

①9



LATVIJAS REPUBLIKAS
PATENTU VALDE

①1 LV 13552 B

⑤1 Int.Cl G01N27/22

Latvijas patents uz izgudrojumu
1995.g. 30.marta Latvijas Republikas likums

①2

Īsziņas

⑤1 Pieteikuma numurs: P-05-120
⑤2 Pieteikuma datums: 19.09.2005
④1 Pieteikuma publikācijas datums: 20.03.2007
④5 Patenta publikācijas datums: 20.06.2007

⑦3 Īpašnieks(i):

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE, Kaļķu iela
1, Rīga LV-1658, LV

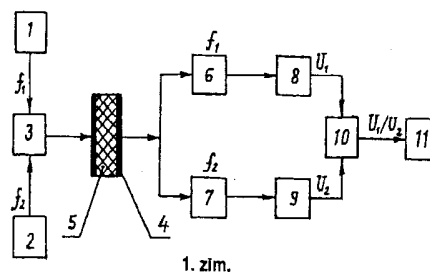
⑦2 Izgudrotājs(i):

Semjons CIFANSKIS (LV),
Vitālijs BERESNEVIČS (LV),
Agrita KOVAĻSKA (LV)

⑤4 Virsraksts: **PAŅĒMIENS MATERIĀLU MITRUMA NOTEIKŠANAI**

⑤7 Kopsavilkums: Izgudrojums attiecas uz elektriskās kapacitātes nesagraujošām kontroles metodēm un paredzēts mitruma satura kvantitatīvai novērtēšanai neviendabīgos un strukturāli nestabilos izstrādājumos, izgatavotos no porainiem polimērmateriāliem. Tā mērķis ir mitruma mērīšanas precizitātes paaugstināšana. Piedāvātais paņēmieni ietver kontrolējamā porainā polimērmateriāla elektriskās kapacitātes mērīšanu pie ārējā elektriskā lauka frekvenču vērtībām f_1 un f_2 un mitruma noteikšanu pēc nomērīto kapacitāšu vērtību C_1 un C_2 attiecības, izmantojot materiāla graduēšanas likni $C \sim f$, pie kam minētās frekvences tiek izvēlētas diapazonā no 20 Hz līdz 20 kHz, bet to attiecība - intervālā no 300 līdz 400. Fig.1 ir attēlota ierīces strukturālā shēma materiāla mitruma noteikšanai saskaņā ar piedāvāto paņēmieni. Ierīce sastāv no: sinusoidāla sprieguma generatoriem (1 un 2), kas izstrādā signālus ar frekvencēm f_1 un f_2 (f_1 nav vienāda ar f_2); summatora (3); mērīšanas kondensatora

(4) ar starp tā plātnēm izvietotu kontrolējamo materiālu (5); filtriem (6 un 7), mērīšanas kanāliem (8 un 9); kalkulācijas ierīces (10) un materiāla mitruma izejas indikatora (11).



Izgudrojuma formula

Paņēmiens materiālu mitruma noteikšanai, kas pamatojas uz kontrolējamā materiāla elektriskās kapacitātes mērīšanu pie ārējā elektriskā lauka divām frekvences vērtībām un mitruma noteikšanu pēc izmērīto kapacitāšu attiecības, atšķiras ar to, ka, ar mērķi paaugstināt strukturāli nestabilo poraino polimērmateriālu kontroles precizitāti, darba mērījumu frekvences f_1 un f_2 izvēlas diapazonā no 20 Hz līdz 20 kHz, bet to attiecību f_2/f_1 izvēlas intervālā no 300 līdz 400.

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ МАТЕРИАЛОВ

Предлагаемое изобретение относится к электроемкостным методам неразрушающего контроля и может быть использовано для количественной оценки содержания влаги в неоднородных и нестабильных по структуре изделиях из полимерных пористых материалов.

Известен электроемкостной одночастотный способ определения влажности материалов [1], основанный на практическом использовании существующей взаимосвязи между содержанием влаги в материале и его электрической емкостью. При проведении влагоизмерений по известному способу контролируемый материал размещают между обкладками (электродами) измерительного конденсатора, наводят в межэлектродном пространстве переменное синусоидальное электрическое поле с заранее заданным постоянным значением частоты f и по изменению измеренного значения емкости C делают заключение о влажности материала. Электрическую емкость C образца из контролируемого материала при этом определяют одним из общеизвестных методов – резонансным, мостовым, амперметра-вольтметра и др. [2].

Достоинством одночастотного емкостного способа влагоизмерений является его высокая производительность (экспресс-контроль содержания влаги). Существенным же недостатком способа является сравнительно низкая точность влагоизмерений, которую он может обеспечить. В особенности это проявляется при контроле влажности неоднородных и нестабильных по структуре полимерных пористых материалов. Как показывают испытания, такого рода материалы поглощают влагу весьма неравномерно по объему, что приводит к существенному разбросу измеренных значений электрической емкости, соответствующих одному и тому же влагосодержанию. Иными словами, нестабильность внутренней структуры пористого материала от партии к партии играет роль своеобразного мешающего фактора, приводящего к увеличению погрешности контроля (погрешность количественного контроля влагосодержания превышает 30%).

Устранить мешающее влияние неоднородности структуры материала на точность влагоизмерений позволяют многочастотные электроемкостные методы, основанные на измерении электрической емкости контролируемого влажного материала на различных частотах и сопоставлении результатов этих измерений. Наибольшее распространение получил двухчастотный электроемкостной способ, при котором численные значения частот внешнего электрического поля выбирают в ультразвуковом диапазоне спектра (от 0,1 до 100 МГц), измеряют электрические емкости материала при двух выбранных значениях частот и по соотношению измеренных значений емкостей определяют влажность материала [3] (выбран в качестве прототипа).

Способ-прототип экспериментально отработан и предназначен для определения влажности материалов строго ограниченной номенклатуры (зерно, чай, нефть, шерсть, бумажное полотно и др.), для которых оптимальные рабочие значения частот находятся в ультразвуковой части спектра (от 0,1 до 100 МГц). Попытка же применения рекомендаций способа-прототипа при двухчастотном контроле влажности полимерного пористого материала не дает ожидаемого эффекта, что обусловлено практической инвариантностью (в ультразвуковом частотном диапазоне при $f > 0,05$ МГц) электрической емкости такого материала к изменению частоты f электрического поля измерительного конденсатора. Иными словами,

соотношение измеренных значений емкостей в ультразвуковом диапазоне спектра оказывается малочувствительным к изменению влажности (при любой влажности оно близко к единице), что свидетельствует о низкой точности способа-прототипа при контроле нестабильных по структуре полимерных пористых материалов.

Указанный недостаток способа-прототипа является существенным, поскольку область практического использования полимерных пористых материалов в последние годы неуклонно расширяется. В частности, материалы указанного типа, благодаря своей относительной легкости и низкой теплопроводности, все шире используется в качестве теплозащитной изоляции (ТЗИ) летательных аппаратов (влажность ТЗИ является одним и ее наиболее важных эксплуатационных показателей).

Целью предлагаемого изобретения является повышение точности влагоизмерений при контроле нестабильных по структуре полимерных пористых материалов.

Поставленная цель достигается тем, что измеряют электрическую емкость контролируемого материала при двух значениях частоты внешнего электрического поля и определяют влажность материала по соотношению измеренных значений емкостей. Рабочие частоты измерений f_1 и f_2 при этом выбирают в диапазоне от 20 Гц до 20 кГц (отличительный признак), а их соотношение f_2/f_1 устанавливают в пределах от 300 до 400 (отличительный признак).

Для иллюстрации варианта технической реализации предлагаемого способа представлены следующие графические материалы. На фиг. 1 изображена структурная схема устройства для определения влажности материала (пример реализации способа), на фиг. 2 – график зависимости электрической емкости C образца из типового полимерного пористого материала от частоты f электрического поля измерительного конденсатора, на фиг. 3 и 4 – графики зависимостей количества влаги m , содержащейся в образце из контролируемого полимерного пористого материала от его электрической емкости C (для различных значений частоты f электрического поля), на фиг. 5, 6 и 7 – графики зависимостей количества влаги m , содержащейся в образце из контролируемого материала, от соотношения C_1/C_2 измеренных значений емкостей (при различных рабочих значениях частот f_1 и f_2).

Предлагаемый способ обнаружен и сформулирован по результатам экспериментальных исследований на устройстве, структурная схема которого представлена на фиг. 1. Устройство содержит два генератора 1 и 2 синусоидального напряжения, вырабатывающих измерительные сигналы на частотах f_1 и f_2 ($f_1 \neq f_2$), сумматор 3, измерительный конденсатор 4 с размещенным между его обкладками контролируемым материалом 5, фильтры 6 и 7, два измерительных канала 8 и 9, вычислительное устройство 10 и выходной индикатор 11 влажности материала.

Генераторы 1 и 2 вырабатывают синусоидальные электрические сигналы с различными (но заранее заданными) частотами f_1 и f_2 . На сумматоре 3 указанные сигналы складываются, после чего полученный результирующий сигнал, проходя через измерительный конденсатор 4 с контролируемым материалом 5, подается на фильтры 6 и 7. Фильтр 6 выделяет из результирующего сигнала составляющую с частотой f_1 , а фильтр 7 – составляющую с частотой f_2 . В соответствии с этим измерительный канал 8 регистрирует электрическую емкость C_1 контролируемого образца на частоте f_1 , а измерительный канал 9 – электрическую емкость C_2 того же образца на частоте f_2 . Отметим, что измерительные каналы могут быть построены

по различным известным принципам (резонансному, мостовому, измерения токов и напряжений и др.) [2].

Сигналы U_1 и U_2 на выходах измерительных каналов 8 и 9, пропорциональные емкостям C_1 и C_2 , преобразуются с помощью вычислительного устройства 10 к сигналу вида U_1/U_2 , пропорциональному отношению емкостей C_1/C_2 . По величине сигнала U_1/U_2 (или соотношения C_1/C_2) определяют влажность материала, причем отсчет показаний осуществляется по предварительно отградуированному в единицах влажности индикатору 11.

Оптимальные значения рабочих частот f_1 и f_2 , обеспечивающие наивысшую точность влагоизмерений, определены в ходе экспериментальной отработки процедуры предлагаемого способа. В качестве объекта контроля при этом использовался набор однотипных образцов (размерами 200 x 200 x 14 мм), изготовленных из материала теплозащитной изоляции (ТЗИ) летательного аппарата. Материал ТЗИ относится к типу полимерных пористых, для которых характерна высокая степень неоднородности внутренней структуры.

На фиг. 2 представлены полученные экспериментально графики зависимостей усредненного (по результатам десяти испытаний) значения емкости C_m образца ТЗИ от частоты f электрического поля измерительного конденсатора (при различном содержании влаги m в образце). Анализ приведенных графиков показывает, что с ростом частоты f электрическая емкость C_m контролируемого материала монотонно уменьшается. Причем, наибольший инкремент (скорость) уменьшения емкости наблюдается в звуковом диапазоне спектра ($f = 20$ Гц – 20 кГц) и составляет в среднем $3,1 \cdot 10^{-4}$ пФ/Гц (при влагосодержании $m = 0,5$ г) и $31,5 \cdot 10^{-4}$ пФ/Гц (при влагосодержании $m = 10$ г). За пределами звукового диапазона спектра величина емкости C_m рассматриваемого материала становится практически инвариантной к изменению частоты f , что эквивалентно близкой к нулю чувствительности контроля влажности по информативному параметру C_1/C_2 . Таким образом, двухчастотный вариант определения влажности материала, использующий в качестве информативного параметра соотношение C_1/C_2 , практически реализуем только в случае выбора рабочих частот f_1 и f_2 в пределах диапазона от 20 Гц до 20 кГц. В этом принципиальное отличие полимерных пористых материалов от большинства других неметаллических материалов, для которых оптимальными являются рабочие частоты в пределах ультразвуковой части спектра (0,1 – 100 МГц) [3].

На фиг. 3 и 4 представлены градуировочные кривые для одночастотного электроемкостного метода влагоизмерений [1], устанавливающего взаимосвязь между количеством влаги m , содержащейся в материале ТЗИ, и электрической емкостью C образца (для двух различных значений частоты f электрического поля измерительного конденсатора). Сплошной линией на графиках обозначена усредненная градуировочная кривая, построенная по результатам усреднения замеров на 10 образцах, а пунктиром – границы поля разброса измеренных значений емкости C (поле разброса заштриховано). Как следует из приведенных графических материалов, относительная погрешность влагоизмерений γ при одночастотном электроемкостном контроле недопустимо велика: $\gamma = 60 - 100\%$ при влагосодержании $m = 0,5 - 5$ г и $\gamma = 30 - 50\%$ при влагосодержании $m = 5 - 10$ г. Такая низкая точность измерений не удовлетворяет потребностям практики, что

является аргументом в пользу перехода к предлагаемому двухчастотному способу влагоизмерений.

На фиг. 5, 6 и 7 представлены градуировочные кривые для двухчастотного способа влагоизмерений, отражающие взаимосвязь количества влаги m , содержащейся в материале ТЗИ, с соотношением емкостей C_1/C_2 образцов, измеренных на различных частотах f_1 и f_2 (в пределах диапазона от 20 Гц до 20 кГц). Как и ранее, сплошными линиями на графиках обозначены усредненные градуировочные кривые, построенные по результатам усреднения замеров на десяти образцах, а пунктиром – границы поля разброса измеренных значений параметра C_1/C_2 (само поле разброса заштриховано).

Сопоставительный анализ полученных графических материалов показывает, что посредством перехода от одночастотного электроемкостного контроля к двухчастотному можно существенно уменьшить погрешность влагоизмерений. При этом наиболее ощутимое снижение погрешности γ наблюдается при таком выборе численных значений частот f_1 и f_2 (в пределах диапазона от 20 Гц до 20 кГц), чтобы их соотношение было равным $f_2/f_1 = 300 - 400$. Найденному оптимальному соотношению частот f_2/f_1 соответствует фиг. 5, построенная при $f_1 = 50$ Гц и $f_2 = 18$ кГц ($f_2/f_1 = 360$). Погрешность влагоизмерений в этом случае составляет $\gamma = 12 - 15\%$ при влагосодержании $m = 0,5 - 5$ г и $\gamma = 8 - 12\%$ при влагосодержании $m = 5 - 10$ г, что вполне удовлетворяет потребностям практики.

При неоптимальном выборе рабочих частот f_1 и f_2 (когда их соотношение не удовлетворяет условию $f_2/f_1 = 300 - 400$) погрешность контроля резко возрастает. Это наглядно иллюстрируется и подтверждается графическими материалами, приведенными на фиг. 6 ($f_1 = 20$ Гц, $f_2 = 2000$ Гц, $f_2/f_1 = 100$) и фиг. 7 ($f_1 = 20$ Гц, $f_2 = 10$ кГц, $f_2/f_1 = 500$). В первом случае (при $f_2/f_1 = 100$) погрешность влагоизмерений возрастает до $\gamma = 45 - 50\%$, во втором случае (при $f_2/f_1 = 500$) – до $\gamma = 35 - 40\%$. Значительное увеличение погрешности наблюдалось и при других значениях частот f_1 и f_2 , не удовлетворяющих условию $f_2/f_1 = 300 - 400$.

Таким образом, результаты выполненных экспериментальных исследований показывают, что для повышения точности двухчастотного способа определения содержания влаги в полимерных пористых материалах рабочие частоты контроля f_1 и f_2 следует выбирать в пределах звукового диапазона спектра ($f = 20$ Гц – 20 кГц), установив при этом их соотношение равным $f_2/f_1 = 300 - 400$.

Предлагаемый способ определения влажности материалов осуществляют в следующем порядке. Контролируемый материал 5 (см. фиг. 1) размещают между обкладками измерительного конденсатора 4. Частоты f_1 и f_2 синусоидальных электрических сигналов, вырабатываемых генераторами 1 и 2, выбирают в пределах звукового диапазона спектра в соответствии с условием $f_2/f_1 = 300 - 400$. Измерительным каналом 8 регистрируют электрический сигнал U_1 , пропорциональный емкости C_1 образца на частоте f_1 , а измерительным каналом 9 – электрический сигнал U_2 , пропорциональный емкости C_2 на частоте f_2 . По соотношению сигналов U_1/U_2 , сформированному с помощью вычислительного устройства 10, определяют влажность контролируемого материала, используя предварительно отградуированный в единицах влажности индикатор 11.

С учетом отмеченных выше преимуществ предлагаемого изобретения следует ожидать положительный экономический эффект от его внедрения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лапшин А.А. Электрические влагомеры. — Москва-Ленинград: Госэнергоиздат, 1960, с. 16 – 27.
2. Эпштейн С.Л. Измерение характеристик конденсаторов. — Москва-Ленинград: Энергия, 1965, с. 99 – 130.
3. Берлинер М.А. Измерения влажности. — Москва: Энергия, 1973, с. 194 – 198. — прототип.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

Способ определения влажности материалов, заключающийся в измерении электрической емкости контролируемого материала при двух значениях частоты внешнего электрического поля и определении влажности по соотношению измеренных значений емкостей, *отличающийся* тем, что, с целью повышения точности при контроле нестабильных по структуре полимерных пористых материалов, рабочие частоты измерений f_1 и f_2 выбирают в пределах диапазона от 20 Гц до 20 кГц, а их соотношение f_2/f_1 устанавливают равным 300 – 400.

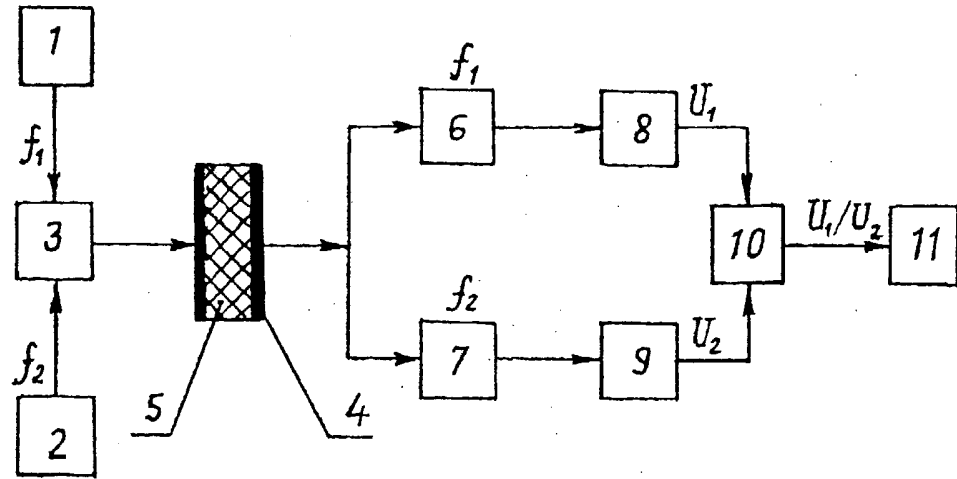
Реферат

Изобретение относится к электроемкостным методам неразрушающего контроля и может быть использовано для количественной оценки содержания влаги в неоднородных и структурно нестабильных изделиях из полимерных пористых материалов.

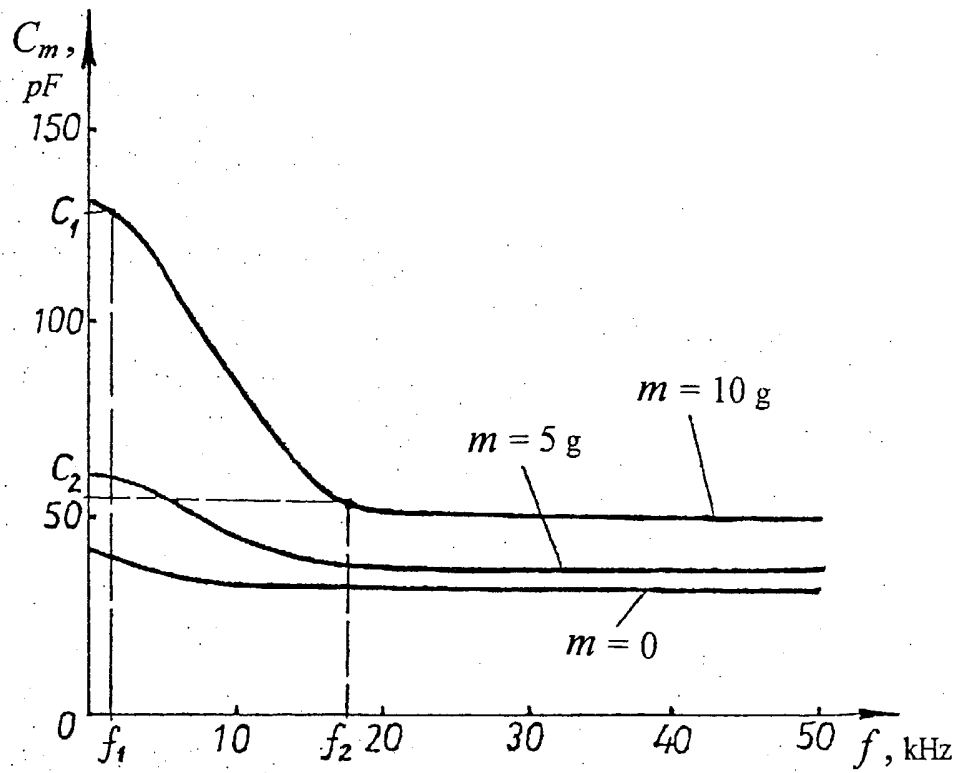
Цель изобретения — повышение точности при контроле структурно нестабильных полимерных пористых материалов.

Предлагаемый способ заключается в измерении электрической емкости C контролируемого материала при двух значениях частоты f_1 и f_2 внешнего электрического поля и определении влажности по соотношению измеренных значений емкостей C_1 и C_2 , используя градуировочные кривые материала $C \sim f$, причем рабочие частоты измерений при этом выбирают в пределах от 20 Гц до 20 кГц, а их соотношение устанавливают равным 300 – 400.

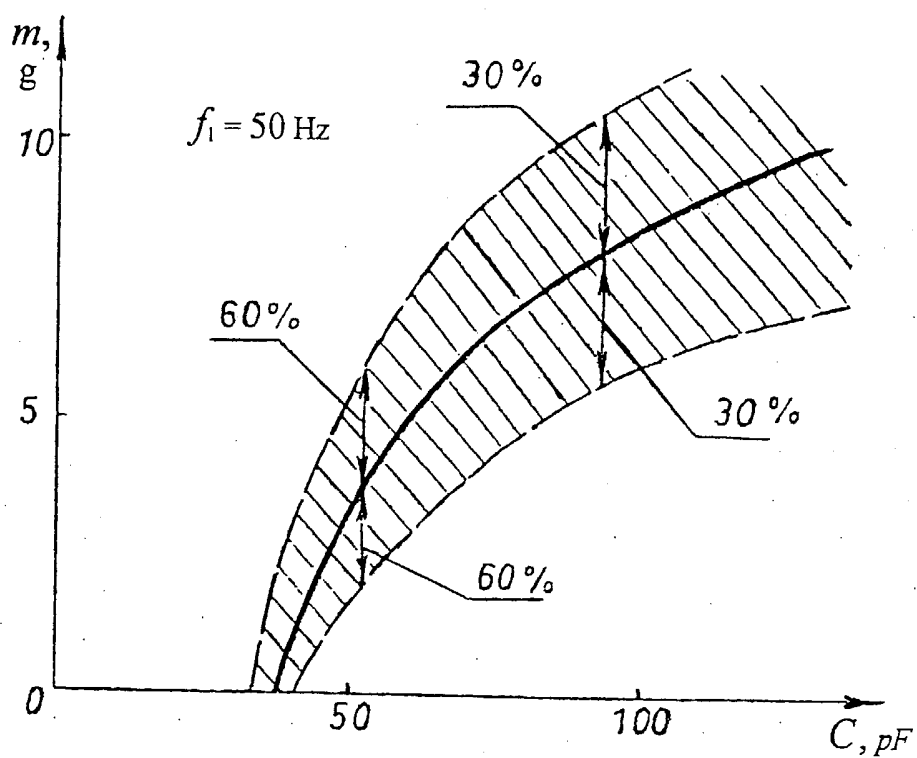
На фиг. 1 изображена структурная схема устройства для определения влажности материала (пример реализации способа). Устройство содержит два генератора 1 и 2 синусоидального напряжения, вырабатывающих измерительные сигналы на частотах f_1 и f_2 ($f_1 \neq f_2$), сумматор 3, измерительный конденсатор 4 с размещенным между его обкладками контролируемым материалом 5, фильтры 6 и 7, два измерительных канала 8 и 9, вычислительное устройство 10 и выходной индикатор 11 влажности материала.



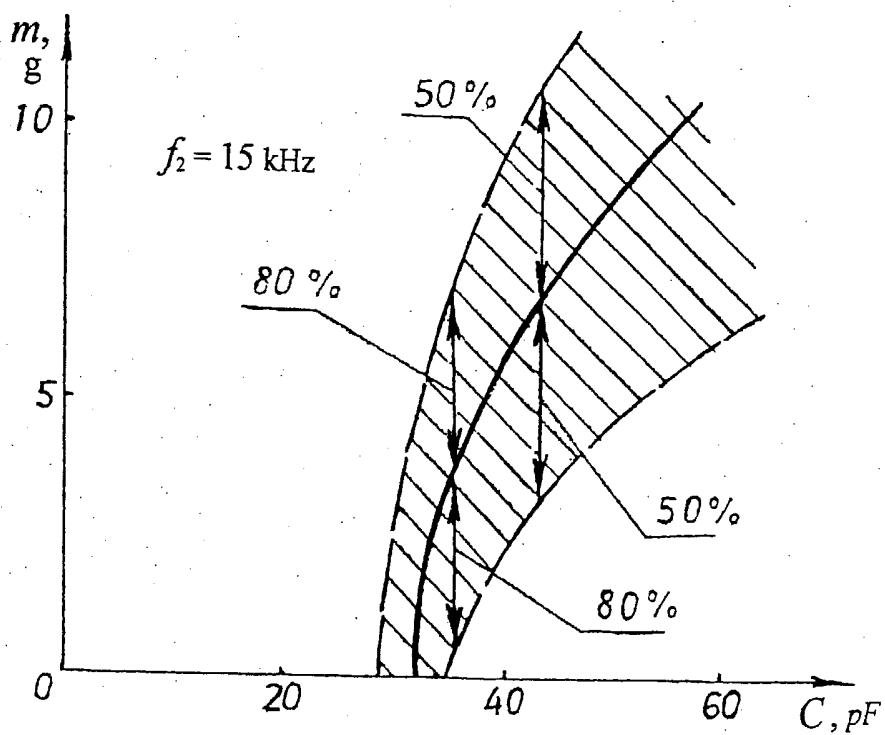
Фиг.1



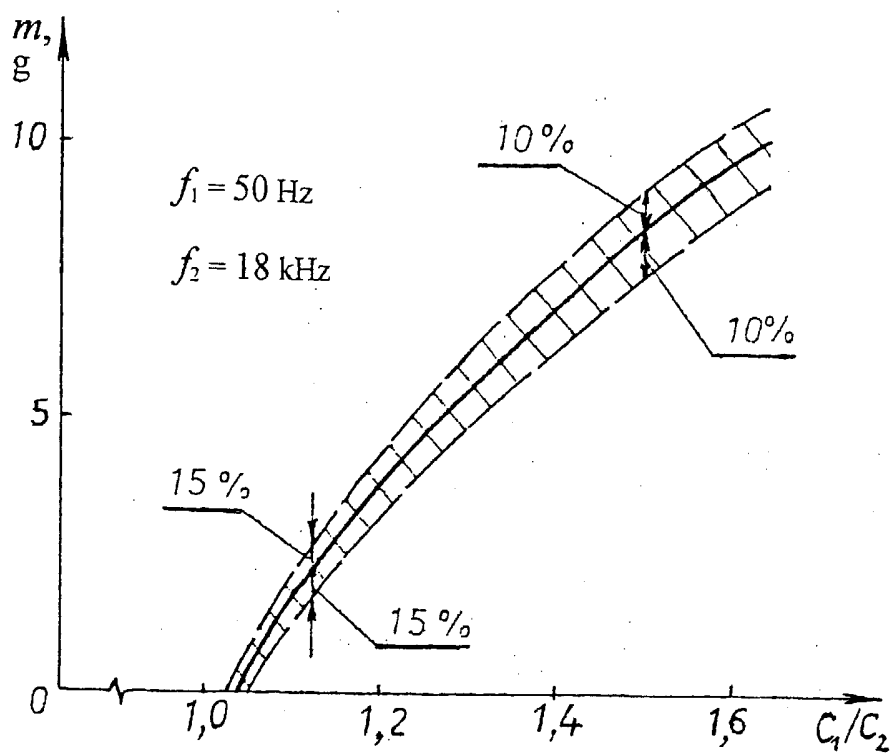
Фиг.2



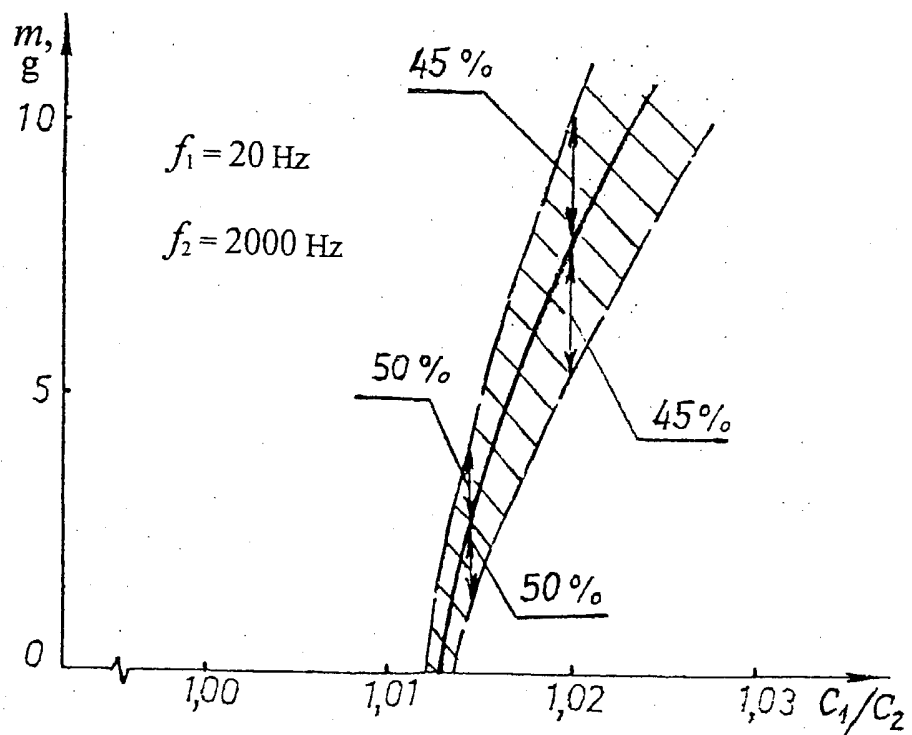
Фиг.3



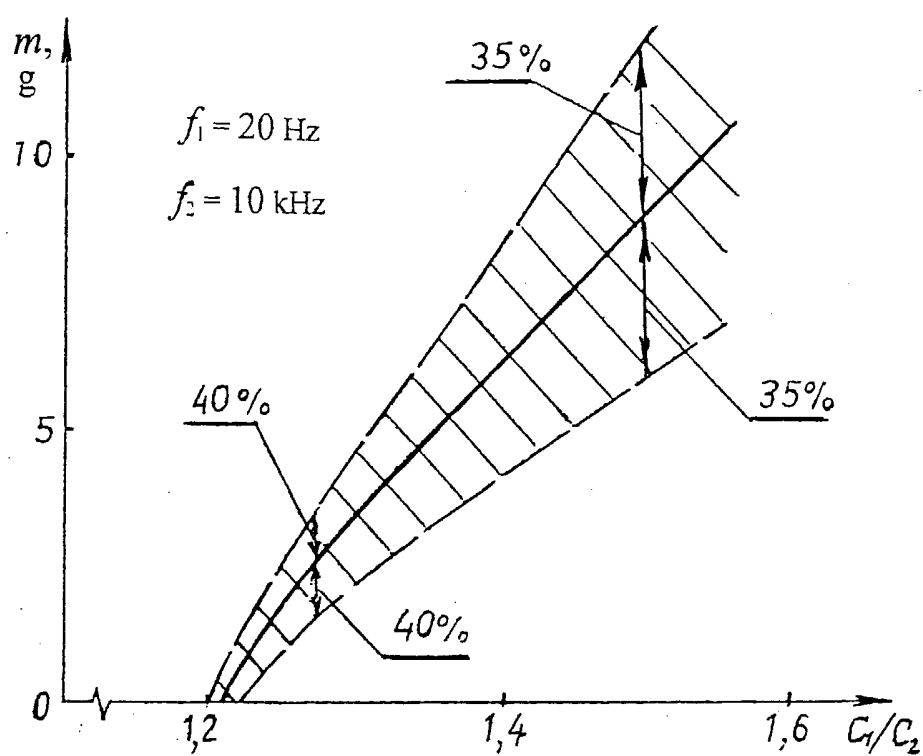
Фиг.4



Фиг.5



Фиг.6



Фиг.7