РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **199 928** (13) **U1**

(51) МПК
*H05B 3/46* (2006.01)
*F27B 3/16* (2006.01)
*F27D 1/02* (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

# (12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

Статус: действует (последнее изменение статуса: 21.06.2025)

Пошлина: учтена за 10 год с 23.05.2029 по 22.05.2030.

Начисление для уплаты пошлины за поддержание патента в силе

(52) СПК
***H05B 3/46*** *(2020.05);* ***F27B 3/16*** *(2020.05);* ***F27D 1/02*** *(2020.05)*

(21)(22) Заявка: **2020118197, 22.05.2020**

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
**22.05.2020**

Дата регистрации:
**29.09.2020**

Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: **22.05.2020**

(45) Опубликовано: 29.09.2020 Бюл. № 28

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **RU 108579 U1, 20.09.2011. RU 32953 U1, 27.09.2003. SU 1079988 A2, 15.03.1984. RU 2306511 C2, 20.09.2007. CN 1554919 A, 15.12.2004.**

Адрес для переписки:
**660074, г.Красноярск, ул. Киренского, 9А, пом. 225, ООО "НПЦ Магнитной гидродинамики"**

(72) Автор(ы):
**Темеров Александр Алексеевич (RU),**
**Тимофеев Виктор Николаевич (RU),**
**Михайлов Дмитрий Александрович (RU),**
**Пихутин Иван Андреевич (RU),**
**Сизов Владимир Иванович (RU),**
**Хоменков Петр Алексеевич (RU)**

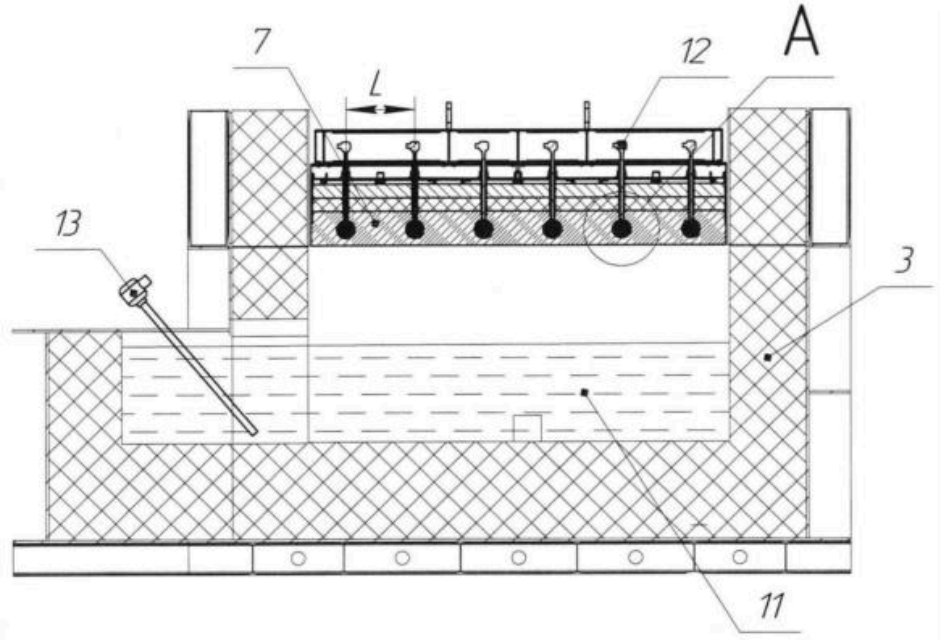
(73) Патентообладатель(и):
**Общество с ограниченной ответственностью "Научно-производственный центр магнитной гидродинамики" (RU)**

(54) **Электрический миксер**

(57) Реферат:

Полезная модель относится к области металлургии, в частности к электрическим миксерам сопротивления, предназначенным для приготовления алюминиевых сплавов и сплавов на его основе, и позволяет увеличить тепловую эффективность свода миксера и его эксплуатационную надежность, т.е. обеспечивает высокую теплопроводность огнеупорного слоя, получение необходимой температуры (до 900°С) его излучающей поверхности при допустимых температурах нагревательных элементов. Этот технический результат достигается тем, что в электрическом миксере огнеупорный слой многослойного футерованного свода выполнен плоским и монолитным из материала с высоким удельным коэффициентом теплопроводности, а нагревательные элементы установлены в каналах этого огнеупорного слоя свода, выполненных в виде сквозных отверстий с равномерным шагом - расстоянием между их осями. При этом высокий удельный коэффициент теплопроводности материала огнеупорного слоя свода обеспечивает содержание в нем, например, 84% карбида

кремния или 95% оксида алюминия. 2 з.п. ф-лы, 3 ил.




Фиг.2

Техническое решение относится к области металлургии, в частности к электрическим миксерам сопротивления, предназначенным для приготовления и выдачи сплавов, например, жидкого алюминия и сплавов на его основе.

Известен электрический миксер сопротивления для приготовления алюминиевых сплавов [1], включающий футерованную ванну, многослойный футерованный свод, имеющий огнеупорный слой, выполненный из огнеупорных кирпичей, образующих каналы, в которых установлены ленточные металлические нихромовые нагревательные элементы. Нагревательные элементы защищены от отложений и брызг жидкого алюминия экранами-пластинами из жаростойкого чугуна, расположенными в пазах огнеупорных кирпичей. Поверхность футеровки, образованная торцовыми сторонами огнеупорных кирпичей покрыта теплопроводным материалом из карбида кремния.

Однако известное устройство имеет следующие недостатки:

низкая тепловая эффективность теплообмена в миксере из-за повышенного термического сопротивления, вызванного заглублениями нагревательных элементов в каналах огнеупорного слоя свода в связи с установкой экранов, низкой теплопроводности огнеупорных кирпичей, выполненных из алюмосиликатного состава (23÷45) % $Al_2O_3$, тонкого слоя теплопроводного материала из карбида кремния, а также отложений на поверхности чугунных экранов и огнеупорных кирпичей;

трудоемкость и техническая сложность нанесения теплопроводного слоя из карбида кремния на торцовую поверхность огнеупорных кирпичей;

сложная геометрия излучающей поверхности огнеупорного слоя свода делает невозможной ее ручную или механизированную чистку от отложений в процессе эксплуатации электрического миксера;

чугунные экраны из пластин имеют неплотности на стыках между собой и в пазах кирпичей, что вызывает преждевременный выход из строя нагревательных элементов из-за воздействия на них агрессивных газов атмосферы внутреннего воздушного пространства электрического миксера.

Известны технические решения, направленные на повышение тепловой эффективности свода электрического миксера для приготовления алюминиевых сплавов [2]. Согласно полезной модели электрический миксер содержит футерованный свод с дистанцирующим устройством, в теплопроводном слое которого установлены металлические стержневые нагревательные элементы из фехралевого сплава. Повышение тепловой эффективности свода достигается за счет выполнения самого дистанцирующего устройства и его теплопроводного слоя из материала с повышенным удельным коэффициентом теплопроводности, что увеличивает площадь активно излучающей поверхности свода в сторону нагреваемого алюминиевого сплава. Одновременно, при сохранении средней температуры (до реконструкции) излучающей поверхности свода уменьшается мощность и температура самих нагревательных элементов, т.е. возрастает их надежность.

Известен электрический миксер [3], содержащий многослойный футерованный свод, выполненный из фасонных изделий, образующих каналы, в которых установлены металлические нагревательные элементы из нихромового сплава. С

целью увеличения активно излучающей площади поверхности свода и надежности работы нагревательных элементов часть каналов попарно перекрывается керамическими экранами из карбида кремния, имеющими высокий удельный коэффициент теплопроводности.

Однако, несмотря на достигнутое за счет вышеназванных технических решений улучшение тепловой эффективности излучающей поверхности свода электрического миксера, главным их недостатком является то, что дистанцирующие устройства свода выполнены из фасонных изделий сложной конфигурации. При приготовлении алюминиевых сплавов с применением флюсов и продувки расплава активными газами (Cl и др.) излучающая поверхность свода покрывается пористыми отложениями, образующими слой с повышенным термическим сопротивлением. В результате этого снижается тепловая эффективность свода, повышается температура нагревательных элементов, что приводит к преждевременному выходу из строя и частой их замене. Для восстановления излучающей способности поверхности свода миксера требуется проводить ее периодические чистки от отложений, что при сложной конфигурации излучающей поверхности свода проводить в процессе эксплуатации невозможно. Все это приводит к внеплановой остановке миксера на ремонт и большим материальным затратам.

Наиболее близким к заявляемому является электрический миксер, включающий многослойный футерованный свод, имеющий огнеупорный слой, в котором установлены нагревательные элементы. Этот миксер предназначен для приготовления алюминиевых сплавов в условиях образующейся агрессивной среды в его внутрипечном воздушном пространстве и когда требуется защита нагревательных элементов от этой среды и чистка излучающей поверхности свода от отложений в процессе его эксплуатации [4].

Однако высокая тепловая эффективность миксера может быть получена за счет увеличения общей площади теплоотдающих поверхностей огнеупорных слоев футеровки, в которых установлены нагревательные элементы, например, различных сочетаний поверхностей свода, подины и вертикальных стен миксера.

Но на практике применения миксеров для приготовления алюминиевых сплавов такое техническое решение труднореализуемое по причине невозможности обеспечения надежной работы нагревательных элементов при их расположении в огнеупорных слоях футеровки, контактирующих с жидким алюминием, во-первых - из-за его высокой способности пропитывания (металлизации) огнеупорных слоев, во-вторых зашлаковывания этих поверхностей, повышающего их термическое сопротивление. Эти два явления отрицательно сказываются на надежности работы нагревательных элементов:

проникновение жидкого алюминия в огнеупорные слои футеровки немедленно выводит нагревательные элементы из строя;

образование шлакового слоя на поверхностях огнеупорных слоев приводит к увеличению их термического сопротивления, снижению тепловой эффективности, повышению температуры самих нагревательных элементов и выходу их из строя.

Таким образом, на практике в электрическом миксере для приготовления алюминиевых сплавов огнеупорный слой свода и размещение в нем нагревательных элементов является единственно возможным местом для обеспечения эффективной теплопередачи от его излучающей поверхности к расплаву. Поэтому все технические решения при проектировании миксера направлены на повышение тепловой эффективности свода и надежности нагревательных элементов, установленных в огнеупорном слое футеровки свода. Как правило, это зависит от взаимного расположения нагревательных элементов в огнеупорном слое футеровки и его теплофизических свойств, и они настолько взаимообусловлены, что неудачное сочетание перечисленных факторов приводит к отрицательным последствиям при эксплуатации миксера. В результате, либо нагревательные элементы отдают не полную допустимую мощность, либо задаваемая мощность не дает требуемого уровня эффективности теплоотдачи от излучающей поверхности.

В основу нового технического решения положена задача повышения тепловой эффективности свода электрического миксера, эксплуатационной надежности и ремонтопригодности нагревательных элементов, установленных в огнеупорном слое свода миксера.

Поставленная задача решается за счет того, что в электрическом миксере, содержащем футерованную ванну, многослойный футерованный свод, имеющий огнеупорный слой, в котором установлены нагревательные элементы, согласно новому техническому решению, огнеупорный слой свода выполнен монолитным и плоским из материала с удельным коэффициентом теплопроводности не менее трех, а нагревательные элементы размещены в каналах огнеупорного слоя свода, выполненных в виде сквозных отверстий с равномерным шагом-расстоянием между их осями

$$l = \left(\frac{\lambda \cdot \Delta t}{p \cdot h}\right) d,$$

где $l$ - расстояние между осями сквозных отверстий, м;

d - диаметр отверстий, м;

h - минимальное расстояние между излучающей поверхностью свода и поверхностью нагревательного элемента, м;

λ - удельный коэффициент теплопроводности материала огнеупорного слоя свода, Вт/(м·град);

Δt - допустимый перепад температур между излучающей поверхностью свода и поверхностью нагревательного элемента, град.;

p - удельная мощность излучающей поверхности свода, Вт/м$^2$.

При этом огнеупорный слой свода может быть выполнен из материала с содержанием 84% карбида кремния. Также огнеупорный слой свода может быть выполнен из материала с содержанием 95% оксида алюминия.

На фиг. 1 схематично представлен заявляемый электрический миксер (продольный разрез); на фиг. 2 - то же (поперечный разрез); на фиг. 3 - фрагмент футерованного свода с нагревательным элементом; а на фиг. 4 представлены результаты математического моделирования режимов работы опытно-промышленного образца.

В электрическом миксере подина 1 вместе с дверью форкамеры 2, боковыми стенами 3 с встроенной в одну из них леткой 4 образуют футерованную ванну. Футерованная ванна включает воздушное внутрипечное пространство 5, над которым расположен многослойный футерованный свод 6. Этот свод состоит из теплопроводного огнеупорного слоя 7 и теплоизоляционных слоев 8, при этом огнеупорный слой выполнен плоским, гладким и монолитным, в нем выполнены каналы 9 в виде отверстий диаметром d с равномерным шагом-расстоянием $l$ между их осями. В каналах 9 огнеупорного слоя установлены стержневые нагревательные элементы 10. Форкамера предназначена для выполнения технологических операций. В футерованной ванне находится жидкий алюминиевый сплав 11, в сторону которого своей плоской гладкой поверхностью обращен монолитный огнеупорный слой 7 свода. Эта поверхность огнеупорного слоя, излучающая удельный тепловой поток p на алюминиевый сплав, находится на расстоянии h от обращенной к расплаву поверхности нагревательных элементов. В каналах 9 также размещены термопары 12 для измерения температуры нагревательных элементов 10, а для измерения температуры жидкого алюминиевого сплава предназначена термопара 13, которая размещена в заливочном кармане миксера.

Заявляемый электрический миксер работает следующим образом. При подаче напряжения на нагревательные элементы происходит их разогрев и разогрев теплопроводного огнеупорного слоя свода до заданной допустимой температуры, исходя из технологической потребности и обеспечивающей надежность работы миксера. Для стержневых нагревательных элементов, выполненных из металлического фехралевого сплава, их температура может задаваться до 1100°С. Для стержневых нагревательных элементов, выполненных из карбида кремния, их температура может задаваться до 1300°С. Выбор исполнения нагревательных элементов, а, значит, и задаваемых допустимых температур на них зависит от применяемых материалов огнеупорного слоя свода, его удельных коэффициентов теплопроводности и требуемой температуры излучающей поверхности, обеспечивающей технологические и производственные параметры при приготовлении алюминиевых сплавов. Обычно температура излучающей поверхности огнеупорного слоя свода при приготовлении алюминиевых сплавов не превышает 900°С.

В предварительно разогретый до температуры (690÷750)°С миксер по специальному графику, обеспечивающему сохранность футеровок свода и ванны, заливается жидкий алюминий с температурой (690÷750)°С с дальнейшей доводкой его температуры до технологической, при которой выполняются все необходимые операции по приготовлению определенного алюминиевого сплава (загрузка необходимой шихты, определяющей химический состав сплава, рафинирующих флюсов, перемешивание, обработка поверхности расплава, продувка активными газами, слив готового сплава). При выполнении вышеперечисленных операций происходит образование агрессивной среды во внутреннем воздушном пространстве миксера, включающей активные газы (Cl, F), алюминиевые брызги, различные шпинели, шлаки, которые негативно воздействуют на излучающую поверхность свода, образуя отложения - пористый слой. Как следствие такого воздействия, увеличивается термическое сопротивление излучающей поверхности свода, что вызывает рост температуры нагревательных элементов и снижение надежности их работы.

Для восстановления тепловой эффективности излучающей поверхности свода требуется периодическая ее чистка от пористых отложений. Выполнение огнеупорного слоя монолитным с гладкой и плоской излучающей поверхностью из материалов с содержанием 84% карбида кремния или 95% оксида алюминия обеспечивает как уменьшение образования пористых отложений, так и создает возможность чистки от них этой поверхности ручным или механизированным способом.

Высокие удельные коэффициенты теплопроводности материала огнеупорного слоя свода с содержанием 84% карбида кремния или 95% оксида алюминия обеспечивают высокую теплопроводность огнеупорного слоя, получение необходимой температуры (до 900°С) его излучающей поверхности при допустимых температурах нагревательных элементов.

С целью повышения механической прочности огнеупорного слоя свода, который испытывает знакопеременные нагрузки при значительных перепадах температур, в его материал возможно введение армирующих добавок. В качестве армирующей добавки могут быть использованы, например, нановолокна оксида алюминия марки NAFEN. Особенно актуально использование армирующих добавок в материале огнеупорного слоя свода, когда в нем выполнены каналы с нагревательными элементами.

Нагревательные элементы выполнены стержневыми с целью облегчения их монтажа в каналах огнеупорного слоя. В зависимости от конкретных условий работы миксера и выбора материала огнеупорного слоя свода нагревательные элементы выполняются или из металлического сплава фехраля, или керамическими из карбида кремния.

Для снижения механических напряжений в огнеупорном слое свода при перепадах температур, которые могут возникнуть в процессе эксплуатации миксера, например, отключениях, выходе из строя одного или нескольких нагревательных элементов, выполнении ремонтных работ, нагревательные элементы различных электрических групп включают вперемешку с чередованием их электрических фаз $A_1$-$A_2$-$B_1$-$B_2$-$C_1$-$C_2$. Включение нагревательных элементов вперемешку обеспечивает равномерный нагрев всей излучающей поверхности свода и, при необходимости доведения приготовления сплава до конца, исключение технологического брака.

Термопары предназначены для измерения температуры нагревательных элементов, обеспечивая их защиту от перегрева и управление температурным режимом миксера по заданной программе, и введены в каналы огнеупорного слоя через футеровку свода.

Электрический миксер имеет большую тепловую инерцию, предназначен для непрерывной работы, поэтому для обеспечения высокой производительности при приготовлении алюминиевых сплавов и его надежной работы миксер должен быть в постоянной готовности для выполнения всех технологических операций с минимальными затратами времени, т.е. с включенными нагревательными элементами, поддерживающими требуемую температуру в нем.

Размеры и количество отверстий зависят от формы и геометрических размеров нагревательных элементов и мощности миксера. Выполнение огнеупорного слоя свода из материалов с удельным коэффициентом теплопроводности не менее 3 Вт/(м·град) и с отверстиями для установки нагревательных элементов с расстоянием между их осями по предложенной зависимости обеспечивает наивысшую тепловую эффективность излучающей поверхности. От правильно выбранного расстояния между осями отверстий при принятых величинах аргументов, входящих в предложенную зависимость, среднеинтегральная температура активно излучающей площади будет максимальной и выравненной по всей ее поверхности.

Применительно к конкретному примеру исполнения для определения тепловой эффективности миксера предложенной конструкции были выполнены замеры режимов работы опытно-промышленного образца электрического миксера емкостью 10 т, предназначенного для приготовления алюминиевых сплавов.

Огнеупорный слой свода выполнен из материала CALDE CAST LS 85 с содержанием 84% карбида кремния, удельный коэффициент теплопроводности материала при средней температуре слоя 900°С принят 8,3, толщина слоя 250 мм, диаметр отверстий для установки нагревательных элементов 134 мм, количество отверстий - 6 шт., расстояние h=50 мм (принято из условия механической прочности огнеупорного слоя), расстояние $l$ между осями отверстий принято согласно предлагаемой зависимости

$$l=\left(\frac{\lambda\cdot\Delta t}{p\cdot h}\right)d = 330\text{мм},$$

при расчетной величине тепловых потерь в сторону теплоизоляционных слоев свода миксера 10%.

Установленная мощность миксера 210 кВт, принятая рабочая - 150 кВт. Стержневые нагревательные элементы изготовлены из металлического фехралевого сплава GS23-5.

При заданной среднеарифметической температуре в каналах огнеупорного слоя свода 965°С (термопары 12) температура излучающей поверхности составила 820°С (измерялась тепловизором). В миксере готовили алюминиевый сплав с содержанием магния 6%. При технологической температуре слива сплава 740°С была задана уставка 750°С (термопара 13). При достижении температуры подины (термопара 14) 730°С залили 9 тонн технического алюминия с температурой 745°С. В процессе приготовления сплава выполнялись все регламентные технологические операции, в основном с открытой дверцей форкамеры 2. По завершении технологических операций температура сплава снижалась до 718°С. При доведении температуры сплава до технологической 740°С скорость ее подъема составила 8 град/час, через 3 часа готовый алюминиевый сплав был слит в раздаточный литейный миксер, средняя мощность за время приготовления сплава составила ~120 кВт.

На основании визуальных наблюдений за изменениями перепадов температур по излучающей поверхности свода сделан вывод, что наибольшая равномерность

температур, а, значит, и тепловая эффективность электрического миксера, достигается при температуре излучающей поверхности свода 900°С. По сравнению с известными, за счет увеличения активно излучающей площади поверхности свода и ее среднеинтегральной температуры, тепловая эффективность электрического миксера, выполненного согласно заявляемому техническому решению, увеличилась в 1,5 раза, что позволило сократить время приготовления алюминиевых сплавов на 3 часа и снизить расход электроэнергии на 25%.

Второй пример по доказательству тепловой эффективности предлагаемого электрического миксера выполнен методом математического моделирования.

На фиг. 4 представлены результаты математического моделирования режимов работы опытно-промышленного образца миксера емкостью 10 т., предназначенного для приготовления алюминиевых сплавов и выполненного по предлагаемому техническому решению.

С целью идентификации полученных расчетных данных и эксперимента принято:

материал огнеупорного слоя CALDE CAST85;

толщина огнеупорного слоя - 250 мм;

диаметр отверстий, d - 134 мм;

расстояние h - 50 мм;

расстояние l - 330 мм;

количество отверстий, шт. - 6;

температура расплава - 750°С;

электрическая мощность миксера - 150 кВт.

После выполнения теплового расчета электрического миксера было оценено распределение температурного поля в огнеупорном слое свода. Как видно по представленным результатам на фиг. 4, среднеинтегральная температура излучающей поверхности находится в диапазоне 900°С при относительно равномерном распределении по всей ее площади, что свидетельствует о высокой тепловой эффективности свода и эксплуатационной надежности нагревательных элементов, установленных в огнеупорном слое свода миксера.

Источники информации

1. Авторское свидетельство СССР №1079988, F27D 1/16, опубл. 15.03.1984 г. Бюл. №10.

2. Патент на полезную модель RU 32953, Электронагреватель, опубл. 2003.09.27.

3. Известия высших учебных заведений. Цветная металлургия, 1979, №5. с. 50-53.

4. Патент на полезную модель RU 108579, Электропечь-миксер, опубл. 2011.09.20.

## Формула полезной модели

1. Электрический миксер, включающий футерованную ванну, многослойный футерованный свод с огнеупорным слоем, в котором установлены нагревательные элементы, отличающийся тем, что огнеупорный слой свода выполнен плоским и монолитным из материала с удельным коэффициентом теплопроводности не менее трех, а нагревательные элементы размещены в каналах огнеупорного слоя футерованного свода, выполненных в виде сквозных отверстий, с равномерным шагом - расстоянием между их осями

$$l = \left(\frac{\lambda \cdot \Delta t}{p \cdot h}\right) d,$$

где $l$ - расстояние между осями сквозных отверстий, м;

d - диаметр отверстий, м;

h - минимальное расстояние между излучающей поверхностью свода и поверхностью нагревательного элемента, м;

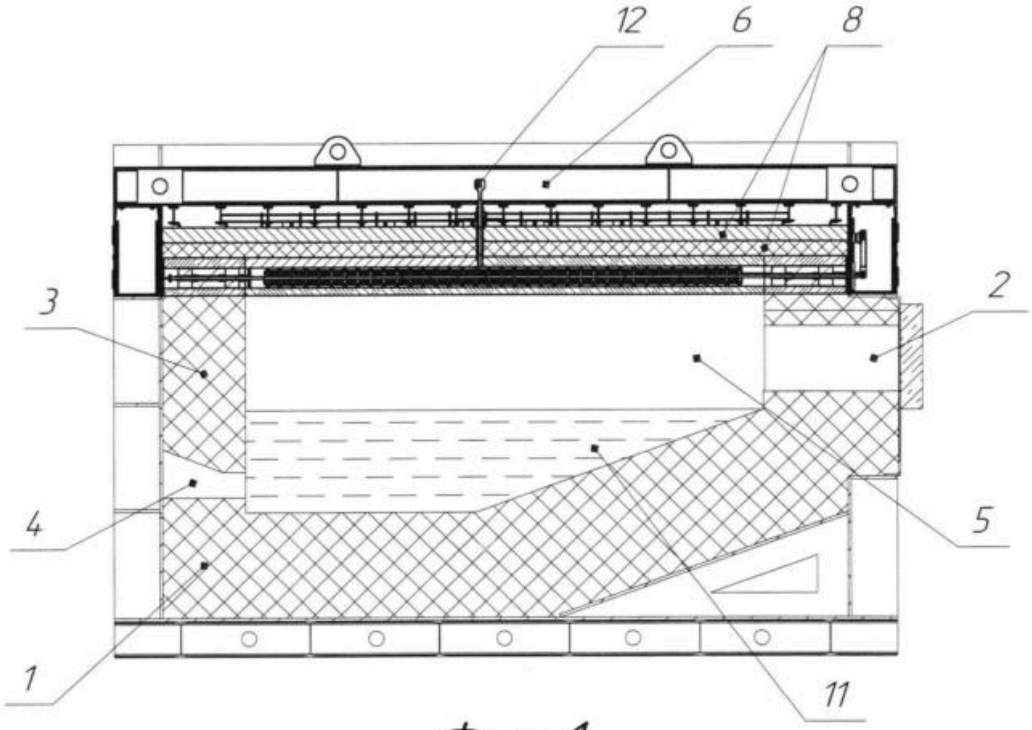
λ - удельный коэффициент теплопроводности материала огнеупорного слоя свода, Вт/м·град.;

Δt - допустимый перепад температур между излучающей поверхностью свода и поверхностью нагревательного элемента, град.;

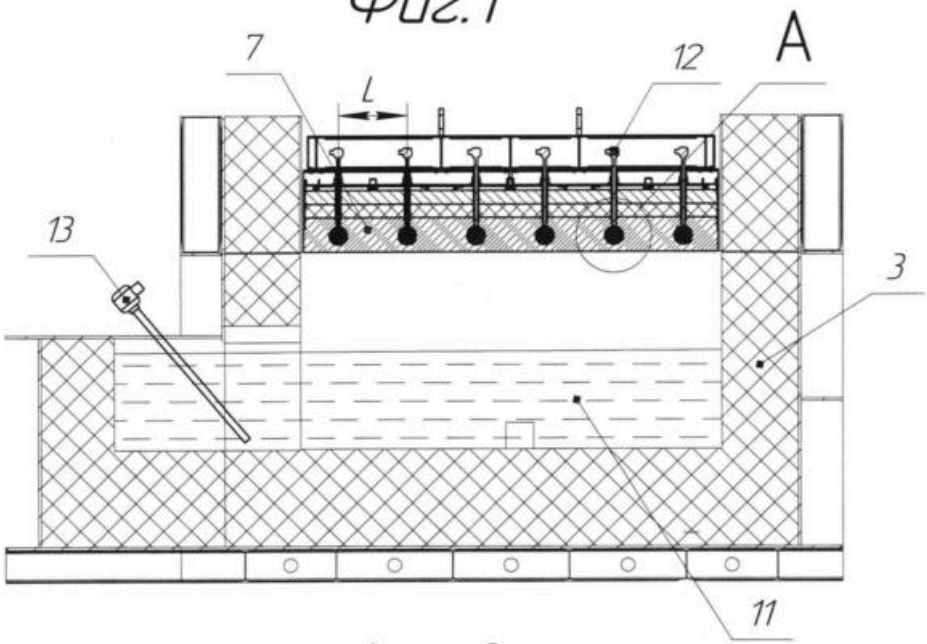
p - удельная мощность излучающей поверхности свода, Вт/м$^2$.

2. Электрический миксер по п. 1, отличающийся тем, что материал огнеупорного слоя свода содержит 84% карбида кремния.

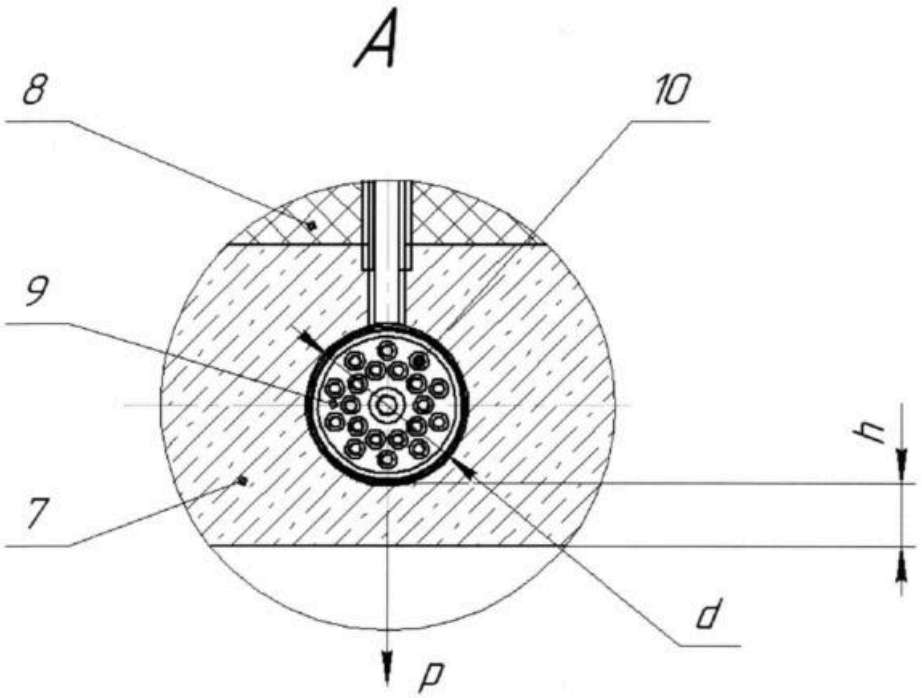
3. Электрический миксер по п. 1, отличающийся тем, что материал огнеупорного слоя свода содержит 95% оксида алюминия.



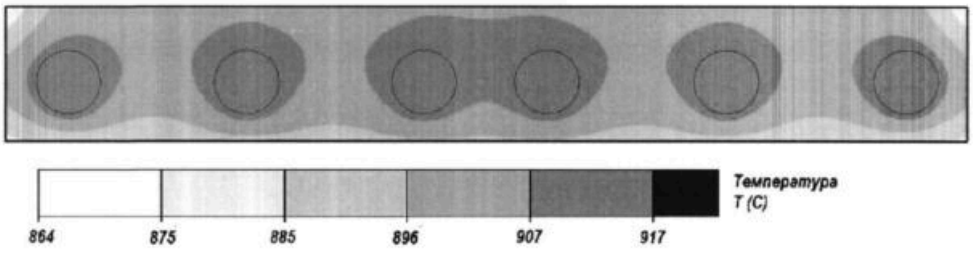

Фиг.1




Фиг.2




Фиг.3




Фиг.4