

УДК 537.84

РЕШЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ НА ОСНОВЕ  
МАГНИТОДИНАМИКИ

Вертинский П. А., г. Усолье-Сибирское

[pavel-35@mail.ru](mailto:pavel-35@mail.ru)

1. МАГНИТОДИНАМИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ

После интенсивных экспериментальных исследований в начале

ХІХ века результаты опытов Х. Эрстеда, А. Ампера, М. Фарадея и других исследователей были использованы Дж. Максвеллом в качестве аксиоматической основы электродинамики в виде

известных уравнений Максвелла:  $rot \vec{E} = -\frac{d\vec{B}}{dt}$  (1),

$rot \vec{H} = \frac{d\vec{D}}{dt} + \vec{j}$  (2),  $div \vec{D} = \rho$  (3) и  $div \vec{B} = 0$  (4).

Так как в период создания классической электродинамики природа магнетизма была неизвестна, до создания теории атомно-молекулярной структуры вещества, на основе которой и была в начале ХХ века разработана теория ферромагнетизма, феномен магнетизма воспринимался самостоятельно, то направление магнитной стрелки около провода с током было воспринято

Х. Эрстедом непосредственно как ориентация магнитных сил. Именно вследствие этой неадекватности одной из аксиом в основаниях классической электродинамики сразу же возник так называемый «электромагнитный парадокс», заключающийся в несоответствии направления электромагнитного взаимодействия электрических токов третьему закону динамики И. Ньютона. Многочисленные попытки объяснить или снять этот "парадокс" за всю историю электродинамики лишь запутывали сущность вопроса и приводили к новым противоречиям в ней. Вместе с тем, так как два элемента тока взаимодействуют между собой по прямой линии подобно электрическим зарядам, то их взаимодействие можно характеризовать величиной магнитного натяжения:

$$\vec{T} = -gradH(x, y, z) \quad (5)$$

Другими словами, естественно положить в основу определения силовой характеристики магнитного поля величину и направление

магнитной силы между токами согласно закону Ампера:

$$f = \mu_0 \frac{I_1 I_2}{2\pi r} \Delta l \quad (6), \text{ то есть: } T = \mu_0 \frac{I}{2\pi r} = \frac{f}{I \Delta l} \quad (7)$$

По существу такого предложения в основаниях электродинамики автору пришлось неоднократно докладывать на конференциях «Сибресурс – 2001 - 2008» [1], позже эти доклады собраны в тематическом сборнике [2] поэтому здесь я лишь кратко отмечу некоторые выводы этих исследований.

Раскроем определение (5): 
$$\vec{T} = -\left( \frac{dH}{dx} \vec{i} + \frac{dH}{dy} \vec{j} + \frac{dH}{dz} \vec{k} \right) \quad (8)$$

и для упрощения вычислений направим ток  $I$  по прямому

проводу вдоль оси  $Z$ , тогда 
$$\vec{T} = -\left( \frac{dH}{dx} \vec{i} + \frac{dH}{dy} \vec{j} \right) \quad (9)$$

Ясно, что имея два провода с токами противоположного

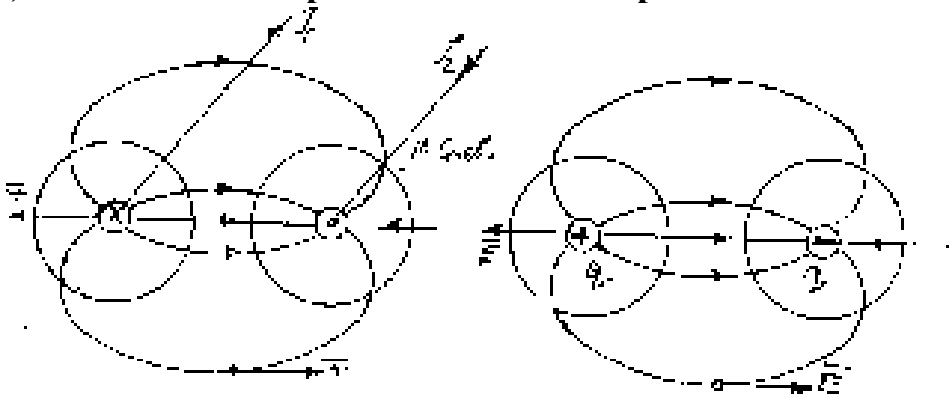


Рис. I-1

Рис. I-2

направления, получим геометрическую картину общего для них магнитного поля натяжением  $\vec{T}$  как на рис. I-1. Здесь отчетливо видно, что роль магнитного «монополя» в действительности выполняет электрический ток, создающий данное магнитное поле.

Разумеется, введение новой векторной функции  $\vec{T}$  магнитного поля на основании реального направления магнитных сил вместе с адекватным отображением геометрии поля приводит к соответствующим изменениям вида уравнений Максвелла.

Определяя величину потока магнитного натяжения  $\bar{T}$  вокруг провода с током через замкнутую поверхность вокруг этого

провода, представим элементарный поток:  $d\bar{N} = \bar{T} dS$  (I-10), где  $dS$  - элемент поверхности около провода с током как на рис. I-3:

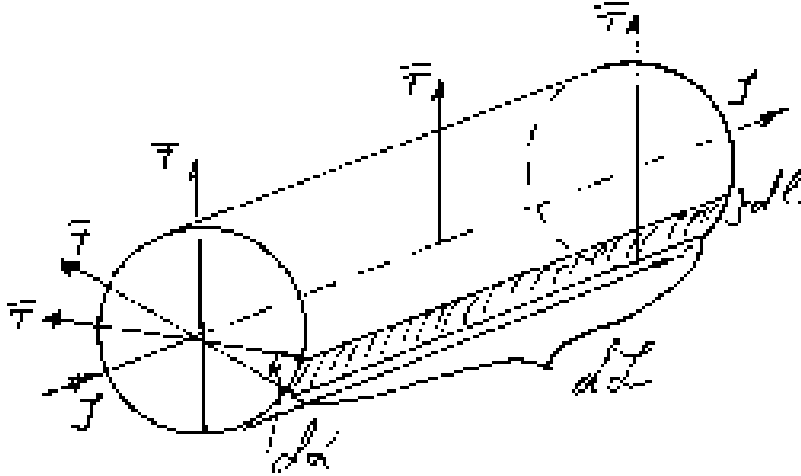


Рис. I-3

Так как  $dS = dL dl$  и  $dl = r d\alpha$ , то вычисления дают:

$$N_T = \int_0^L dL \int_0^{2\pi} v_o \frac{I}{2\pi r} r d\alpha = \mu_o I L > 0 \quad (11)$$

Таким образом, поле магнитного натяжения  $\bar{T}$  вокруг провода с током есть поле потенциальное, его силовая характеристика  $\bar{T}$  направлена по силам взаимодействия токов, создающих данное поле  $\bar{T}$ . При полной осевой симметрии магнитного

натяжения  $\bar{T}$  вокруг тока  $I$  по прямому проводу вдоль оси  $Z$

очевидно:  $\frac{dT_x}{dy} = \frac{dT_y}{dx}$  (12), откуда  $rot \bar{T} = 0$  (13).

По аналогии с определением:  $div \bar{E} = \frac{d \bar{N}_E}{dV}$  (14) найдем и

$$div \bar{T} = \frac{d \bar{N}_T}{dV} \quad (15), \text{ где: } N_T = \mu_o I L. \text{ Рассмотрим случай}$$

стационарного тока  $I = \text{Const}$ :

$$div \bar{T} = \frac{d}{dV} (\mu_o I L) = \mu_o I \frac{dL}{dV} = \mu_o \frac{dq}{dt} \frac{dL}{dV} = \mu_o \rho v_e \quad (16)$$

Так как  $i = \rho v_e$ , то  $div \bar{T} = \mu_o i$  (17)

Сводя полученные результаты по (17) и (22) с известными уравнениями Максвелла для стационарного тока, получим систему:

$$div \bar{E} = \frac{1}{\epsilon_o} \rho \quad (18), \quad div \bar{T} = \mu_o i \quad (19), \quad rot \bar{E} = 0 \quad (20) \text{ и } rot \bar{T} = 0 \quad (21).$$

В случае статики, когда заряды неподвижны, уравнение (19) вырождается в уравнение (18), а уравнение (21) вырождается в уравнение (20), сводя таким образом систему уравнений к двум известным уравнениям электростатического поля как частного случая поля электромагнитного, что полностью соответствует действительности. В силу наших определений (6) и (7) запишем:

$$T = \mu_o \frac{I}{2\pi r} = \frac{f}{I \Delta l} \quad (22), \text{ откуда легко видеть, что нахождение}$$

сил взаимодействия токов сводится к их вычислению по заданным токам в проводниках в известных полях магнитного

натяжения  $\bar{T} : \bar{f} = \bar{T} (I \Delta l)$  (23). Действительно, вывод

магнитодинамики об электромагнитной индукции при изменении магнитного натяжения вблизи проводника с изменением тока во

времени очевиден: так как  $T = \frac{I}{2\pi r}$  (24), то  $\frac{dT}{dt} = \frac{1}{2\pi r} \frac{dI}{dt} + \frac{I}{2\pi r^2} \frac{dr}{dt}$  (25).

К сказанному по выражениям для ЭДС электромагнитной индукции можно добавить, что величина ЭДС состоит из двух

частей:  $E = E_1 + E_2$  (26), где:  $E_1 = -A \frac{1}{r} \frac{dI}{dt}$  (27) и  $E_2 = -A \frac{I}{2\pi r^2} \cdot \frac{dr}{dt}$  (28).

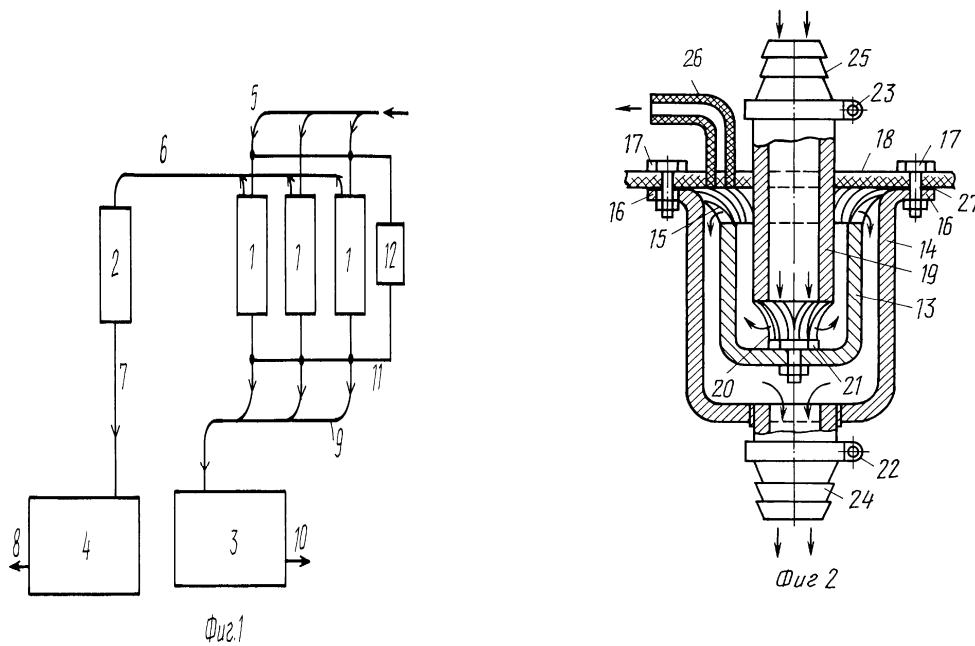
Ясно, что  $E_1$  возникает вследствие изменения тока  $I$  со временем, а  $E_2$  возникает в результате взаимодействия вторичного тока  $I_2$  с первичным  $I_1$  при изменении расстояния между ними. Данное обстоятельство, выраженное в зависимости (28) необходимо отметить здесь особенно, так как зависимость ЭДС от  $(\frac{1}{r^2})$

означает принципиальную возможность создания сверхвысоких напряжений в непосредственной близости от первичных проводников с переменными токами. Так, например, электролиты, проводимость которых на 5–6 порядков меньше проводимости металлических проводников, традиционной электротехникой не рассматриваются в качестве возможных электрических цепей.

Вместе с тем, из выражения (28) непосредственно следует, что при погружении первичной обмотки в электролит возможно образовать в нем значительные токи и, следовательно, вызвать заметные электромагнитные, электромеханические или электрохимические эффекты [1]. Для иллюстрации изложенных выше выводов здесь дополнительно к доложенным на конференциях «Сибресурс» [2] автором техническим решениям можно привести изобретения, направленные на экологизацию технологических процессов.

## **2. МАГНИТОДИНАМИЧЕСКИЙ АППАРАТ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ГИДРОКСИДА НАТРИЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИМ СПОСОБОМ НА ПЕРЕМЕННОМ ТОКЕ по патенту РФ № 2147555, БИ № 11/2000[3].**

Магнитодинамический аппарат для производства гидроксида натрия электрохимическим способом на переменном токе предназначен для полной механизации и автоматизации технологического процесса получения гидроксида натрия, поэтому он может быть использован на современных химических предприятиях, занятых производством соды каустической и др. Известно окислительно-восстановительное действие переменного тока на вещества в растворах и расплавах. Технической задачей, на решение которой направлено данное изобретение, является осуществление технологического процесса по производству гидроксида натрия из рассола поваренной соли с помощью индукционных токов, что позволяет предотвратить использование электродов, обеспечить непрерывный технологический процесс с полной механизацией и автоматизацией всех операций, включая загрузку сырья и извлечение продукции.



На Фиг. 1. показана технологическая схема магнитодинамического аппарата для производства гидроксида натрия электрохимическим способом на переменном токе. Магнитодинамический аппарат для производства гидроксида натрия электрохимическим способом на переменном токе включает в себя систему магнитодинамических электролизеров 1, приемник соляной кислоты 2, приемник каустической соды 3, накопитель соляной кислоты 4, трубопроводную магистраль с коллектором подвода рассола поваренной соли 5 к магнитодинамическим электролизерам 1, трубопроводную магистраль 6 с коллектором для сбора и отвода хлора и водорода из магнитодинамических электролизеров 1 в приемник соляной кислоты 2, трубопроводная магистраль 7 для отвода соляной кислоты в накопитель 4 с выводным патрубком 8, трубопроводная магистраль с коллектором 9 для отвода каустической соды из магнитодинамических электролизеров 1 в приемник 3 с выводным патрубком 10, линия электропередачи тока переменного 11 от блока электропитания 12 к магнитодинамическим электролизерам 1. На Фиг. 2. показан разрез магнитодинамического электролизера вертикальной плоскостью. Магнитодинамический электролизер 1 состоит из металлического тупикового стакана 13, электрически соединенного с металлическим проточным стаканом 14 токоотводящими лепестками 15. Стакан 14 вместе с коаксиально размещенным в нем стаканом 13 укреплены с помощью отбортовки 16 болтовыми креплениями 17 к электроизолирующей крышке 18. Входной трубчатый проводник 19 укреплен коаксиально внутри стакана 13 с помощью токоотводящих

лепестков 20, приваренных к болтовому соединению 21 проводника 19 со стаканом 13. Вывод стакана 14 и трубчатый проводник 19 снабжены кольцевыми хомутами с клеммами 22 и 23 для подсоединения линии электропитания электролизера. Вывод стакана 14 и ввод трубчатого проводника 19 снабжены штуцерами 24 и 25 для присоединения гидролиний согласно технологической схеме. В крышке 18 выполнен трубопроводный вывод 26 для газообразных хлора и водорода.

Герметизация электролизера обеспечивается прокладкой 27 между отбортовкой 16 стакана 14 и крышкой 18. Количество электролизеров 1 в аппарате по конкретному условию эксплуатации может быть произвольным и определяется заданной производительностью аппарата. Количество тупиковых стаканов 13 и проточных стаканов 14 в каждом электролизере 1 может быть произвольным и определяется по конкретным условиям эксплуатации заданной концентрации каустической соды на выходе из аппарата.

Габаритные размеры стаканов 13, 14 и трубчатого проводника 19 и толщина их стенок определяется заданной мощностью аппарата по конкретным условиям эксплуатации и ничем не ограничены.

Устройство магнитодинамического электролизера по описанию обеспечивает электрическое соединение коаксиальных стаканов 13 и 14 и трубчатого проводника 19 между собой согласно по магнитному полю и последовательно по гидротоку обрабатываемого рассола.

В качестве блока электропитания 12 может быть использована типовая трехфазная трансформаторная подстанция мощностью, согласованной с мощностью аппарата, электролизеры 1 которого должны быть распределены по фазам трехфазной сети равномерно.

Работает магнитодинамический аппарат для производства гидроксида натрия электрохимическим способом на переменном токе следующим образом: После выполнения технологической схемы (см. фиг. 1) по описанному с помощью типовой электрокоммутационной аппаратуры (на чертежах не показана) включается электропитание от блока электропитания 12 на магнитодинамические электролизеры 1, через которые с помощью типовой запорно-регулирующей аппаратуры и системы насосов (на чертежах не показаны) создается поток рассола поваренной соли. Согласно современным электрохимическим представлениям соль в растворе диссоциирована на ионы, находясь при отсутствии внешнего воздействия в термодинамическом равновесии. Так как трубчатые проводники стаканов 13, 14 и 19 соединены между собой электрически согласно по магнитному полю, то в цилиндрических зазорах между коаксиальными проводниками 13, 14 и 19 при протекании по ним

переменного тока создается мощное переменное магнитное поле, которое индуцирует в протекающем по цилиндрическим зазорам между проводниками 13, 14 и 19 рассоле переменные токи большой величины. Под воздействием переменных электротоков термодинамическое равновесие в растворе электролита нарушается, так как дополнительно к ионам диссоциированной поваренной соли образуются вследствие электролиза воды ее ионы водорода и гидроксидной группы. В результате взаимодействия под влиянием переменных индукционных токов ионов натрия, хлора, водорода и гидроксидной группы интенсивно протекает процесс восстановления молекул водорода и хлора, которые в виде пузырьков выделяются из рассола, нарушая первоначальный состав электролита, обедняя его ионами хлора и водорода, увеличивая соответственно концентрации ионов натрия и гидроксидной группы, являющихся составными частями каустической соды. Таким образом, суммарную реакцию разложения поваренной соли в магнитодинамическом электролизере 1 между трубчатыми проводниками 13, 14 и 19 под действием переменных индуцированных токов можно записать в виде:



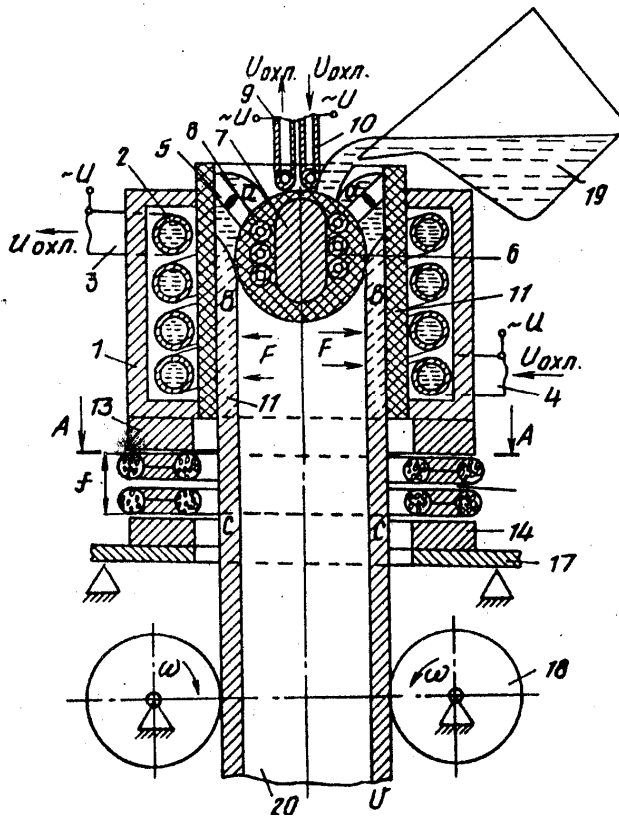
Соотношение концентраций продуктов этой суммарной реакции определяется величиной индукционных токов в электролите рассола, длительностью обработки их в зазорах между трубчатыми проводниками 13, 14 и 19 и первичной концентрацией поваренной соли в рассоле, то есть может быть задано конкретной мощностью электропитания магнитодинамического электролизера 1, его габаритными размерами и заданной производительностью аппарата, что в итоге и является достижением цели изобретения.

Продукты реакции по трубопроводным магистралям 6, 7, 9 отводятся к приемникам и накопителям 3 и 4, откуда расходуются по своему назначению. Так как все стадии технологического процесса по описанному от подачи рассола по трубопроводной магистрали с коллектором 5 до вывода продуктов реакции в магнитодинамическом электролизере 1 по трубопроводным магистралям и коллекторы 6, 7, 9 осуществляются и управляются с помощью гидронасосов и запорно-регулирующей аппаратуры, то использование систем типового электрофицированного дистанционного управления и измерения параметров технологического процесса обеспечивает реальную возможность полной механизации и автоматизации производства гидроксида натрия электрохимическим способом на переменном токе.

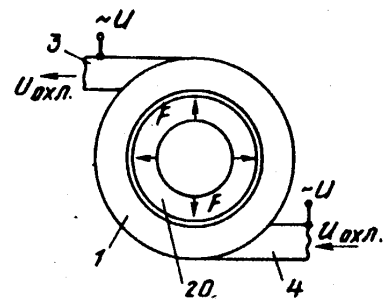


Эффективность магнитодинамического аппарата для производства гидроксида натрия и электрохимическим способом на переменном токе по описанному определяется габаритными показателями магнитодинамических электролизеров, количеством их в технологической схеме, общей мощностью установки по конкретным условиям эксплуатации.

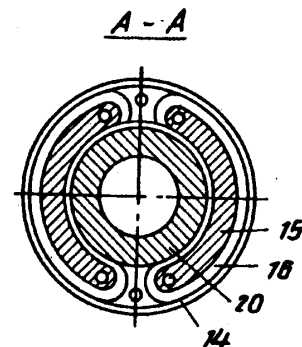
### 3. УСТАНОВКА ДЛЯ ЛИТЬЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ТРУБ ПО ПАТЕНТУ РФ № 2026768 [4]



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3

Изобретение предназначено для непрерывного литья металлических труб из различных сплавов, может быть использовано для производства труб из чугуна, стали и цветных сплавов. На фиг. 1 представлена схема установки для литья труб, продольный разрез; на фиг. 2 - схема электромеханического взаимодействия металла трубы с обмоткой переменного тока внутри стержня в кристаллизаторе; на фиг. 3 - разрез А-А на фиг. 1. На чертежах условно буквами обозначены: Изобретение предназначено для непрерывного литья металлических труб из различных сплавов, может быть использовано для производства труб из чугуна, стали и цветных сплавов. На фиг. 1

представлена схема установки для литья труб, продольный разрез; на фиг.2 - схема электромеханического взаимодействия металла трубы с обмоткой переменного тока внутри стержня в кристаллизаторе; на фиг.3 - разрез А-А на фиг.1. На чертежах условно буквами обозначены:  $v_{охл}$  - направление потока хладагента кристаллизатора;  $v$  - направление вытягивания готовой трубы из кристаллизатора;  $\omega$  - направление вращения тянущих валков;  $F$  - направления электромагнитного взаимодействия индуцированных токов в металле трубы и первичных токов в обмотке стержня;  $f$  - направления встряхивания кристаллизатора вибромеханизмом магнитодинамического типа. Установка для литья металлических труб состоит из кристаллизатора 1 в виде двустенного цилиндрического корпуса, между стенок которого размещена цилиндрическая обмотка 2 из трубчатого электроизолированного провода, соединенная гидравлически с помощью насосов с рефрижератором (не показан) и электрически с помощью коммутационной аппаратуры с источником переменного тока (не показан). Выводы 3 и 4 трубчатого провода обмотки 2 снабжены штуцерами и электроклеммами (не показаны). Внутри кристаллизатора 1 на кронштейнах 5 укреплен стержень 6 в виде обтекаемого (сферического, овального, эллиптического и др.) тела, внутри которого размещен ферромагнитный сердечник 7 с цилиндрической обмоткой 8 из трубчатого электроизолированного провода с выводами 9 и 10, соединенной с рефрижератором с помощью гидронасосов и электрически с помощью коммутационной аппаратуры с источником переменного тока. Внутренняя стенка 11 кристаллизатора 1, обтекаемый стержень 6 и кронштейны 5 выполнены из термостойкого электроизолирующего материала, например керамики и т.п. Внешний диаметр стержня 6 и внутренний диаметр кристаллизатора по стенке 11 различаются на удвоенную величину толщины стенки отливаемых труб. Каждая установка имеет набор стержней 6 со сменными кронштейнами 5 по заданным типоразмерам труб, отливаемым с помощью установки. Кристаллизатор 1 размещен на вибромеханизме магнитодинамического типа, состоящем из оконечных якорей 13 и 14, между которыми размещена система полукольцевых листовых сердечников 15 с обмотками 16 по периферии листовых сердечников 15. Обмотки 16 соединены между собой поочередно через один последовательно и подключены двумя системами: одна к источнику постоянного тока, другая к источнику переменного тока. Магнитодинамический вибромеханизм укреплен на основании 17, в

котором выполнено отверстие для выхода труб, отливаемых в установке. Внизу под основанием 17 размещены тянущие валки 18 с приводом (не показан), ножницы и погрузочные механизмы (не показаны). Сверху над установкой обеспечен доступ для ковша 19 с жидким металлом или желоб для подачи жидкого металла в случае непрерывного литья труб. Диаметры отверстий в магнитодинамическом вибромеханизме и основании 17 для выхода отлитых труб 20 выполнены с зазором между трубами 20 и обмоткой 16 вибромеханизма, величина которого выбирается из соображений термостойкости электроизоляции обмотки 16.

Установка для литья металлических труб работает следующим образом. Перед началом литья труб снизу между валками 18 до стержня 6 вставляется отрезок трубы - затравка, которая служит поддоном для отливки заданной трубы. В отрезке - затравке сверху может быть выполнен выступ-зуб для соединения с отливкой. После создания поддона включается электропитание переменным током на обмотки 2 и 8 в кристаллизаторе и стержне и включаются в работу насосы, создающие циркуляцию хладагента по трубчатым обмоткам 2 и 8 от рефрижератора. После подготовки к работе в верхнюю часть кристаллизатора 1 из ковша 19 или желоба заливается жидкий металл, сплав заданного состава, который, обтекая стержень 6, достигает поддона и образует металлическое кольцо, являющееся вторичной обмоткой трансформатора, первичными обмотками которого являются обмотки 2 и 8 из трубчатого охлаждаемого хладагентом провода. Так как обмотка 8 размещена в верхней части жидкого металлического кольца (на фиг. 1 область а), являясь внутренней обмоткой относительно вторичного тока по жидкометаллическому кольцу, то на него в данной области кристаллизатора действует раздающее усилие, прижимая жидкий металл к внутренней стенке 11 кристаллизатора. Так как кристаллизатор 1 и стержень 6 охлаждаются хладагентом, то температура жидкого металла снижается до его затвердевания, образуя раскаленное пластическое металлическое кольцо вокруг стержня 6, что позволяет включить привод тянущих валков 18 и вибромеханизма. Так как обмотка 2 создает в пластическом металлическом кольце (на фиг.1 область в) сжимающие усилия, то этим облегчается скольжение его по стенке 11 кристаллизатора 1 под действием вибромеханизма и тянущих валков 18. Скорость извлечения трубы из-под валков 18 и уровень жидкого металла в верхней части кристаллизатора поддерживается в соответствии с заданными производительностью установки, режимом охлаждения

кристаллизатора 1 и стержня 6, обеспечивая непрерывный процесс литья трубы, мерные отрезки которой после выхода за пределы области валков 18 (за пределы области с на фиг.1) отрезаются и укладываются для отгрузки. Так как раздающие усилия на жидкометаллическое кольцо с помощью индуцированных токов обмоткой 8 регулируются в соответствии с заданной толщиной стенки трубы и соотношения диаметров кристаллизатора и стержня это позволяет осуществлять отливку труб из различных сплавов и различных типоразмеров на одной установке. Так как сжимающие усилия в пластической части раскаленной трубы облегчают ее смещение относительно стенки кристаллизатора, то это предотвращает применение смазок, позволяя улучшить условия труда предотвращением испарений в помещении литья труб. Так как работа вибромеханизма обеспечивается непосредственной передачей электромагнитных усилий между обмотками 16 при перемагничивании листов - сердечников 15, повышается эффективность установки, предотвращая потери энергии на преобразование движений в механизме встряхивания.

Эффективность предлагаемой установки для литья металлических труб определяется ее размерами, потребляемой мощностью и заданным режимом охлаждения обмоток 2 и 8.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Вертинский П. А. К вопросу о перспективах развития электродинамики//Сб.ІV «Сибресурс», Иркутск, 2001.
2. [П.А.Вертинский. Электромеханические задачи магнитодинамики. Вып.2. ИрГТУ, Иркутск, 2008](http://bibliotekadzvон.narod.ru/docs/Vertinskij_Elektromagnitodinamika1.zip)  
[http://bibliotekadzvон.narod.ru/docs/Vertinskij\\_Elektromagnitodinamika1.zip](http://bibliotekadzvон.narod.ru/docs/Vertinskij_Elektromagnitodinamika1.zip)  
[http://bibliotekadzvон.narod.ru/docs/Vertinskij\\_Elektromagnitodinamika2.zip](http://bibliotekadzvон.narod.ru/docs/Vertinskij_Elektromagnitodinamika2.zip)  
[http://bibliotekadzvон.narod.ru/docs/Vertinskij\\_Elektromagnitodinamika3.zip](http://bibliotekadzvон.narod.ru/docs/Vertinskij_Elektromagnitodinamika3.zip)
3. Вертинский П. А. Магнитодинамический аппарат для производства гидроксида натрия электрохимическим способом на переменном токе//Патент РФ № 2147555, БИ № 11/2000.
4. Вертинский П. А. Установка для литья металлических труб //Патент РФ № 2026768, БИ № 2/1995.