

Винахід відноситься до процесів обробки плинних середовищ і до конструкції індукційних нагрівачів для їх здійснення.

Тут і далі, стосовно до винаходу, позначені:

терміном «плинне середовище»:

по-перше, вода з довільних природних джерел, особливо жорстка і/або забруднена патогенною мікрофлорою;

по-друге, довільні рідини і гази з природними і/або штучними дисперсними (у тому числі, механічними) домішками, тобто істинні розчини і/або суспензії і/або емульсії, і

по-третє, сипкі матеріали типу зерна, деревної тирси або інших дисперсних матеріалів рослинного походження, піску або інших попередньо диспергованих корисних копалин;

терміном «обробка» - нагрів плинного середовища, що знаходиться в замкненому об'ємі або протікає (пересипається) через замкнений об'єм бака індукційного нагрівача, на фоні дії знакозмінного електромагнітного поля індукційної обмотки і механічних вібрацій з частотою, яка відповідає (зокрема, кратна) частоті коливаний вказаного електромагнітного поля;

терміном «індукційний нагрівач» - апарат періодичної або, переважно, безперервної дії, оснащений магнітопроводом, щонайменше однією індукційною обмоткою, баком для розміщення або протікання оброблюваного плинного середовища і щонайменше одним короткозамкненим електропровідним нагрівальним елементом;

терміном «короткозамкнений електропровідний нагрівальний елемент» - резистивний елемент, що встановлений в бак індукційного нагрівача в зоні дії знакозмінного електромагнітного поля індукційної обмотки, слугує провідником для індукованих вихрових струмів і, під час роботи, під дією вказаного поля одночасно генерує тепло і механічно вібрує.

Загальновідомо, що нагрів багатьох плинних середовищ є необхідною передумовою їх подальшого практичного застосування. Найпростіші приклади - випаровування води в парових котлах і нагрів оборотної або свіжої води відповідно в замкнених системах водяного опалювання чи в розімкнених системах гарячого водопостачання. Загальновідома і потреба в придушенні патогенної мікрофлори в різноманітних плинних середовищах, зокрема в стерилізації:

води для пиття і, особливо, для медичних потреб,

молока тварин (звичайно коров'ячого, рідше козиного тощо) і молочних продуктів на основі рослинної сировини типу сої, горіхів і т.д.

Нагрів потрібен при підготовці обводненої нафти і гідратованого природного газу перед подачею в магістральні трубопроводи і при сушінні або іншій термообробці сипких матеріалів.

Для всіх зазначених плинних середовищ характерні домішки, які можуть осідати на теплопередавальних поверхнях.

Іноді випадання осадів знижує лише ефективність нагрівачів, але не погіршує (а нерідко навіть покращує) якість нагрітого продукту, як це відбувається з водою після осідання накипу.

Набагато частіше ефективність нагрівачів і якість нагрітих продуктів знижуються одночасно, наприклад при стерилізації або згущуванні молока в звичайних стерилізаторах або випарних апаратах. В цих процесах частина білків коагулює і осідає на теплопередавальних поверхнях і в трубопроводах, а харчова цінність білка, який залишається в стерилізованому молоці, через термічну денатурацію знижується тим помітніше, чим вище робоча температура.

Ще складніше стерилізувати воду, що містить стійку до нагрівання мікрофлору, наприклад, спори сибіркових бацил. В цих випадках заростання теплопередавальних поверхонь осадом відбувається поволі, але на перший план виходить проблема надійності і швидкості стерилізації при якомого меншій питомій витраті енергії.

На жаль, інженери дуже довго боролися або тільки з передумовами, або тільки з наслідками згаданих небажаних явищ, не втручаючись в процес нагріву як такий. Лише списки (не реферати!) публікацій, присвячених знесенню води перед кип'ятінням або видаленню накипу, термічній стерилізації води і рідких харчових продуктів, можуть зайняти сотні сторінок.

Тому навіть думка про можливість термообробки хімічно неоднорідних плинних середовищ без помітного блокування теплопередавальних поверхонь осадами і погіршення якості термооброблених плинних середовищ донедавна була крамольною.

«Світло в кінці тунелю» з'явилося з виходом на ринок технології регульованої гідродинамічної кавітації. Вона заснована на прокачуванні потоку плинного середовища через трубопровід, щонайменше одна ділянка якого оснащена турбулізатором для збудження кавітації.

Схлопування кавітаційних пухирців супроводжується нагрівом плинного середовища і збудженням в ньому механічних коливань переважно в смузі звукових частот. Інтенсивність цих коливань достатня для тонкого диспергування твердих або рідких домішок до рідкої основи плинних середовищ і помітного зменшення заростання стінок кавітаційних апаратів і трубопроводів осадами.

Далі, спільна дія підвищеної температури і інтенсивних механічних коливань приводить до термомеханічної деструкції не тільки мікроорганізмів з клітинною структурою, але й довільних полімерів. Так, в експериментах з виготовленням і стерилізацією соєвої пасти в кавітаційних апаратах було встановлено, що при певних режимах можлива глибока термомеханохімічна деструкція рослинних білків з виділенням сірководню (запах якого виходив від бракованої соєвої пасти).

Інакше кажучи, нагрів на фоні механічних вібрацій виявився досить універсальним засобом обробки різноманітних плинних середовищ і істотної зміни їх фізичних і/або хімічних властивостей і/або хімічного складу.

Проте кавітаційні апарати придатні для обробки тільки плинних середовищ на рідкій основі, які знаходяться під істотним надмірним (порівняно з атмосферним) тиском.

Наприклад, з WO 98/42987 відомий такий пристрій, в якому для збудження кавітації в основний потік рідкого плинного середовища вводять щонайменше один збуджуючий струмінь того ж самого або іншого за хімічним складом рідкого плинного середовища.

На жаль, кавітаційний процес в таких пристроях можна регулювати тільки зміною тиску на вході основного і збуджуючого струменів в зону турбулізації. Тому застосування кавітаційних пристроїв обмежено нагрівом води для систем водяного опалювання і гарячого водопостачання, приготуванням, як правило, бінарних (наприклад, водомазутових) емульсій і диспергуванням набряклого насіння рослин. Але навіть для таких простих процесів в

кавітаційних пристроях необхідно передбачати або контури рециркуляції оброблюваного плинного середовища (щоб поступово здригнувати частинки домішок до необхідних розмірів), або інтенсифікувати кавітаційний режим (що різко знижує надійність апаратури).

В WO 02/016783 A1 було запропоновано регулювати концентрацію важко зріджуваних газів (звичайно повітря) в плинному середовищі і, тим самим, змінювати швидкість схлопування кавітаційних пухирців (яка буде тим менша, ніж вища концентрація таких газів в кавітуючій рідині). Відповідно, був запропонований набір засобів газування і/або дегазації потоків плинних середовищ перед збудженням і/або після збудження кавітації з використанням довільного турбулізатора. Це дозволило підвищити надійність кавітаційних пристроїв у вказаній вище вузькій області їх застосування.

Зрозуміло, що одночасні виділення тепла і механічні коливання у всьому об'ємі оброблюваних плинних середовищ дуже привабливі для технологів.

Але чим вище в'язкість плинних середовищ, тим важче збудити в них кавітацію з метою нагріву і механохімічної обробки домішок. Далі, механічні коливання, що викликаються схлопуванням кавітаційних пухирців, практично не можна регулювати ні за амплітудою, ні за частотою навіть за умови управління концентрацією газів в плинних середовищах (тому шум від працюючих кавітаційних апаратів настільки сильний, що вони потребують надійної звукоізоляції, яка утрудняє їх технічне обслуговування і ремонт). І, нарешті, в таких апаратах не можна обробляти сипкі матеріали і аерозолі, в яких кавітація неможлива.

Тому для одночасної термічної і механохімічної обробки плинних середовищ потрібні такі засоби, які будуть позбавлені вище вказаних недоліків.

Їх основою, з погляду винахідників, можуть стати індукційні нагрівачі, активну потужність яких можна вибирати в широкому діапазоні залежно від підлягаючих обробці об'ємів плинних середовищ і легко регулювати в інтервалі від нуля до максимально допустимої для конкретного нагрівача, щоб не перегрівати оброблюване плинне середовище вище наперед заданої температури.

Вже відоме застосування індукційного нагріву для обробки плинних середовищ [див., наприклад: В.С. Чередниченко, Г.В. Снегирева и К. В. Хацевский «Электротехнологические процессы обработки воды в индукционных системах нагрева жидкостей»/Научный вестник Новосибирского государственного технического университета, 2003, № 1(14), Россия].

В цій статті на прикладі високотемпературного (до кипіння) нагрівання стандартної водопровідної води, що містить 6-7 мг/кг солей жорсткості, описані найближчі до пропонованих далі процесу і апарату:

(1) спосіб обробки плинних середовищ, що включає:

а) подачу порції або потоку неоднорідного за хімічним складом плинного середовища в індукційний нагрівач, який має бак, оснащений щонайменше одним засобом подачі-виведення плинного середовища і розташованим всередині щонайменше одним короткозамкненим електропровідним нагрівальним елементом, який, під час роботи нагрівача, зв'язаний електромагнітним полем з щонайменше однією індукційною обмоткою,

б) нагрів цього середовища на фоні дії знакозмінного електромагнітного поля до температури і протягом часу, які достатні для досягнення бажаних результатів (зокрема, до перетворення солей жорсткості в тонкодисперсний шлам, який може вільно витати в обробленому плинному середовищі), і

в) виведення обробленого плинного середовища з індукційного нагрівача; та (2) індукційний нагрівач для обробки плинних середовищ, який має:

(а) замкнений магнітопровід, що включає щонайменше два стрижні і два сполучні ярма;

(б) зокрема, щонайменше односекційну індукційну обмотку, яка охоплює щонайменше один вибраний стрижень магнітопровода і оснащена засобом для підключення до джерела змінного струму;

(в) переважно (хоча і не обов'язково) проточний бак з довільного (зокрема, електропровідного феромагнітного) матеріалу, який має:

щонайменше одну внутрішню стінку, яка охоплює вибраний стрижень магнітопровода (зокрема, разом з індукційною обмоткою), звичайно одну зовнішню стінку, яка розташована з зазором щодо внутрішньої стінки, і (зокрема, верхню і нижню) торцеві стінки, які щільно перекривають зазор між вказаними внутрішньою і зовнішньою стінками,

щонайменше один короткозамкнений електропровідний нагрівальний елемент, розміщений в порожнині бака і зв'язаний електромагнітним полем, під час роботи нагрівача, з щонайменше однією індукційною обмоткою; і

щонайменше один засіб для подачі свіжого і виведення обробленого плинного середовища.

У цьому індукційному нагрівачу кожний короткозамкнений електропровідний нагрівальний елемент має вигляд кільця, що жорстко закріплене усередині бака коаксально його внутрішній стінці. Для зниження вірогідності випадання накипу кожне кільце звичайно має гладку (поліровану) поверхню, а бічні сторони кілець можуть бути нахилені до горизонталі під кутом, який перевищує кут природного укусу частинок шламу в спокійному плинному середовищі.

Ця технологія націлена тільки на запобігання осадження солей на тепло передавальних поверхнях при нагріві жорсткої води. Обґрунтовування такого результату, звичайно, обмежені вказівкою на експериментальне підтвердження факт перетворення солей жорсткості (під одночасним впливом нагріву і знакозмінного електромагнітного поля) в тонкодисперсний шлам, здатний витати в нагрітій воді.

На жаль, відомі електротеплові процеси перебігають в надтонких шарах плинного середовища поблизу тепло передавальних поверхонь. Тому блокування цих поверхонь осадами виключено лише тоді, коли швидкість переміщення оброблюваного плинного середовища уздовж них перевищує деяку (різну для різних за складом і в'язкістю плинних середовищ) мінімальну швидкість, при якій починається поверхневе кипіння рідкої основи плинного середовища. При порушенні цієї умови накип швидко осідає навіть на полірованих вертикальних поверхнях. Тому у відомому індукційному нагрівачу можна обробляти лише плинні середовища типу ньютонівських рідин і у принципі неможливо обробляти сипкі матеріали. Суть винаходу

В основу винаходу положена задача зміною умов і засобів електротеплової дії на плинні середовища створити такий спосіб і такий індукційний нагрівач, які забезпечували б ефективно перемішування оброблюваних плинних середовищ практично у всьому об'ємі і, тим самим, дозволили б істотно розширити область практичного застосування індукційних нагрівачів.

Ця задача вирішена тим, що в способі обробки плинних середовищ, що включає:

подачу порції або потоку плинного середовища в індукційний нагрівач, який має бак, оснащений щонайменше одним засобом подачі-виведення плинного середовища і розташованим всередині щонайменше одним короткозамкненим електропровідним нагрівальним елементом,

нагрів цього середовища на фоні дії знакозмінного електромагнітного поля до температури і протягом часу, достатніх для досягнення бажаних результатів, і

виведення обробленого плинного середовища, згідно з винаходом плинне середовище подають в індукційний нагрівач, в якому щонайменше один короткозамкнений електропровідний нагрівальний елемент встановлений в баку з можливістю механічної вібрації в знакозмінному електромагнітному полі, і

нагрівають вибране плинне середовище на фоні дії знакозмінного електромагнітного поля з одночасним накладенням механічних вібрацій з частотою, яка відповідає частоті коливань електромагнітного поля індукційної обмотки.

Інтенсивна механічна вібрація забезпечує ефективне перемішування оброблюваних плинних середовищ практично у всьому об'ємі бака індукційного нагрівача. Це вирівнює температурне поле, істотно ослабляє небезпеку локального перегріву тих мікрошарів оброблюваних плинних середовищ, які безпосередньо прилягають до тепло передавальних поверхонь, і дозволяє істотно понизити ризик появи осадів на всіх тепло передавальних поверхнях і розширити технологічні можливості індукційних нагрівачів, а саме:

обробляти будь-які, переважно легко плинні середовища типу низько концентрованих водних розчинів солей або води, що стерилізується, навіть в таких індукційних нагрівачах, які експлуатують в періодичному режимі;

обробляти більш в'язкі середовища типу підлягаючих пастеризації або стерилізації фруктових і/або овочевих соків, молока, сиропів і т.п. переважно в режимі безперервного прокачування через проточні баки індукційних нагрівачів і

обробляти плинні середовища типу сипких матеріалів в режимі безперервного пересипання через проточні баки індукційних нагрівачів.

Мало того, описаний спосіб, як буде показаний далі, несподівано виявився придатним для швидкої і економічної стерилізації води, яка забруднена патогенною мікрофлорою, стійкою до тривалого нагріву в автоклавах.

Перша додаткова відмінність полягає в тому, що обробку проводять в безперервному режимі в індукційному нагрівачі з проточним баком, який має щонайменше один отвір для подачі плинного середовища на обробку уздовж тепло передавальних поверхонь короткозамкнених електропровідних нагрівальних елементів і щонайменше один отвір для виведення обробленого плинного середовища. Так бажано обробляти плинні середовища на рідкій основі.

Друга додаткова відмінність полягає в тому, що обробку проводять в безперервному режимі в індукційному нагрівачі з проточним баком, який має зверху щонайменше один отвір для подачі плинного середовища на обробку уздовж теплопередавальних поверхонь короткозамкнених електропровідних нагрівальних елементів і знизу щонайменше один отвір для виведення обробленого плинного середовища. Так бажано обробляти сипкі матеріали.

Задача вирішена також тим, що в індукційному нагрівачі для обробки плинних середовищ, який має:

(а) замкнений магнітопровід, що включає щонайменше два стрижні і два сполучні ярма;

(б) щонайменше односекційну індукційну обмотку, яка охоплює вибраний стрижень магнітопровода і оснащена засобом для підключення до джерела змінного струму;

(в) бак, який має:

щонайменше одну внутрішню стінку, яка охоплює вибраний стрижень магнітопровода, щонайменше одну зовнішню стінку, яка розташована з зазором щодо внутрішньої стінки, і торцеві стінки, які щільно перекривають зазор між внутрішньою і зовнішньою стінками,

щонайменше один короткозамкнений електропровідний нагрівальний елемент, розміщений в порожнині бака і зв'язаний, під час роботи нагрівача, електромагнітним полем з щонайменше однією індукційною обмоткою, і

щонайменше один засіб для подачі свіжого і виведення обробленого плинного середовища,

згідно з винаходом

щонайменше один короткозамкнений електропровідний нагрівальний елемент встановлений усередині бака з можливістю механічної вібрації під дією знакозмінного електромагнітного поля індукційної обмотки.

Саме ця конструктивна відмінність в сукупності з рештою ознак забезпечує переваги, які вказані вище після короткого опису способу обробки плинних середовищ згідно з винаходом.

Перша додаткова відмінність полягає в тому, що кожний вказаний короткозамкнений електропровідний нагрівальний елемент виконаний у вигляді відкритої з торців осесиметричної оболонки. Це дозволяє ефективно передавати вібрацію в товщу оброблюваного плинного середовища і перешкоджає формуванню осадів на тепло передавальних поверхнях за всією їх площею.

Друга, додаткова до першої відмінність, полягає в тому, що нагрівач має щонайменше два короткозамкнені електропровідні нагрівальні елементи у вигляді вільно охоплюючих одна іншу відкритих з торців осесиметричних оболонок. Це дозволяє вирівнювати механічне навантаження у всьому об'ємі оброблюваних плинних середовищ навіть у випадках, коли їх в'язкість істотно перевищує в'язкість води.

Третє, додаткова до першої або другої відмінність полягає в тому, що кожна вказана осесиметрична оболонка сполучена з однією із стінок бака проникними для плинного середовища пружними опорами. Такі опори забезпечують зручне кріплення осесиметричних оболонок усередині бака і достатню свободу їх механічних вібрацій під дією знакозмінного електромагнітного поля.

Четверта, додаткова до третьої відмінність полягає в тому, що вказані вільно охоплюючі одна іншу осесиметричні оболонки по черзі приєднані вказаними пружними опорами до протилежних торцевих стінок бака. Це дозволяє встановлювати осесиметричні оболонки на різній висоті, а у разі розташування вихідного патрубка поблизу індукційної обмотки забезпечити таку організацію потоку оброблюваного плинного середовища, коли воно у міру нагріву наближається до вказаної обмотки і потрапляє в зону максимальної дії магнітного поля.

П'ята, додаткова до третьої або четвертої відмінність полягає в тому, що власна частота f_0 коливань кожної пари «короткозамкнений електропровідний нагрівальний елемент у вигляді осесиметричної оболонки - пружна опора» задовольняє співвідношенню $f_0 = (0,5-2,0) 2f_c$, де f_c - робоча частота джерела змінного струму для живлення індукційної обмотки. Примусові коливання короткозамкнених електропровідних нагрівальних елементів

з частотою, близькою до їх резонансної частоти, додатково утрудняють осадження на тепло передавальних поверхнях таких домішок, які спочатку були присутні в плинних середовищах або виникли в процесі їх обробки. Це дозволяє створювати індукційні нагрівачі, які таким чином спеціалізовані на обробці певних плинних середовищ, що дозволяють найефективніше захищати тепло передавальні поверхні від осадів.

Шоста, додаткова до першої відмінність полягає в тому, що в порожнині бака встановлена щонайменше одна опора у вигляді жорсткої проникної для оброблюваного плинного середовища підставки, яка має щонайменше один паз для вільного розміщення частини торця щонайменше однієї вказаної осесиметричної оболонки. Навіть підставки у вигляді кілець забезпечують практично вільні деформаційні переміщення вібруючих осесиметричних оболонок. Якщо ж підставки мають вигляд декількох розташованих на рівних кутових відстанях деталей, то їх розташування в баку щодо вхідного отвору неважко вибрати так, щоб мінімізувати гідравлічний опір потоку оброблюваного плинного середовища.

Сьома, додаткова до шостої відмінність полягає в тому, що нагрівач має щонайменше дві розташовані на різній висоті вказані підставки і відповідну кількість ярусів вказаних осесиметричних оболонок, при цьому підставки нижнього ярусу встановлені на нижній стінці торця бака, а підставки кожного наступного ярусу прикріплені до внутрішньої і/або зовнішньої стінки бака і встановлені з осьовим зазором щодо осесиметричних оболонок попереднього ярусу. Це полегшує введення осесиметричних оболонок в резонансний режим коливань і термохімічну обробку плинних середовищ під дією тепла, знакозмінного електромагнітного поля і інтенсивних вібрацій.

Восьма і дев'ята, додаткові до другої або сьомої відмінності полягають, відповідно, в тому, що вказані осесиметричні оболонки виготовлені:

з однакового за питомим електричним опором матеріалу і мають різну зростаючу у міру віддалення від індукційної обмотки товщину, або

з матеріалів з різним питомим електричним опором, що зменшується у міру віддалення від індукційної обмотки.

Це дозволяє вирівнювати потужність вихрових струмів, індуктованих в осесиметричних оболонках, розташованих на різних відстанях від індукційної обмотки, і, отже, вирівнювати температурне поле в об'ємі бака.

Десята додаткова відмінність полягає в тому, що нагрівач оснащений такими додатковими джерелами постійного магнітного поля, які вибрані з групи, що складається з постійних магнітів, які попарно закріплені поблизу протилежних торцевих стінок бака за умови, що магніти в кожній парі звернені один до другого різнополюсними магнітними полюсами, і струмових обмоток, які попарно охоплюють стрижні магнітопровода по різні сторони торцевих стінок бака і оснащені засобами зустрічного підключення до джерела постійного струму. Взаємодія знакозмінних вихрових струмів, індуктованих в осесиметричних оболонках, і постійного магнітного поля:

по-перше, істотно збільшує механічну вібрацію вказаних оболонок і оброблюваного плинного середовища,

по-друге, сприяє посиленню ролі магнітного поля у фізико-хімічних перетвореннях домішок, які містять оброблювані рідкі середовища, і

по-третє, додатково перешкоджає випаданню осадів на тепло передавальні поверхні.

Одинадцята додаткова відмінність полягає в тому, що нагрівач має:

магнітопровід з трьома вертикальними стрижнями, які жорстко зв'язані спільним нижнім ярмом і спільним верхнім ярмом

трисекційну індукційну обмотку, кожна секція якої охоплює один стрижень магнітопровода, і

три окремі проточні баки, кожний з яких охоплює одну з секцій індукційної обмотки і оснащений всередині щонайменше одним таким короткозамкненим електропровідним нагрівальним елементом, який виконаний у вигляді відкритої з торців осесиметричної оболонки, що охоплює внутрішню стінку бака і відповідну секцію індукційної обмотки.

Такий індукційний нагрівач призначений для підключення до трифазної промислової електромережі змінного струму безпосередньо або через відповідний перетворювач частоти і може бути використаний як високопродуктивний апарат для обробки однакових або різних за складом плинних середовищ на рідкій основі.

Дванадцята, додаткова до одинадцятої відмінність полягає в тому, що нагрівач має:

спільний роздавальний колектор з нижніми вхідними патрубками для подачі у вказані баки свіжого плинного середовища на обробку і

спільний збірний колектор для відведення обробленого плинного середовища з вказаних баків через верхні відповідні патрубки.

Таке трубопровідне об'єднання полегшує експлуатацію трисекційного нагрівача з окремими баками.

Тринадцята додаткова відмінність полягає в тому, що нагрівач має:

магнітопровід з трьома вертикальними стрижнями, які жорстко зв'язані спільним нижнім ярмом і спільним верхнім ярмом,

трисекційну індукційну обмотку, кожна секція якої охоплює один стрижень магнітопровода,

один проточний бак, що має одну спільну зовнішню стінку, охоплюючи всі секції індукційної обмотки, і три окремі внутрішні стінки, кожна з яких охоплює одну секцію цієї обмотки, і

короткозамкнені електропровідні нагрівальні елементи у вигляді щонайменше трьох відкритих з торців осесиметричних оболонок, які встановлені щонайменше в один ярус на проникних для плинного середовища пружних опорах або жорстких підставках коаксіально відповідним внутрішнім стінкам вказаного бака, а

отвори для подачі свіжого і виведення обробленого плинного середовища виконані відповідно в торцевих стінках вказаного бака.

Таким шляхом вдається істотно зменшити гідравлічний опір потоку оброблюваного плинного середовища і експлуатаційні витрати на його прокачування через бак.

Чотирнадцята додаткова відмінність полягає в тому, що нагрівач має:

двосекційну однофазну індукційну обмотку, секції якої встановлені з осьовим зазором навкруги одного вертикального стрижня магнітопровода,

в засобі для підключення вказаних секцій до джерела змінного струму передбачений один спільний для обох секцій вхід і два виходи через напівпровідникові діоди з різною полярністю окремо для кожної секції,

бак розміщений у вказаному осьовому зазорі між торцями вказаних секцій,

до внутрішньої і зовнішньої стінок бака практично паралельно торцям вказаних секцій щонайменше в два яруси прикріплені проникні для плинного середовища опорні обойми, короткозамкнені електропровідні нагрівальні елементи виконані у вигляді щонайменше двох плоских кілець, які практично горизонтально встановлені у вказаних обоймах з можливістю вібрацій, а отвори для подачі свіжого і виведення обробленого плинного середовища виконані в діаметрально протилежних частинах зовнішньої стінки бака.

Цей індукційний нагрівач найзручніший для стерилізації води для питних і медичних потреб.

П'ятнадцята додаткова відмінність полягає в тому, що нагрівач має:

магнітопровід, що має верхній і нижній горизонтальні стрижні і вертикально розташовані «ліве ядро» і «праве ядро»,

однофазну індукційну обмотку і проточний горизонтальний бак, які охоплюють один горизонтальний стрижень вказаного магнітопровода, і

щонайменше два короткозамкнені електропровідні нагрівальні елементи у вигляді плоских кілець, які вертикально розташовані усередині бака,

при цьому отвори для подачі свіжого і виведення обробленого плинного середовища виконані в діаметрально протилежних верхній і нижній частинах зовнішньої стінки бака.

Такий нагрівач придатний для обробки плинних середовищ, які є сипкими матеріалами.

Шістнадцята, додаткова до п'ятнадцятої відмінність полягає в тому, що нагрівач оснащений додатковими джерелами магнітного поля у вигляді постійних магнітів, які встановлені в зазорі між зовнішньою стінкою бака і відповідним горизонтальним стрижнем магнітопровода. Взаємодія знакозмінного індукovanого струму і постійного магнітного поля істотно збільшує механічну вібрацію вказаних плоских кілець і оброблюваного сипкого матеріалу, що практично виключає зависання такого матеріалу усередині бака.

Сімнадцята додаткова відмінність полягає в тому, що нагрівач має:

горизонтально розташований магнітопровід з трьома стрижнями, які жорстко зв'язані спільним «переднім ядром» і спільним «заднім ядром»,

трисекційну індукційну обмотку, кожна секція якої охоплює один стрижень магнітопровода,

проточний бак, який має одну спільну зовнішню стінку, що охоплює всі секції індукційної обмотки, і три окремі внутрішні стінки, кожна з яких охоплює одну секцію індукційної обмотки, і

три групи короткозамкнених електропровідних нагрівальних елементів, кожний з яких має вигляд плоского кільця, при цьому кожна група містить щонайменше два вказаних кільцевих елемента, які встановлені з осьовими зазорами з можливістю вільних коливань щонайменше у вертикальному напрямі і всі разом охоплюють відповідну внутрішню стінку вказаного бака, а

отвори для подачі свіжого і виведення обробленого плинного середовища виконані в діаметрально протилежних верхній і нижній частинах вказаної спільної зовнішньої стінки бака.

Індукційний нагрівач такого типу однаково придатний для обробки плинних середовищ на рідкій основі (переважно за умови їх прокачування через бак знизу вгору) і сипких матеріалів (що подаються в бак і що виводяться з бака самопливом зверху вниз).

Вісімнадцята, додаткова до сімнадцятої відмінність полягає в тому, що вказані плоскі кільця, з яких складається середня група короткозамкнених електропровідних нагрівальних елементів, частково розташовані в осьових зазорах між вказаними плоскими кільцями, з яких складаються крайні групи короткозамкнених електропровідних нагрівальних елементів. Це найдоцільніше при обробці плинних середовищ у вигляді сипких матеріалів.

Фахівцю зрозуміло, що при виборі конкретних варіантів здійснення винаходу можливі довільні комбінації вказаних додаткових відмінностей з основним винахідницьким задумом і що описані нижче переважні приклади його втілення жодним чином не обмежують обсяг прав.

Далі суть винаходу пояснюється докладним описом різних варіантів конструкції індукційного нагрівача і процесів обробки плинних середовищ з посиланнями на додані креслення, де зображені на:

фіг. 1 - індукційний нагрівач з односекційною однофазною індукційною обмоткою і вертикальним баком і короткозамкненими нагрівальними елементами у вигляді відкритих з торців осесиметричних оболонок, які пов'язані з нижньою торцевою стінкою бака пружними опорами (схематичний подовжній розріз);

фіг. 2 - аналогічний показаному на фіг. 1 індукційний нагрівач з вертикальним баком, в якому осесиметричні оболонки по черзі приєднані пружними опорами до верхній і нижній торцевих стінок бака (схематичний подовжній розріз);

фіг. 3 - індукційний нагрівач з односекційною однофазною індукційною обмоткою і вертикальним баком, в якому осесиметричні оболонки вільно охоплюють одна іншу, розміщені в один ярус по висоті і спираються на три підставки, встановлені на нижній торцевій стінці бака (схематичний подовжній розріз);

фіг. 4 - поперечний перетин по АА нагрівача, показаного на фіг. 3;

фіг. 5 - аналогічний показаному на фіг. 3 індукційний нагрівач з вертикальним баком, в якому осесиметричні оболонки розміщені в декілька ярусів по висоті, в кожному ярусі вільно охоплюють одна іншу і спираються на підставки, встановлені на нижній торцевій стінці бака для нижнього ярусу і на внутрішній і/або зовнішній стінці бака для решти ярусів (схематичний подовжній розріз);

фіг. 6 - аналогічний показаному на фіг. 3 індукційний нагрівач з вертикальним баком і осесиметричними оболонками різної (зростаючої у міру віддалення від індукційної обмотки) товщини (схематичний подовжній розріз);

фіг. 7 - аналогічний показаному на фіг. 3 індукційний нагрівач з вертикальним баком і постійними магнітами як додатковими джерелами магнітного поля (схематичний подовжній розріз);

фіг. 8 - аналогічний показаному на фіг. 7 індукційний нагрівач з вертикальним баком і додатковими джерелами магнітного поля у вигляді додаткових обмоток, що підключаються до джерела постійного струму (схематичний подовжній розріз);

фіг. 9 - трифазний індукційний нагрівач з трьома односекційними індукційними обмотками, трьома проточними вертикальними баками і короткозамкненими нагрівальними елементами у вигляді відкритих з торців осесиметричних оболонок, які встановлені усередині баків на підставках (схематичний подовжній розріз);

фіг. 10 - те ж, що на фіг. 9, з додатковими постійними магнітами;

фіг. 11 - трифазний індукційний нагрівач зі спільним проточним вертикальним баком і короткозамкненими нагрівальними елементами у вигляді відкритих з торців осесиметричних оболонок, які встановлені усередині бака на жорстких підставках коаксіальне окремим індукційним обмоткам (схематичний подовжній розріз);

фіг. 12 - індукційний нагрівач з двосекційною однофазною індукційною обмоткою, горизонтальним проточним баком, який розміщений в зазорі між вказаними секціями вказаної обмотки і горизонтальними короткозамкненими електропровідними нагрівальними елементами у вигляді плоских кілець, які охоплюють вертикальний стрижень магнітопровода (схематичний подовжній розріз);

фіг. 13 - електрична схема підключення двох секцій однофазної індукційної обмотки з фіг. 12 до джерела змінного струму;

фіг. 14 - індукційний нагрівач з односекційною однофазною індукційною обмоткою, горизонтальним проточним баком, що охоплює верхній стрижень вертикально розташованого магнітопровода, вертикальними короткозамкненими електропровідними нагрівальними елементами у вигляді плоских кілець і додатковими джерелами магнітного поля у вигляді постійних магнітів (схематичний подовжній розріз);

фіг. 15 - трифазний індукційний нагрівач з горизонтальним магнітопроводом, спільним проточним баком і вертикально розташованими короткозамкненими електропровідними нагрівальними елементами у вигляді плоских кілець;

фіг. 16 - поперечний переріз нагрівача, показаного на фіг. 15.

Найкращі варіанти реалізації винахідницького задуму

Індукційний нагрівач згідно з винаходом в будь-якому варіанті конструктивного виконання (див. креслення, особливо фігури 1, 3, 5, 9, 12, 14 і 15) містить:

магнітопровід 1, звичайно виготовлений з шихтованної електротехнічної сталі (для роботи переважно на промисловій частоті 50 або 60 Гц) або з відповідного фериту (для роботи на високих частотах, що перевищують 1 кГц) і має щонайменше два не позначених особливо стрижня і два також не позначених особливо сполучних ярма;

як правило, багатопитову щонайменше односекційну індукційну обмотку 2, яка розташована на вибраному стрижні магнітопровода 1 і оснащена щонайменше одним засобом підключення до зовнішнього джерела змінного струму;

бак 3, який виготовлений з електропровідного матеріалу, наприклад неіржавіючої сталі, або діелектричного матеріалу, наприклад термостійкої пластмаси типу полікарбонату або тефлону, і має не позначені особливо:

щонайменше одну внутрішню стінку, яка охоплює вибраний стрижень магнітопровода 1 (звичайно разом з індукційною обмоткою 2),

щонайменше одну зовнішню стінку, яка розташована з зазором щодо внутрішньої стінки, і торцеві стінки, які щільно перекривають зазор між внутрішньою і зовнішньою стінками, і як правило два засоби, наприклад два патрубкі або колектор для подачі свіжого і виведення обробленого плинного середовища, які на кресленнях позначені написами «Вхід» і «Вихід» (фахівцю зрозуміло, що щонайменше один з таких патрубків або колекторів оснащений не показаним відповідним запірно-регулюючим елементом типу крана або вентиля для регулювання витрати плинного середовища і/або для замикання бака 3 на якийсь час, достатній для обробки вибраної порції плинного середовища);

щонайменше один короткозамкнений нагрівальний елемент 4, виготовлений з електропровідного (магнітного або немагнітного) матеріалу; і

щонайменше одну опору 5 для розміщення цих елементів 4 усередині бака 3 з можливістю механічних вібрацій під дією знакозмінного електромагнітного поля індукційної обмотки 3.

Конкретні варіанти конструкції індукційних нагрівачів можуть бути дуже різноманітні.

В найпростішому випадку (див. фіг. 1) замкнений магнітопровід 1 має два практично вертикальних стрижня і два практично горизонтальних ярма. Односекційна обмотка 2 щільно охоплює один із стрижнів магнітопровода 1 і оснащена довільним засобом підключення до зовнішнього джерела змінного струму. Бак 3 має коаксіальні переважно циліндричні зовнішню і внутрішню стінки, щонайменше один вхід і меншій мірі один вихід у вигляді наскрізних отворів в торцевих стінках і оснащений, як правило, декількома короткозамкненими нагрівальними елементами 4, кожен з яких виконаний у вигляді відкритої з торців осесиметричної оболонки. Ці (переважно циліндричні) оболонкові нагрівальні елементи 4 коаксіальне з кільцевими зазорами вільно охоплюють один інший і, для забезпечення можливості механічної вібрації, приєднані щонайменше до однієї із стінок бака 3 проникними для плинного середовища пружними опорами 5.

В нагрівачі згідно з фіг. 1 всі вказані оболонкові елементи 4 приєднані пружними опорами 5 до нижньої стінки торця бака 3, а в нагрівачу згідно фіг. 2 такі елементи 4 по черзі приєднані пружними опорами 5 до протилежних торцевих стінок бака 3.

Незалежно від порядку приєднання вказаних елементів 4 до стінок бака 3 бажано, щоб власна частота f_0 коливань кожної пари «короткозамкнений електропровідний нагрівальний елемент 4 у вигляді осесиметричної оболонки - пружна опора 5» задовольняв співвідношенню $f_0 = (0,5-2,0) 2f_c$, де f_c - робоча частота джерела змінного струму, що використовується для живлення індукційної обмотки 2.

Оболонкові нагрівальні елементи 4 можуть бути встановлені в баках 3 в один ярус (фіг. 3) або декілька ярусів (фіг. 5) на опорах 5 у вигляді жорстких підставок.

Такі опори 5 можуть мати вигляд не показаних особливо на кресленнях кілець з наскрізними радіальними отворами для пропускання плинного середовища і кільцевими пазами на опорній поверхні для вільного розміщення торців вказаних елементів 4.

Але бажано виготовляти жорсткі опори 5 у вигляді щонайменше двох (а переважно не менше трьох) окремих деталей, які з боку опорної поверхні мають добре видні на фігурах 3, 4 і 5 пази для вільного розміщення торців оболонкових нагрівальних елементів 4. Це полегшує пропуск плинного середовища в зазори між стінками бака 3 і/або вказаними елементами 4.

Природно, що жорсткі опори 5 у вигляді окремих деталей повинні бути:

встановлені на практично рівних кутових відстанях одна від одної (зокрема, як на фіг. 4) і

прикріплені або до нижньої стінки торця бака, якщо елементи 4 розміщені лише в один ярус (фіг. 3) чи відносяться до нижнього ярусу (фіг. 5), або до зовнішньої стінки і/або внутрішньої стінки бака 3 (фіг. 5) з осьовим

ззором щодо осесиметричних оболонок попереднього ярусу, якщо передбачено щонайменше два яруси оболонок нагрівальних елементів 4.

При застосуванні декількох оболонок нагрівальних елементів 4, коаксіально розташованих на різних відстанях від індукційної обмотки 2, доцільно, щоб такі елементи 4:

або мали різну товщину, що зростає у міру віддалення від обмотки 2, як це показано на фіг. 6 для випадків застосування матеріалу з однаковим питомим електричним опором,

або - при однаковій товщині - були виготовлені з матеріалів з різним питомим електричним опором, що зменшується у міру віддалення від обмотки 2.

Також доцільно, щоб в індукційному нагрівачу були передбачені додаткові джерела постійного магнітного поля. Ними можуть служити:

постійні магніти 6, які попарно закріплені ззовні бака 3 поблизу його протилежних торцевих стінок за умови, що магніти 6 в кожній парі звернені один до другого різноіменними магнітними полюсами (див. фіг. 7), і

струмові обмотки 7, які попарно охоплюють стрижні магнітопровода 2 по різні сторони торцевих стінок бака 3 і оснащені не показаними особливо засобами зустрічного підключення до відповідного джерела постійного струму (фіг. 8).

Високопродуктивні індукційні нагрівачі великої потужності (10 кВт і більш) доцільно будувати на основі магнітопроводів 1 з трьома стрижнями і трисекційних індукційних обмоток 2, кожна секція яких охоплює один стрижень магнітопровода (див. фігури 9, 10, 11, 15 і 16). Такі нагрівачі слід підключати до трифазної промислової електромережі. В іншій конструкції трифазних індукційних нагрівачів можуть помітно розрізнятися.

Так, на фіг. 9 показаний нагрівач, що має магнітопровід 1 з трьома вертикальними стрижнями, які жорстко зв'язані спільними нижнім і верхнім ярмами. Цей нагрівач оснащений трьома окремими проточними вертикальними баками 3 і короткозамкненими нагрівальними елементами 4 у вигляді відкритих з торців осесиметричних оболонок, які встановлені усередині баків 3 на жорстких опорах (підставках) 5.

Кожний бак 3 такого нагрівача може мати додаткові джерела постійного магнітного поля, наприклад, у вигляді постійних магнітів 6, як показано на фіг. 10.

Якщо трифазний індукційний нагрівач призначений для обробки в усіх баках 3 одного і того ж плинного середовища, ці баки 3 можуть бути підключені (див. фігури 9 і 10):

до джерела свіжого плинного середовища - через не позначені особливо спільний роздавальний колектор з нижніми вхідними патрубками, а

до споживача обробленого плинного середовища - через також не позначені особливо верхні відвідні патрубки і спільний збірний колектор.

Трифазний індукційний нагрівач може мати спільний проточний вертикальний бак 3 з однією зовнішньою і трьома внутрішніми стінками і з отворами для подачі свіжого і виведення обробленого плинного середовища в торцевих стінках, як показано на фіг. 11. Якщо кількість таких отворів для подачі і виведення плинного середовища буде більше двох, то спільний бак 3 може бути оснащений вказаним вище трубопровідним обв'язуванням. Очевидно, що короткозамкнені нагрівальні елементи 4 у вигляді відкритих з торців осесиметричних оболонок повинні бути встановлені на жорстких опорах (підставках) 5 коаксіально окремим секціям індукційної обмотки 2 і відповідним внутрішнім стінкам спільного бака 3.

Особливості конструкції трифазного індукційного нагрівача для обробки сипких матеріалів, який показаний на фігурах 15 і 16, будуть розглянуті далі.

А поки повернемося до опису індукційних нагрівачів для обробки плинних середовищ на рідкій основі. Особливий варіант такого нагрівача, розроблений переважно для стерилізації плинних середовищ має (див. фіг. 12):

магнітопровід 1 з практично вертикальними стрижнями і практично горизонтальними ярмами,

двохсекційну однофазну індукційну обмотку 2, секції якої 2a і 2b охоплюють один із стрижнів магнітопровода 1 і розташовані з осьовим ззором,

практично горизонтальний проточний бак, який розміщений в осьовому зазорі між секціями 2a і 2b вказаної обмотки 2 і має в діаметрально протилежних частинах своєї зовнішньої стінки отвори для подачі свіжого і виведення обробленого плинного середовища,

практично горизонтальні короткозамкнені електропровідні нагрівальні елементи 4, які виконані у вигляді щонайменше двох плоских кілець, встановлені усередині бака 3 і коаксіально охоплюють частину вертикального стрижня магнітопровода 1, вільну від секцій вказаної обмотки 2, і

опори 5, які виконані у вигляді проникників для плинного середовища обойм, попарно прикріплені до внутрішньої і зовнішньої стінок бака 3 паралельно торцям вказаних секцій 2a і 2b і призначені для установки з можливістю вібрацій вказаних кільцевих елементів 4.

Засіб для підключення вказаних секцій 2a і 2b вказаної обмотки 2 до джерела змінного струму має (див. фіг. 13) один спільний для обох секцій вхід 8 і два виходи через напівпровідникові діоди 9 з протилежною полярністю.

Плоскі кільцеві короткозамкнені електропровідні нагрівальні елементи 4 можуть бути використані в інших, різних за конструкцією індукційних нагрівачах, призначених переважно для обробки сипких матеріалів. Їх загальною ознакою служить практично горизонтальне розташування стрижнів магнітопровода 1.

Найпростіший індукційний нагрівач такого типу показаний на фіг. 14, має магнітопровід, що включає верхній і нижній горизонтальні стрижні і вертикально розташовані «ліве ярмо» і «праве ярмо», односекційну однофазну індукційну обмотку 2 і горизонтальний проточний бак 3, які охоплюють один горизонтальний (зокрема, верхній) стрижень магнітопровода 1. Отвори для подачі свіжого і виведення обробленого плинного середовища виконані в діаметрально протилежних верхній і нижній частинах зовнішньої стінки бака 3.

Щонайменше два плоскі кільцеві нагрівальні елементи 4 вільно встановлені в баку 3 в ряд уздовж стрижня магнітопровода 1 на опори 5 у вигляді циліндричної втулки (а переважно - у вигляді сектора такої втулки) з не позначеними особливо вертикальними пазами, глибина яких перевищує максимально можливу амплітуду механічних коливань елементів 4 під дією знакозмінного електромагнітного поля індукційної обмотки 2.

Для посилення дії цього поля нагрівач можна оснастити додатковими джерелами магнітного поля переважно у вигляді щонайменше двох постійних магнітів 6. Вони можуть бути розташовані, як показано на фіг. 14, тобто в зазорі між зовнішньою стінкою бака 3 і вказаним стрижнем магнітопровода 1 за умови, що їх однойменні полюси обернуті в один бік. Проте не виключено і таке розташування постійних магнітів 6, як це було вище описано з

посиланням на фіг. 7, тобто попарно ззовні бака 3 поблизу його протилежних торцевих стінок за умови, що магніти 6 в кожній парі звернені один до другого різноіменними магнітними полюсами.

На фіг. 15 показаний трифазний індукційний нагрівач, який має:

горизонтально розташований магнітопровід 1 з трьома стрижнями, які жорстко зв'язані спільним «переднім ярмом» і спільним «заднім ярмом»,

трисекційну індукційну обмотку 2, кожна секція якої охоплює один стрижень вказаного магнітопровода 1 і, під час роботи нагрівача, підключена до однієї з фаз трифазної промислової мережі змінного струму,

проточний бак 3, що має одну спільну зовнішню стінку, охоплюючи всі секції індукційної обмотки 2, і три окремі внутрішні стінки, кожна з яких охоплює одну секцію цієї обмотки 2, і

три групи короткозамкнених електропровідних нагрівальних елементів 4, кожний з яких має вигляд плоского кільця, при цьому в кожній групі вказані кільцеві елементи 4 встановлені з осьовими зазорами і всі разом охоплюють відповідну внутрішню стінку вказаного бака 3, а

отвори для подачі свіжого і виведення обробленого плинного середовища виконані в діаметрально протилежних верхній і нижній частинах спільної зовнішньої стінки бака 3.

Кожна вказана група включає щонайменше два плоскі кільцеві нагрівальні елементи 4, які встановлені в бак 3 в ряд уподобж відповідного стрижня магнітопровода 1 на власній опорі 5 у вигляді циліндричної втулки (а переважно - у вигляді сектора такої втулки) з не позначеними особливі вертикальними пазами, глибина яких перевищує максимально можливу амплітуду механічних коливань елементів 4 під дією знакозмінного електромагнітного поля відповідної секції індукційної обмотки 2. Такі опори 5 забезпечують можливість вільних коливань кільцевих нагрівальних елементів 4 щонайменше у вертикальному напрямі.

Бажано, щоб плоскі кільця, з яких складається середня група короткозамкнених електропровідних нагрівальних елементів 4, були частково розташовані в осьових зазорах між плоскими кільцями, з яких складаються крайні групи короткозамкнених електропровідних нагрівальних елементів 4, як це показано на фігурі 16. Це дозволяє скоротити габарити нагрівача.

Незалежно від конкретної конструкції в будь-якому працюючому індукційному нагрівачу згідно з винаходом відбуваються наступні процеси:

кожна індукційна обмотка 2 генерує знакозмінне електромагнітне поле з об'ємною густиною потужності електромагнітної енергії, яка визначається загальною споживаною потужністю і робочим об'ємом бака 3,

деформації електронних оболонок в атомах, з яких складаються оброблювані плинні середовища, у вказаному електромагнітному полі (що звичайно відображається на реакційній здатності і фізико-хімічних властивостях компонентів вказаних середовищ),

передавані в оброблюване плинне середовище механічні вібрації короткозамкнених електропровідних нагрівальних елементів 4 в такт з коливаннями знакозмінного електромагнітного поля, інтенсивність яких залежить від активної потужності, споживаної індукційною обмоткою 2, і в'язкості плинного середовища,

нагрів вказаних короткозамкнених елементів 4 вихровими струмами і

практично рівномірний нагрів і також рівномірна термомеханохімічна обробка плинного середовища внаслідок енергообміну (особливо, теплообміну) і масопереносу в об'ємі оброблюваного плинного середовища, які інтенсивно відбуваються навіть тоді, коли бак(и) 3 виготовлений(і) з діелектрика і оснащений(і) лише одним короткозамкненим електропровідним нагрівальним елементом 4.

Джерела магнітного поля у вигляді постійних магнітів 6 або струмових обмоток 7 служать додатковими (відповідно, пасивними або активними) регуляторами вказаних процесів.

Спосіб обробки плинних середовищ в індукційному нагрівачу згідно з винаходом в загальному вигляді передбачає наступні операції:

1) при обробці в періодичному режимі:

1.1) подачу порції свіжого плинного середовища в порожнину бака 3 до рівня не нижче за верхню кромку короткозамкнених нагрівальних елементів 4,

1.2) перекриття щонайменше нижнього входу в бак 3 (якщо обробка, наприклад сушка піску або деревної тирси, може бути проведена у контакті з атмосферою) або входу і виходу (якщо обробка, наприклад стерилізація води, потребує ізоляції від атмосфери),

1.3) власне обробку (при сукупній дії електромагнітного поля, тепла і механічних вібрацій, доповнюваних, за бажанням, дією постійного магнітного поля) при параметрах (які можна легко підібрати шляхом пробних експериментів) протягом часу, достатнього для настання бажаного ефекту (наприклад, перетворення солей жорсткості в нерозчинний легко відділюваний шлам, загибелі мікроорганізмів, диспергування твердих і/або рідких домішок до частинок необхідного розміру і т.д.), і

1.4) видалення обробленого плинного середовища з бака 3 для споживання, зберігання або подальшої переробки;

2) при безперервній обробці:

2.1) підбір шляхом пробних експериментів з вибраним плинним середовищем таких параметрів, як температура його нагріву, робоча частота індукційної обмотки 2 (і, відповідно, частота механічних вібрацій короткозамкнених нагрівальних елементів 4), швидкості прокачування (витрати) оброблюваного плинного середовища через бак 3 і, в окремих випадках, об'ємної густини потужності в баку 3, і

2.2) власне прокачування (або пересипання) оброблюваного плинного середовища через бак 3 з заданою швидкістю при встановлених фізичних параметрах.

Для експериментів по описаній комплексній обробці плинних середовищ був виготовлений проточний індукційний нагрівач, який мав:

магнітопровід 1 з вертикально розташованими стрижнями, виготовлений з пластин електротехнічної сталі марки Э330 завтовшки 0,35 мм,

однофазну многовиткову індукційну обмотку 2 потужністю 4,6 кВт, розраховану на живлення від промислової мережі з максимальним струмом 21 А при $\cos \varphi = 0,95$,

бак 3 робочим об'ємом 3,0 л і шість короткозамкнених нагрівальних елементів 4 у вигляді коаксіальних трубчастих циліндричних оболонок, які були виготовлені з неіржавіючої сталі.

К.п.д. такого нагрівача був рівний 0,93.

Приклад 1. Обробка шахтної води.

Пробу мутнуватої шахтної води об'ємом 20 л, яка мала характерне для солей заліза забарвлення і початкову мінералізацію 4,6 г/л, після хімічного аналізу прокачували крізь описаний вище експериментальний індукційний нагрівач з витратою 9 л/хв протягом 10 хв при температурі усередині бака 3 в інтервалі 80-85°C.

Оброблену воду центрифугували при 6500 об/хв. протягом 5 хвилин для відділення тонкодисперсного шламу. Прозору безбарвну рідину повторно піддали хімічному аналізу.

Результати зведені в таблицю 1.

Як видно з таблиці 1, спосіб згідно з винаходом забезпечує ефективну високопродуктивну демінералізацію жорсткої води і тому може служити основою промислових технологічних процесів видобування мінеральної сировини з нетрадиційних джерел.

Приклад 2. Обробка води, зараженої патогенною мікрофлорою.

Дистильовану воду інокулювали культуральною рідиною з концентрацією біомаси патогенного мікроорганізму *Pseudomonas mendocina* P-13 5 г/л з подальшим розведенням до концентрації 10^5 клітин/мл.

Отриману клітинну суспензію обробляли в описаному вище індукційному нагрівачі в періодичному режимі в об'ємі близько 2,5 л в кожній пробі.

Після обробки проводили посів на живильному середовищі типу МПА. Колонії виявляли по яскравому забарвленню. Умови і результати експериментів наведені в таблиці 2.

Як видно з таблиці 2, спосіб згідно з винаходом забезпечує ефективну високопродуктивну стерилізацію води при дуже низьких робочих температурах і тому може служити основою промислових технологічних процесів знезараження питної води і пастеризації або стерилізації текучих харчових продуктів.

Поеднання нагріву, дії електромагнітного поля і механічної вібрації в індукційних нагрівачах забезпечує надзвичайно широкі можливості обробки довільних неоднорідних плинних середовищ для зміни їх фізичних і/або хімічних властивостей і хімічного складу.

Індукційні нагрівачі для такої обробки можна серійно виготовляти на наявних машинобудівних заводах з використанням загальнодоступних матеріалів.

Таблиця 1

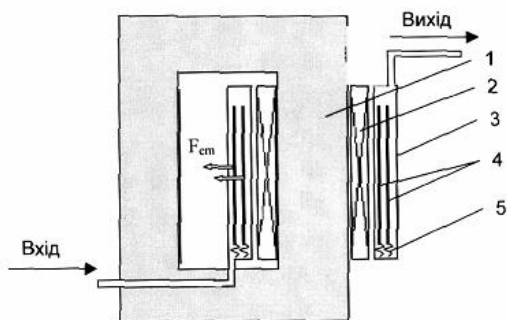
Ефективність обробки шахтних вод

Дані	Показники (для концентрації - мг/л)								
	pH	SO ₄ ²⁻	Fe	Si	MI	Co	Cl	Na	Ho
початкові	3,8	3800	400	15	0,6	0,3	20	135	229
кінцеві	7,7	2200	15	5,3	<0,005	<0,005	4	35	42

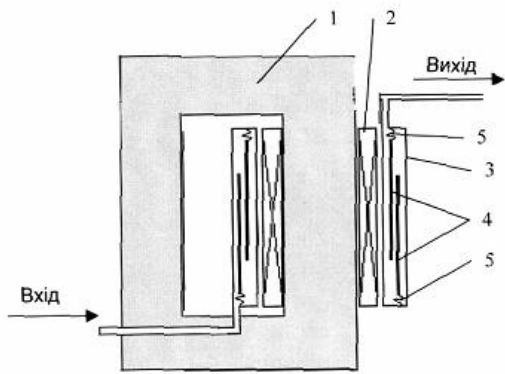
Таблиця 2

Ефективність стерилізації

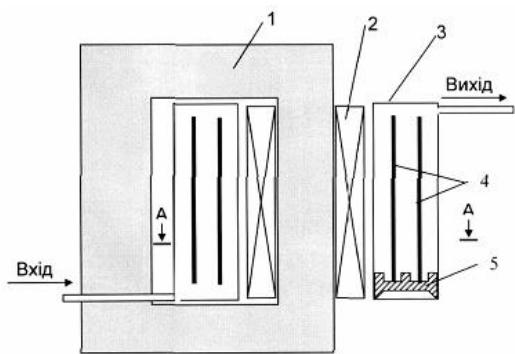
Тип досвіду	Номер проби	Експозиція, мін	Температура, оС	Зростання колоній
контроль	1	-	20	явне
Нагрів з вібрацією в електромагнітному полі	2	4,1	30	слабке
	3	4,1	58	немає
	4	4,1	80	немає
	5	1,7	30	помітне
		1,7	58	немає



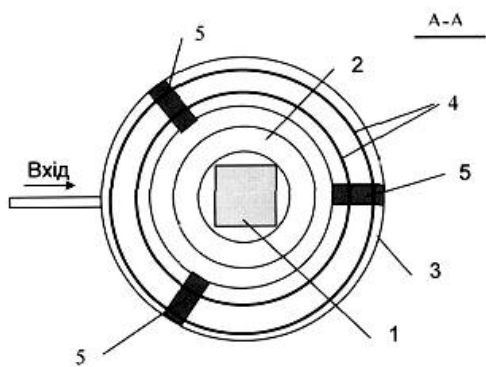
Фіг. 1



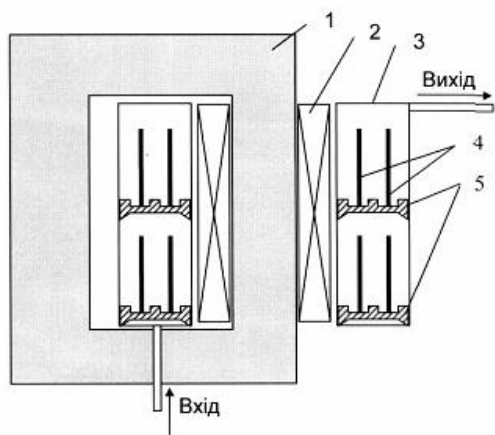
Фіг. 2



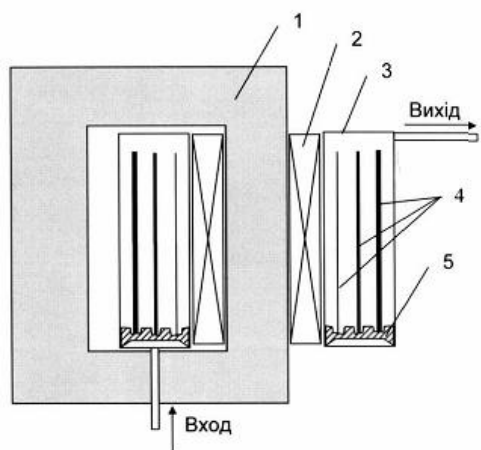
Фіг. 3



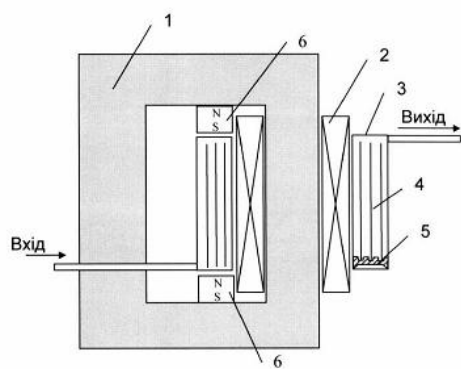
Фіг. 4



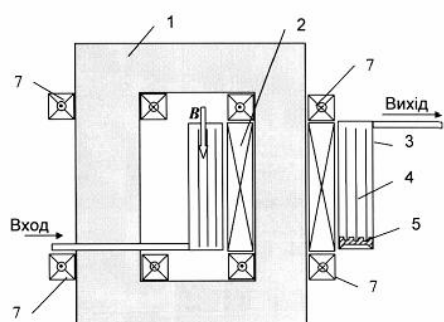
Фіг. 5



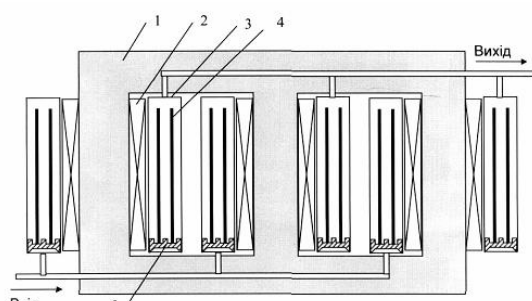
Фіг. 6



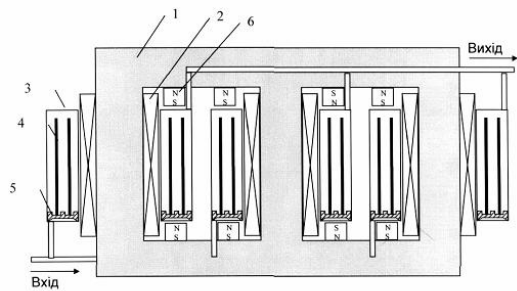
Фіг. 7



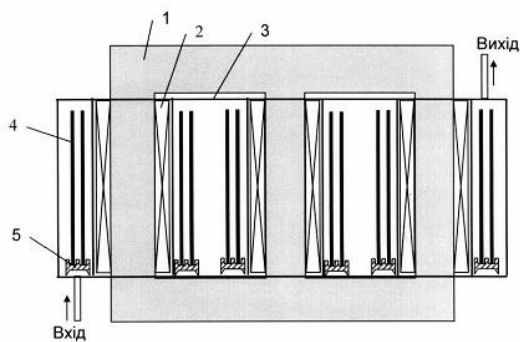
Фіг. 8



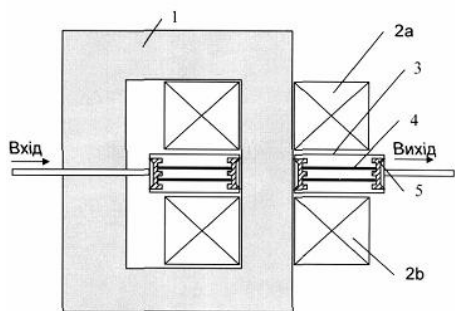
Фіг. 9



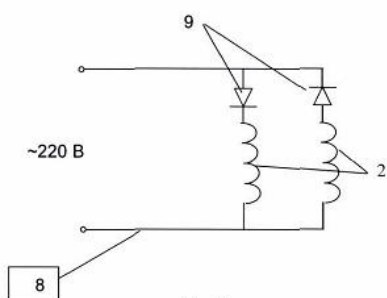
Фиг. 10



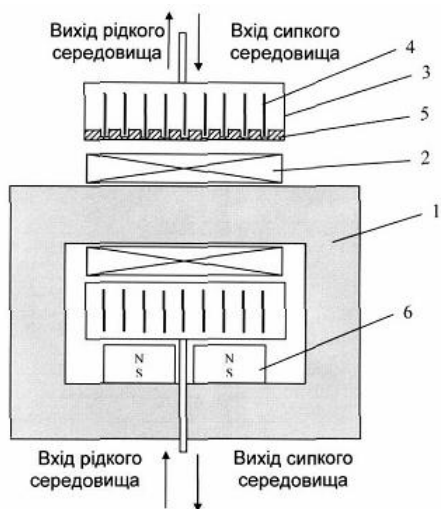
Фиг. 11



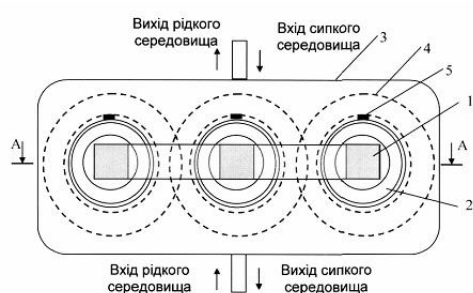
Фиг. 12



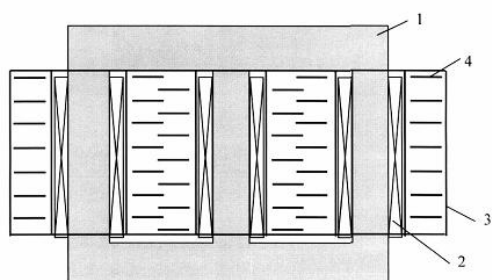
Фиг. 13



Фіг. 14



Фіг. 15



Фіг. 16