

УДК 536.242

Долінський А.А., Грабов Л.М., Степанова О.Є.

Інститут технічної теплофізики НАН України

ТЕПЛООБМІН ПРИ НАГРІВАННІ І ПЛАВЛЕННІ ОСНОВ
ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ КОСМЕТИЧНИХ ТА ФАРМАЦЕВТИЧНИХ ПРЕПАРАТІВ

Розглядаються існуючі методи та установки для нагрівання і плавлення основ з низьким коефіцієнтом теплопровідності. Запропоновані метод та установки термоконтактного нагріву та плавлення речовин з низьким коефіцієнтом теплопровідності. Метод та установки пройшли випробування в промислових умовах.

C_1 – теплоємність сталі;
 C_2 – теплоємність вазеліну;
 d – діаметр ємності;
 h – висота ємності;
 R – питома теплота плавлення вазеліну;
 T_1 – температура повітря в робочому приміщенні;
 T_2 – температура, до якої повинен бути нагрітий вазелін;

Аналіз літературних джерел щодо проблем нагріву та плавлення речовин з низьким коефіцієнтом теплопровідності засвідчує необхідність розробки сучасних методів та новітнього обладнання для більш ефективної реалізації цих важливих технологічних процесів. Вони повинні зменшити витрати енергії на їх проведення та суттєво їх прискорити. Процеси нагріву і плавлення речовин з низьким коефіцієнтом теплопровідності, таких як вазелін, парафін, ланолін, тверді жири, кристалогідрати, мазут, окремі види харчових продуктів та ін. широко розповсюджені в різних галузях промисловості: хімічній, фармацевтичній, нафтопереробній, харчовій. Коефіцієнти теплопровідності та температури плавлення деяких з названих речовин представлені в табл. 1.

На підприємствах фармацевтичної про-

Рассматриваются существующие методы и установки для нагревания и плавления основ с низким коэффициентом теплопроводности. Предложены метод и установки термоконтактного нагрева и плавления веществ с низким коэффициентом теплопроводности. Метод и установки прошли испытания в промышленных условиях.

Existing methods and plants for heating and fusion of bases with low factor of heat conductivity are considered. Offered a method and plants of thermocontact heating and fusion of substances with low factor of heat conductivity. A method and plants have passed tests in industrial conditions.

V – об'єм, заповнений вазеліном;
 ρ_1 – щільність сталі;
 ρ_2 – щільність вазеліну;
 δ – товщина стінки ємності;
ІТТФ – Інститут технічної теплофізики;
МЛФ – м'які лікарські форми;
НАНУ – Національна академія наук України.

мисловості для нагріву та плавлення основ для виготовлення косметичних і фармацевтичних препаратів застосовують тепломасообмінні апарати періодичної дії з мішалками. Але передача тепла в цих апаратах здійснюється в нестационарному режимі з великим перепадом температур, в зв'язку з чим змінюються температури препаратів, теплоносія, матеріалу, через який передається тепло. Це призводить до суттєвих змін властивостей безпосередньо і самих речовин, що є небажаним.

Для плавлення вазеліну та твердих жирів використовують ванну з обігрівом оболонки. Але при роботі на такому обладнанні неможливо домогтися рівномірного прогріву всієї маси речовини, а отже, і якісної теплової обробки. Тому подібне обладнання проблематично використовувати для теплової обробки речовин з високою в'язкістю і з низьким коефіцієнтом

Табл. 1. Коефіцієнти теплопровідності та температури плавлення деяких речовин [1-4]

Назва речовини	Температура плавлення, °С	Коефіцієнт теплопровідності, Вт/м·К
вазелін	37...50	0,2...0,22
парафін	50...57	0,26...0,34
твердий жир	34...37	0,17
віск	63...65	0,034...0,08
мазут	38...44	0,12...0,16
пінополістирольні вироби	60...70	0,037...0,042
повітря (для порівняння)	—	0,027...0,034

теплопровідності.

Найбільш розповсюдженою є технологія плавлення речовин з низьким коефіцієнтом теплопровідності, яка включає операції транспортування речовин в тарі заводу виготовлювача, їх завантаження в пристрій для плавлення, реалізацію безпосередньо процесу плавлення, вивантаження та транспортування розплавленої речовини до наступної технологічної операції. Слід зазначити, що на діючих хіміко-фармацевтичних підприємствах тривалість цього процесу складає від 12 до 24 годин, а питомі витрати теплової енергії становлять 0,25...0,37 кВт·год/кг.

На рис. 1 наведено традиційну технологічну схему плавлення речовин з низьким коефіцієнтом теплопровідності.

В ІТТФ НАНУ створена експериментальна установка для плавлення основ багатьох МЛФ, наприклад, вазеліну, яка складається з

циліндричної ємності та комплекту стрічкових електротканних нагрівачів, розташованих на зовнішній поверхні ємності (рис. 2).

При використанні такого обладнання кількість тепла, яка необхідна для розігрівання ємності до заданої температури, визначається як:

$$Q_1 = C_1 \rho_1 (T_2 - T_1) (\pi d h \delta + \pi d^2 \delta / 2). \quad (1)$$

Кількість тепла, яка необхідна для розігрівання вазеліну до заданої температури, та переведення вазеліну в рідкий стан розраховуються відповідно за формулами:

$$Q_2 = C_2 \rho_2 V (T_2 - T_1) \quad (2)$$

та

$$Q_3 = R \rho_2 V. \quad (3)$$

Загальна кількість тепла для розігріву речовини в циліндричній ємності буде складатися з суми цих значень та втрат тепла в оточуюче

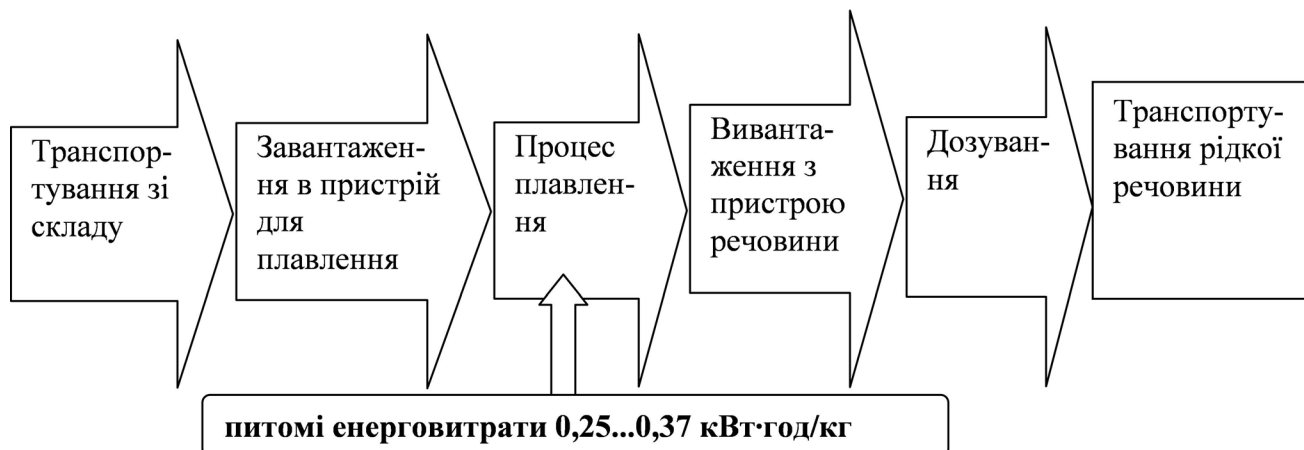


Рис. 1. Традиційна технологічна схема плавлення речовин з низьким коефіцієнтом теплопровідності.

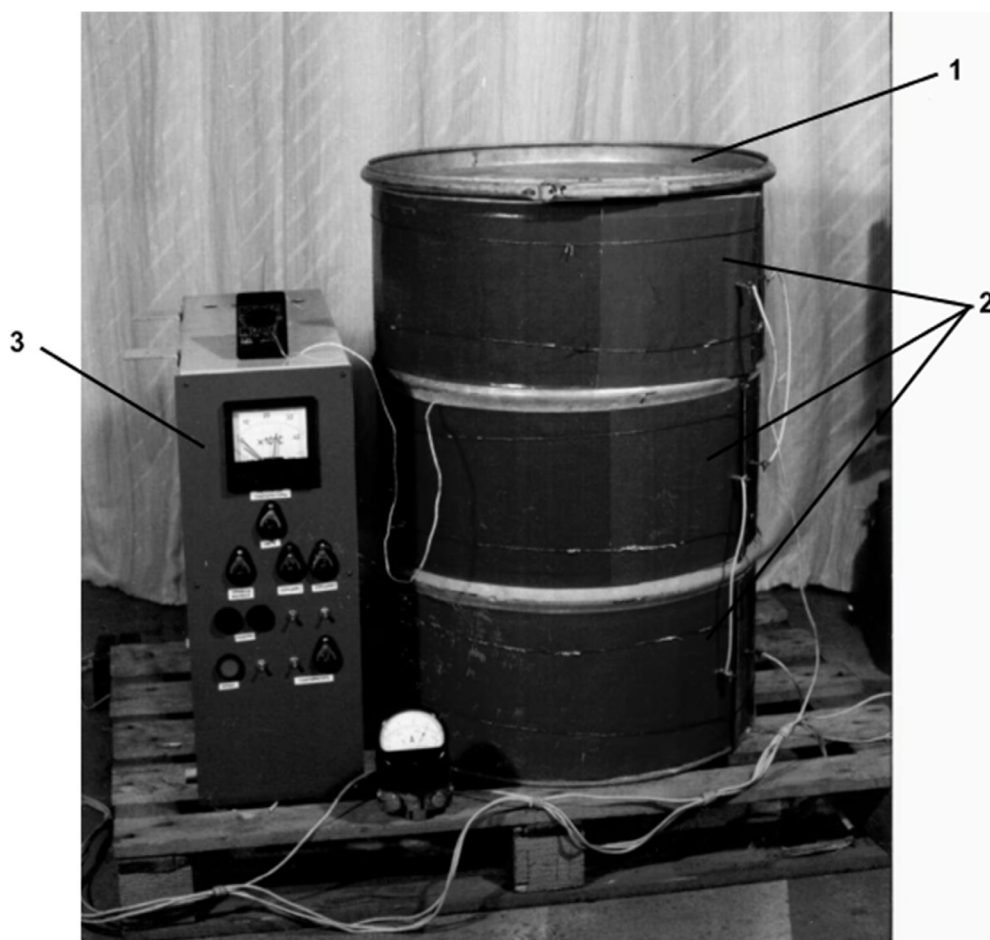


Рис. 2. Експериментальна установка для нагрівання і плавлення з використанням стрічкових електронагрівачів: 1 – циліндрична ємність; 2 – комплект стрічкових електротканних нагрівачів; 3 – шафа керування.

середовище.

Дія комплекту електронагрівачів базується на кондуктивному розігріві ємності та вазеліну. Використання нагрівачів з поверхневорозподіленим тепловиділенням дозволяє отримати тепловий потік на великій площі, що сприяє покращенню умов тепловіддачі. Збільшення площі тепловиділення порівняно з традиційними методами обігріву в теплових камерах призводить до суттєвого зниження температури на нагрівальних елементах, що також зменшує ризик локального перегріву речовини.

Але при такому плавленні через стінки металевої ємності швидкість переміщення фронту плавлення в об'ємі мала завдяки низькій теплопровідності середовища (рис. 3). З наведе-

ного фото видно, що вазелін розплавився біля стінок циліндричної ємності, а в середині залишився нерозплавленим.

Такі електронагрівачі виготовляються з ізоляційних і струмопровідних ниток. Тканина електронагрівача при цьому складається з двох систем ниток, розміщених взаємно перпендикулярно та переплетених між собою. Одна з систем струмопровідних ниток слугує нагрівальним елементом. В електронагрівачі застосовується стрічка типу ЛТН-1-40-340-1803 шириною 40 мм з опором одного метру 340 Ом. Стрічки зібрані в три секції. Резистивним елементом в кожній секції служить вуглеграфітова тканина УУТ-2 розміром 1750×230 мм. Він розміщувався в ізолюючій оболонці з силіконової гуми радіацій-



Рис. 3. Фото протікання процесу плавлення вазеліну в ємності з використанням стрічкових електронагрівачів.

ного отвердіння, дубльованій склотканиною (РЕТСАР) товщиною 0,2 мм з пробійною напругою 20 кВ/мм. З'єднання резистивного елемента з ізоляцією здійснювалось за допомогою кремній-органічного компаунда КЛТ-30. Тепловою ізоляцією нагрівачів слугували мати з базальтового супертонкого волокна. Електрична ізоляція стрічкового електронагрівача виконана трьома шарами гнучкого жаростійкого слюдопласту марки ИФ Г-КАХВ по ТУ 21-25-263-82. Його середня електрична міцність при температурі 20°C становила 25,2 кВ/мм. Кожна секція ізолювалась зі сторони обігріваємої поверхні двома шарами слюдопласту товщиною по 0,3 мм і одним шаром зі сторони теплоізоляції, виконаної войлоком з ультратонкого базальтового волокна виробництва Біличанського заводу «Теплозвукоізоляція». Електричні з'єднання секцій між собою і до джерел живлення струмом виконані термостійким проводом марки ПВЛТТ-1 по ТУ-16 505.911-76. Кріплення секцій стрічкового електронагрівача до обігріваємої ємності здійснювалось бандажами із склотканини.

Криві температури нагріву вазеліну в ємності з трьома стрічковими електронагрівачами по зонах при різній глибині занурення термопар

зображені на рис. 4.

В Інституті технічної теплофізики НАНУ розроблені установки «Термостат-100», «Термобат-4,5», а також «Термобат-9» для теплової обробки та плавлення речовин з низьким коефіцієнтом теплопровідності за допомогою локального термоконттактного способу нагріву та плавлення [5].

Основним функціональним вузлом установки «Термобат-4,5» є електронагрівальний апарат, призначений для контактного плавлення твердої речовини, а також відбору розплаву із зони плавлення, який поринає у тверду речовину в міру її плавлення. Температура розплаву підтримується вищою за температуру фазового переходу твердої речовини, залишаючись нижчою температури її деструкції. Технологічна схема установки для нагріву та плавлення типу «Термобат» наведена на рис. 5. Вона включає: електричний проточний котел 4 із трубчастим електронагрівачем 5, розширювальний бачок 3 з циркуляційним насосом 1; датчики температури 2 і 6; плавильний елемент, виконаний у вигляді теплообмінника, з'єданого двома паралельними трубами 9, 13 із котлом; кришку 10, розташовану між котлом і плавильним елементом, адаптовану до ємності із продуктом 12, яка може перемішуватися; шестеренний насос

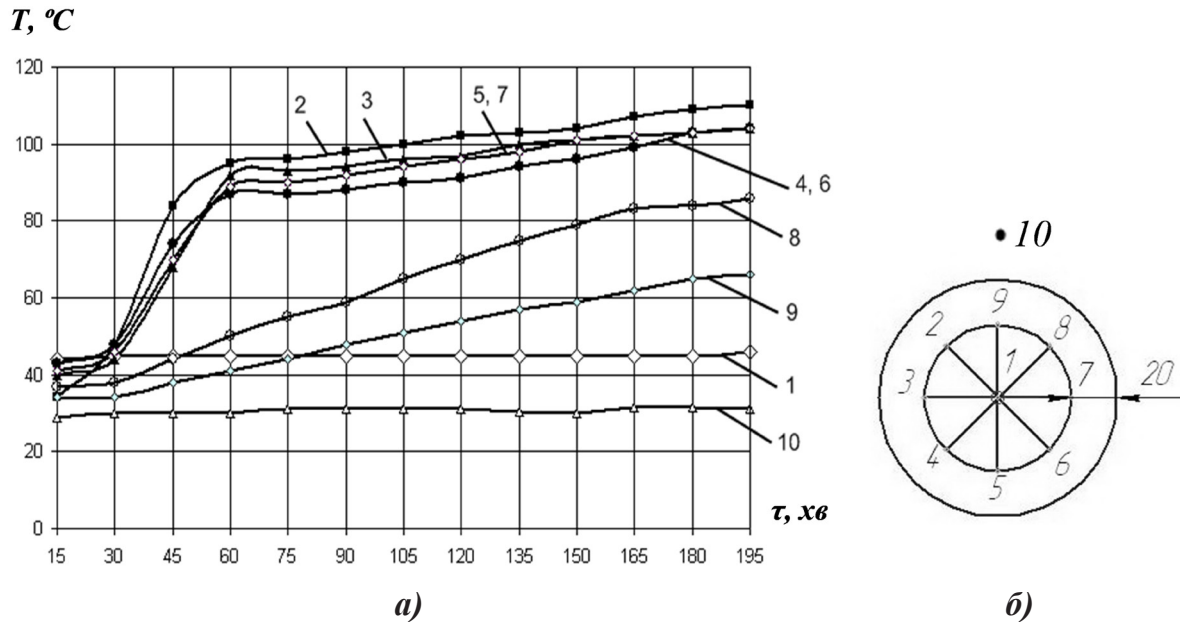


Рис. 4. Температурні криві (а) нагріву вазеліну по зонах при різній глибині занурення термопар: 1 – температура вазеліну в середині ємності; 2 – температура в другій зоні (95 мм); 3 – температура в третій зоні (190 мм); 4 – температура в четвертій зоні (285 мм); 5 – температура в п'ятій зоні (380 мм); 6 – температура в шостій зоні (475 мм); 7 – температура в восьмій зоні (570 мм); 8 – температура в дев'ятій зоні (665 мм); 9 – температура в десятій зоні (760 мм); 10 – температура навколишнього середовища, та схема (б) розміщення термопар в ємності з вазеліном на відстані 20 мм від стінок.

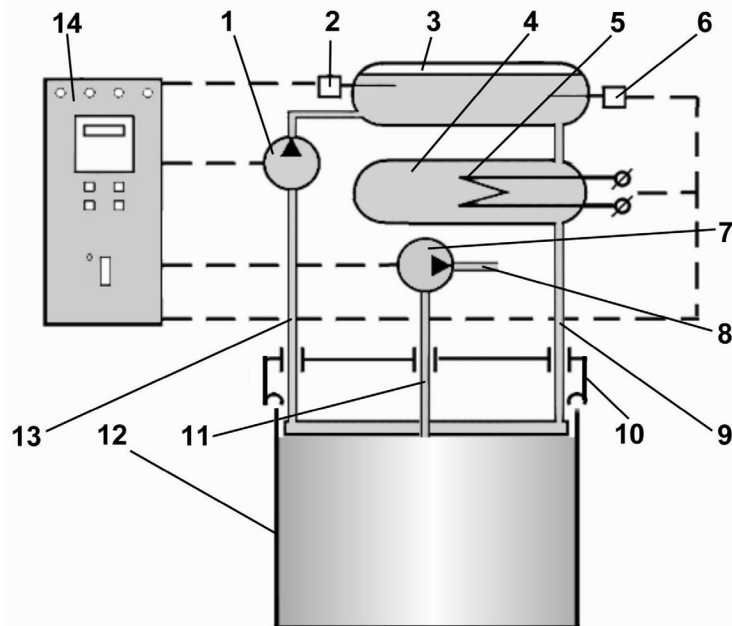


Рис. 5. Технологічна схема установки для нагріву та плавлення типу «Термобот»: 1 – циркуляційний насос; 2, 6 – датчики температури; 3 – розширювальний бачок; 4 – електричний проточний котел; 5 – трубчастий електронагрівач; 7 – шестеренний насос для відведення розплаву; 8 – гнучкий шланг; 9, 13 – паралельні труби, з'єднані з котлом; 10 – кришка; 11 – забірна труба; 12 – ємність з речовиною; 13 – шафа керування.



Рис. 6. Загальний вид установки «Термобат-4,5» для прискореного плавлення речовин з низьким коефіцієнтом теплопровідності.

для відведення розплаву 7, забірна труба якого 11 проходить через кришку й центр плавильного елемента, а вихідна труба виконана у вигляді гнучкого шланга 8; 14 – шафу керування.

Загальний вид установки для прискореного нагріву та плавлення речовин з низьким коефіцієнтом теплопровідності наведено на рис. 6.

Аналіз роботи цієї установки показав, що при її застосуванні скорочуються витрати енергії та прискорюється технологічний процес завдяки зменшенню терміну плавлення та більш раціональному використанню енергії, а також поєднанню процесів плавлення, дозування, вивантаження та транспортування розплавленої речовини у одній установці. Завдяки цьому була розроблена прискорена технологія плавлення основ для виготовлення фармацевтичних препаратів.

На рис. 7 наведено технологічну схему прискореного плавлення речовин з низьким коефіцієнтом теплопровідності.

Особливостями даної установки є те, що в ній об'єднані чотири технологічні операції, а саме плавлення, вивантаження, дозування та транспортування розплавленої речовини в одному технологічному циклі. Операція завантаження речовин в пристрій для їх плавлення відсутня в зв'язку з тим, що цей процес реалізують безпосередньо в тарі заводу-виготовлювача даних речовини. При цьому процес плавлення здійснюється термоконтakтним способом (патент на винахід UA № 31435 «Спосіб плавлення речовини та пристрій для його здійснення»)

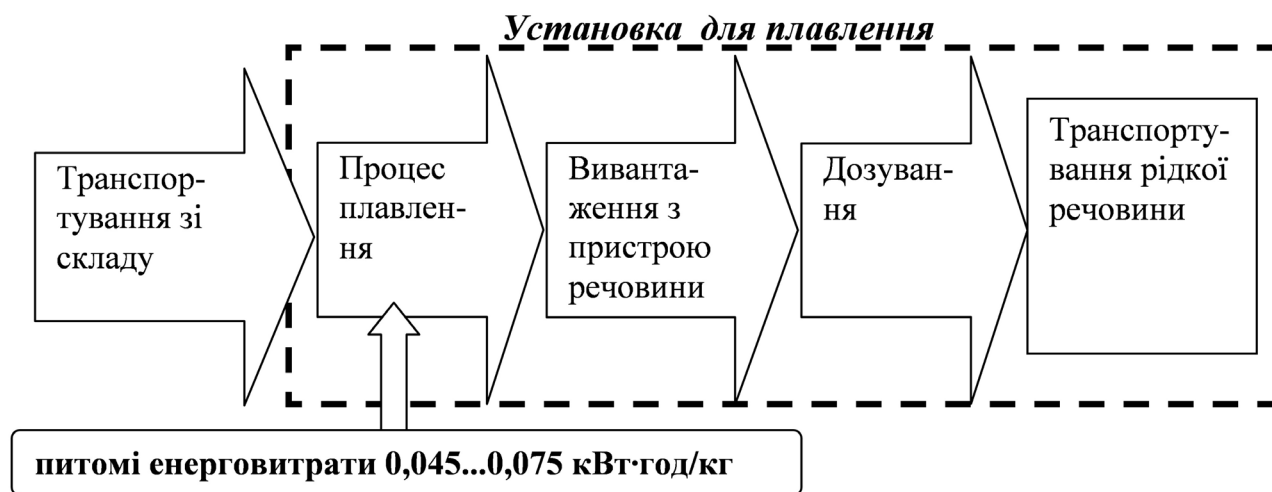


Рис. 7. Технологічна схема прискореного плавлення речовин з низьким коефіцієнтом теплопровідності.

[6, 7]. За цим способом плавлення, на відміну від діючих, поверхня, що обігривається, контактує з твердою поверхнею речовини. Це дозволяє плавити речовини без попереднього їх подрібнення. Зона контакту поверхні, що обігривається, та речовини є сталою, тому продуктивність способу не залежить від швидкості подачі її в зону контакту. Поверхню, яка обігривається, занурюють у речовину зверху по мірі її плавлення до задалегідь зазначеної глибини занурення, при цьому температуру цієї поверхні в зоні контакту підтримують нижчою температури деструкції речовини, а на поверхні розплаву – вищою температури її плавлення.

Такий спосіб дозволяє нагрівати та розплавляти лише ту частину речовини, яка необхідна, тобто реалізовувати дозований процес плавлення. Це дає можливість більш раціонально використовувати енергію, підвищуючи коефіцієнт корисної дії та зменшуючи питомі витрати енергії в 4...5 разів. Підтримання температури поверхні в зоні контакту речовини, що плавиться, нижчою температури деструкції, а на поверхні розплаву

– вищою за точку її плавлення, дозволяє уникати перегріву речовини, забезпечуючи високу якість косметичних та фармацевтичних препаратів. В разі, коли розплавлена речовина переставє контактувати з поверхнею, що обігривається, тепло не передається речовині і процес нагріву та плавлення припиняється. При низькій теплопровідності речовин цей процес має більш суттєві переваги, так як термічну обробку не проходить речовина, що знаходиться нижче зони плавлення. В ІТТФ НАНУ виготовлено кілька установок типу «Термобат» з шестеренними насосами для видалення розплавленої речовини. Вони впроваджені на Луганській та Ризькій фармацевтичних фабриках. Тривалість процесу плавлення вазеліну в ємності 200 л становить від 2 до 4 годин в залежності від температури поверхні нагрівача.

В ІТТФ НАНУ розроблена також установка «Термобат-М» (рис. 8) з гвинтовим насосом, яка дає можливість відводити з зони плавлення речовини з більшою в'язкістю, що значно скорочує час нагріву і плавлення речовин.

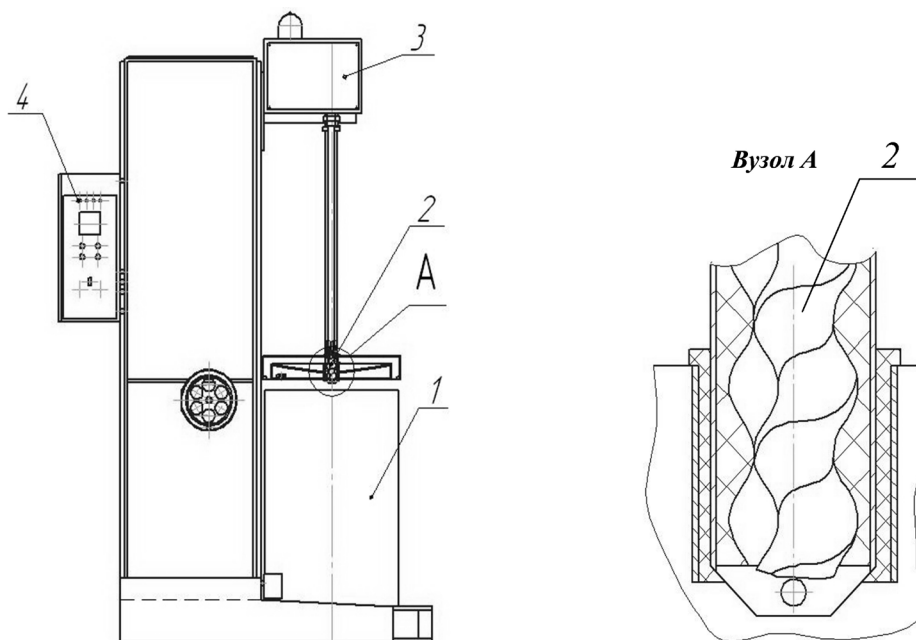


Рис. 8. Установка типу «Термобат-М» з гвинтовим насосом: 1 – ємність з речовиною; 2 – гвинтовий насос; 3 – нагрівач; 4 – шафа керування.

Висновки

1. Оптимізація термоконтактного нагріву та плавлення матеріалів, досягнута при застосуванні установок типу «Термобат», дозволяє в 4...5 разів скоротити енерговитрати при проведенні технологічних процесів, особливо для речовин з низьким коефіцієнтом теплопровідності.

2. Запропонований процес локального контактного плавлення твердих речовин, що характеризуються низьким коефіцієнтом теплопровідності, є економічно більш вигідним. Енерговитрати через розсіювання тепла в таких матеріалах – вкрай незначні, а ККД при передачі теплової потужності від нагрівача через шар розплаву до масиву, що плавиться, є досить високим.

Установка для прискореного плавлення речовин з низьким коефіцієнтом теплопровідності типу «Термобат-4,5» впроваджена на Луганській фармацевтичній фабриці, а «Термобат-9» – на Ризькій фармацевтичній фабриці.

ЛІТЕРАТУРА

1. Грабов Л.М., Грабова Т.Л., Мусаелян Л.Ю. Теплофизические свойства жидких энергетических топлив // Энергетика та електрифікація –

№2 (318). – 2010. – С. 16-20.

2. Коэффициенты теплопроводности различных материалов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.infrost.ru/tech_info/coefficient/.

3. Состав и получение воска [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.sknowled.com/ap/costav_voska_1.htm.

4. Кнунянц И.Л. и др. Химическая энциклопедия. – М.: Изд-во «Советская энциклопедия», 1990. – 671 с.: ил.

5. Грабов Л.М., Мерцый В.І., Грабова Т.Л., Посулько Д.В. Нове обладнання для теплової обробки харчових продуктів // Харчова і переробна промисловість. – 08-09/2005. – С. 24-25.

6. Пат. 31435 Україна, МПК7 В 01 J 6/00. Спосіб плавлення речовини та пристрій для його здійснення / Грабов Л.М. та інші; заявник та патентовласник: Грабов Л.М., Мерцый В.І., Бондарь С.І. – № 98094668; заявл. 01.09.98; надр. 17.12.01, Бюл. № 11.

7. Грабов Л.Н., Мерцый В.И., Ващенко В.Н., Писаренко Т.В. Оптимизация процесса термоконтактного плавления материалов // Пром. теплотехника. – 2000. – Т. 22, № 1. – С. 94-99.

Получено 16.02.2011 г.