



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

(21)(22) Заявка: 2014112883/06, 02.04.2014

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
02.04.2014

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 02.04.2014

(43) Дата публикации заявки: 10.10.2015 Бюл. № 28

(45) Опубликовано: 10.12.2015 Бюл. № 34

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2302592 C1, 10.07.2007. RU 2061203 C1, 27.05.1996. US 20130133220 A1, 30.05.2013.

Адрес для переписки:

308012, г.Белгород, ул. Костюкова, 46, БГТУ им.  
В.Г. Шухова, отдел создания и оценки объектов  
интеллектуальной собственности

(72) Автор(ы):

Лаптева Светлана Николаевна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
"Белгородский государственный  
технологический университет им. В.Г.  
Шухова" (RU)

**(54) СПОСОБ СВЧ-ОБРАБОТКИ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ (ВАРИАНТЫ)**

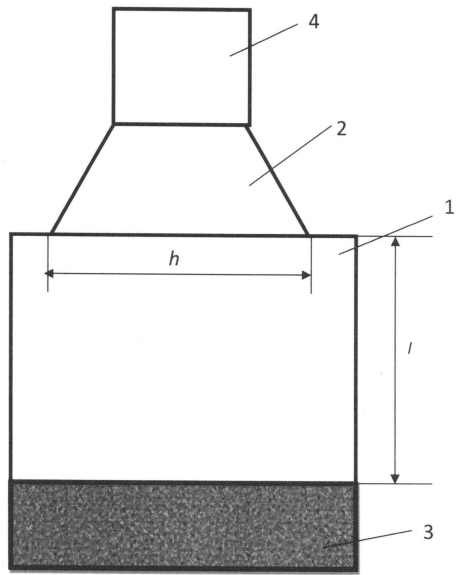
(57) Реферат:

Изобретение относится к области СВЧ-энергетики и может быть использовано при СВЧ-сушке и СВЧ-обработке строительных материалов. Способ СВЧ-обработки диэлектрических материалов по первому варианту состоит в том, что диэлектрический материал с известной диэлектрической проницаемостью и тангенсом угла диэлектрических потерь помещают в металлическую камеру, облучают СВЧ-излучением, причем диэлектрический материал размещают в металлической камере напротив и перпендикулярно СВЧ-излучателю, облучая СВЧ-излучением подачей электромагнитных волн перпендикулярно его поверхности, подбирают размеры раскрыва СВЧ-излучателя и компенсируют реактивную составляющую входного сопротивления. Способ по второму варианту состоит в том, что диэлектрический материал с неизвестной диэлектрической проницаемостью и тангенсом угла потерь помещают в металлическую камеру,

облучают СВЧ-излучением, причем диэлектрический материал размещают в металлической камере напротив и перпендикулярно СВЧ-излучателю, облучая СВЧ-излучением подачей электромагнитных волн перпендикулярно его поверхности, определяют положение сечения волноводной линии, в котором входное сопротивление равно волновому, СВЧ-излучатель располагают на расстоянии, кратном целому числу длин полуволн от найденного расстояния между СВЧ-излучателем и границей раздела обрабатываемой поверхности диэлектрического материала и свободного пространства. Технический результат изобретения заключается в минимизации отражения электромагнитных волн СВЧ-излучателя от слоя диэлектрических материалов, что ведет к максимальному поглощению СВЧ-энергии диэлектрическими материалами, а также в снижении энергоемкости. 2 н.п.ф-лы, 3 ил.

RU 2 570 293 C2

RU 2 570 293 C2



Фиг.1

RU 2570293 C2

RU 2570293 C2



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**(21)(22) Application: **2014112883/06, 02.04.2014**(24) Effective date for property rights:  
**02.04.2014**

Priority:

(22) Date of filing: **02.04.2014**(43) Application published: **10.10.2015** Bull. № 28(45) Date of publication: **10.12.2015** Bull. № 34

Mail address:

**308012, g.Belgorod, ul. Kostjukova, 46, BGTU im.  
V.G. Shukhova, otdel sozdaniya i otsenki ob"ektov  
intellektual'noj sobstvennosti**

(72) Inventor(s):

**Lapteva Svetlana Nikolaevna (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federal'noe gosudarstvennoe bjudzhetnoe  
obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego  
professional'nogo obrazovanija "Belgorodskij  
gosudarstvennyj tekhnologicheskij universitet  
im. V.G. Shukhova" (RU)**

(54) **METHOD OF UHF-TREATMENT OF DIELECTRIC MATERIALS (OPTIONS)**

(57) Abstract:

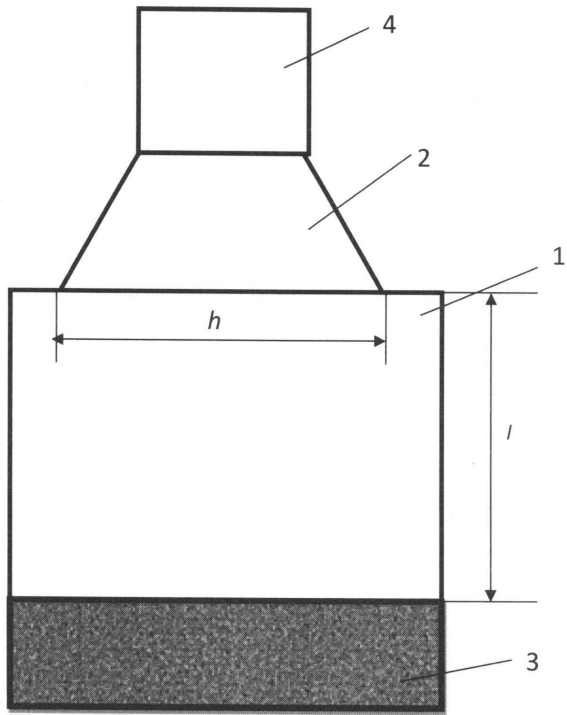
FIELD: power industry.

SUBSTANCE: invention relates to UHF power engineering, and can be used during UHF drying and UHF treatment of the construction materials. Method of UHF-treatment of dielectric materials under first option means, that dielectric material with known dielectric permeability and tangent of angle of dielectric losses is loaded in the metal chamber, is exposed to UHF radiation, at that the dielectric material is located in the metal chamber against and perpendicular to UHF emitter exposing by UHF radiation by supply of the electromagnetic waves at right angle to its surface, selecting dimensions of UHF emitter opening, and reactive component of the input resistance is compensated. Under second option the method means, that dielectric material with unknown dielectric permeability and tangent of angle of losses is loaded in the metal chamber, exposed to UHF radiation, at that the dielectric material is located in the metal chamber against and perpendicular to UHF emitter exposing by UHF radiation by supply of the electromagnetic waves at right angle to its surface, position of waveguide line section is determined, where input resistance is equal to wave resistance, UHF emitter is located at distance divisible by integral value of lengths of half-waves from determined distance between UHF emitter and border between the treated surface of the dielectric material

and free space.

EFFECT: minimisation of reflection of UHF emitter electromagnetic waves from layer of dielectric materials, this results in maximum absorption of UHF energy by the dielectric materials, and energy consumption decreasing.

2 cl, 3 dwg



Фиг.1

RU 2570293 C2

RU 2570293 C2

Изобретение относится к области СВЧ-энергетики и может быть использовано при СВЧ-сушке и СВЧ-обработке строительных материалов.

В СВЧ-энергетике обработка вещества производится с помощью мощного потока СВЧ-электромагнитных волн. Между излучателем электромагнитных волн и обрабатываемым материалом имеется область свободного пространства, волновое сопротивление которого обычно отличается от сопротивления обрабатываемого материала. На границе раздела неизбежно возникают отражения, которые приводят в дальнейшем к нарушению режима работы генератора СВЧ и линии передачи. Кроме того, значительная амплитуда отраженной от вещества волны означает, что она поглощается не в обрабатываемом материале, а направляется опять в излучатель. Последнее, кроме нарушения режима линии, работы генератора, вызывает также резкое уменьшение КПД всей установки [Черняев Л.К. Согласование в высокочастотных трактах. - М.: Сов. Радио, 1967, с. 67]. Для уменьшения коэффициента отражения может быть использован «просветляющий» слой диэлектрика с электрическими характеристиками, являющимися средним геометрическим из характеристик свободного пространства и диэлектрика, при этом толщина «просветляющего» слоя должна быть равной четверти длины волны в нем. Эта идея широко распространена в оптике [Л.Д. Гольдштейн, Н.В. Зернов. Электрические поля и волны. - М.: Сов. радио, 1971, с. 240]. Подобный подход является малопродуктивным в СВЧ-энергетических установках, так как требует для каждого из обрабатываемых материалов «своего» диэлектрика достаточно большой толщины с минимальными потерями в нем.

Наиболее близким к предложенному способу техническим решением, принятым за прототип, является способ СВЧ-сушки древесины, заключающийся в увеличении скорости сушки древесины за счет того, что получают минимальное (нулевое) значение интенсивности отраженного излучения [патент RU 2114361, Кл. F26B 3/347, 1998]. В основу прототипа положен принцип согласования пространства с веществом путем подбора угла падения волны. Способ СВЧ-сушки древесины состоит в том, что пиломатериал одного сорта укладывают горизонтально рядами с зазором между досками. Сложенный штабель облучают СВЧ-излучением с одной или двух его поверхностей. Облучают поверхность штабеля СВЧ-излучением с поляризацией, параллельной плоскости падения, под углом Брюстера, который поддерживают постоянным в процессе сушки путем изменения направления облучения.

Реальные же диэлектрики, обрабатываемые в СВЧ-установках, всегда имеют большие потери электромагнитной энергии. Кроме того, в случае нечетко выраженной границы раздела сред (сыпучие материалы) угол падения электромагнитной волны для разных участков будет различный, что не дает возможности в полной мере реализовать предложенный способ. Процесс сушки занимает длительное время, а нагрев материала должен осуществляться медленно, следовательно, является энергоемким. Эти недостатки свойственны прототипу.

Известно, что все диэлектрические вещества характеризуются диэлектрической проницаемостью ( $\epsilon$ ) и тангенсом угла диэлектрических потерь ( $\operatorname{tg} \delta$ ). На практике чаще всего приходится работать с диэлектрическими веществами неизвестных электрических характеристик.

Техническим результатом изобретения является минимизация отражения электромагнитных волн СВЧ-излучателя от слоя диэлектрических материалов, что ведет к максимальному поглощению СВЧ-энергии диэлектрическими материалами, а также снижение энергоемкости.

Это достигается двумя вариантами решения задачи.

Согласно первому варианту способ СВЧ-обработки диэлектрических материалов заключается в том, что диэлектрический материал с известной диэлектрической проницаемостью ( $\epsilon$ ) и тангенсом угла диэлектрических

5 потерь ( $\text{tg } \delta$ ) помещают в металлическую камеру напротив и перпендикулярно СВЧ-излучателю, облучают СВЧ-излучением подачей электромагнитных волн перпендикулярно его поверхности, подбирают размеры раскрыва СВЧ-излучателя и компенсируют реактивную составляющую входного сопротивления.

Согласно второму варианту способ СВЧ-обработки диэлектрических материалов состоит в том, что диэлектрический материал с неизвестной диэлектрической  
10 проницаемостью ( $\epsilon$ ) и тангенсом угла потерь ( $\text{tg } \delta$ ) помещают в металлическую камеру напротив и перпендикулярно СВЧ-излучателю, облучают СВЧ-излучением подачей электромагнитных волн перпендикулярно его поверхности, определяют положение сечения волноводной линии, в котором входное сопротивление равно волновому. СВЧ-излучатель располагают на расстоянии, кратном целому числу длин полуволн от  
15 найденного расстояния между СВЧ-излучателем и границей раздела поверхности диэлектрического материала и свободного пространства (l).

Сопоставительный анализ заявляемого решения с прототипом показывает, что заявляемый способ, согласно первому варианту, отличается тем, что диэлектрический материал размещают в металлической камере напротив и перпендикулярно СВЧ-  
20 излучателю, облучая СВЧ-излучением подачей электромагнитных волн перпендикулярно его поверхности, подбирают размеры раскрыва СВЧ-излучателя и компенсируют реактивную составляющую входного сопротивления.

Сопоставительный анализ заявляемого решения с прототипом показывает, что заявляемый способ, согласно второму варианту, отличается тем, что диэлектрический  
25 материал размещают в металлической камере напротив и перпендикулярно СВЧ-излучателю, облучая СВЧ-излучением подачей электромагнитных волн перпендикулярно его поверхности, определяют положение сечения волноводной линии, в котором входное сопротивление равно волновому, СВЧ-излучатель располагают на

30 Расстоянии, кратном целому числу длин полуволн от найденного расстояния между СВЧ-излучателем и границей раздела обрабатываемой поверхности диэлектрического материала и свободного пространства.

Таким образом, оба заявляемых решения соответствуют критерию изобретения «новизна».

Экспериментальная проверка заявляемого способа может осуществляться на СВЧ-  
35 установке, схема которой представлена на фиг. 1, на фиг. 2 - графическая зависимость активной составляющей от коэффициента фазы, на фиг. 3 - графическая зависимость реактивной составляющей входного сопротивления от коэффициента фазы.

Следует отметить, что известны рупорные СВЧ-излучатели с различным поперечным сечением [Франклин А.З. Антенны СВЧ. М.: Сов. Радио, 1957]. Из Большой Советской  
40 Энциклопедии известно, что в случае рупорных излучателей существует понятие «раскрыв» (наибольшее сечение) СВЧ-излучателя. Размеры раскрыва СВЧ-излучателя определяют по формулам. Используя данные СВЧ-генератора, определяют длину падающей волны и для данного диэлектрического материала подбирают линейные размеры раскрыва СВЧ-излучателя.

45 Установка для осуществления способа СВЧ-обработки диэлектрических материалов состоит из металлической камеры 1, которая соединена с СВЧ-излучателем 2, размеры раскрыва которого можно изменять. СВЧ-излучатель расположен напротив и перпендикулярно поверхности диэлектрического материала 3, который помещают в

металлическую камеру. СВЧ-генератор 4 присоединяют к СВЧ-излучателю.

Способ СВЧ-обработки диэлектрических материалов согласно первому варианту осуществляется следующим образом. В металлическую камеру 1 предложенной установки (фиг. 1) напротив и перпендикулярно раскрытию СВЧ-излучателя 2 помещают диэлектрический материала 3, например, насыпают на радиопрозрачную ленту песок, фиксируя его радиопрозрачными пенополистирольными вкладышами, которые не влияют

на работу устройства, но позволяют фиксировать его в металлической камере или помещают в металлическую камеру блок пенобетона. Подобное размещение способствует тому, что диэлектрический материал облучается подачей электромагнитных волн перпендикулярно его поверхности и коэффициент поглощения стремится к максимальному значению. Подбирают размеры раскрытия СВЧ-излучателя таким образом, чтобы вся обрабатываемая поверхность диэлектрического материала подвергалась облучению в процессе обработки. Используя математический пакет MathCAD и формулу полного входного сопротивления, а также зная электрические характеристики диэлектрических веществ, получают графические зависимости нормированной активной и реактивной составляющих входного сопротивления волновода от коэффициента фазы ( $\beta l$ ). По полученным графическим зависимостям определяют значение коэффициента фазы ( $\beta l$ ), соответствующее тому, что активная составляющая входного сопротивления стремится к единице, т.е.  $R(\beta l) \rightarrow 1$  (фиг. 2). По полученным данным коэффициента фазы определяют расстояние  $l$ , на которое и устанавливают СВЧ-излучатель. По значениям коэффициента фазы ( $\beta l$ ) определяют значение реактивной составляющей входного сопротивления (фиг. 3) и компенсируют ее вводом в волновод дополнительного реактивного сопротивления, имеющего противоположный знак по отношению к расчетному, определенному из графика. Компенсация реактивной составляющей входного сопротивления осуществляется с помощью диафрагмы или введения реактивного штыря. Подключают СВЧ-генератор 4 и облучают СВЧ-излучением подачей электромагнитных волн перпендикулярно поверхности диэлектрического материала.

Способ СВЧ-обработки диэлектрических материалов, согласно второму варианту, в случае, если неизвестны значения диэлектрической проницаемости ( $\epsilon$ ) и тангенса угла диэлектрических потерь ( $\text{tg } \delta$ ), заключается в следующем. В металлическую камеру 1 предложенной установки (фиг. 1) напротив и перпендикулярно раскрытию СВЧ-излучателя 2 помещают диэлектрический материал 3, например песок или блок пенобетона. Подобное размещение способствует тому, что диэлектрический материал облучается подачей электромагнитных волн перпендикулярно его поверхности и коэффициент поглощения стремится к максимальному значению. Посередине широкой стенки металлической камеры прорезана неизлучающая щель, по которой может в продольном направлении перемещаться детекторный зонд, который подключают к ваттметру, что позволяет измерять режим работы волноводной линии. Подключают СВЧ-генератор 4 и облучают подачей электромагнитных волн перпендикулярно поверхности диэлектрического материала. Измеряют режим работы линии передачи, т.е. с помощью детекторного зонда определяют коэффициент стоячей волны как отношение максимального и минимального значений амплитуды напряжения, которое вдоль волноводной линии меняется от сечения к сечению. В сечениях максимумов и минимумов напряжения входное сопротивление является активным. В других сечениях сопротивление комплексное, и при переходе через максимум характер реактивности меняется. Таким образом, вдоль линии происходит изменение сопротивления. Участок

линии длиной, равной целому числу длин полуволн, не изменяет сопротивления. Находят то сечение линии, в котором входное сопротивление равно волновому (активная составляющая волнового сопротивления). В этом сечении вычисляют реактивную составляющую волнового сопротивления по формулам. Для обработки результатов служат специальные круговые диаграммы Вольперта, по данным которых и определяется расположение сечения линии, имеющее полученное значение реактивной и активной составляющих волнового сопротивления. Реактивную составляющую входного сопротивления подбирают по модулю равной полученному ранее волновому сопротивлению, а по знаку противоположную ему. Известно, что поперечные сечения волноводной линии с одинаковым входным сопротивлением периодически повторяются через расстояние, равное половине длины волны. СВЧ-излучатель располагают на расстоянии,

кратном целому числу длин полуволн от найденного расположения сечения линии, т.е. располагают его на расстоянии  $l$  от поверхности диэлектрического материала. Например, для диэлектрического материала пенобетона определено по предложенному способу расстояние от раскрытия СВЧ-излучателя до диэлектрического материала,  $l = 0,16$  м такое, чтобы обеспечить максимальное поглощение электромагнитных волн в обрабатываемом слое диэлектрического материала, следовательно, снизить энергоемкость использования СВЧ-энергии.

20

#### Формула изобретения

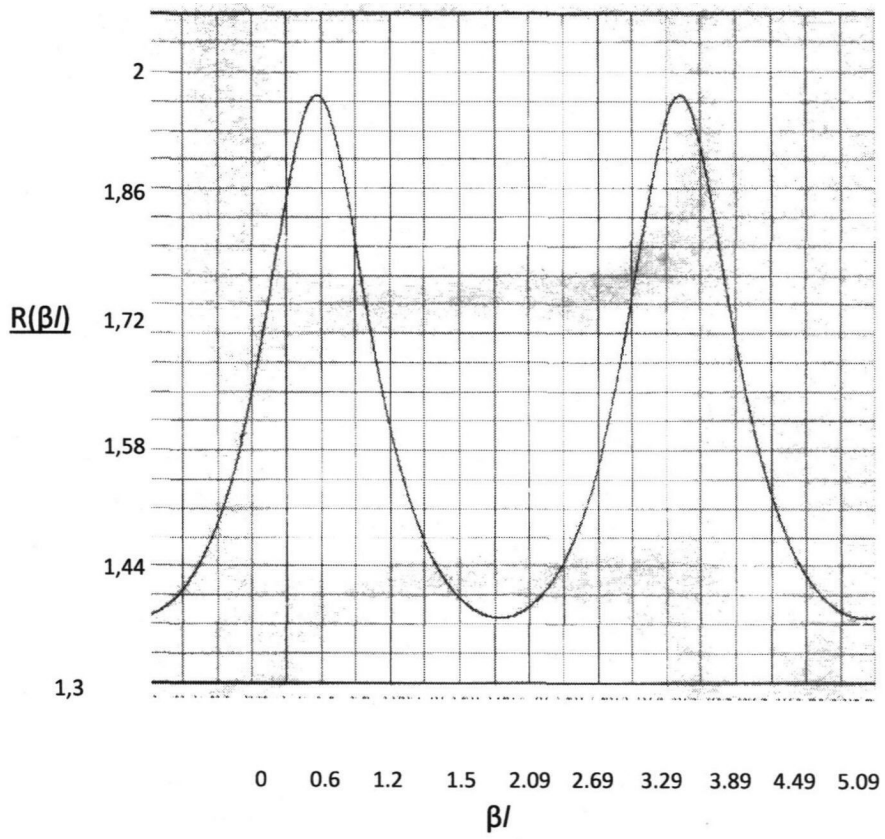
1. Способ СВЧ-обработки диэлектрических материалов, состоящий в том, что диэлектрический материал с известной диэлектрической проницаемостью и тангенсом угла диэлектрических потерь помещают в металлическую камеру, облучают СВЧ-излучением, отличающийся тем, что диэлектрический материал размещают в металлической камере напротив и перпендикулярно СВЧ-излучателю, облучая СВЧ-излучением подачей электромагнитных волн перпендикулярно его поверхности, подбирают размеры раскрытия СВЧ-излучателя и компенсируют реактивную составляющую входного сопротивления.

2. Способ СВЧ-обработки диэлектрических материалов, состоящий в том, что диэлектрический материал с неизвестной диэлектрической проницаемостью и тангенсом угла потерь помещают в металлическую камеру, облучают СВЧ-излучением, отличающийся тем, что диэлектрический материал размещают в металлической камере напротив и перпендикулярно СВЧ-излучателю, облучая СВЧ-излучением подачей электромагнитных волн перпендикулярно его поверхности, определяют положение сечения волноводной линии, в котором входное сопротивление равно волновому, СВЧ-излучатель располагают на расстоянии, кратном целому числу длин полуволн от найденного расстояния между СВЧ-излучателем и границей раздела обрабатываемой поверхности диэлектрического материала и свободного пространства.

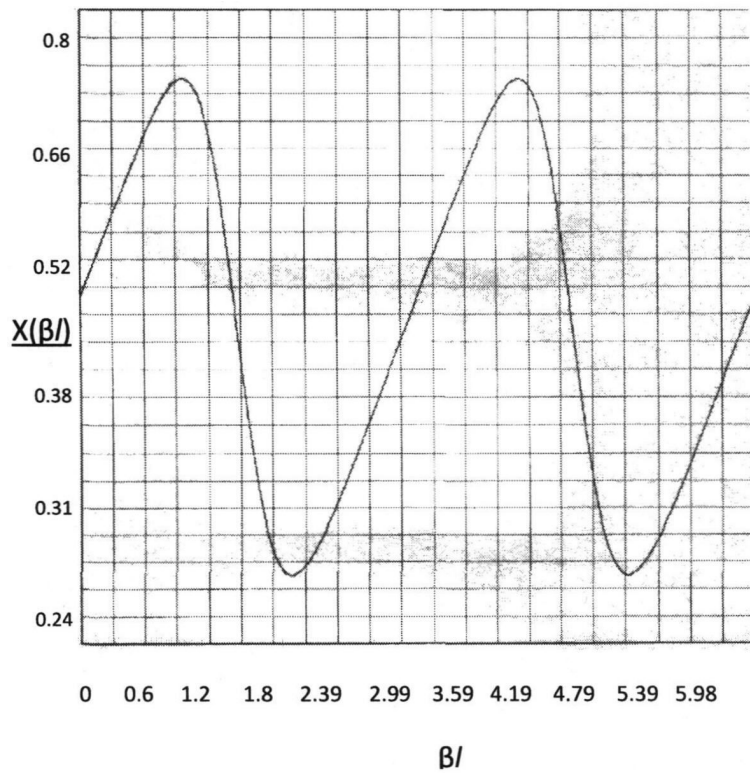
40

45





Фиг. 2



Фиг. 3