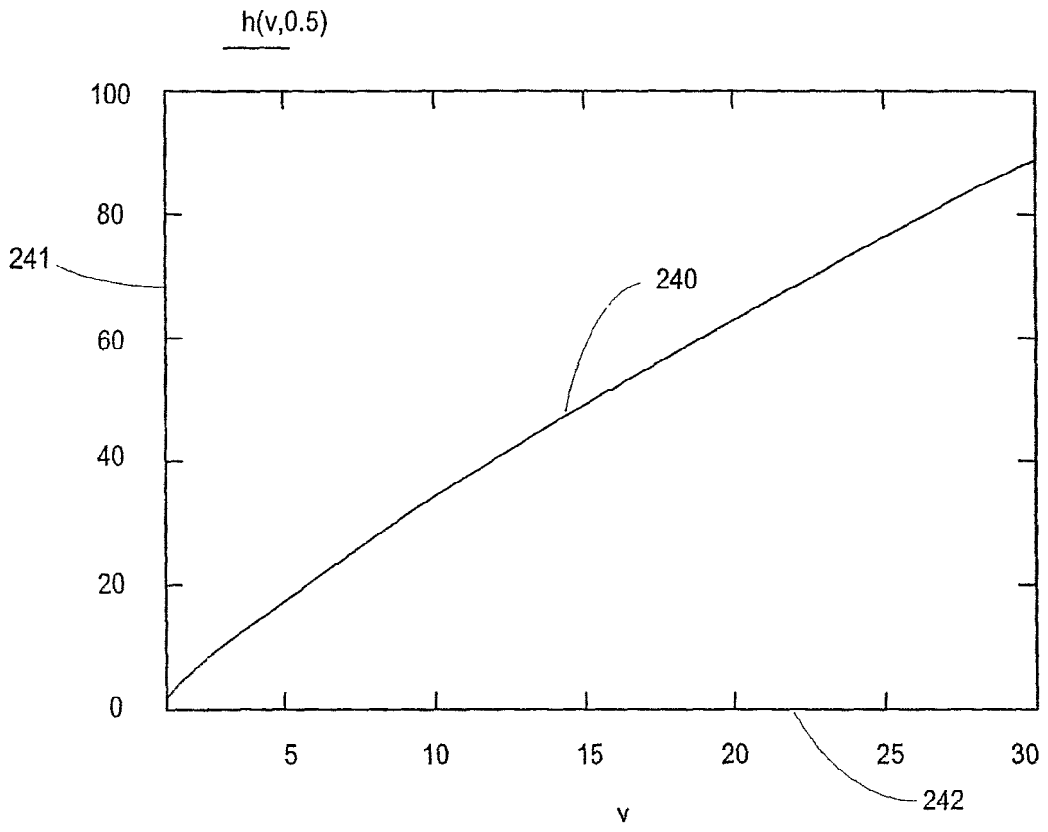
Фиг. 19



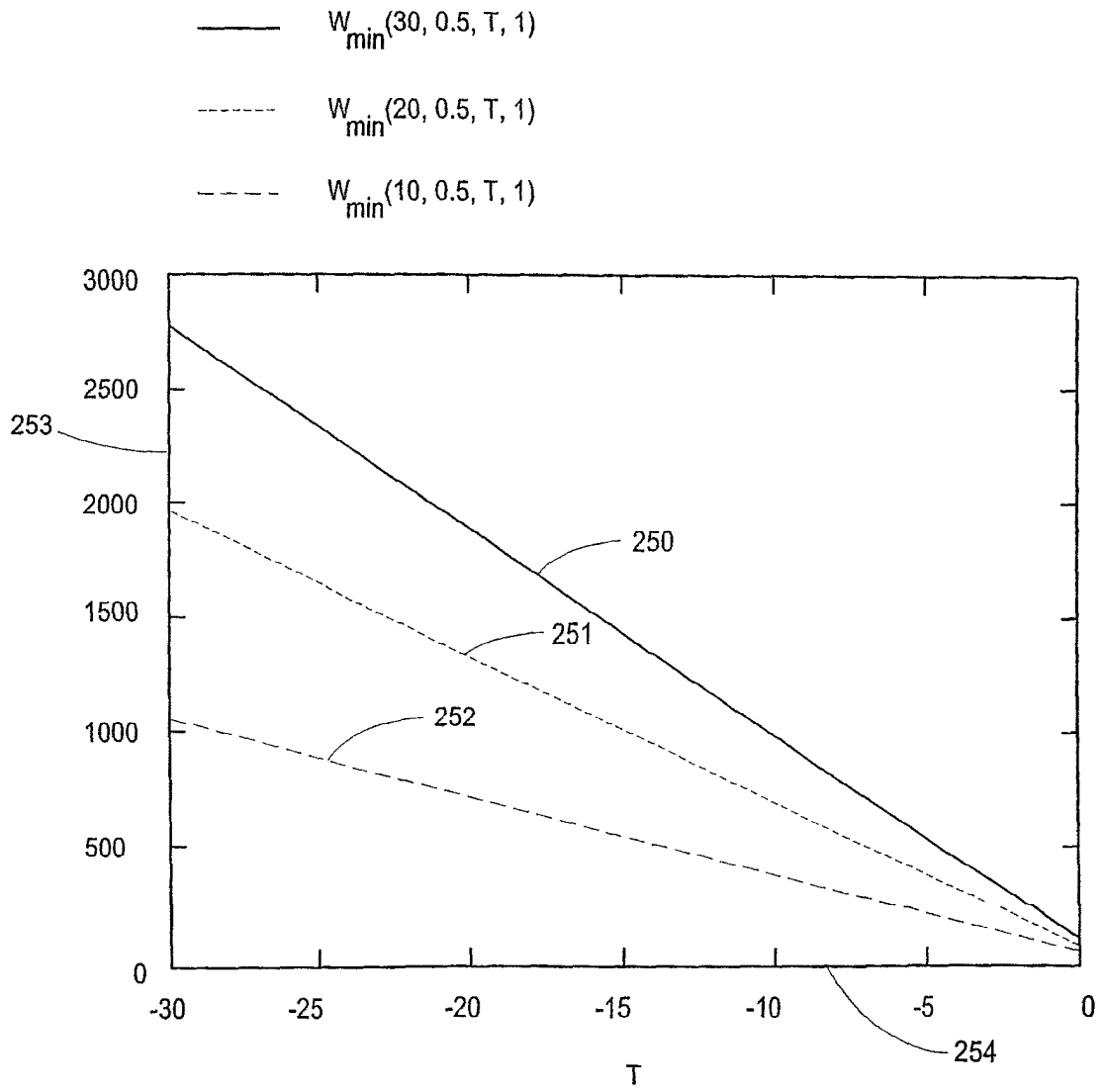
Фиг. 20



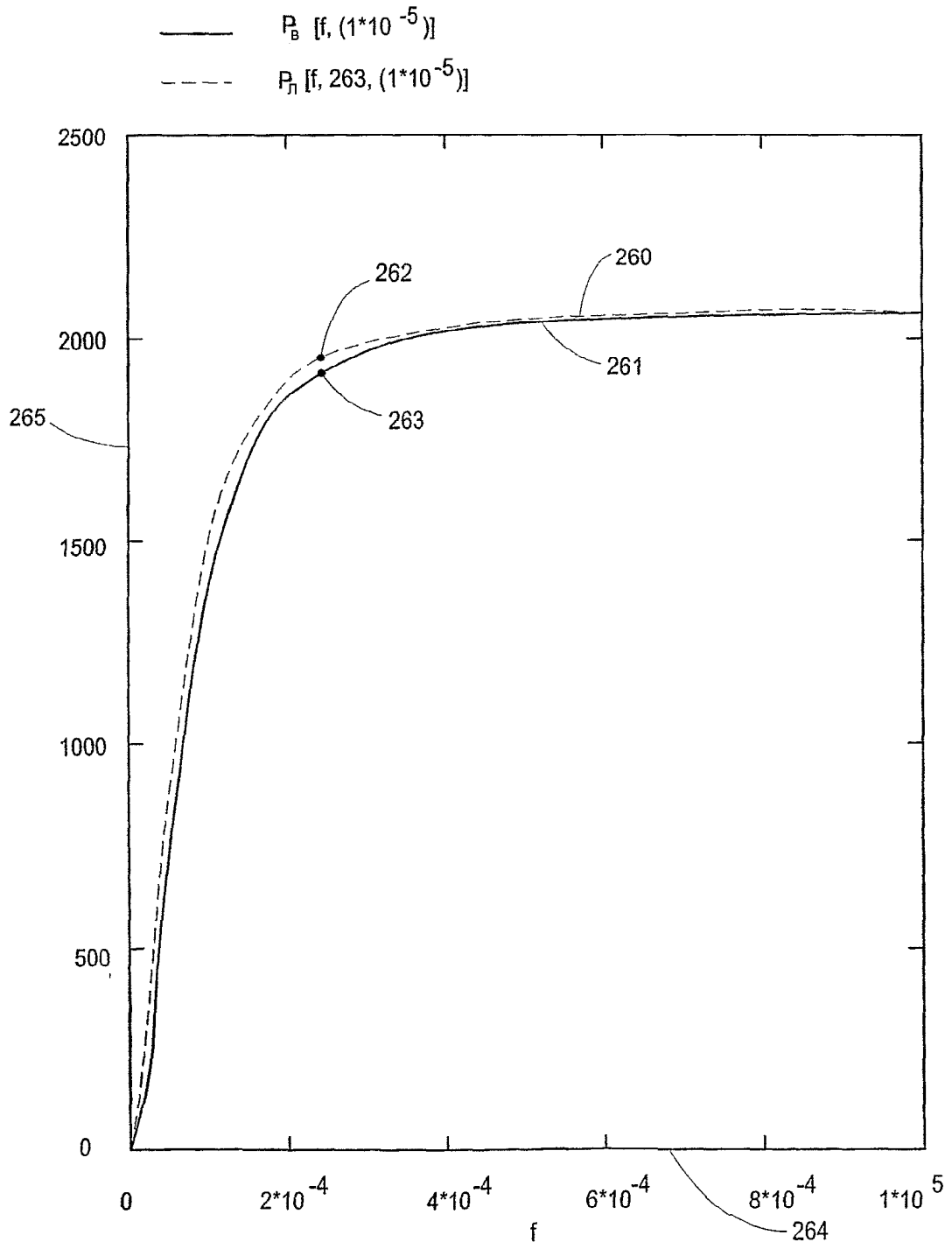
Фиг. 21



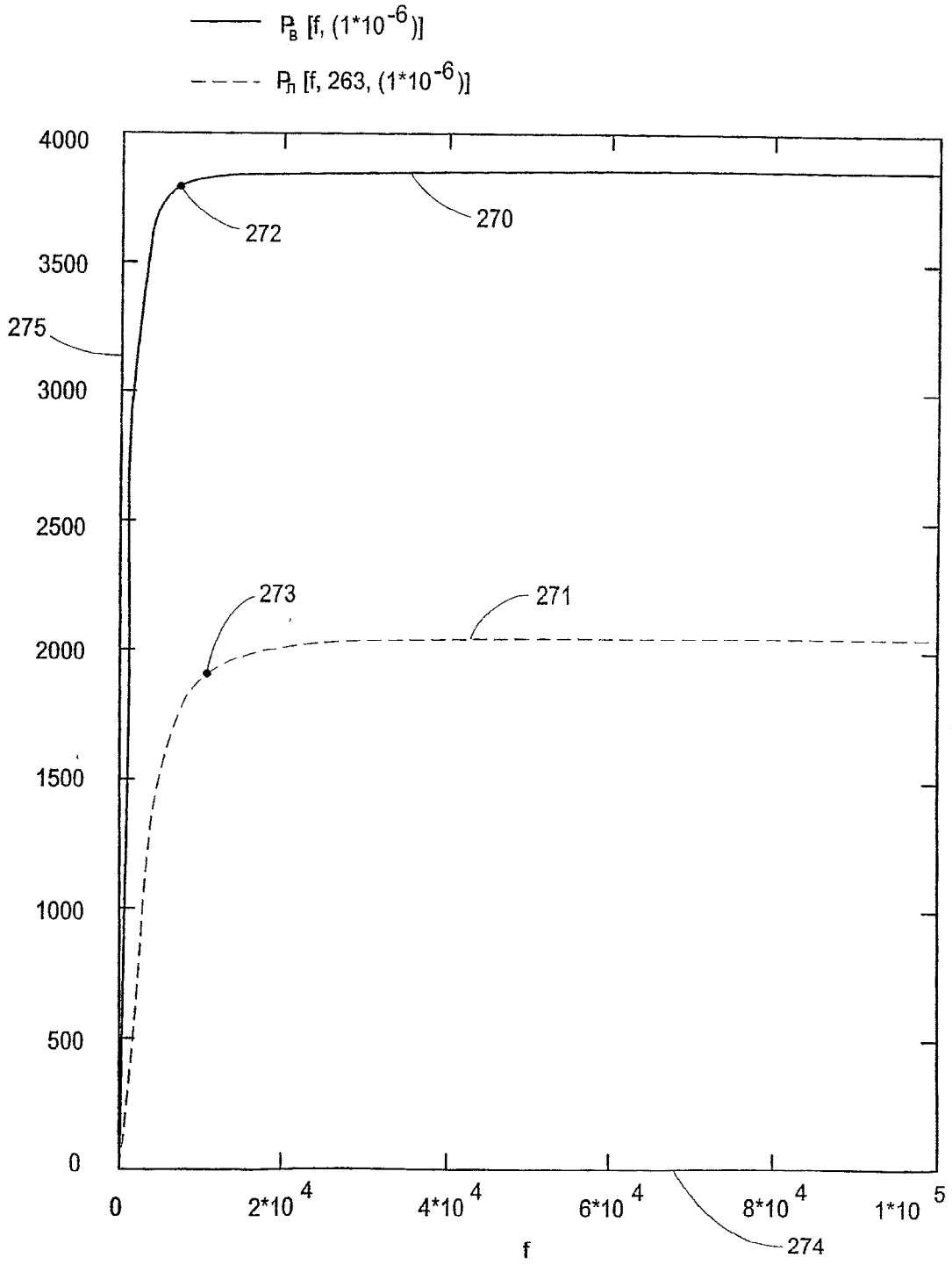
Фиг. 22



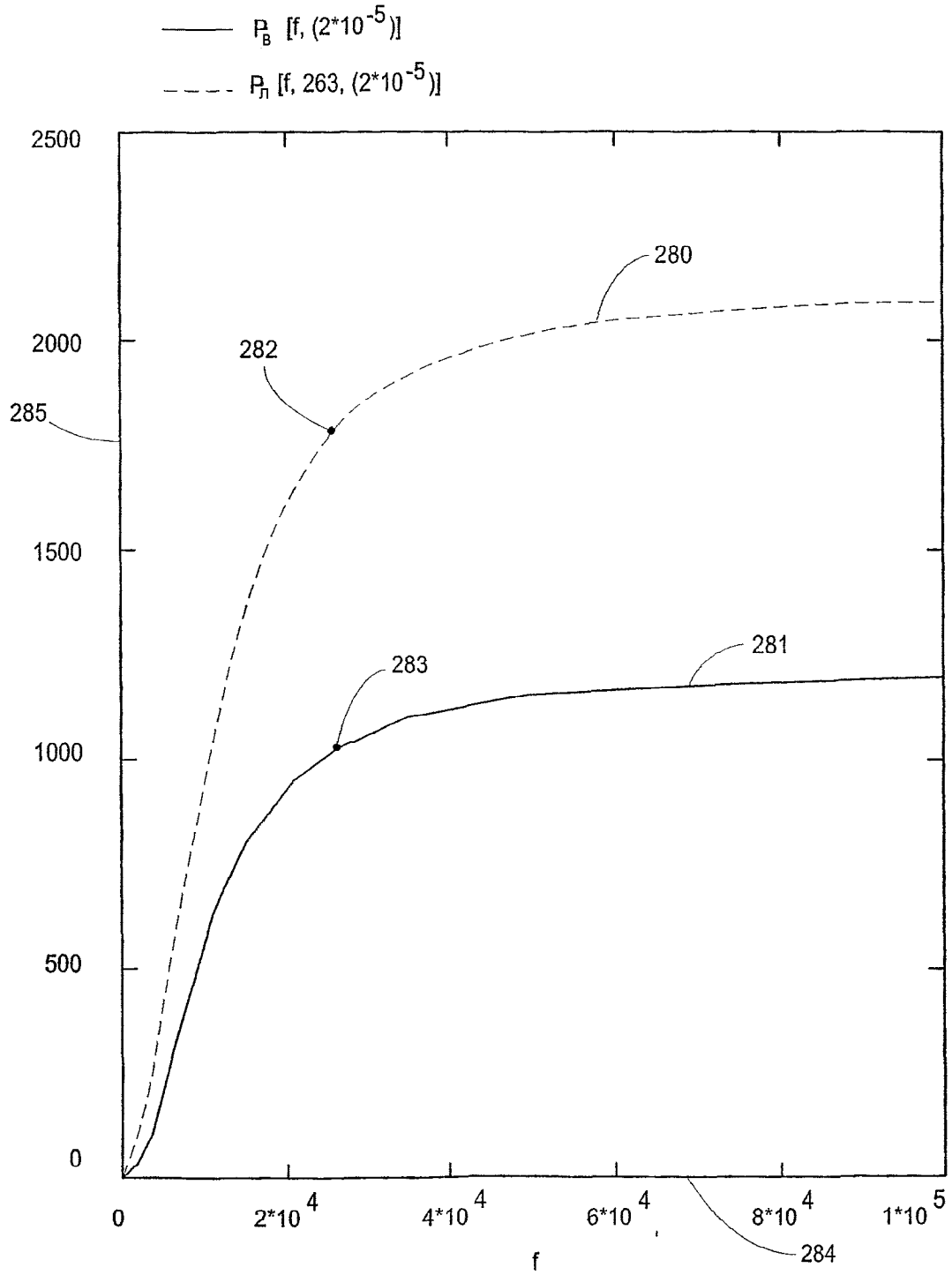
Фиг. 23



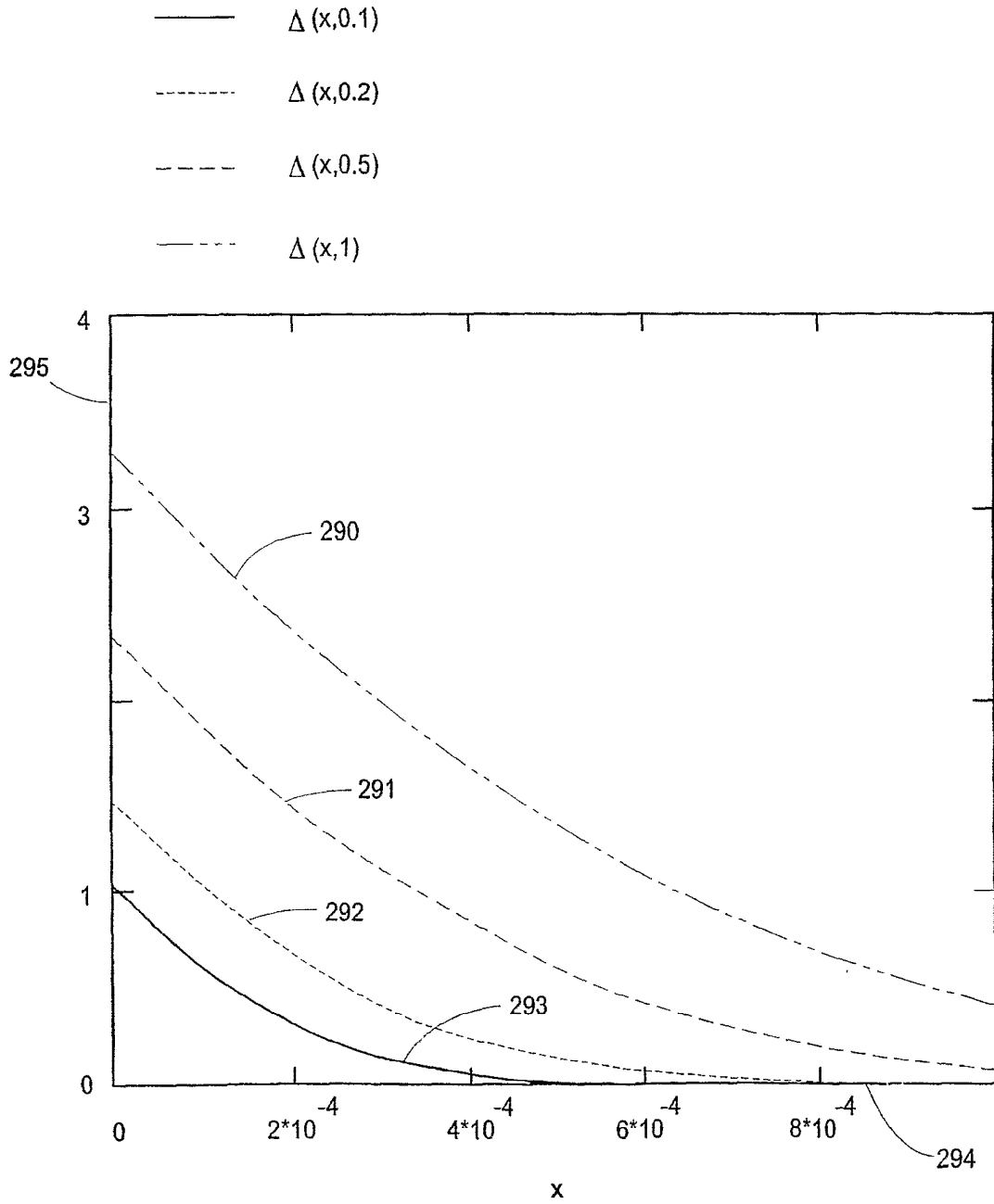
Фиг. 24



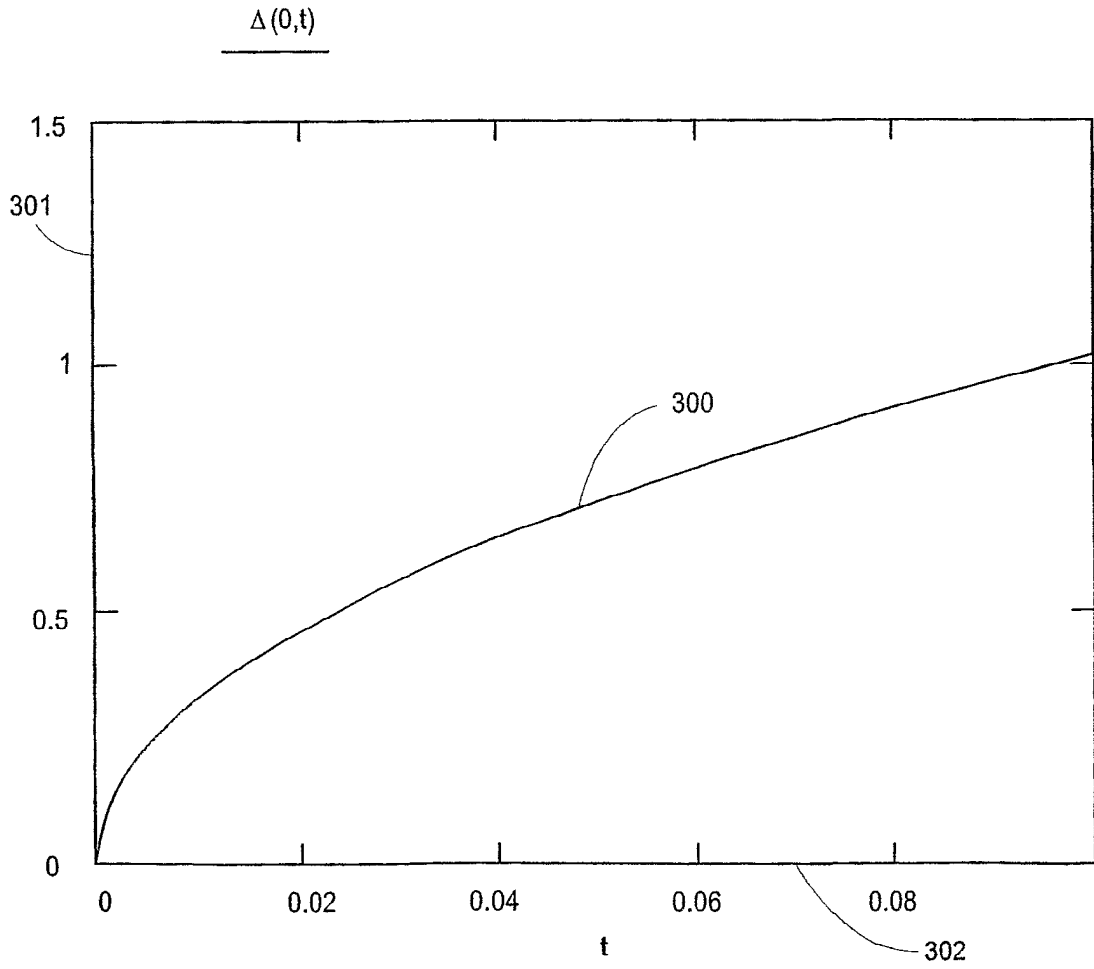
Фиг. 25



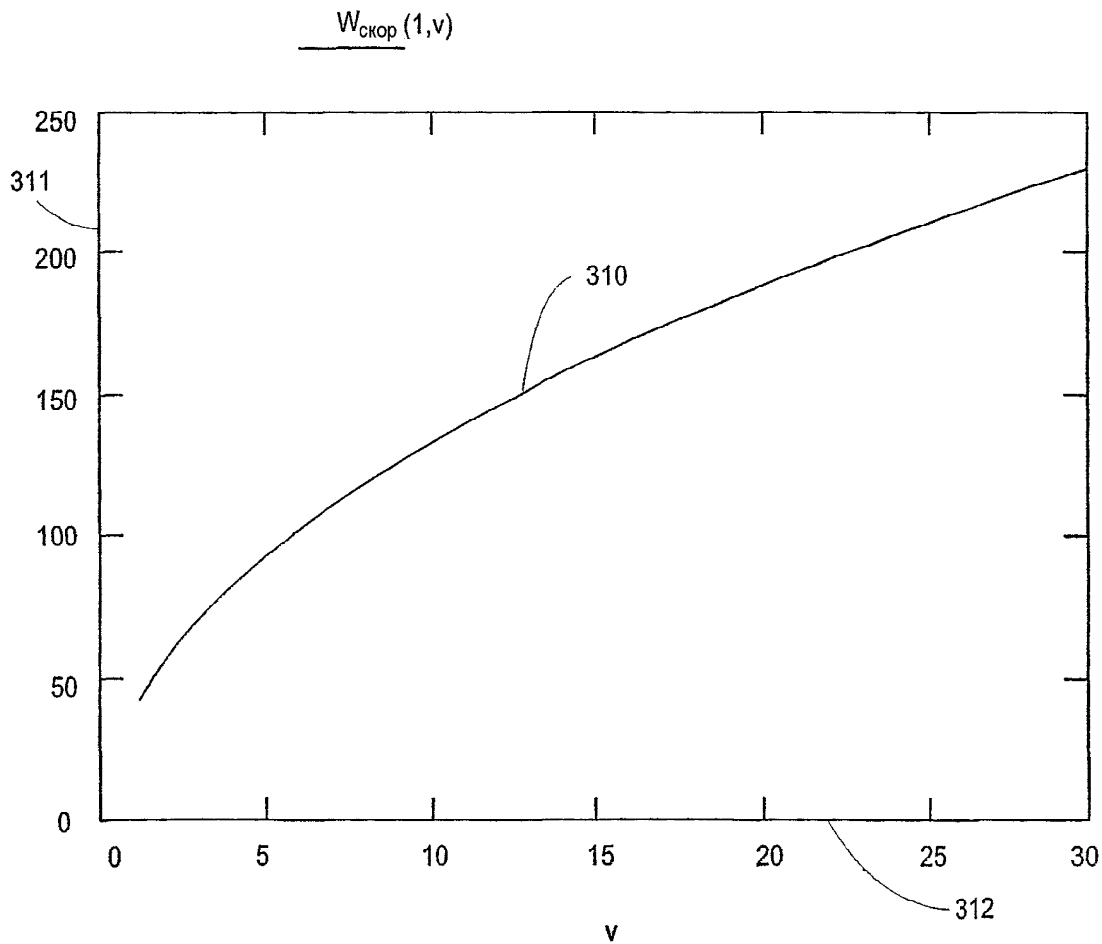
Фиг. 26



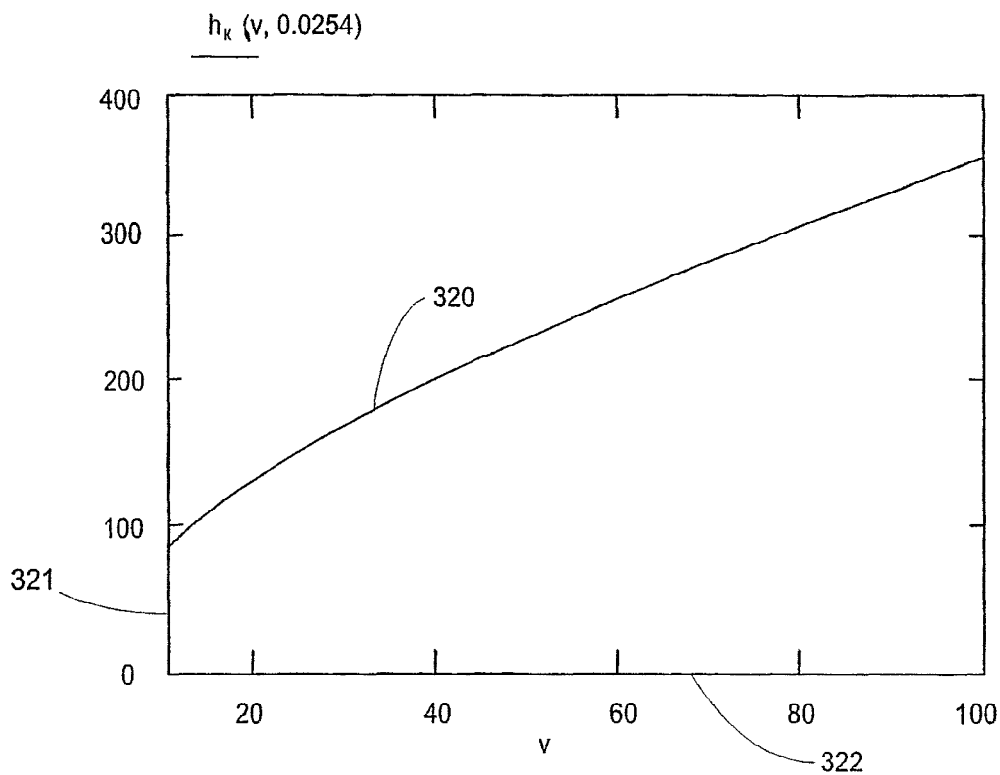
Фиг. 27



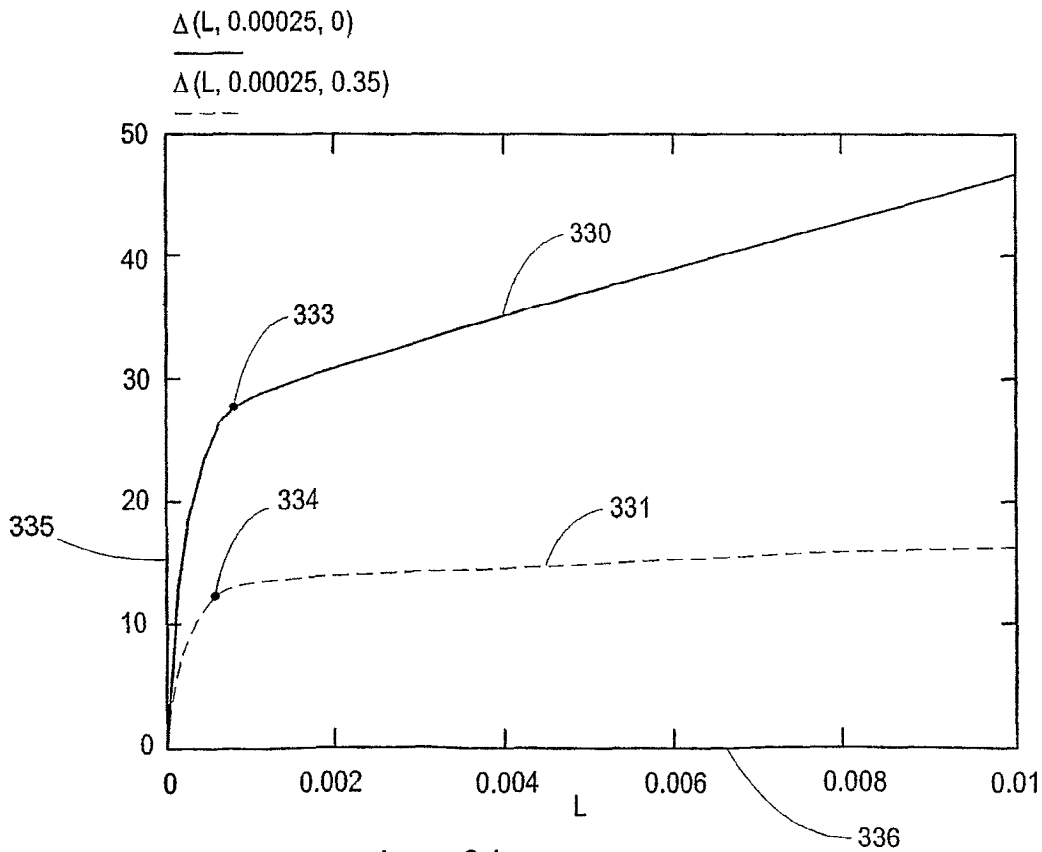
ФИГ. 28



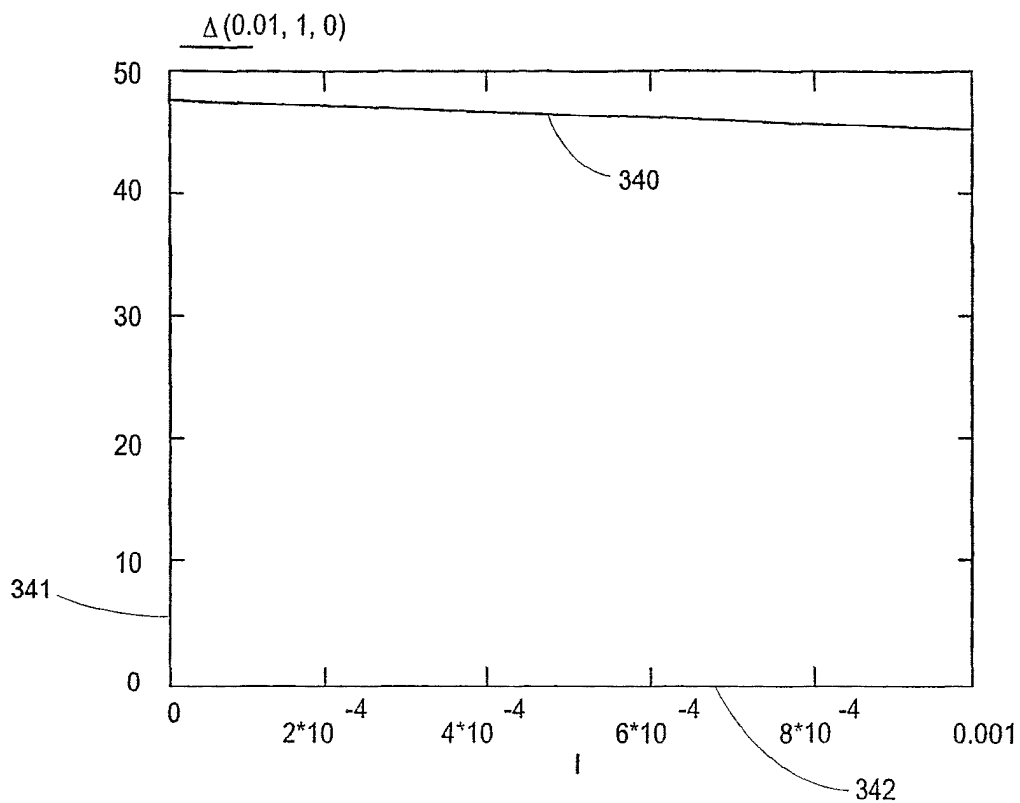
Фиг. 29



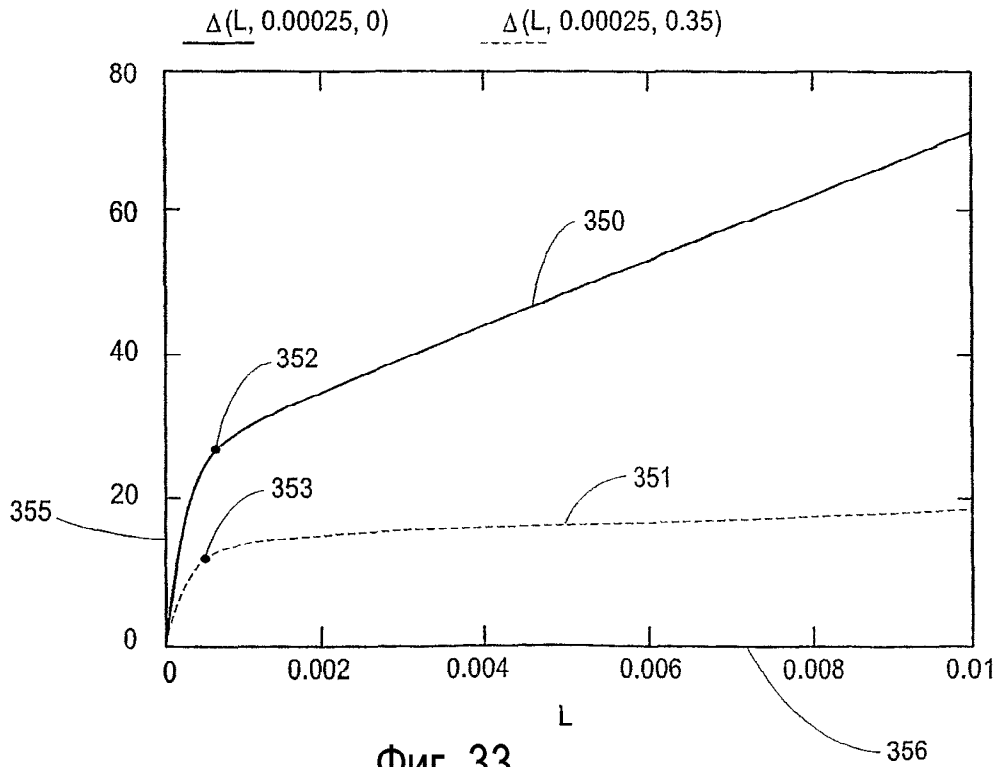
Фиг. 30



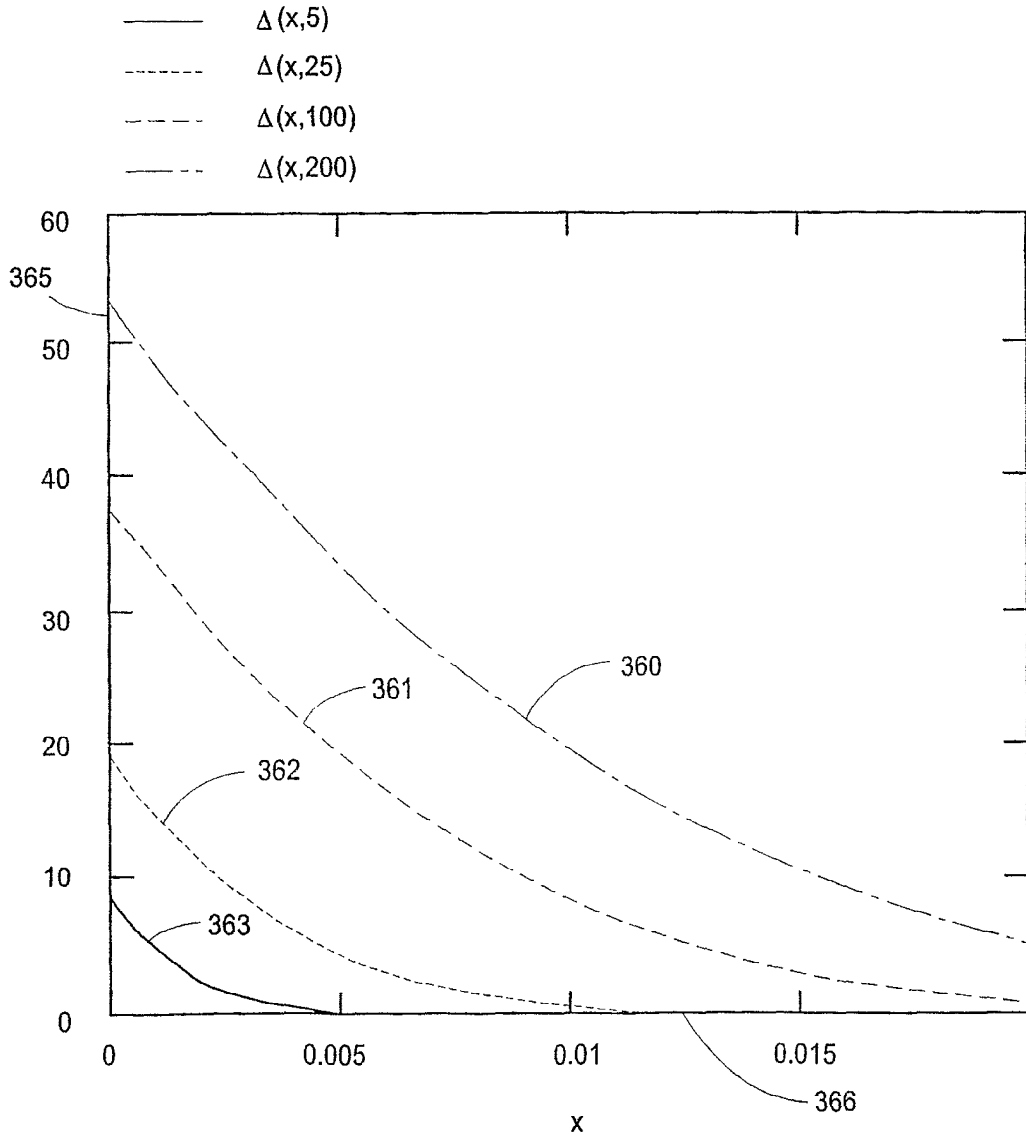
Фиг. 31



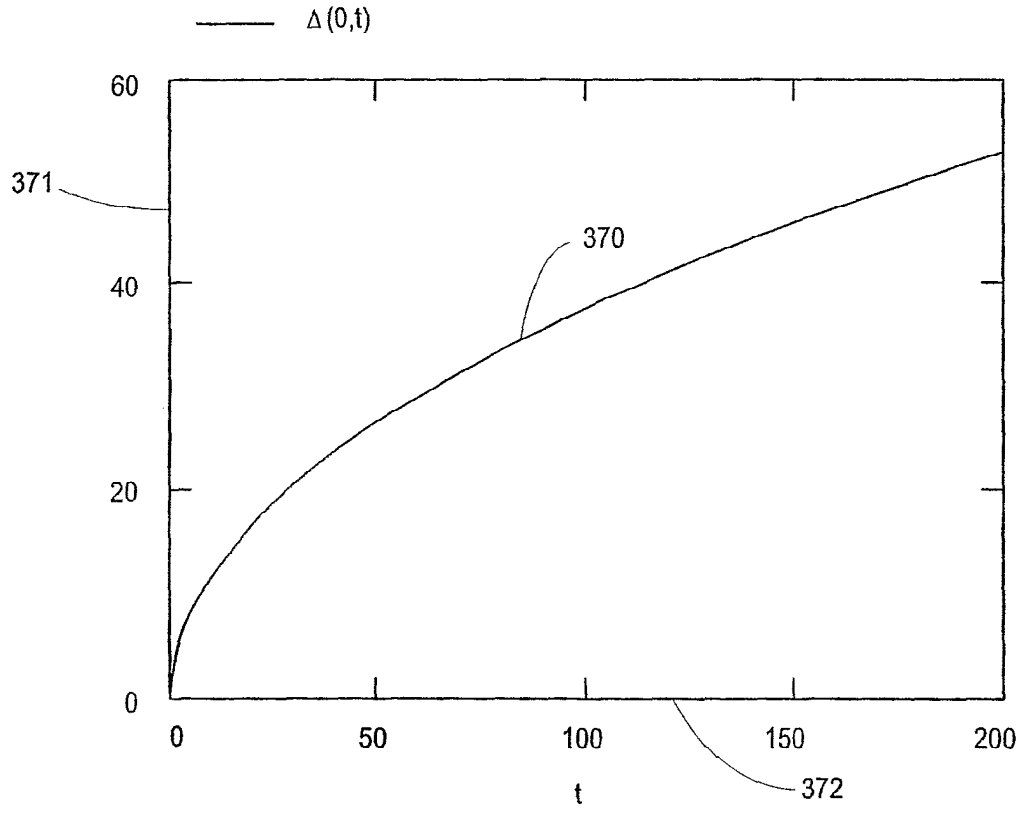
Фиг. 32



Фиг. 33

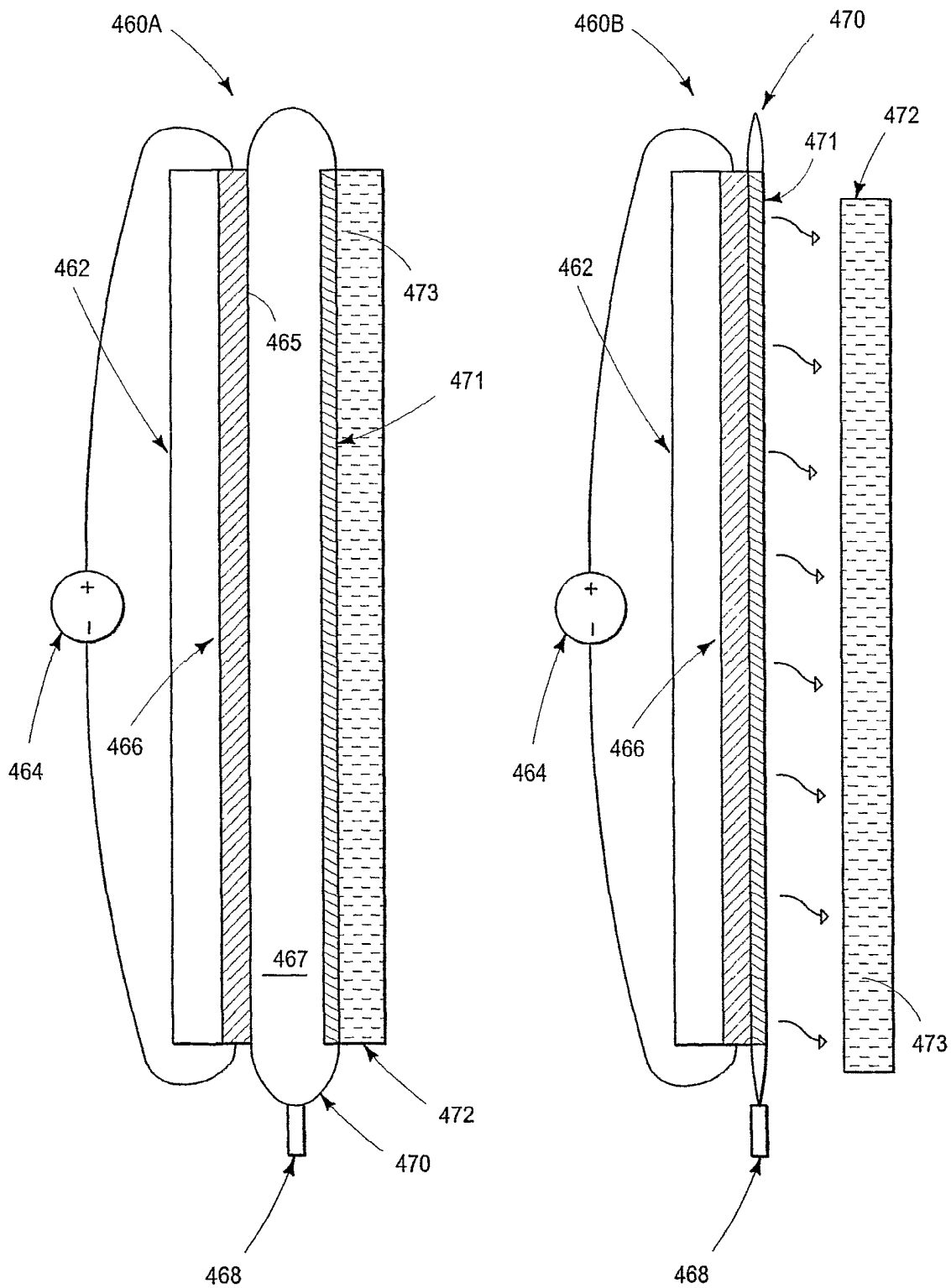


Фиг. 34

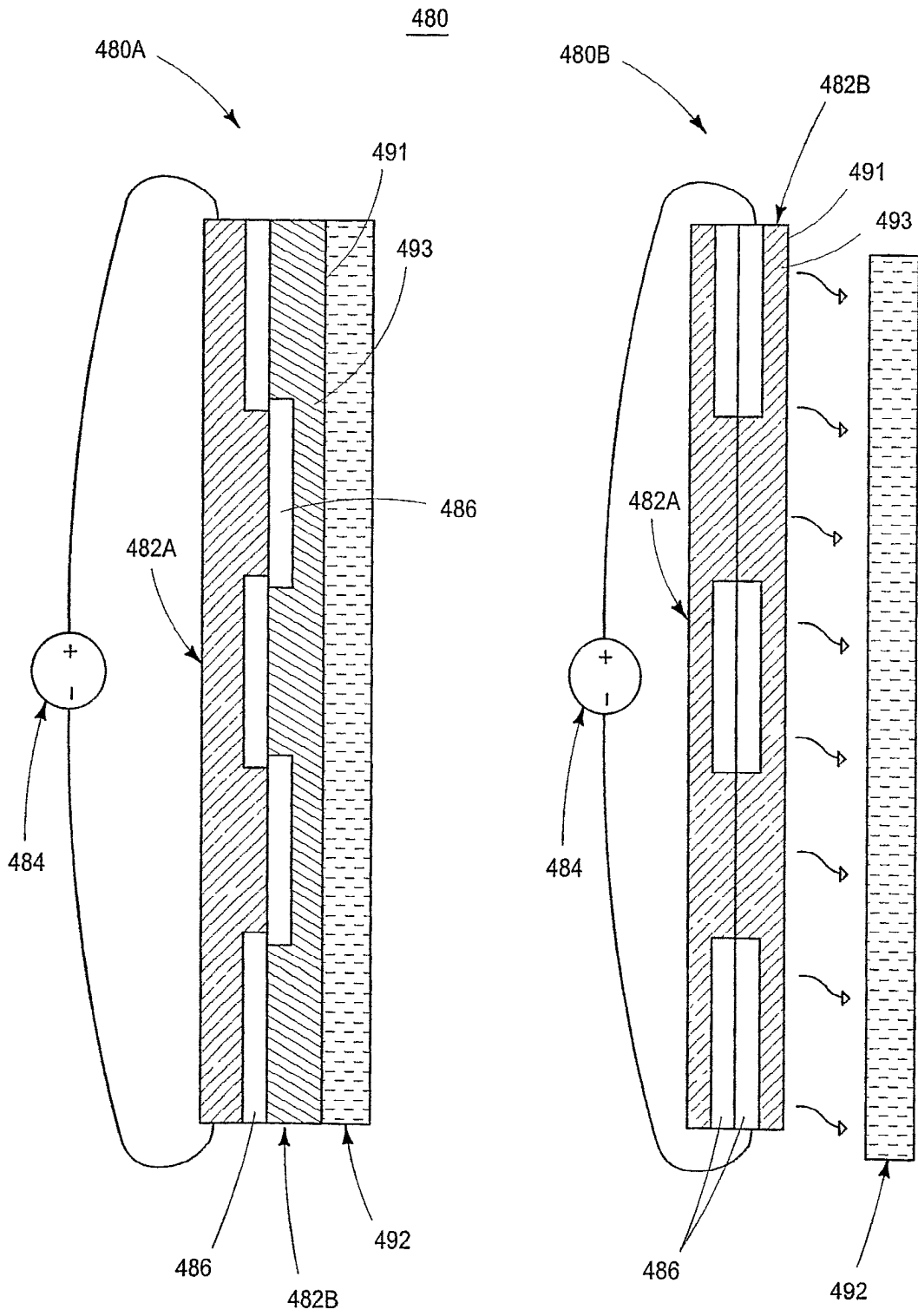


Фиг. 35

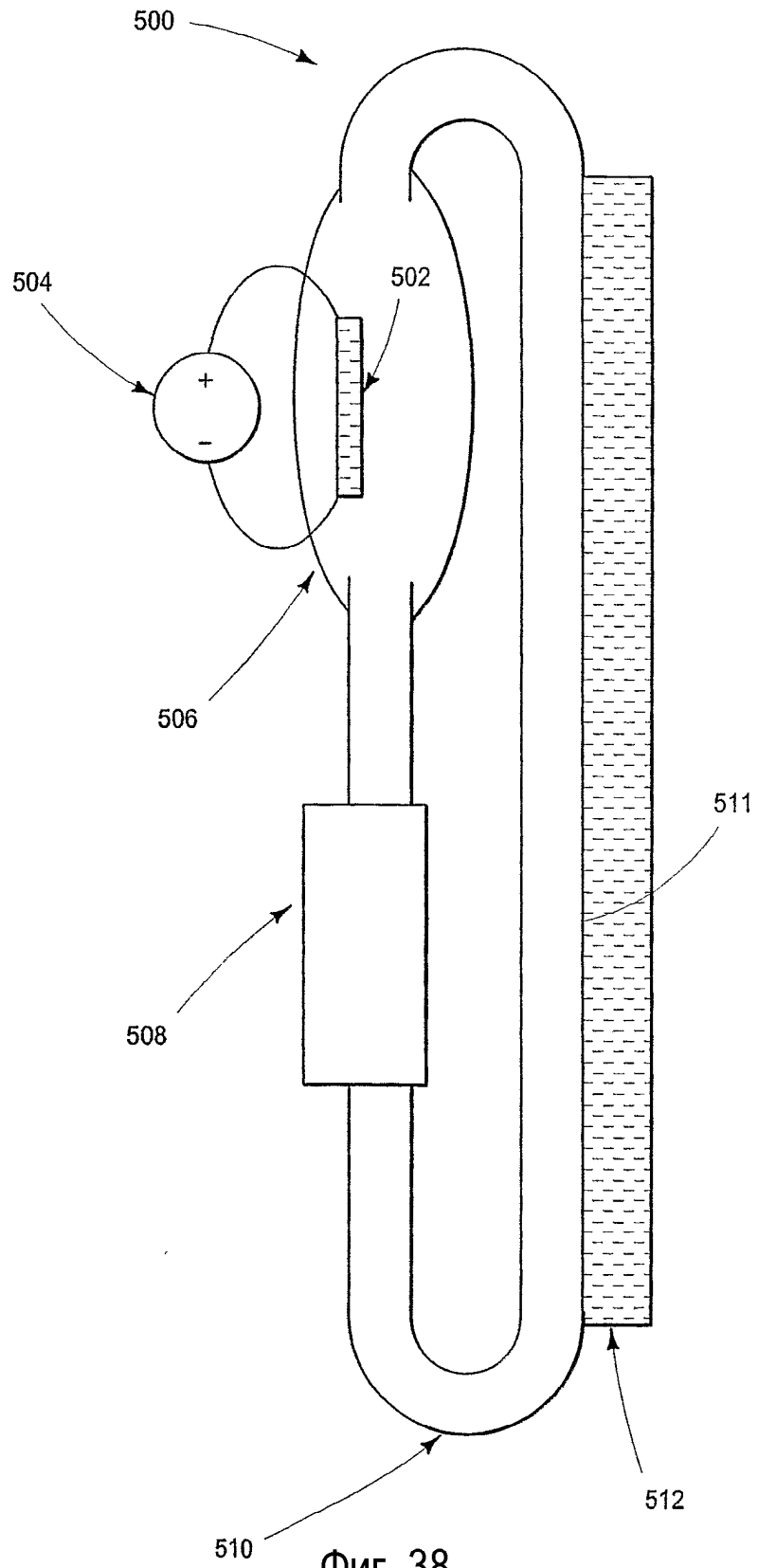
460



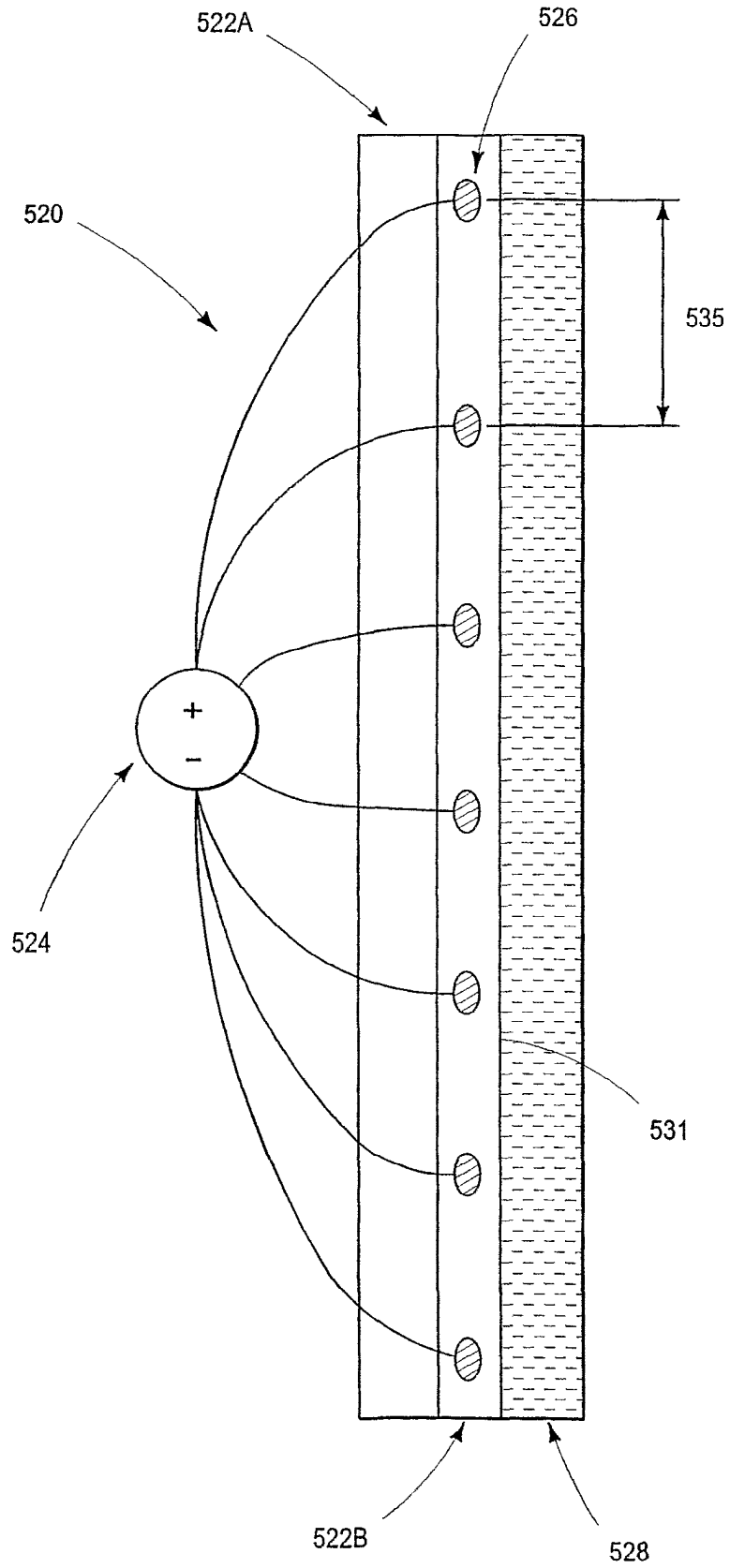
Фиг. 36



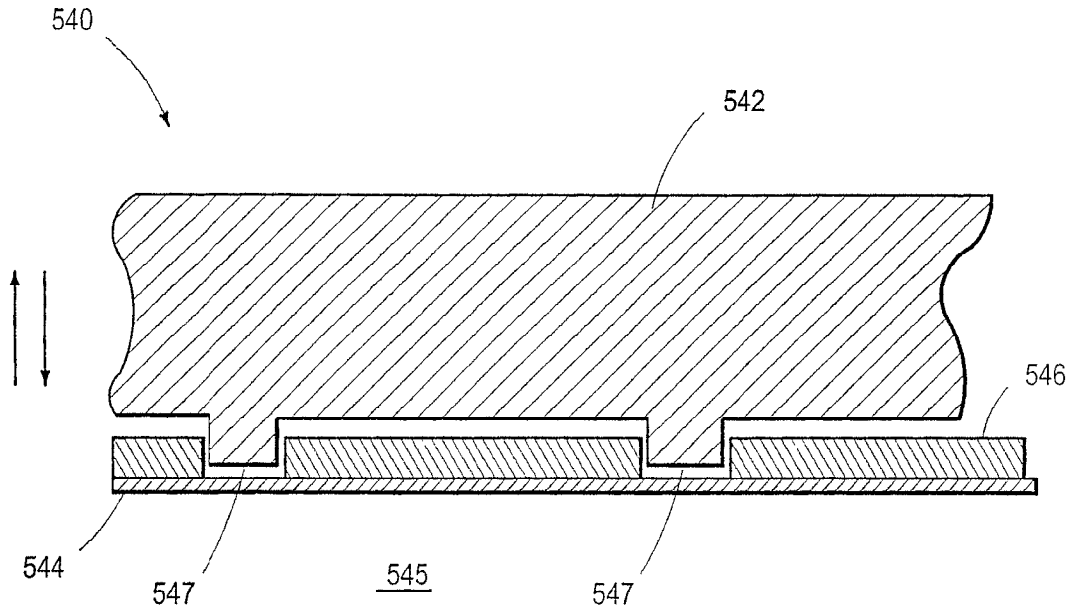
Фиг. 37



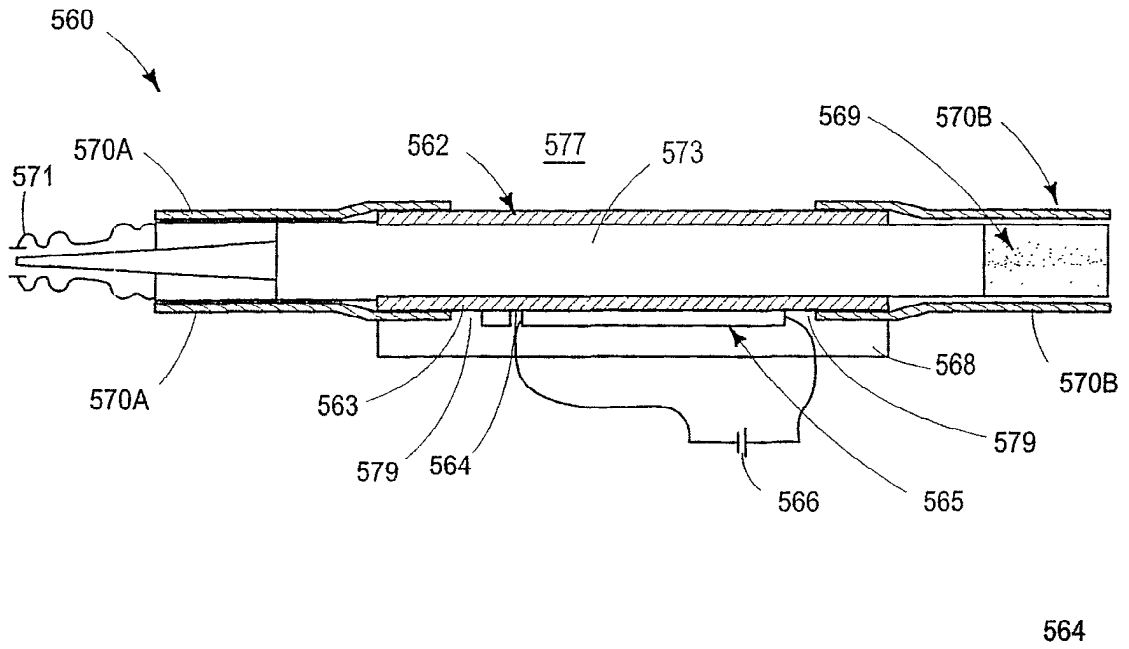
Фиг. 38



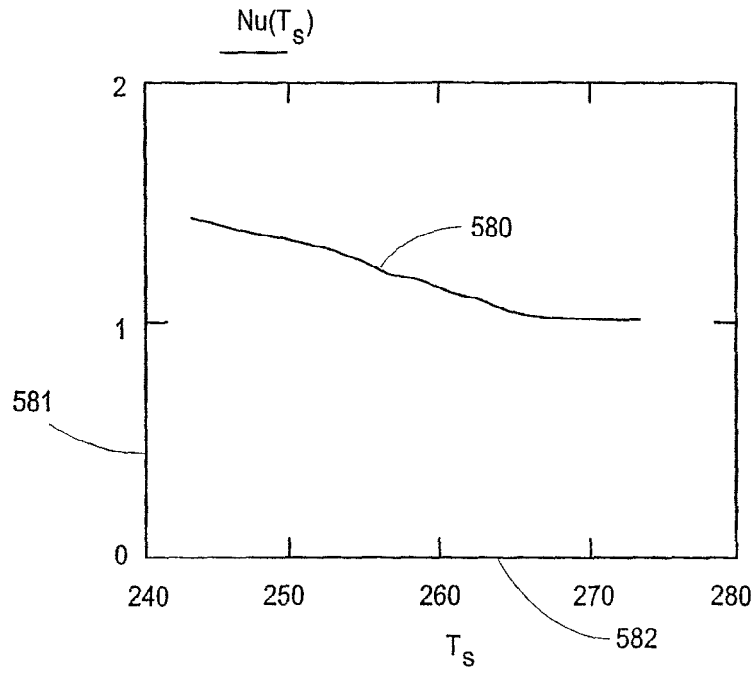
Фиг. 39



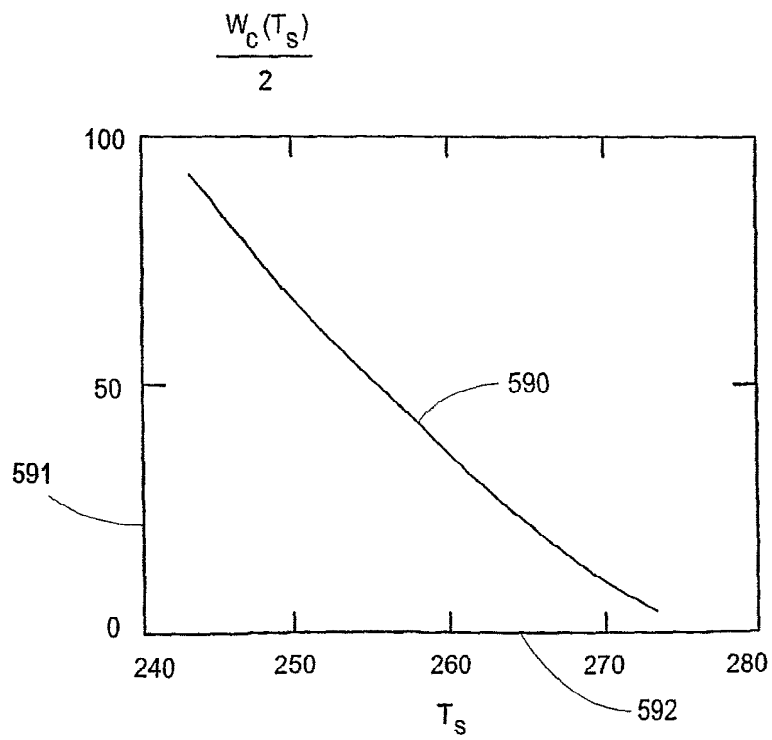
Фиг. 40



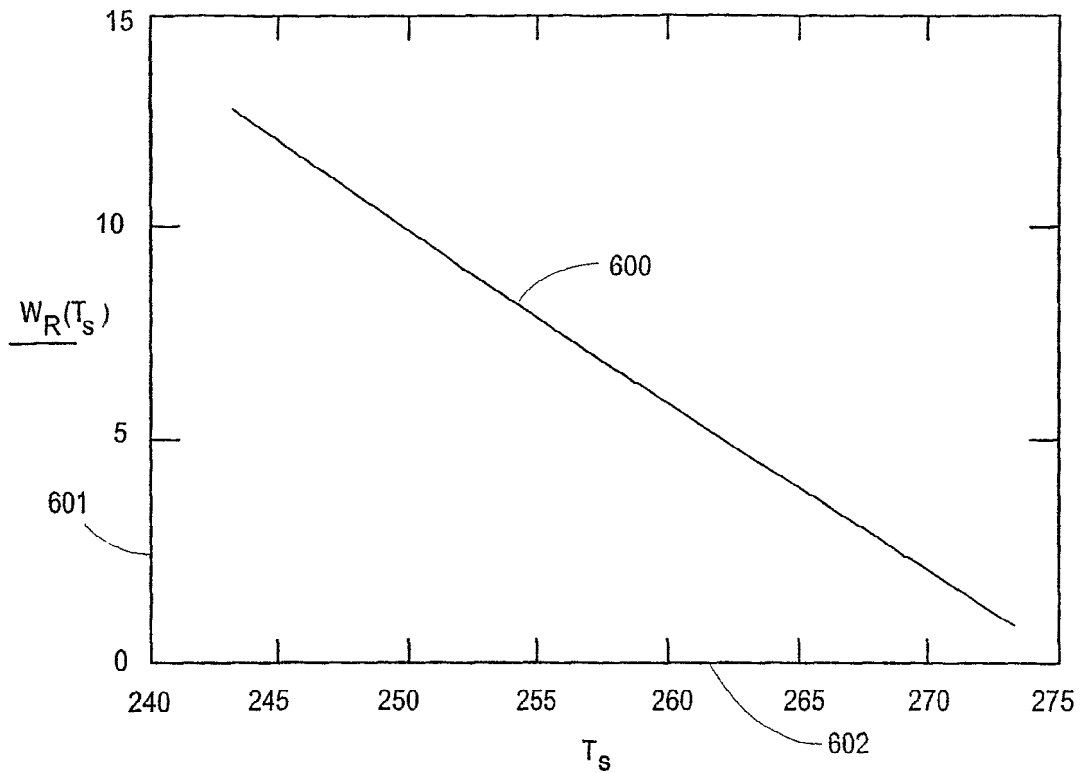
Фиг. 41



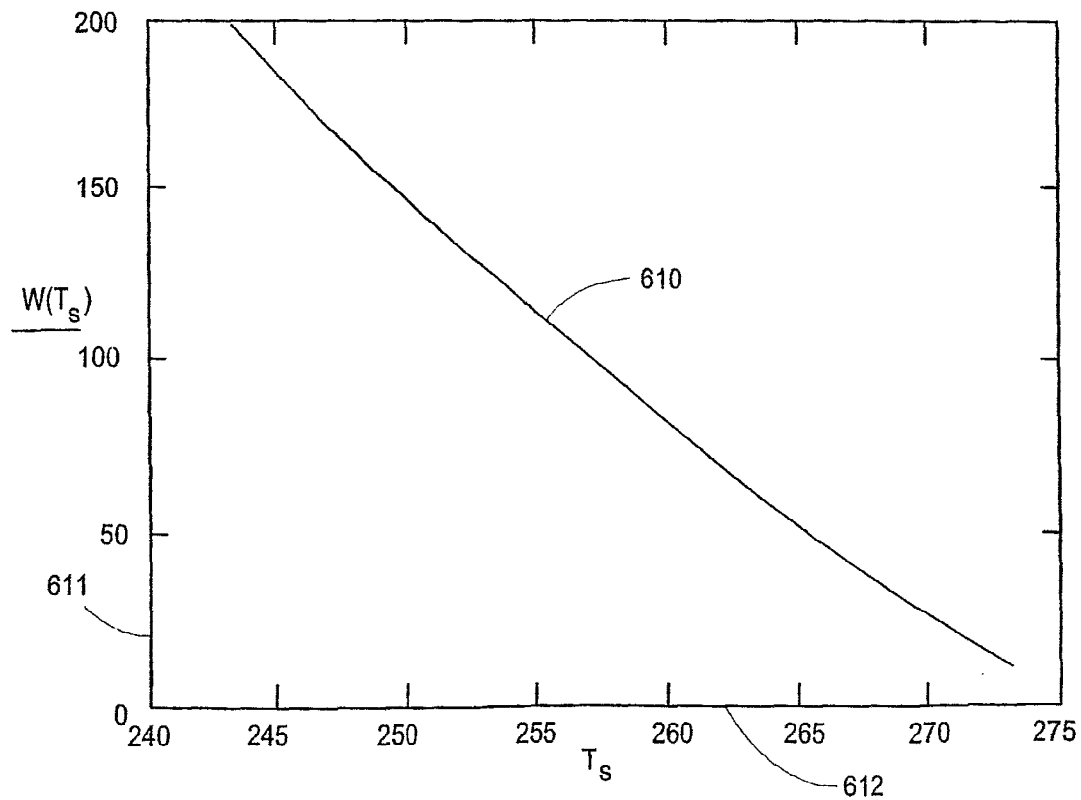
Фиг. 42



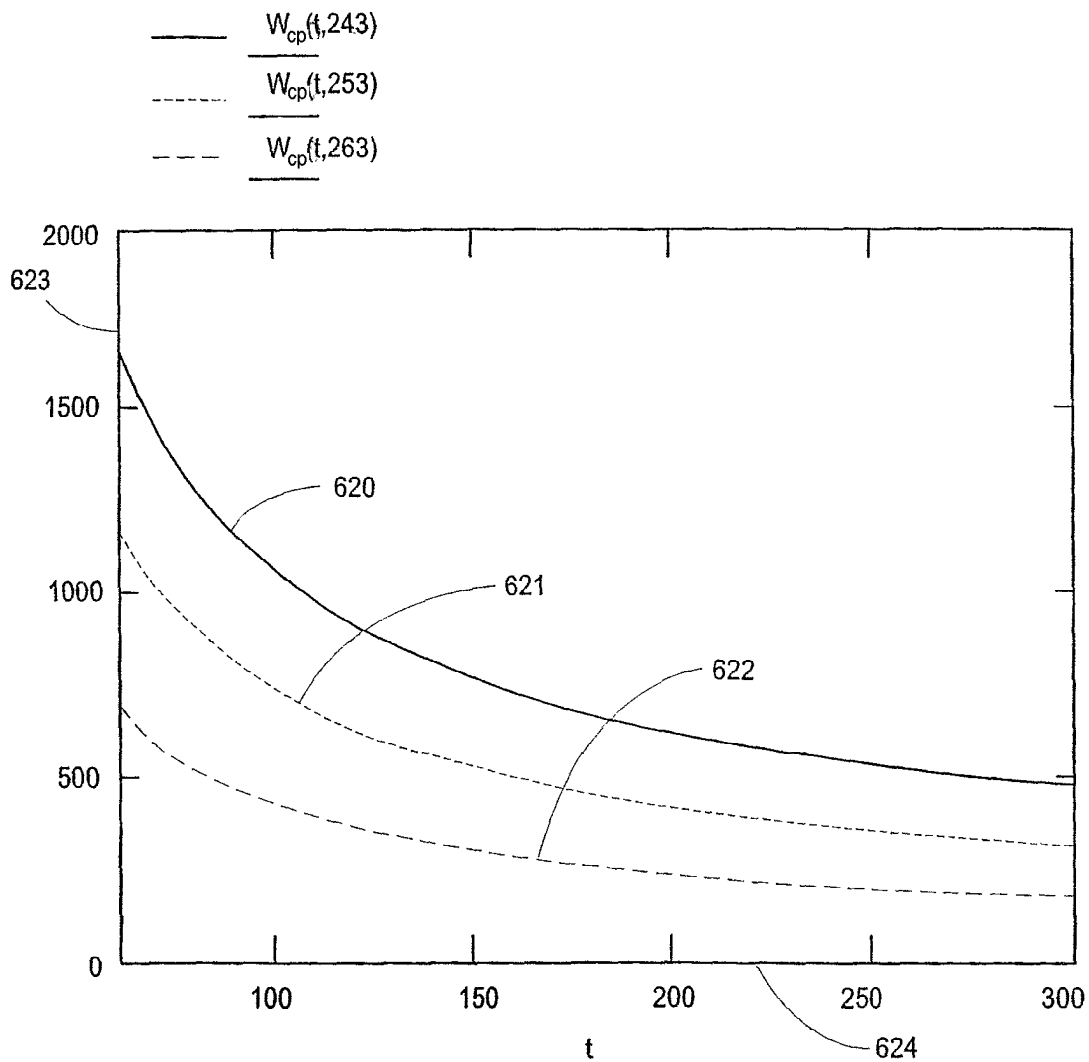
Фиг. 43



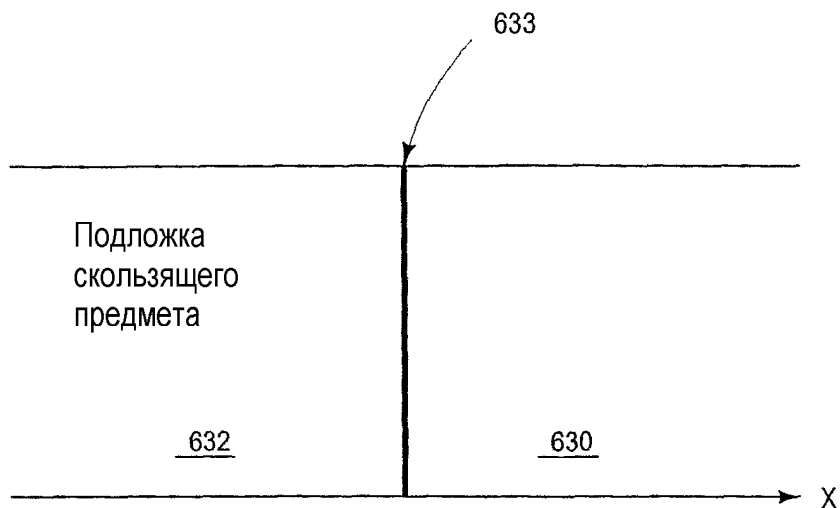
Фиг. 44



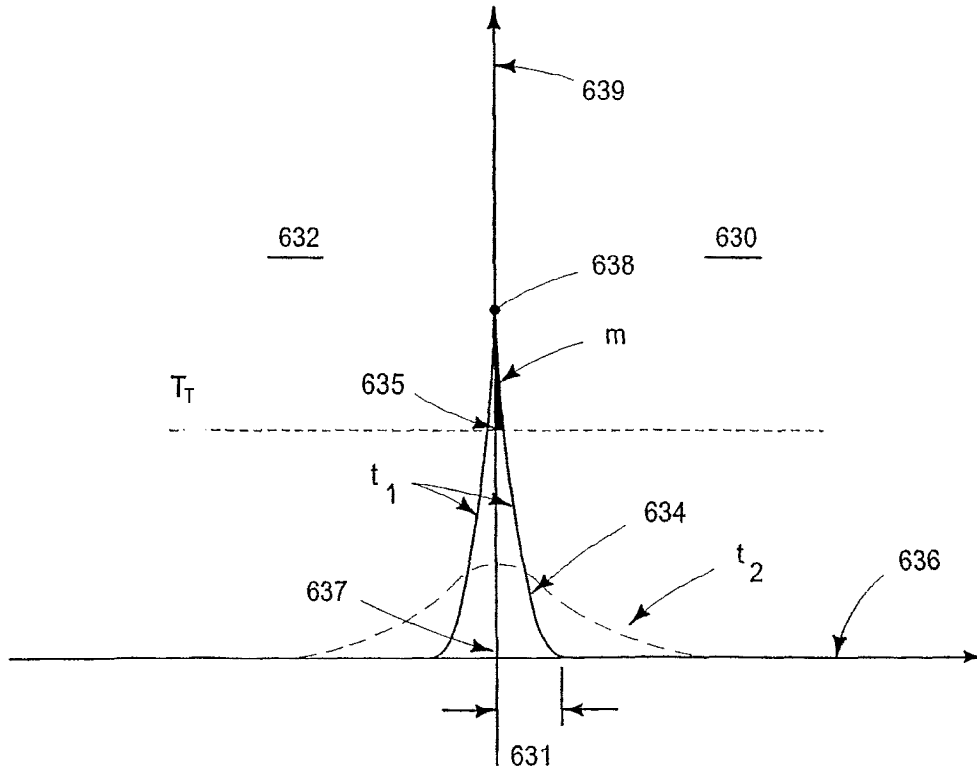
Фиг. 45



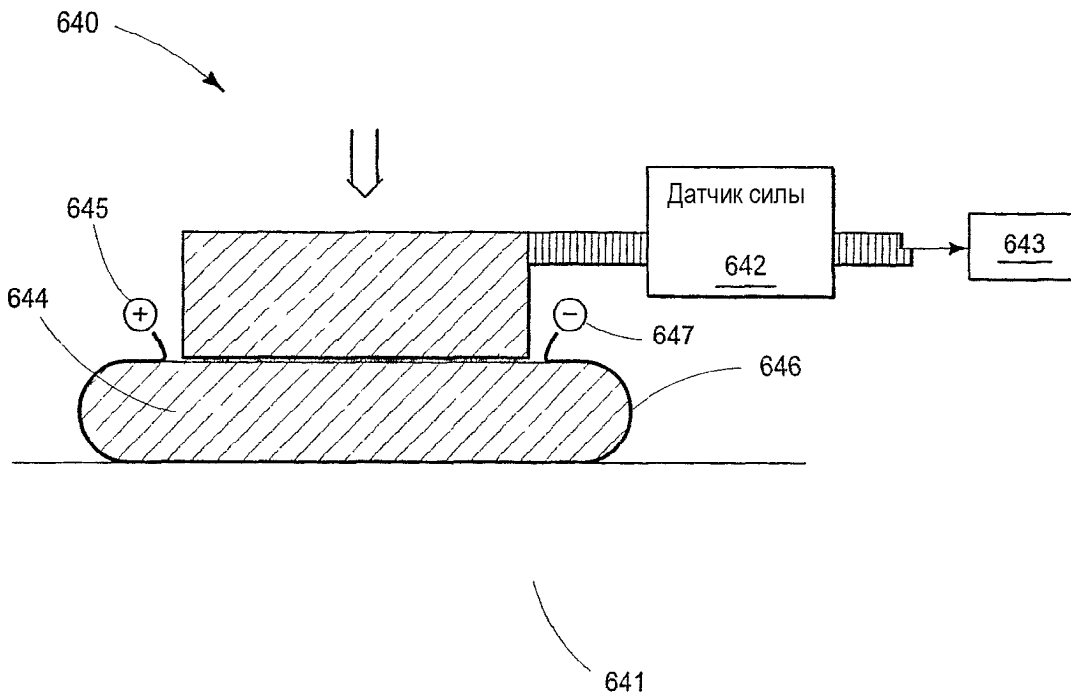
Фиг. 46



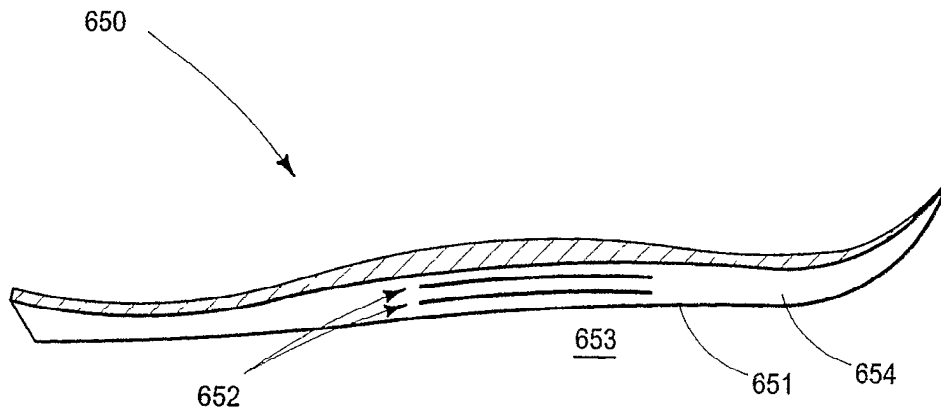
Фиг. 47



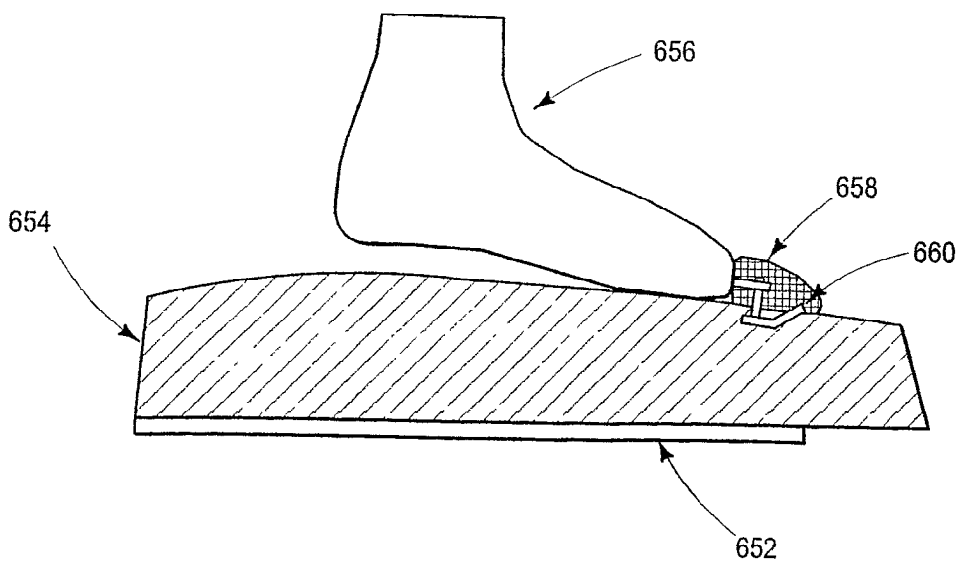
Фиг. 48



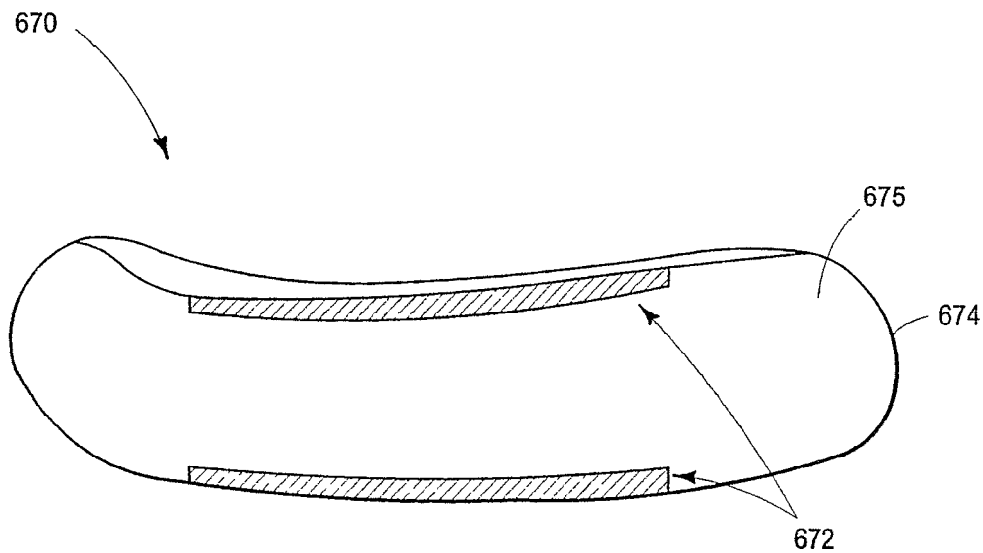
Фиг. 49



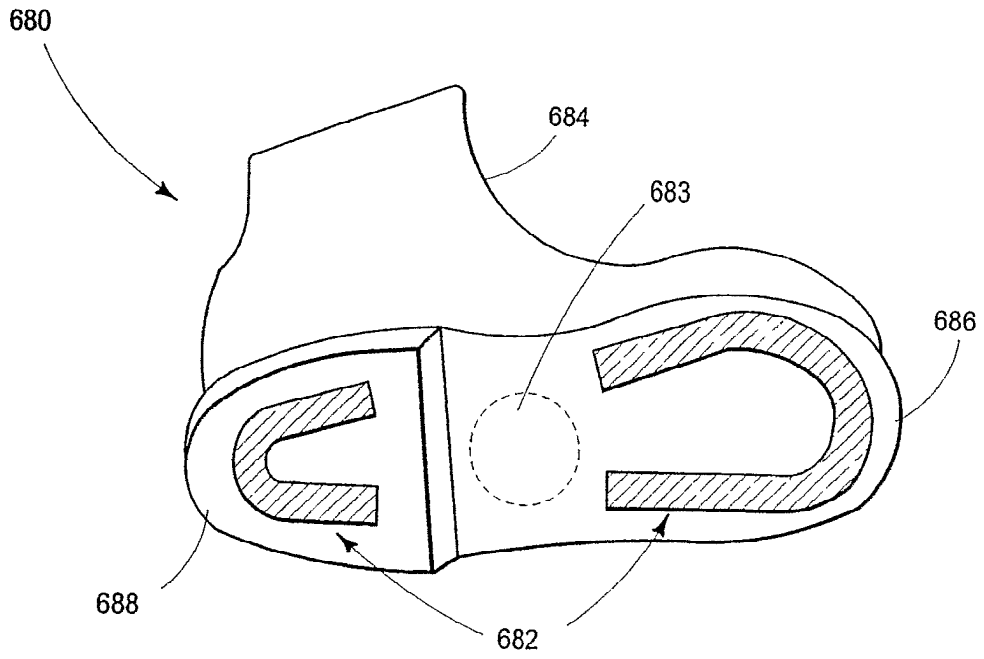
Фиг. 50



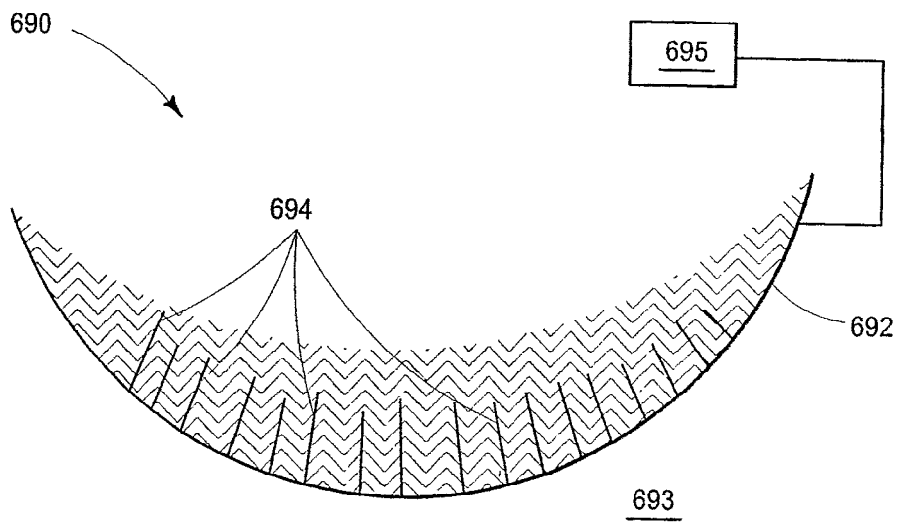
Фиг. 51



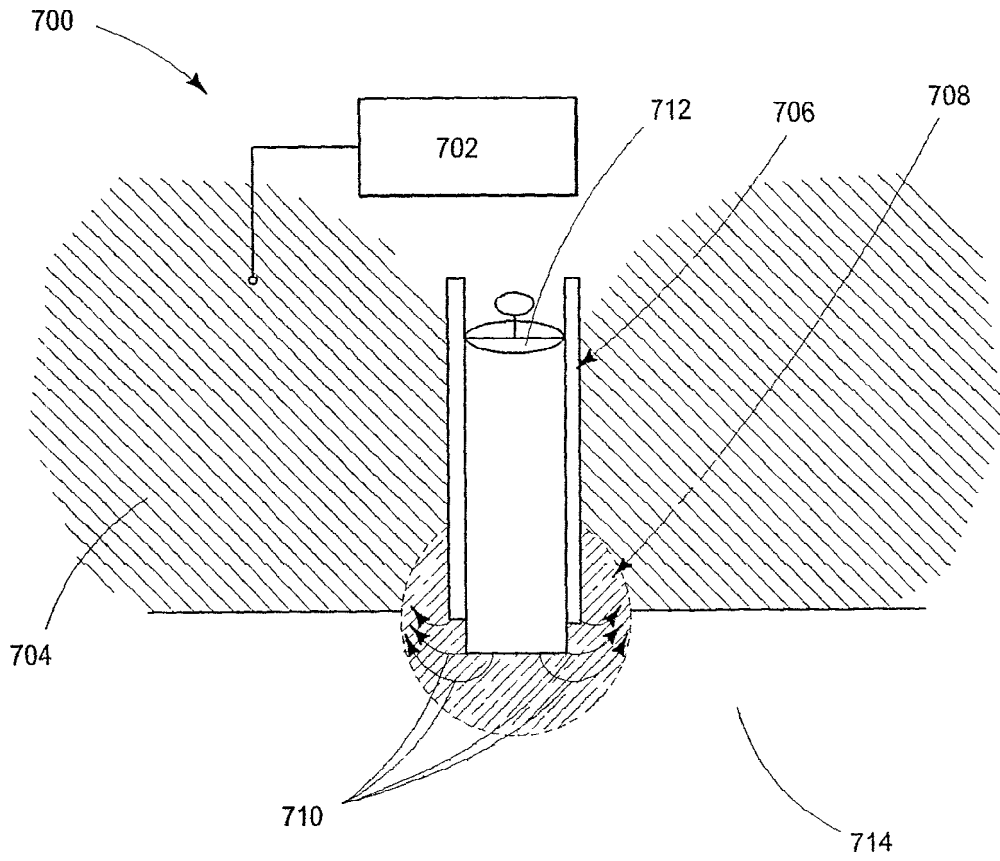
Фиг. 52



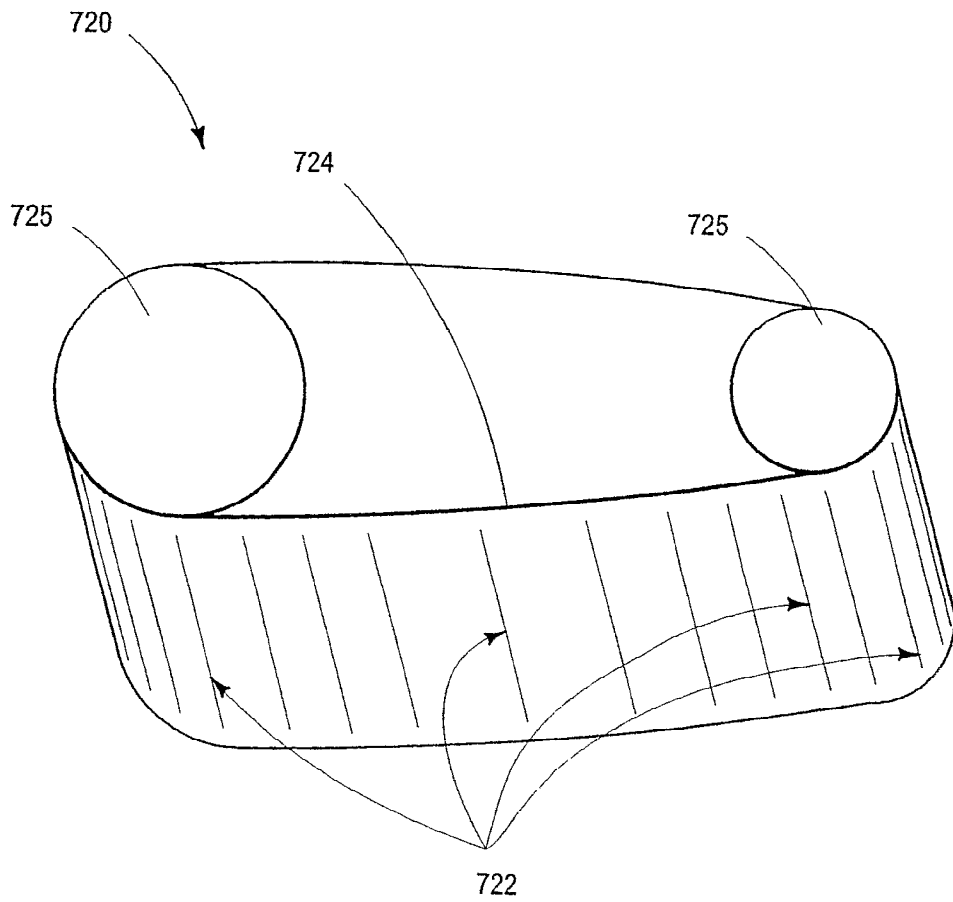
Фиг. 53



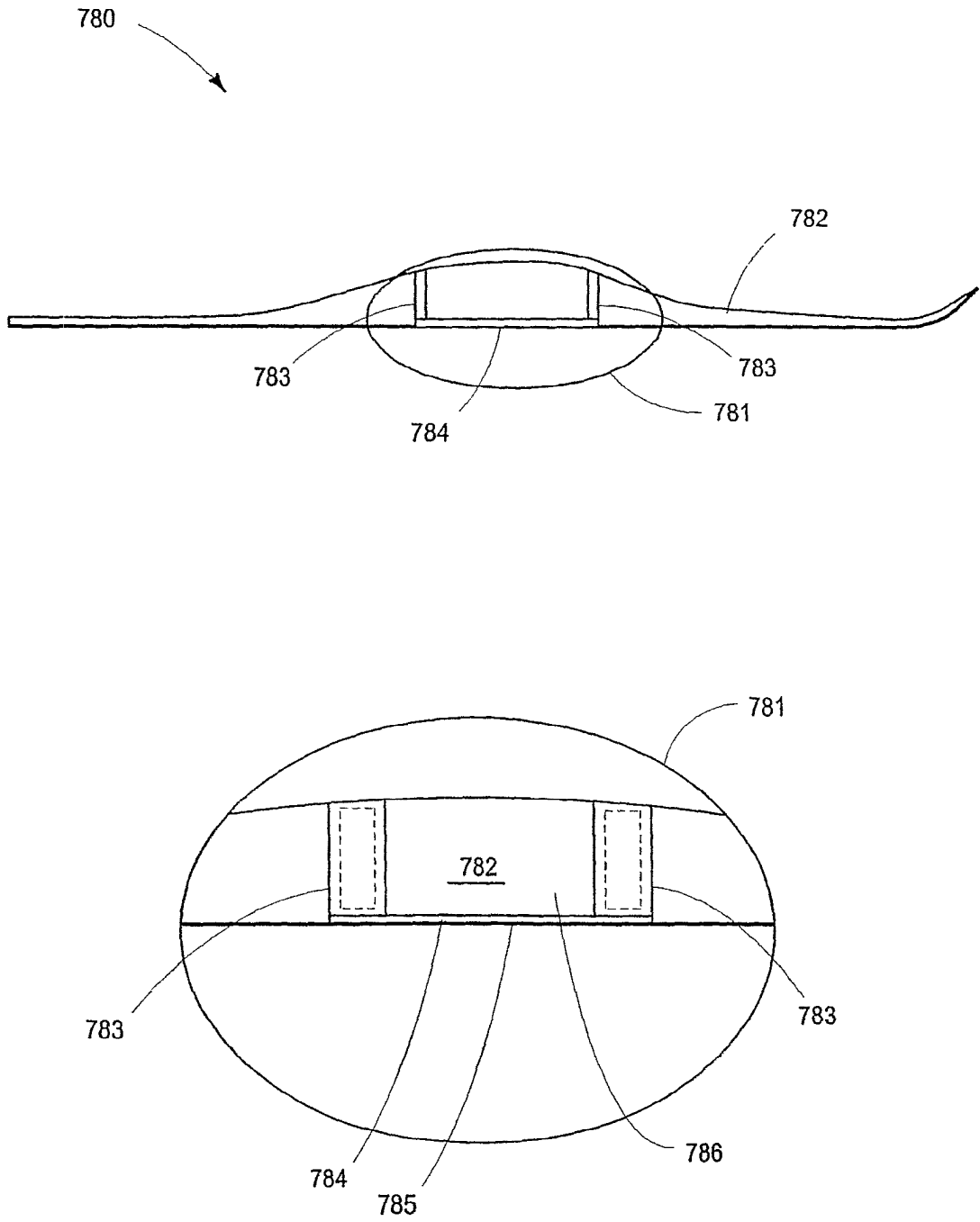
Фиг. 54



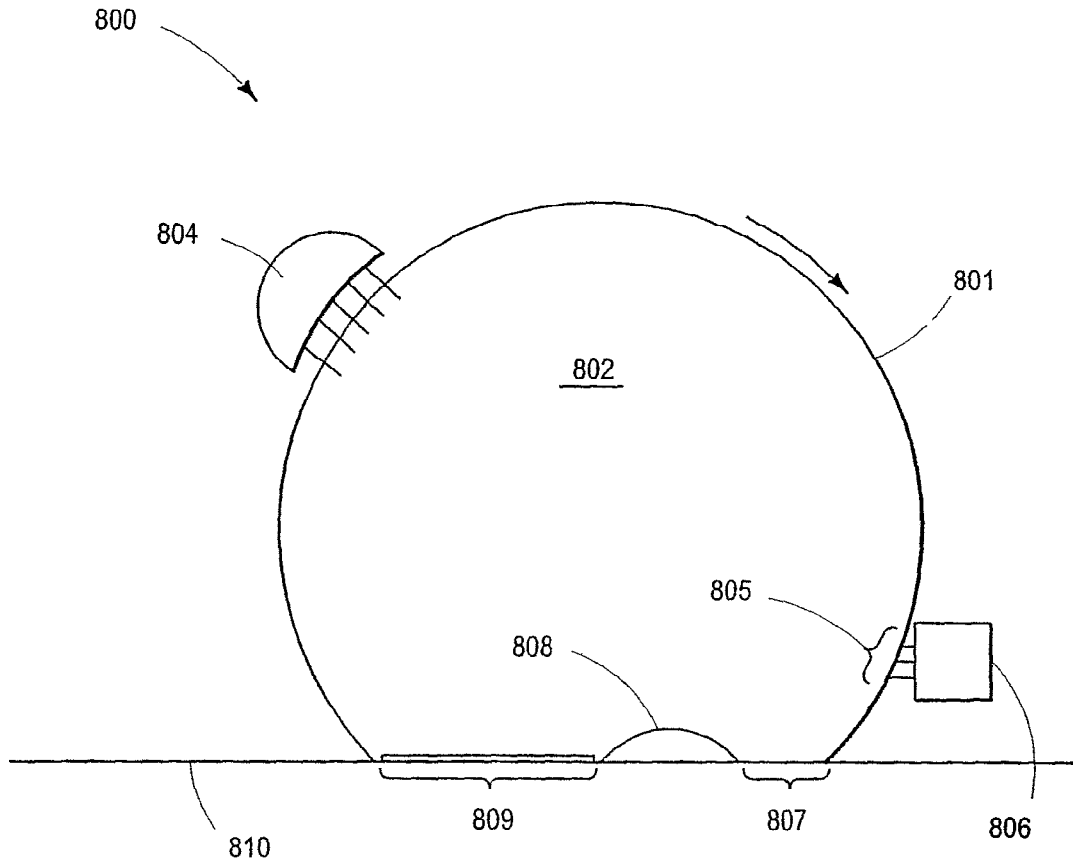
Фиг. 55



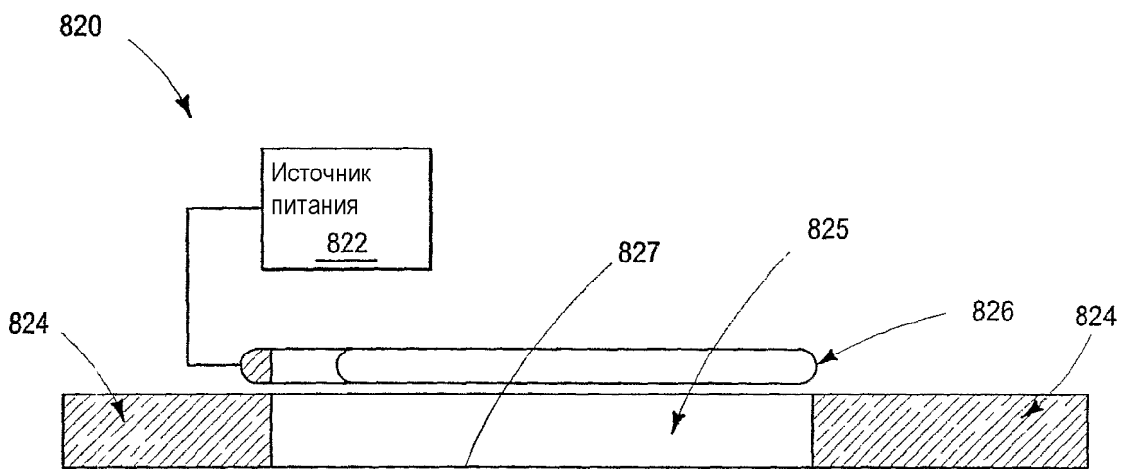
Фиг. 56



Фиг. 57

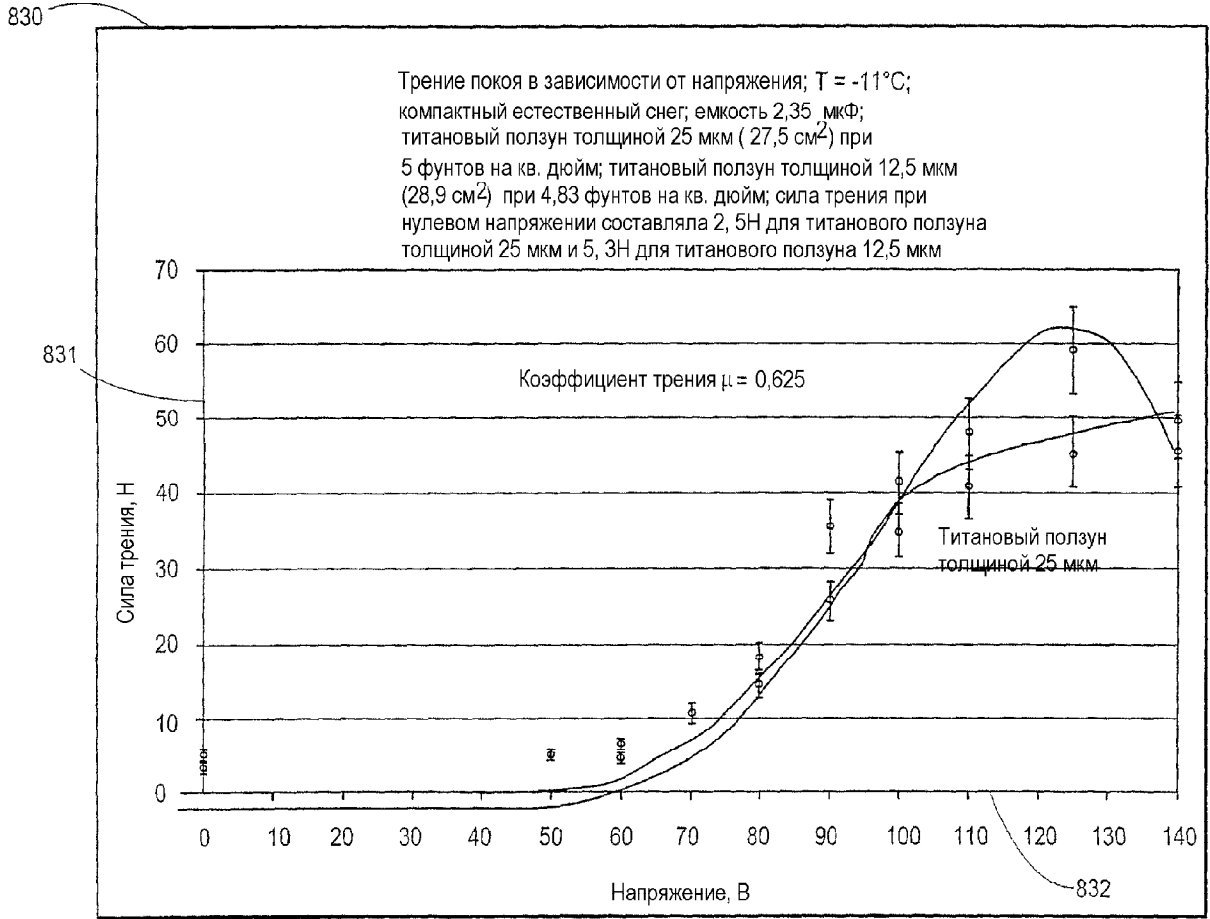


Фиг. 58

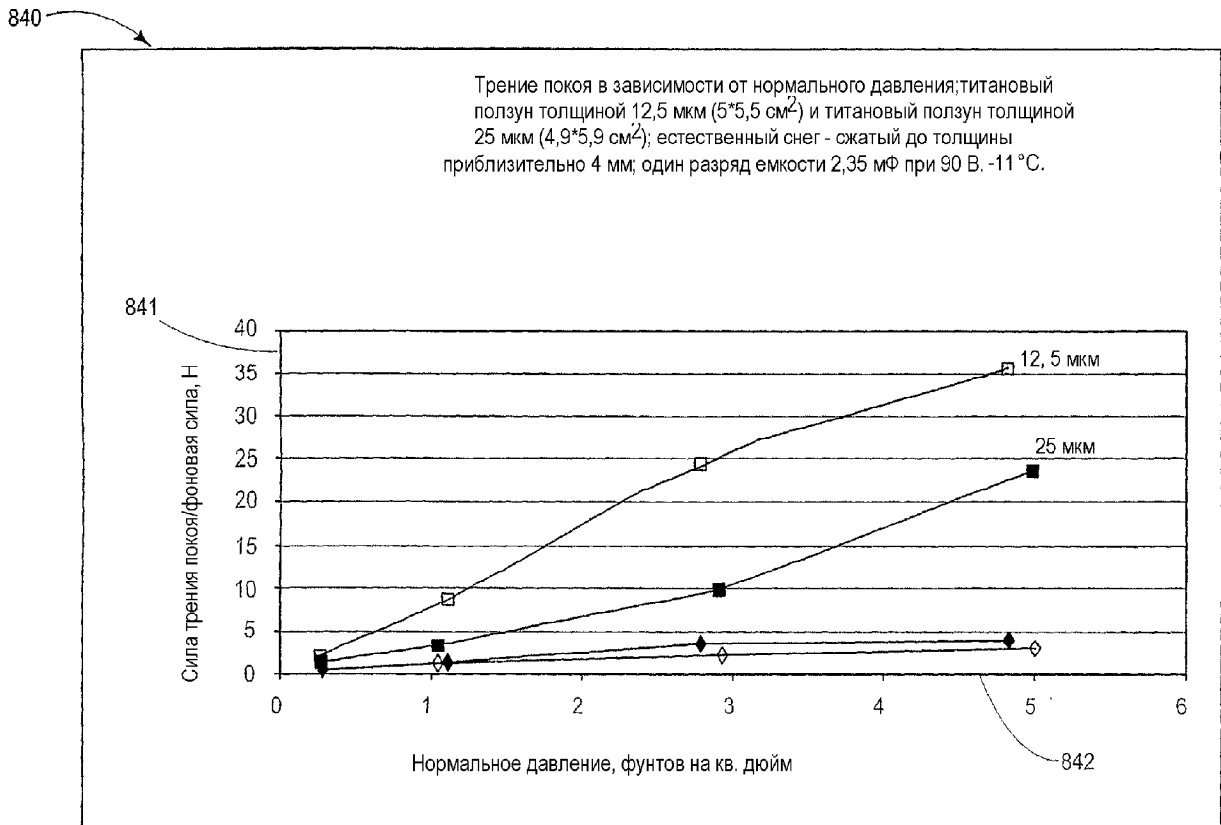


821

Фиг. 59

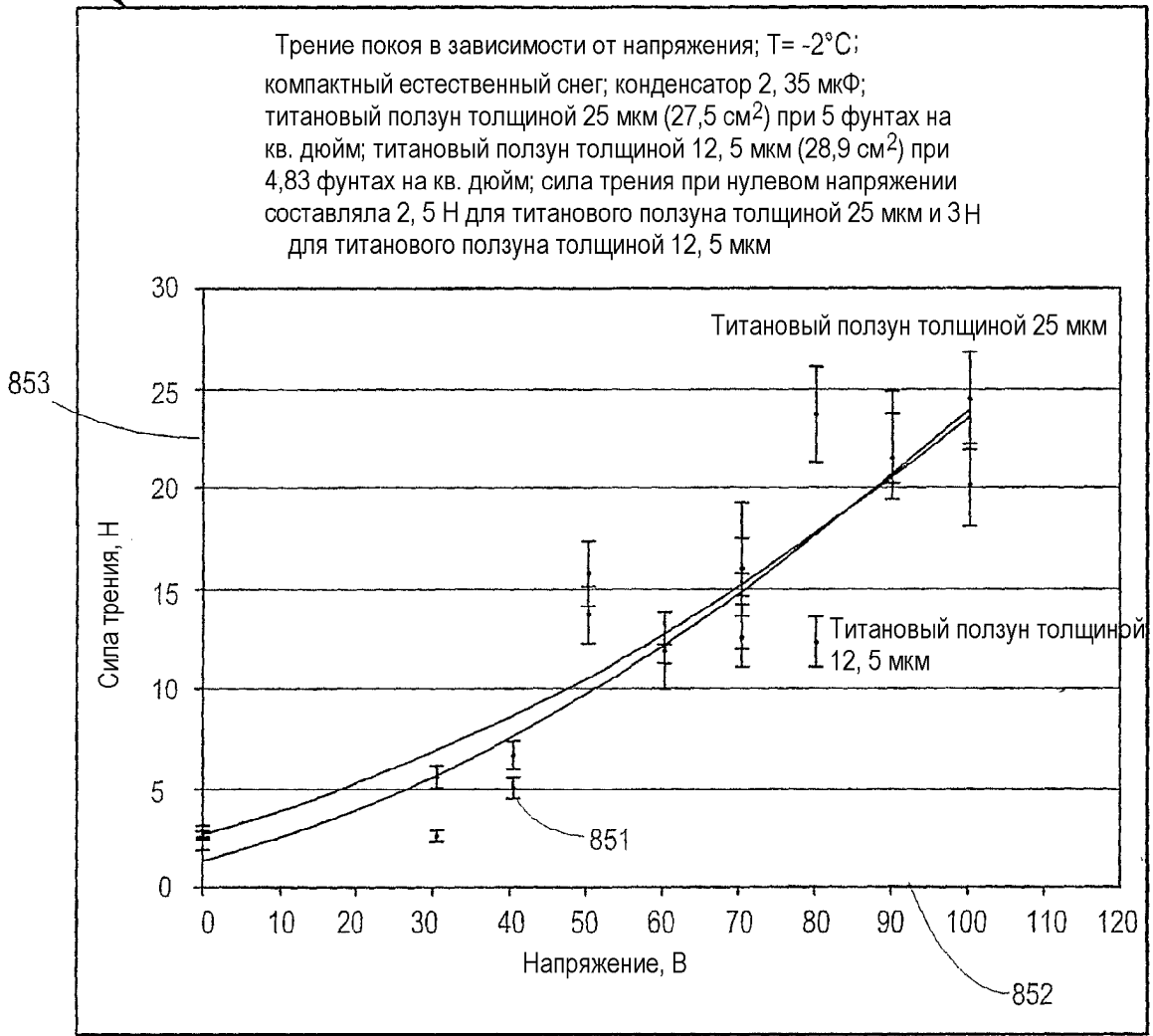


Фиг. 60

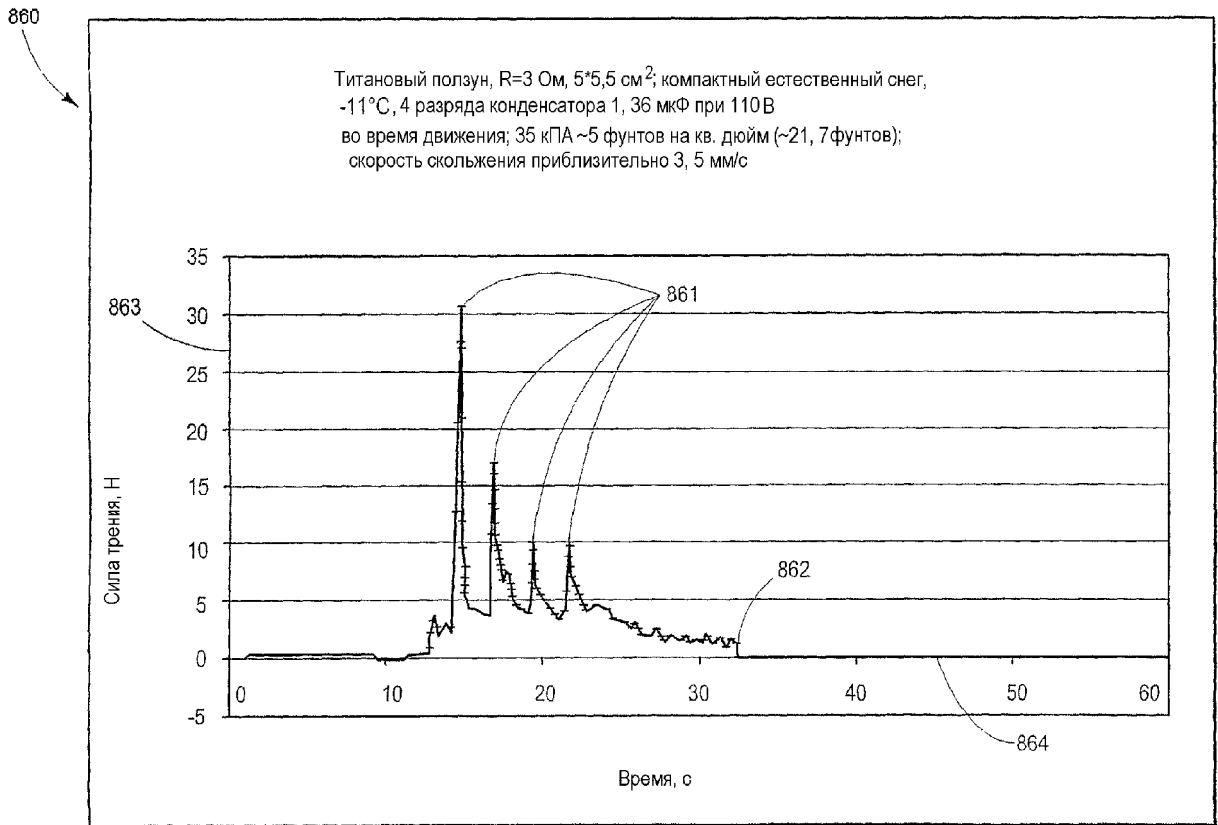


Фиг. 61

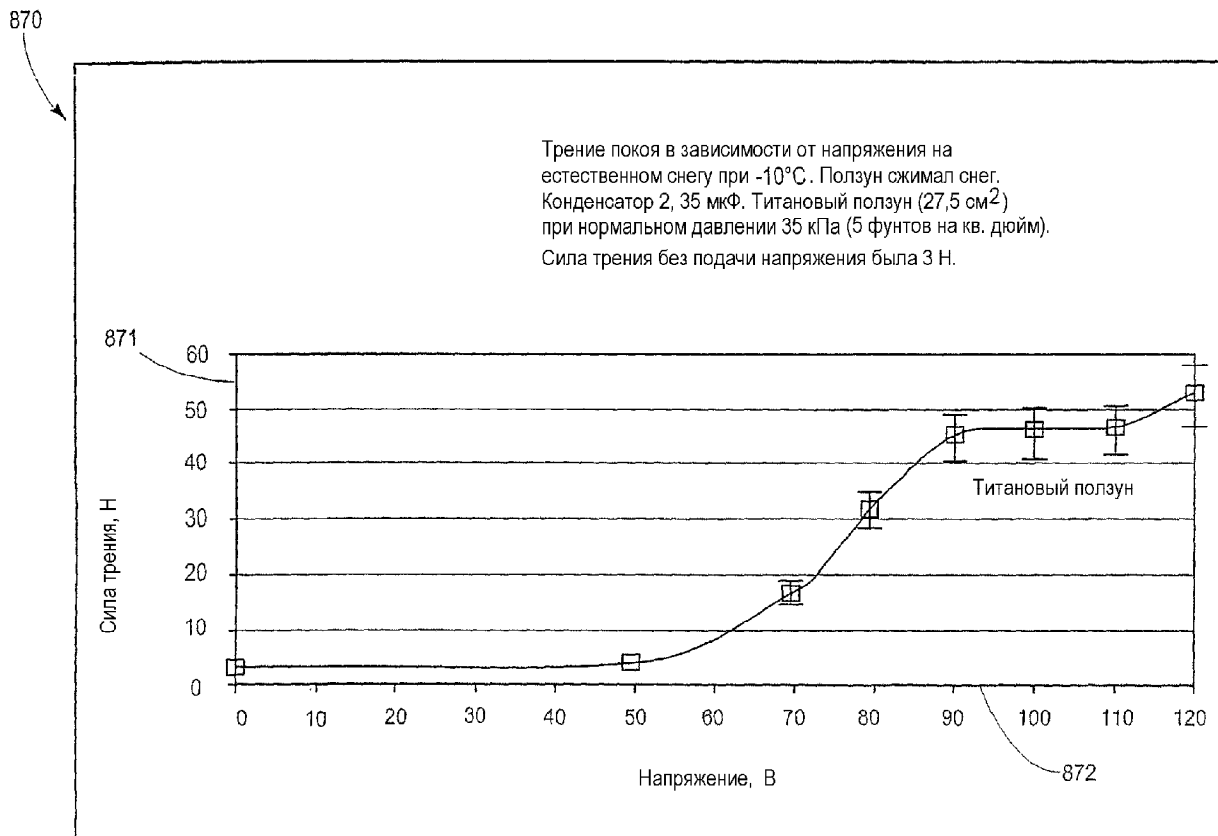
850



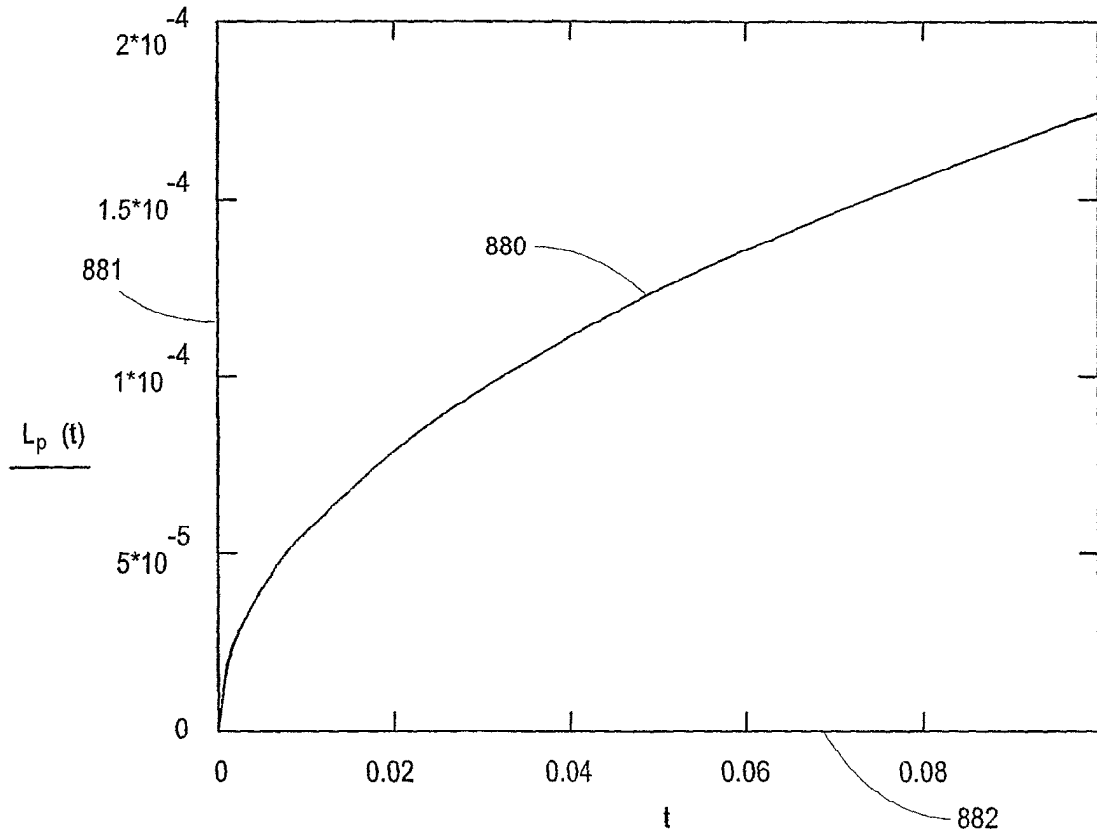
Фиг. 62



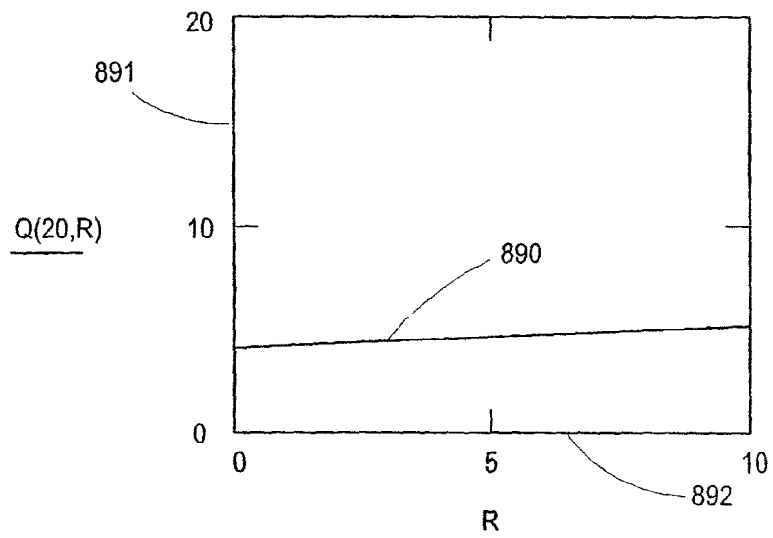
Фиг. 63



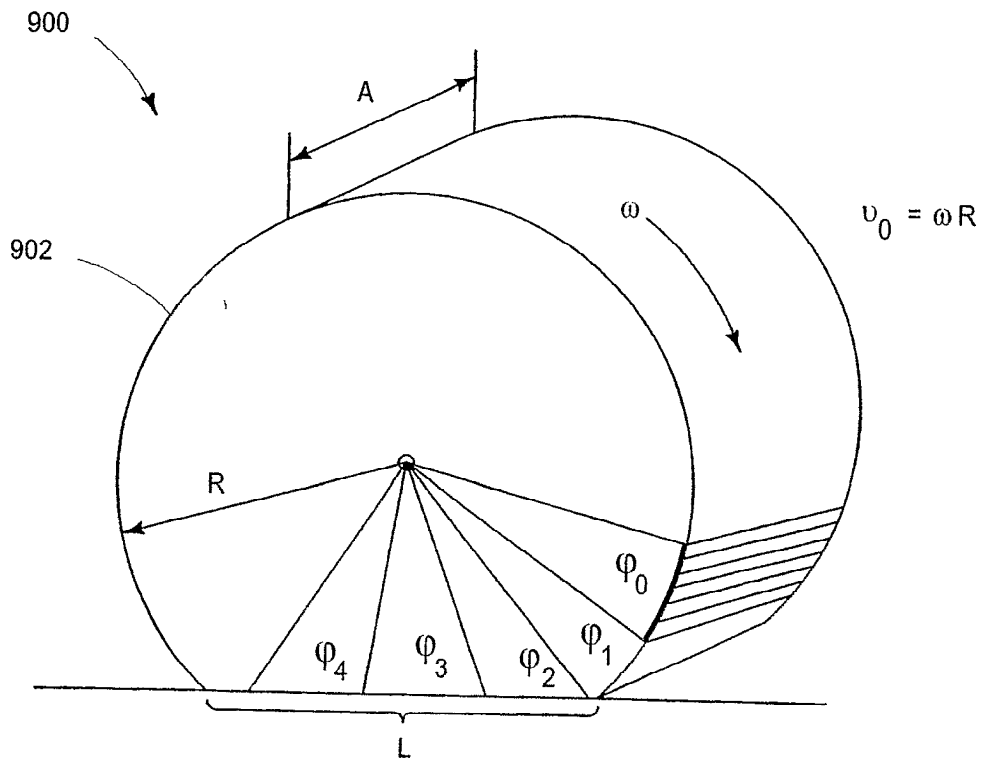
Фиг. 64



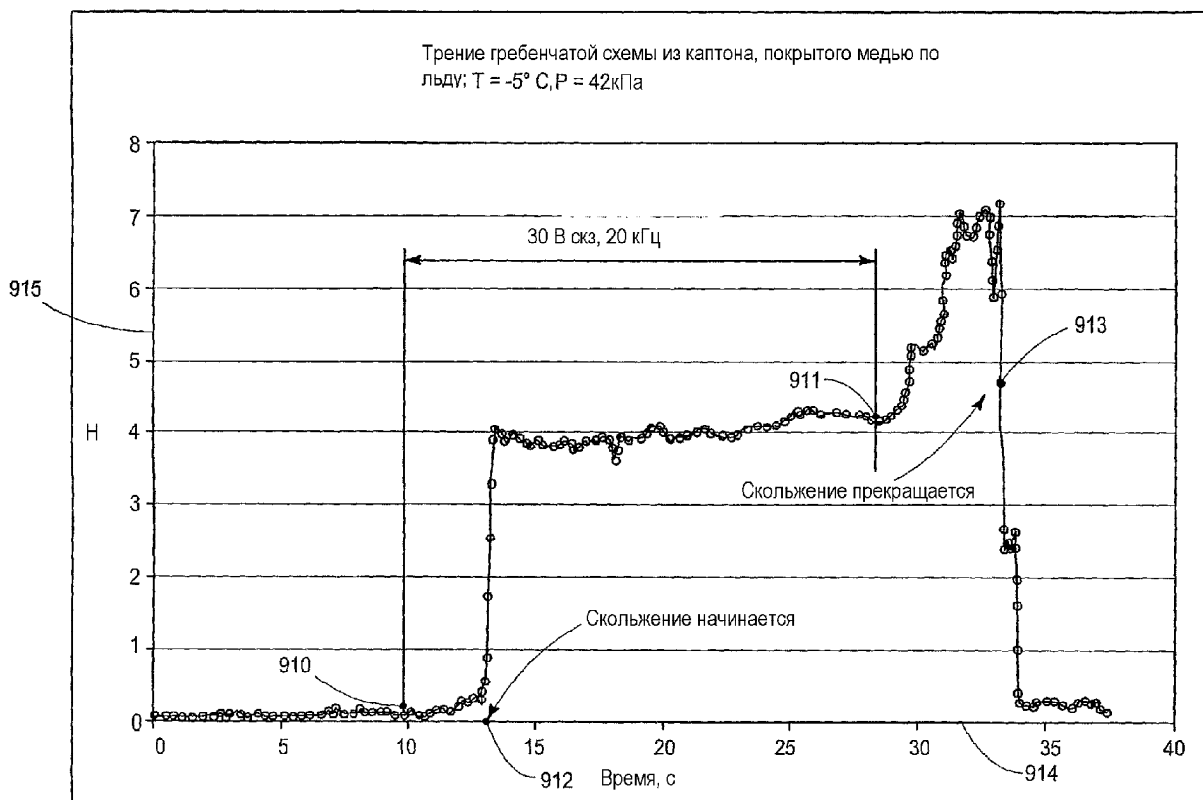
Фиг. 65



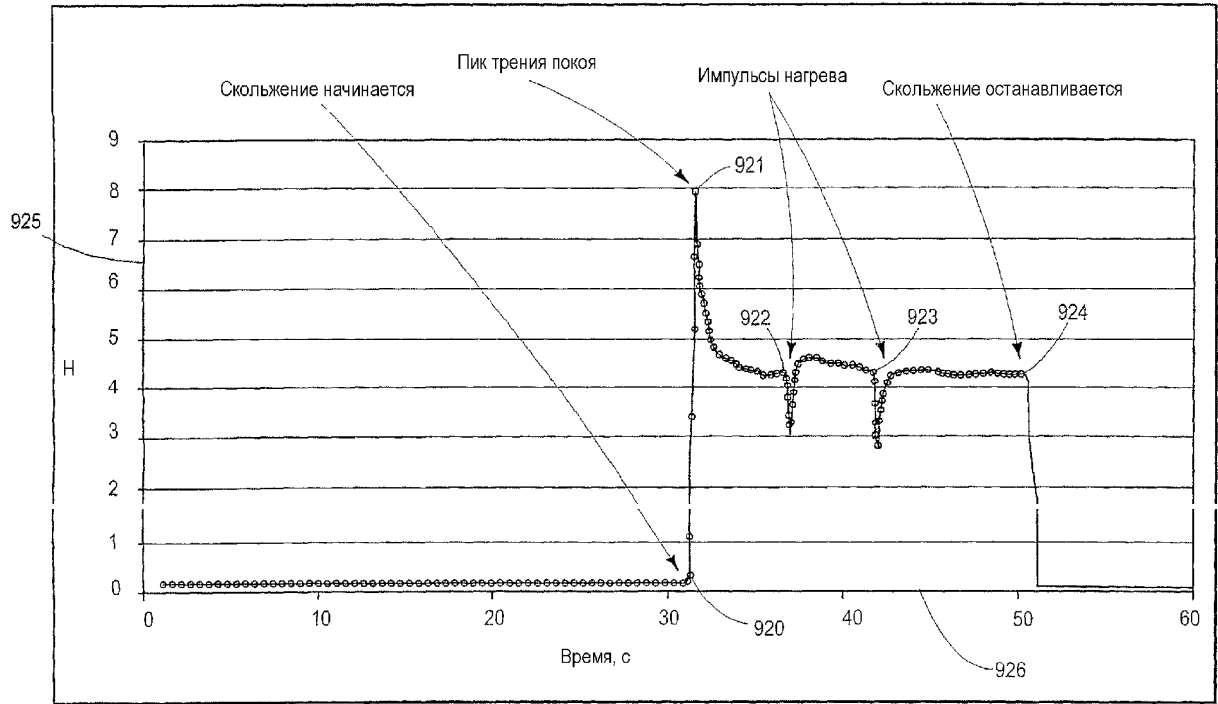
Фиг. 66



Фиг. 67



Фиг. 68



Фиг. 69