



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 112904

(13) U

(51) МПК

H05B 6/64 (2006.01)

B65D 88/74 (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ**

(21) Номер заявки: а 2016 05621

(22) Дата подання заявки: 25.05.2016

(24) Дата, з якої є чинними  
права на корисну  
модель: 10.01.2017(46) Публікація відомостей  
про видачу патенту: 10.01.2017, Бюл.№ 1

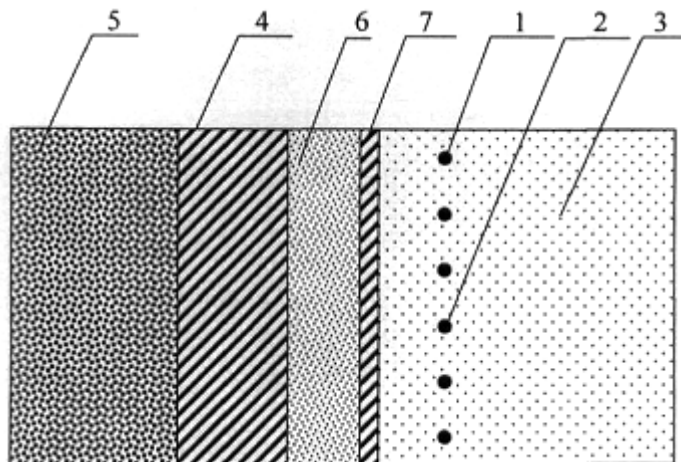
(72) Винахідник(и):

Поспелов Леонід Андрійович (UA),  
Стулов Євген Валерьевич (UA),  
Планковський Сергій Ігорович (UA)

(73) Власник(и):

НАЦІОНАЛЬНИЙ АЕРОКОСМІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ ІМ. М.Є. ЖУКОВСЬКОГО  
"ХАРКІВСЬКИЙ АВІАЦІЙНИЙ ІНСТИТУТ",  
вул. Чкалова, 17, м. Харків, 61070 (UA)**(54) СПОСІБ НАГРІВУ В'ЯЗКИХ НАФТОПРОДУКТІВ В ЦИСТЕРНІ****(57) Реферат:**

Спосіб нагріву в'язких продуктів в цистерні оснований на перетворенні електромагнітного випромінювання в теплову енергію. В'язкий продукт нагрівають електромагнітним випромінюванням у вигляді уповільнених поверхневих хвиль. Глибину скін-шару яких в напрямку їх розповсюдження вибирають співрозмірною з довжиною периметра осьового розрізу стінки цистерни. Глибину скін-шару уповільнених поверхневих хвиль в напрямку, перпендикулярному до напрямку розповсюдження уповільнених поверхневих хвиль, вибирають співрозмірною з відстані електромагнітного екрана до поверхні, на якій амплітуда уповільнених поверхневих хвиль досягає максимуму. Потужність електромагнітного випромінювання вибирають співрозмірною з потужністю теплових витрат в'язкого продукту через зовнішню поверхню цистерни, частоту електромагнітного випромінювання вибирають із співвідношення:  $\delta(f) \approx L$ .



UA 112904 U



Корисна модель належить до галузі транспортування, зокрема до розвантаження залізничних цистерн з в'язкими нафтопродуктами, тобто, для розігріву мазуту в цистернах і подальшого його зливу до іншої ємкості.

Відомий спосіб нагріву в'язкого продукту в резервуарі (див. 5 <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/6051.html> "Система поддержки температуры в хранилище мазута"), який будується на тому, що підігрівають мазут в сховищі в зоні всмоктуючого патрубка мазутного насоса, для чого використовують парову котельню, систему паропроводів і мазутопроводів, насосів для пари і нагрітого до 150-180 °С мазуту під високим тиском (до 2 атм.). Передача тепла від поверхні до глибинних шарів мазуту відбувається за 10 рахунок механізму теплопровідності і градієнта температури. Градієнт температури мазуту близький до значень теплоізоляторів. Для передачі тепла потрібен високий градієнт температури. Це призводить до необхідності використання високих температур перегрітої пари (до 230 °С), що обумовлює ряд недоліків цього способу, наприклад виділення екологічно шкідливих парів мазуту. Перегріваний мазут із пристінкових областей цистерни виділяє велику 15 збиткову кількість тепла при зливі мазуту, що проводить до зниження економічності цього способу. Але головний недолік цього способу - те, що перегріта пара безпосередньо контактує зі зовнішньою металевою оболонкою кожуха, крізь яку він протікає. Через те, що зовнішня оболонка обдувається атмосферним повітрям, градієнти температур у десятки разів вище градієнтів температур у мазуті. Тому основні втрати тепла пари обумовлено витоками його до 20 атмосфери.

Найбільш близьким до заявленого технічного рішення є спосіб нагріву нафтопродуктів за допомогою надвисокочастотного (НВЧ) випромінювання (див. СВЧ (сверхвысокочастотный) нагрев продуктов перевозки / Бербасов В.А. и др. // брошюра ГНТП "Салют" предприятие "Элвис". - изд-во г. Нижний Новгород, 2000 г. - С. 3 и 14). Нагрів в'язкого нафтопродукту в цьому 25 технічному рішенні базується на введенні електромагнітного випромінювання (ЕМВ) надвисокочастотного (НВЧ) діапазону до об'єму в'язкого нафтопродукту (ВП) і нагріву його за допомогою перетворення енергії НВЧ в теплову енергію в'язкого нафтопродукту.

Головним недоліком цього способу є те, що електромагнітне випромінювання вибраного діапазону НВЧ не дозволяє одночасно нагріти увесь об'єм в'язкого нафтопродукту, тому що 30 глибина його скін-шару співрозмірна з довжиною хвилі електромагнітного випромінювання у ньому і суттєво менше розміру цистерни. Тому в відомому способі при об'ємному нагріві за допомогою електромагнітного випромінювання у малій частині в'язкого нафтопродукту, який заповнює цистерну, нагрів залишків в'язкого нафтопродукту у віддалених частинах цистерни виконують за рахунок механізму теплопровідності в'язкого нафтопродукту, що не є ефективним 35 унаслідок цього низької теплопровідності. Поблизу антени електромагнітне поле дуже неоднорідне, тому близькі до антени ділянки в'язкого нафтопродукту збитково перегріваються, а для нагріву віддалених ділянок доводиться витрачати надто довгий час. Перегріві ділянки в'язкого нафтопродукту випаровують шкідливі газоподібні компоненти, що погіршує навколишню екологію, а також призводить до витікання із цистерни частини тепла. У цьому способі важко 40 нагріти пристінні шари в'язкого нафтопродукту і виконати їх повний злив. Це обумовлено тим, що стінки цистерни найбільш віддалені від антени, а також тим, що збиткові витрати тепла витікають до атмосфери від нагрітих стінок цистерни.

Таким чином цей спосіб є не екологічним, його практично не можливо автоматизувати, і він є в цілому збитковим.

В основу корисної моделі поставлено задачу забезпечення рівномірності розподілу температури при нагріві цистерни з в'язким нафтопродуктом і підвищення економічності зливу 45 в'язкого нафтопродукту. Зменшення потрібного обсягу роботи щодо очищення цистерни і утилізації брухту цієї очистки, що також підвищує економічну ефективність цієї процедури. Зменшення випаровувань шкідливих газоподібних компонентів та покращення екологічної складової процесу. 50

Поставлена задача вирішується тим, що в способі нагріву в'язких продуктів в цистерні, основаному на перетворенні електромагнітного випромінювання у теплову енергію, згідно з корисною моделлю, в'язкий нафтопродукт нагрівають електромагнітним випромінюванням у вигляді уповільнених поверхневих хвиль, глибину скін-шару яких у напрямку їх розповсюдження 55 вибирають співрозмірною з довжиною периметра осьового розрізу стінки цистерни, глибину скін-шару уповільнених поверхневих хвиль в напрямку перпендикулярному до напрямку розповсюдження уповільнених поверхневих хвиль, вибирають співрозмірною з відстанню електромагнітного екрана до поверхні, на якій амплітуда уповільнених поверхневих хвиль досягає максимуму, потужність електромагнітного випромінювання вибирають співрозмірною з

потужністю теплових витрат в'язкого продукту крізь зовнішню поверхню цистерни, частоту електромагнітного випромінювання вибирають із співвідношення:

$$\delta(f) \approx L,$$

5

де  $\delta(f)$  - глибина скін-шару електромагнітного випромінювання в'язкого нафтопродукту уповільненої поверхневої хвилі вздовж напрямку її розповсюдження;

$L$  - довжина периметру осьового розрізу стінки цистерни.

На кресленні зображений пристрій нагріву в'язких продуктів в цистерні, який має в своєму складі генератор електромагнітного випромінювання 1, підключений до антени 2, яка виконана у вигляді довільної спіральної системи, що занурена у в'язкий продукт 3, крок спіральної довільної системи виконаний співрозмірним з відстанню спіралі до металевої стінки цистерни 4, а на внутрішній і зовнішній поверхні металевої стінки цистерни щільно розміщені зовнішній 5 та внутрішній 6 шари теплоізолятора відповідно, причому на внутрішньому шарі 6 термоізолятора розміщений електропровідний екран 7, товщина якого співрозмірна з глибиною скін-шару електропровідного випромінювання в ньому.

Цистерна має стандартну форму у вигляді циліндричної труби  $R$ , закритою з обох кінців півсферами того ж радіуса. Зовнішній шар 5 теплоізолятора, наприклад, у вигляді емульсії із піни нанесений фарбопультом, а внутрішній шар 6 теплоізолятора виконаний, наприклад, у вигляді фольгованого пінополіуретану, який приклеєно до внутрішньої стінки цистерни епоксидним клеєм. Антена 2 виконана, наприклад, в вигляді двозаходової спіральної уповільненої системи і розташована еквідистантно з електропровідним екраном 7 на відстані  $d$  від нього. Генератор 1 підключений до антени 2 відомим способом.

Спосіб реалізують наступним чином: в порожній цистерні наносять внутрішній шар 6 теплоізолятора разом з електромагнітним екраном 7; наносять зовнішній шар 5 теплоізолятора; установлюють антену 2, з'єднуючи її з генератором 1 ЕМВ; заповнюють цистерну в'язким нафтопродуктом 3 так, щоб антена 2 була повністю занурена. Вмикають генератор 1 ЕМВ, який збуджує у антені 2 електромагнітне випромінювання, що розповсюджується у в'язкому нафтопродукті 3, і передає йому свою енергію у вигляді тепла. В'язкий нафтопродукт 3 охолоджують за рахунок обміну тепла крізь поверхню зовнішнього шару 5 теплоізолятора з оточуючим цистерну повітрям. Електропровідний екран 7 поглинає електромагнітне випромінювання, яке потрапило на нього і тим самим не пропускає електромагнітне випромінювання в сторону внутрішнього шару 6 теплоізоляції. При цьому електропровідний екран 7 нагрівається і передає за допомогою механізму теплопровідності частину своєї теплової енергії шару в'язкого нафтопродукту 3, який безпосередньо прилягає до електропровідного екрана 7. В результаті чого в кожний момент часу буде здійснюватись новий розподіл температури в'язкого нафтопродукту 3 в цистерні, який інтегрально характеризується сумарним потоком теплової потужності крізь поверхню цистерни. Результуюча величина цього потоку теплової потужності залежить від початкового розподілу температури у в'язкому нафтопродукті 3, температури оточуючого цистерну повітря, яка є функцією часу, товщини теплоізолюючих шарів 5 і 6, відрізка часу цього процесу, потужності і частоти генератора 1, геометрії та розміщення антени 2 відносно металевої стінки цистерни 4.

Рівномірність розподілу температури в'язкого нафтопродукту 3 по радіусу цистерни забезпечується вибором величини скін-шару  $\delta_1$  ЕМВ у напрямку, перпендикулярному напрямку розповсюдження уповільненої поверхневої хвилі та вибором відстані  $l$  між електропровідним екраном 7 і антеною 2.

Для нашого прикладу, коли крок  $h$  спіральної уповільненої системи набагато менший за радіус спіральної уповільненої системи, яка має порядок радіусом  $R$  цистерни, буде справедливою оцінка:

50

$$\delta_1 \approx h.$$

Вибір кроку  $h$  спіральної уповільненої системи забезпечує електромагнітне випромінювання ЕМВ напрямку, перпендикулярному напрямку розповсюдження уповільненої поверхневої хвилі, тобто в напрямку, перпендикулярному поверхні металевої стінки 4 цистерни. Через те, що амплітуда уповільненої поверхневої хвилі має максимум на поверхні антени 2, вибором величини кроку  $h$  спіральної уповільненої системи забезпечують підвищення рівномірності розподілу температури у напрямку, перпендикулярному розповсюдженню уповільненої поверхневої хвилі вздовж антени 2. Вибором величини  $l$ , відстані від електромагнітного екрана

7 до антени 2, регулюють величину температури пристінного шару в'язкого нафтопродукту ВП 3, і таким чином підвищують рівномірність нагріву його в цій області. Забезпеченням рівномірності розподілу температури по об'єму в'язкого нафтопродукту 3 досягають двох технічних результатів: повного зливу в'язкого нафтопродукту 3 з цистерни, чому сприяє нагрітий до необхідної температури (25 °С) пристінковий шар; і підвищення економічності зливу в'язкого нафтопродукту 3, що обумовлено відсутністю надлишкового нагріву окремих об'ємів всередині цистерни. Повний злив зменшує потрібний обсяг праці щодо очищення цистерни і утилізації брухту цієї очистки. Це також підвищує економічну ефективність цієї процедури.

Введенням в пристрій шарів 5 і 6 теплоізолятора досягають зменшення витрат потужності  $P_n$ , яку визначають відношенням:

$$P_n = \alpha \frac{S}{h} \Delta T,$$

де  $P_n$  - потужність втрат в кВт, що віддається цистерною в оточуюче повітря;

$\alpha$  - коефіцієнт теплоємності шарів 5, 6 теплоізолятора;

$S$  (кв. м) загальна площа поверхні цистерни;

$$\Delta T = T_E - T_0,$$

де  $T_E$  - температура електропровідного екрана 7;

$T_0$  - температура оточуючого повітря;

$h$  - товщина теплоізоляції

$$h = h_1 + h_2,$$

де  $h_1$ , і  $h_2$  - товщина зовнішнього та внутрішнього шарів 5 і 6 теплоізоляції відповідно.

Вибором величини  $h$  забезпечують допускну величину потужності  $P_r$  генератора 1 в силу співвідношення:

$$P_r \approx \frac{1}{h}.$$

Внутрішній шар 6 теплоізолятора забезпечує необхідний нагрів електромагнітного екрана 7 до заданої температури, при якій злив пристінкових шарів в'язкого нафтопродукту 3 буде достатньо повним, що необхідно для забезпечення вищезначених технічних результатів. Цьому також сприяє введення до зовнішнього шару 5 теплоізолятору. Це пояснюється таким чином. Через постійність потоку потужності крізь окремі шари (5, 6, 7) температура металевої стінки 4 цистерни буде дорівнювати:

$$T_u = \frac{1}{2}(T_0 + T_e) + P_r \left( \frac{h_1}{\alpha_1} + \frac{h_2}{\alpha_2} \right),$$

де  $T_u$  - температура металевої стінки 4 цистерни;

$T_e$  - температура електропровідного екрана 7;

$\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  - відповідно коефіцієнти теплоємності шарів 5, 6 теплоізолятора.

Температура  $T_u$  металевої стінки цистерни буде вищою за температуру  $T_0$  оточуючого цистерну повітря при наявності шарів 5, 6 теплоізоляторів, а потік потужності тепла крізь теплопровідний екран 7 зменшується, і частина температури може бути використана для потрібного нагріву екрана 7.

Оцінку потрібної потужності  $P_r$  генератора ЕМВ можна зробити наступним чином. За умови незмінюваності потужності теплового потоку, який проходить крізь шари: шар в'язкого нафтопродукту 3 (наприклад, мазуту); електропровідного екрана 7; внутрішнього та зовнішнього

шарів 6 і 5; відповідно теплоізоляторів і металеву стінку 4 цистерни, і рівність потужності генератора ЕМВ задовольняє співвідношенню:

$$P_r = \frac{\gamma_m S}{L} (T_s - T_e) = \frac{\gamma_1 S}{h_1} (T_e - T_c) = \frac{\gamma_2 S}{h_2} (T_c - T_0),$$

5

де  $\gamma$ ,  $\gamma_1$ ,  $\gamma_2$  - відповідно теплопровідності мазуту, зовнішнього шару 5 теплоізолятора, внутрішнього шару 6 теплоізолятора;

$L$  - товщина шару мазуту - відстань від внутрішньої поверхні стінки 4 цистерни до поверхні в мазуті, на якій температура досягає значення  $+25^\circ\text{C}$ ;

10  $T_s$  - температура мазуту на відстані  $Z$  від екрану 7;

$T_c$  - температура металевої стінки 4 цистерни;

Після виключення з цього співвідношення  $T_t$  і  $T_c$  отримано:

$$P_r = \frac{\gamma_m S}{L} \left\{ \frac{T_s}{\frac{\gamma_m \cdot h_1}{\gamma_1 \cdot L} + 1} + \frac{T_0}{\left(1 + \frac{\gamma_1 \cdot h_2}{\gamma_2 \cdot h_1}\right) \left(1 + \frac{\gamma_m \cdot h_1}{\gamma_1 \cdot L}\right)} \right\}.$$

15

При виведенні цієї формули було використано наближення для розподілу  $T(Z)$  температури всередині мазуту ( $Z > 0$ ) у вигляді:

$$T_Z = \begin{cases} T_s + \left(T_s - T_Z \frac{Z}{L}\right), & 0 \leq Z < L \\ T_Z, & Z \geq L \end{cases},$$

20

де  $Z$  - відстань від електропровідного екрану 7 до будь-якої точки мазуту. Для  $0 \leq Z \leq L$  передбачено, що  $L$ ,  $Z \neq 0$ .

Якщо врахувати, що  $\frac{\gamma_1}{\gamma_2} = 1$ ,  $\frac{h_1}{h_2} = 5$ ,  $\frac{\gamma_m}{\gamma_1} = 1$ ;  $\gamma_m = 0,30$  кВт/м;  $I = 100$  м<sup>2</sup>,  $L = 0,3$  м,

$T_s = 25^\circ\text{C}$ ;  $T_0 = -25^\circ\text{C}$ , тоді отримано  $P_r' \approx 1$  кВт.

25

У випадку, коли  $L = 0$ , враховано, що  $T_0 = 0^\circ\text{C}$ , а  $T_s = T_e$ , тоді отримано другу величину потужності генератора  $P_r'' \approx 4,7$  кВт. Така ситуація відбувається, коли спочатку транспортування цистерни температура оточуючого повітря була  $-25^\circ\text{C}$ , а в кінцевій точці її прибуття (місце злива мазуту) температура повітря досягає  $0^\circ\text{C}$ . При цих умовах потужність генератора  $P_r'$  можна оцінити за середнім значенням двох граничних оцінок:

30

$$\overline{P_r'} = \frac{1}{2} (P_r' + P_r'') = 2,85 \approx 3 \text{ кВт}.$$

Якщо цистерна транспортувалась увесь час при температурі оточуючого повітря  $-25^\circ\text{C}$ , то усереднена оцінка замість 3 кВт буде мати наступний вигляд  $\overline{P_r''} \approx 4,7$  л кВт. При цьому

35

температура електропровідного екрану 7 досягає значення  $T_e = +25^\circ\text{C}$  тільки в кінці транспортування, маючи в попередні моменти часу проміжні значення температури  $T_e(t)$  у діапазоні температур від  $T_0$  до  $+25^\circ\text{C}$ .

Залежність  $T_e(t)$  знаходилась у результаті числового рішення рівняння теплопровідності за умови реального розподілу в об'ємі мазуту 3 ЕМВ, збудженого антеною 2.

40

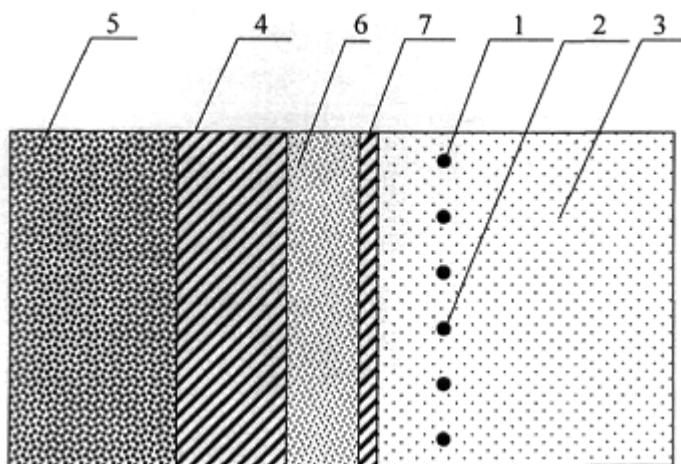
# ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Спосіб нагріву в'язких продуктів в цистерні, оснований на перетворенні електромагнітного випромінювання в теплову енергію, який **відрізняється** тим, що в'язкий продукт нагрівають електромагнітним випромінюванням у вигляді уповільнених поверхневих хвиль, глибину скін-шару яких в напрямку їх розповсюдження вибирають співрозмірною з довжиною периметру осьового розрізу стінки цистерни, глибину скін-шару уповільнених поверхневих хвиль в напрямку, перпендикулярному до напрямку розповсюдження уповільнених поверхневих хвиль, вибирають співрозмірною з відстані електромагнітного екрана до поверхні, на якій амплітуда уповільнених поверхневих хвиль досягає максимуму, потужність електромагнітного випромінювання вибирають співрозмірною з потужністю теплових витрат в'язкого продукту через зовнішню поверхню цистерни, частоту електромагнітного випромінювання вибирають із співвідношення:

$$\delta(f) \approx L,$$

де  $\delta(f)$  - глибина скін-шару електромагнітного випромінювання в'язкого нафтопродукту уповільненої поверхневої хвилі вздовж напрямку її розповсюдження;

L - довжина периметра осьового розрізу стінки цистерни.



Комп'ютерна верстка Т. Вахричева

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Василя Липківського, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601