

## ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ПРИ ТЕРМОКОНТАКТНОМУ ПЛАВЛЕННІ ЖИРІВ

*Грабов Л.Н. канд. техн. наук, вед. науч. сотр.,  
Посунько Д.В. наук. співр.,  
Степанова О.Є. мол. наук. співр.,  
Базєєв Р.Є. пров. інж.-технолог*

Институт технической теплофизики НАН Украины, г. Киев

Розглянуті існуючі методи та установки для нагрівання і плавлення жирів, які мають низький коефіцієнт теплопровідності. Запропоновані метод та установки їх термоконтактного нагріву та плавлення для інтенсифікації процесу і зменшення затрат енергії. Метод та установки пройшли випробування в промислових умовах.

Existent methods and devices are considered for heating and melting fats which have a low coefficient of heat conductivity. A method and devices of their thermocontact heating and melting for intensification of process and diminishing of expenses of energy is offered. A method and devices was passed by tests pilot-scale.

Рассмотрены существующие методы и установки для нагревания и плавления жиров, которые имеют низкий коэффициент теплопроводности. Предложены метод и установки их термоконтактного нагрева и плавления для интенсификации процесса и уменьшения затрат энергии. Метод и установки прошли испытания в промышленных условиях.

Одним з найпоширеніших процесів в харчовій, фармацевтичній, переробній, хімічній та інших галузях промисловості є процес нагріву і плавлення високов'язких речовин з низьким коефіцієнтом теплопровідності – жирів і олій. Об'єктом плавлення можуть бути різні речовини як рослинного і тваринного, так і мінерального походження. Відомо, що кінетика процесу нагріву та плавлення залежить не тільки від властивостей речовини, а й від застосовуваного методу плавлення. Структурні і морфологічні зміни речовин, які відбуваються при цих процесах, мають велике значення, тому що визначають якість одержуваного продукту. Все це обумовлює різні вимоги до процесу плавлення кожної речовини, а отже, до режиму його проведення і вимагає розробки відповідного обладнання.

Вимоги до обладнання для нагріву та плавлення високов'язких речовин з низьким коефіцієнтом теплопровідності визначаються не тільки такими загальними вимогами як економічність, простота, зручність обслуговування, а й специфічними вимогами, які є визначальними – збереження початкових властивостей продукту: зовнішнього вигляду, кольору, смаку, запаху, біохімічних та харчових властивостей і якості, збільшення терміну зберігання, забезпечення відповідних бактеріальних норм.

Тому ні параметри теплового впливу на речовину, ні тривалість цього не можуть бути обрані довільно, а повинні встановлюватися для кожної конкретної речовини на основі досліджень процесів тепломасообміну, які відбуваються в ньому. Багато олій і жирів є термолабільними речовинами. Вони не витримують високих температур та тривалого нагрівання. Температури плавлення, густина, теплоємність та коефіцієнти теплопровідності деяких жирів та олій представлені в табл. 1.

Таблиця 1 – Властивості жирів та олій [1-4]

Назва речовини	Температура плавлення, °С	Густина, кг/м <sup>3</sup>	Коефіцієнт теплопровідності, Вт/м·°К	Теплоємність, Дж/кг·°С
Свинячий жир	28...48	915...923	0,17...0,2	2510
Яловичий жир	42...52	937...953	0,17...0,18	2303
Баранячий жир	44...55	937...961	-	-
Саломас	28...37	821...939	0,14...0,17	2100
Пальмова олія	30...39	921...925	-	-
Кокосова олія	24...27	925...926	0,17...0,18	-
Олія какао	32...36	880...927	0,29...0,43	2512
Соева олія	-7...-8	922...934	0,15...0,18	1900

Найбільш розповсюдженою є технологія плавлення речовин, яка включає операції транспортування їх в тарі заводу виготовлювача, завантаження в пристрої для плавлення, реалізацію безпосередньо процесу плавлення, вивантаження та транспортування розплавленої речовини до наступної технологічної операції. Слід зазначити, що на діючих 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 в'язких речовин.



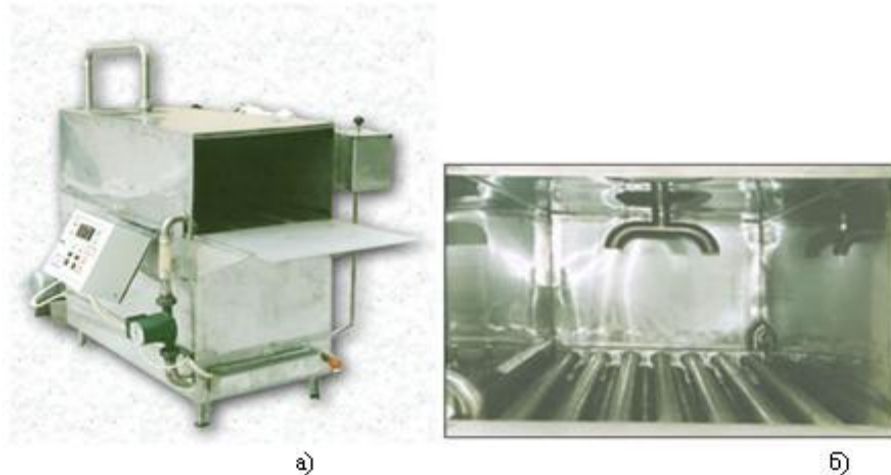
Рис. 1 – Традиційна технологічна схема плавлення в'язких речовин

Для плавлення твердих жирів зазвичай 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 теплопровідності. В харчовій промисловості використовуються жироплавители для плавлення жирів (рис. 2), які представляють собою двохстінний резервуар, встановлений вертикально на опорах. Внутрішня ванна укладена в теплову сорочку з вбудованими ТЕНами. Для зручної експлуатації і підвищення продуктивності теплопередавальні трубки розташовані під нахилом, що сприяє просуванню і обливанню речовини розплавленою масою продукту. Також передбачений кожух – кришка над теплопередавальною трубою, рециркуляційний трубопровід з насосом. В такій установці продукти для плавлення встановлюються на трубну решітку, в яку подається гаряча вода. За мірою розплавлення продукт стікає на похиле дно, де доплавляється за рахунок нагрітої сорочки.

## ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ПРИ ТЕРМОКОНТАКТНОМУ ПЛАВЛЕННІ ЖИРІВ

Температуру теплоносія можливо регулювати в межах від 0 до 150 °С в залежності від технології та продукту плавлення. Жироплавитель оснащений пультом керування, який включає в себе двоканальний вимірювач-регулятор температури теплоносія та насосу для поливу твердого продукту розплавом.

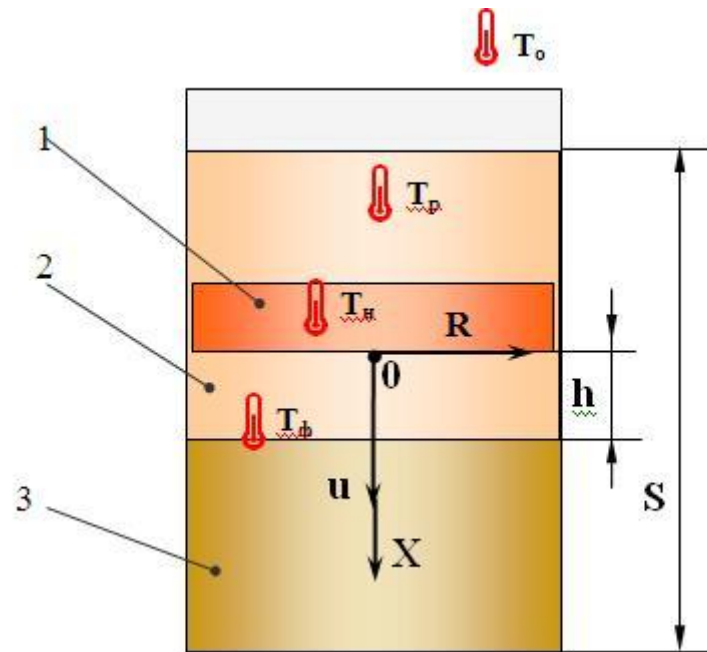
Такі жироплавители (жиротопки) використовуються в масложировій, кондитерській, косметичній та інших промисловостях.



**Рис. 2 – Установа для нагрівання і плавлення жирів:**

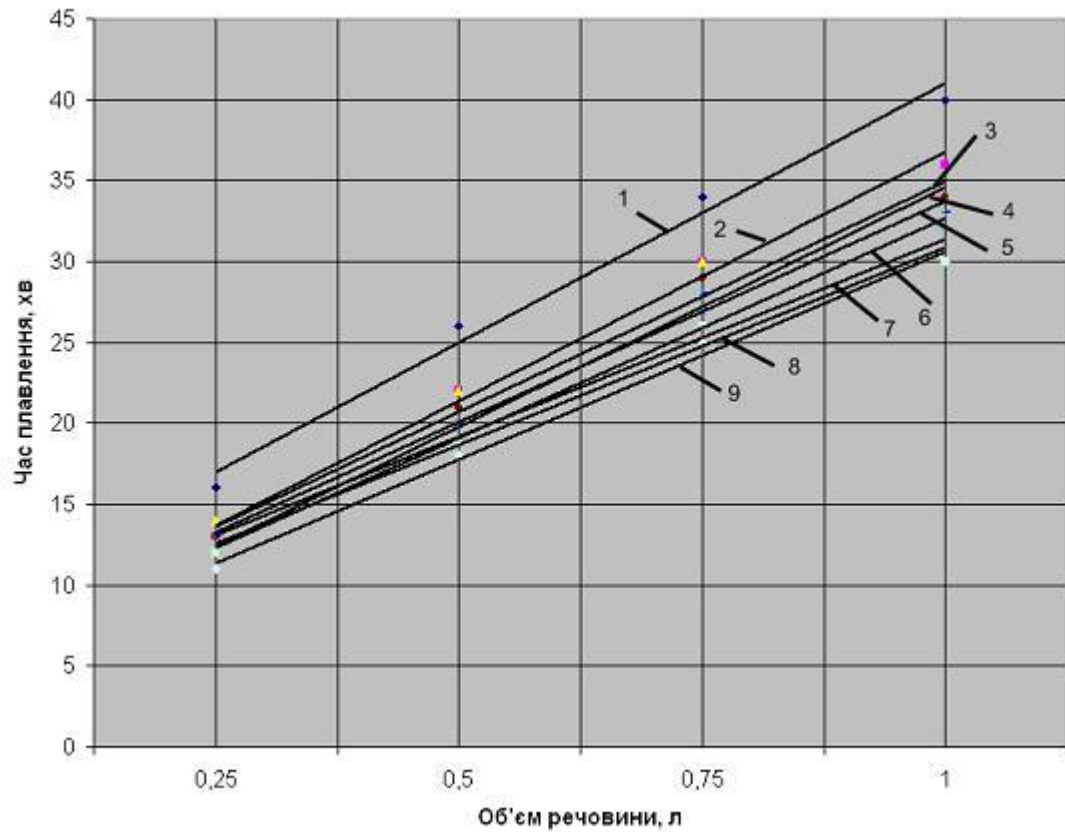
*а – загальний вид установки, б – трубна решітка, по якій циркулює гарячий теплоносій.*

В Інституті технічної теплофізики НАНУ було запропоновано наступний метод плавлення в'язких речовин з низьким коефіцієнтом теплопровідності (рис. 3). Речовина, яку необхідно розплавити розміщується у ємності. Зверху на речовину опускається дисковий нагрівач, що відповідає за розмірами та формою ємності. Розігрітий нагрівач тисне на твердий шар матеріалу та плавить його. Розплавлена речовина витискається крізь зазори між нагрівачем та стінками ємності у простір над нагрівачем. Оскільки нагрівач весь час знаходиться у контакті з твердою речовиною, яку необхідно розплавити, і майже не передається крізь шар розплаву, то ККД такого методу плавлення досить високий. Крім того, можна знизити температуру нагрівача, а отже запобігти перегріву речовини. Були проведені лабораторні дослідження процесів нагрівання і плавлення в системі “нагрівач-розплав-тверда речовина”. Температура робочої поверхні нагрівача  $T_n$  підтримується постійною, причому вище температури фазового переходу субстанції, що плавиться  $T_f$ . Як нульове наближення температуру нагрівача можна прийняти рівною температурі теплоносія, що попередньо нагрівається до деякої відомої температури  $T_r$ . Початкова температура субстанції, що плавиться, і навколишнього середовища є величина стала –  $T_0$ .



**Рис. 3** Схематичне зображення системи "нагрівач-розплав-тверда речовина"  
 1 – нагрівач, 2 – розплав, 3 – тверда речовина

На основі отриманих результатів побудовано графік залежності швидкості плавлення речовини від тиску на дисковий нагрівач (рис. 4).



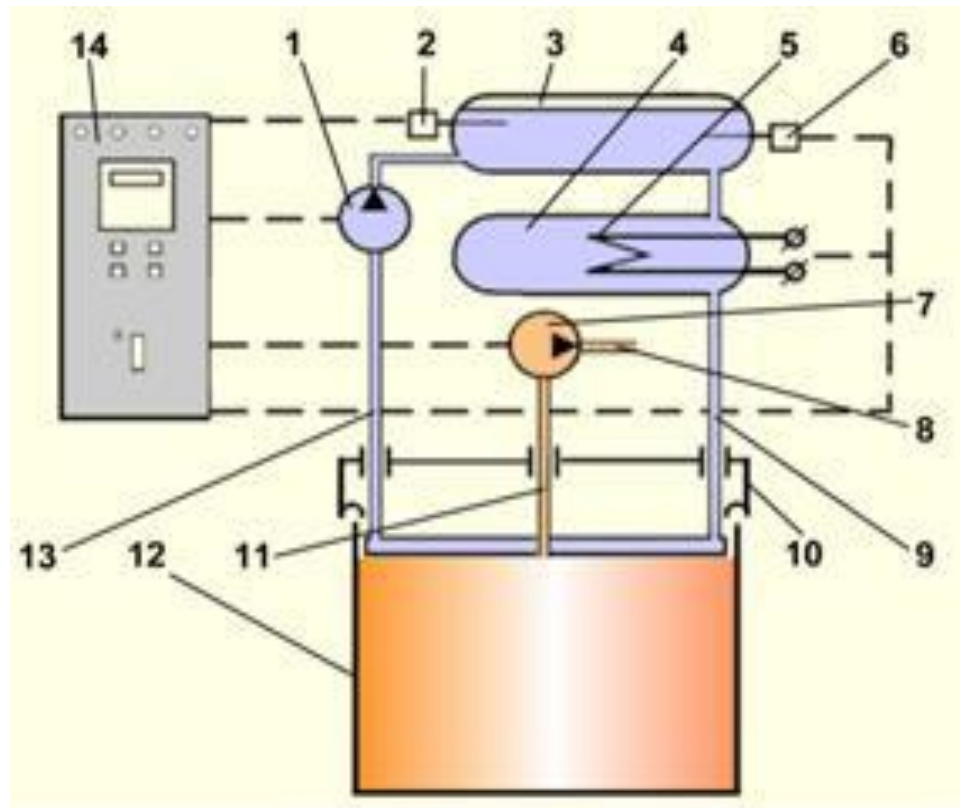
1 – тиск 90 Па; 2 – тиск 140 Па;  
 3 – тиск 230 Па; 4 – тиск 275 Па; 5 – тиск 320 Па; 6 – тиск 415 Па; 7 – тиск 460 Па; 8 – тиск 505 Па; 9 – тиск 550 Па

**Рис. 4**– Кінетика плавлення в'язких речовин з низьким коефіцієнтом теплопровідності при різних тисках на дисковий нагрівач

За результатами досліджень можна зробити висновок, що часу на нагрів та плавлення витрачається менше при збільшенні тиску на дисковий нагрівач та при температурі оточуючого

середовища 20 °С і більше. Мінімальний час (30 хв.) на плавлення речовини при потужності 150 Вт на стенді досягнуто при тиску 500...600 Па і  $t_{\text{окр.}} = 23...26$  °С, що є оптимальними параметрами проведення процесу, тому що подальше збільшення тиску не дає зменшення швидкості проведення процесу розплавлення.

На основі проведених лабораторних досліджень в Інституті технічної теплофізики НАНУ розроблені установки «Термостат-100», «Термобат-4,5», а також «Термобат-9» для теплової обробки та плавлення в'язких речовин з низьким коефіцієнтом теплопровідності за допомогою локального термоконтантного способу нагріву та плавлення [5].



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 – забірні труба; 12 – ємність з речовиною; 14 – шафа керування.

**Рис. 5 – Технологічна схема установки для нагріву та плавлення типу «Термобат»**

Основним функціональним вузлом установки «Термобат-4,5» є електронагрівальний апарат, який поринає у тверду речовину в міру її плавлення та призначений для контактного плавлення твердої речовини, а також відбору розплаву із зони плавлення. 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'єднаного двома паралельними трубами 9, 13 із котлом; кришку 10, розташовану між котлом і плавильним елементом, адаптовану до ємності із продуктом 12; шестеренний насос для відведення розплаву 7, забірні труба якого 11 проходить через кришку й центр плавильного елементу, а вихідна труба виконана у вигляді гнучкого шланга 8; 14 – шафу керування.

Загальний вид установки для прискороного нагріву та плавлення в'язких речовин з низьким коефіцієнтом теплопровідності наведено на рис. 6.



**Рис. 6 – Загальний вид установки “Термобат-4,5” для прискороного плавлення в'язких речовин з низьким коефіцієнтом теплопровідності**

Аналіз роботи 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 жирів для харчової промисловості. На рис. 7 наведено технологічну схему прискороного плавлення в'язких речовин з низьким коефіцієнтом теплопровідності.



**Рис. 7 – Технологічна схема прискореного плавлення в'язких 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. При цьому процес плавлення здійснюється термоконттактним способом (патент на винахід UA № 31435 «Спосіб плавлення речовини та пристрій для його здійснення») [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 цієї речовини в зону контакту. Поверхню, яка обігривається, занурюють у речовину зверху по мірі її плавлення до заздалегідь зазначеної глибини занурення, при цьому температуру цієї поверхні в зоні контакту підтримують нижче температури деструкції речовини, а на поверхні розплаву – вище температури її плавлення. Такий спосіб дозволяє нагрівати і розплавляти лише ту частину, 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, нижче температури деструкції, а на поверхні розплаву – вище за точку її плавлення, дозволяє уникати перегріву речовини, забезпечуючи високу якість кінцевого розплавленого продукту. В разі, коли розплавлена речовина перестає контактувати з поверхнею, що обігривається, тепло майже 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 та зменшуються втрати тепла в оточуюче середовище. В Інституті технічної теплофізики НАНУ виготовлено кілька установок типу «Термобат». Тривалість процесу плавлення речовини в ємності 200 л становить від 2 до 4 годин в залежності від температури поверхні нагрівача і від речовини, що плавиться. Зважаючи на всі переваги впроваджених установок типу «Термобат» Інституту технічної теплофізики для плавлення речовин, пропонується використати ці установки і метод термоконттактного нагріву для плавлення жирів, які є в'язкими речовинами і мають низький коефіцієнт теплопровідності.

### **Висновки**

1. Оптимізація термоконттактного нагріву та плавлення речовин, досягнута при застосуванні установок типу «Термобат», дозволяє в 4...5 разів скоротити енерговитрати при проведенні технологічних процесів, особливо для в'язких речовин з низьким коефіцієнтом теплопровідності.
2. Запропонований процес локального контактного плавлення в'язких 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.

**Література**

1. Жиротопки (плавители масла, жиру) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.agromash.ru/0811\\_jirot\\_vit.htm](http://www.agromash.ru/0811_jirot_vit.htm).
2. Теплофізичні властивості харчових жирів і масел [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://conductivity.at.ua/publ/teploprovodnosti\\_pishhevykh\\_produktovt/teplofizicheskie\\_svoystva\\_pishhevykh\\_zhirov\\_i\\_masel/5-1-0-99](http://conductivity.at.ua/publ/teploprovodnosti_pishhevykh_produktovt/teplofizicheskie_svoystva_pishhevykh_zhirov_i_masel/5-1-0-99).
3. Товбин И.М., Меламуд Н.Л., Сергеев А.Г. Гидрогенизация жиров. – М: «Легкая и пищевая промышленность», 1981. – 296 с.
4. Кнунянц И.Л. и др. Химическая энциклопедия. – М: Изд-во «Советская энциклопедия», 1990. – 671 с.: ил.
5. Грабов Л.М., Мерщій 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., Мерщій В.І., Бондарь С.І. – № 98094668; заявл. 01.09.98; надр. 17.12.01, Бюл. № 11.
7. Грабов Л.Н., Мерщій В.И., Ващенко В.Н., Писаренко Т.В. Оптимизация процесса термоконтантного плавления материалов // Пром. теплотехника. – 2000. – Т. 22, №1. – С. 94-99.