

**СТУДЕНТСЬКА НАУКОВА РОБОТА**

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ СУШКИ  
ФРУКТІВ ТА ЯГІД НА КИПЛЯЧОМУ ШАРІ  
ІНЕРТНИХ ТІЛ**

**ШИФР „ІНЕРТНІ КУЛЬКИ”**

## **Зміст**

|   |    |
|---|----|
| Вступ та постановка задачі дослідження.....                     | 4  |
| 1. Існуючі способи сушіння .....                                | 7  |
| 2. Обрання типу сушарки та визначення області застосування..... | 8  |
| 3. Проведення досліджень.....                                   | 9  |
| 4. Розробка фізичної моделі процесу .....                       | 15 |
| 5. Розробка сушарки для проведення процесу.....                 | 16 |
| Список використаних джерел .....                                | 19 |

## РЕФЕРАТ

Об'єм звіту: 25 с., 5 рис., 17 джерел.

Об'єктом дослідження є процес сушки органічної суспензії на поверхні інертних тіл різної форми.

Метою роботи є дослідження процесу сушки органічної суспензії з одержанням сухого порошку плодів та ягід без втрати ними поживних якостей, а на базі проведених досліджень розробити технологію та апарат одержання цього цінного для харчової промисловості продукту.

Обґрунтована доцільність сушки плодів та ягід, не придатних для транспортування або подальшого зберігання з метою максимального збереження корисних властивостей продукту з проведенням процесу в сушарці з киплячим шаром інертних тіл.

Встановлено механізм утворення оболонки органічного матеріалу на поверхні інертної гранули у киплячому шарі та визначені чотири режими проходження процесу.

Розроблена фізична модель процесу сушки органічної суспензії на поверхні інертних гранул у киплячому стані.

На основі проведених досліджень розроблена технологія виробництва сухого органічного порошку та запропонований апарат для проведення цього процесу.

Запропонована технологія має великий господарський ефект, бо запобігає втраті значної частини врожаю плодів та ягід, не придатних для транспортування.

**СУШКА, ОРГАНІЧНА СУСПЕНЗІЯ, КИПЛЯЧИЙ ШАР, ПОКРИТТЯ,  
ІНЕРТНА ГРАНУЛА, КУЛЬКА**

## ВСТУП

Виробництво натуральних харчових продуктів є першочерговим завданням забезпечення населення здоровою повноцінною їжею. Нажаль наш ринок харчових продуктів насичений неякісною продукцією, яка не відповідає ні міжнародним, ні внутрішнім стандартам. В той же час Україна має всі можливості виробляти натуральні харчові продукти не тільки для внутрішнього споживання, але й нагодувати ними всю Європу.

Це в повній мірі відноситься і до соків та напоїв, які теж повинні бути натуральними. У нашій країні в садах сільгосп підприємств і в приватних садибах вирощується велика кількість плодів та ягід. Вони споживаються мешканцями навколишніх міст. Але не вся продукція може дійти до покупця, бо ця продукція швидко псується, особливо, якщо вона має певні недоліки: пом'ятості, придавленості, незначні пошкодження поверхні і таке інше.

Враховуючи важливе значення переробки некондиційних плодів та ягід для харчової промисловості, розробка технології одержання сухих натуральних порошоків є актуальною задачею і потребує швидкого впровадження.

Метою роботи є дослідження процесу сушки органічної суспензії на поверхні інертних носіїв, що знаходяться у киплячому шарі, розробка конструкції апарату і технології проведення цього процесу.

Об'єктом дослідження робота сушарки псевдозрадженого шару з інертними тілами.

Методи дослідження. Визначення умов роботи сушарки псевдозрідженого шару, в якому знаходяться інертні тіла, та впливу на процес фізичних показників.

## 1. АНАЛІЗ СПОСОБІВ ЗБЕРІГАННЯ ПЛЮДІВ ТА ЯГІД

Відомі різні способи зберігання продуктів та консервування їх поживних властивостей: створення контрольованої атмосфери в овочесховищах або вакуумування, теплова обробка продуктів (високими температурами чи холодом), насичення продуктів консервантами (сіллю, цукром, продуктами згоряння органічного палива, штучними хімічними сполуками), бродіння, зневоднення, тощо.

Технології, які засновані на цих способах та їх комбінаціях, дозволяють зберегти основну частину вирощеного врожаю та забезпечити населення рослинними продуктами харчування в міжсезоння. Однак більшість існуючих технологій вирішують проблему лише кількісно, а не якісно: в процесі зберігання і переробки рослинних продуктів втрачається властивий їм природній набір біологічно активних речовин і, в першу чергу, вітамінів. Кисень, світло, іони перехідних металів, підвищені температури, хімічні сполуки консервантів та інші руйнівні чинники запускають і каталізують деструктивні процеси, результатом яких є утворення менш корисних (а нерідко і шкідливих) сполук. Свідченням цьому є численні дослідження та наукові праці, як вітчизняних, так і закордонних вчених, які показують, що в різних способах консервування овочів, фруктів та ягід втрати вітаміну С складають:

|                                     |        |
|-------------------------------------|--------|
| - при заморожуванні:                | 10-25% |
| - у овочевих і фруктових консервах: | 35-50% |
| - у пастеризованих соках:           | 45-55% |
| - у варевих і джемах:               | 60-75% |
| - в якісних сухофруктах:            | 5-7%   |

Як бачимо, сушка дійсно є ефективним способом збереження природної гами вітамінів у плодоовочевій продукції. Важливо підкреслити, що в таблиці показані результати для продуктів, які перероблені з дотриманням усіх технологічних вимог і за оптимальних теплових режимів.

**Задача дослідження: розробити технологію та апарат для сушіння рослинних продуктів, що дозволить максимально зберегти їх корисні властивості.**

## 2. ІСНУЮЧІ СПОСОБИ СУШІННЯ

Залежно від властивостей продукту підбирають спосіб підведення теплової енергії (конвективний, контактний, радіаційний та ін), а також тиск зовнішнього середовища (атмосферний або вакуум). Широке застосування знаходить як контактна, так і конвективна сушка з механічним перемішуванням і переміщенням матеріалу.

Часто використовуються барабанні сушарки, в роботі і конструкції яких досягнуто значного прогресу. Наприклад, для сушіння та охолодження цукру використовується однобарабанна сушильна установка замість раніше застосовуваної двобарабанної.

Великого поширення набули різні конструкції пневматичних сушарок (труби-сушарки, аерофонтанні), які знайшли застосування, наприклад, в крохмальної промисловості і при сушінні зерна. Хоча ці сушарки дозволяють використовувати сушильний агент високої температури, їх недоліками є велика висота установки і малий час перебування частинок в сушарці. Тому вони використовуються для сушіння кристалічних продуктів, що містять в основному вологу, що легко видаляється з поверхні.

Модифікацією пневматичної сушарки, що дозволяє зменшити висоту, є сушарка з подвійними коаксіальними трубами. Підйом гарячої аеросуміші в такій сушарці відбувається по внутрішній, а опускання - по зовнішній трубі.

Отримав широке застосування метод сушіння у киплячому шарі, придатний для висушування матеріалів, які містять зв'язану вологу. Установки з киплячим шаром прості в конструктивному оформленні та експлуатації, легко можуть бути автоматизовані, в них можна поєднувати процеси сушіння і сепарації. Вартість сушарки киплячого шару низька порівняно з вартістю барабанних і стрічкових конвеєрних сушарок, а збільшена витрата енергії (у порівнянні з барабанними сушарками) окупається її перевагами.

### **3. ВИБІР ТИПУ СУШАРКИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ОБЛАСТІ ЗАСТОСУВАННЯ**

При одержанні сухих харчових продуктів з підвищеною чутливістю до високих температур перегрів матеріалу вище 40°C небажаний, оскільки готовий продукт втратить свої корисні властивості. Доцільним рішенням даної проблеми є застосування сушарки з киплячим шаром інертних тіл.

Переваги сушарки з киплячим шаром інертних тіл:

- висока вологонапруженість в апараті дозволяє використовувати сушильний агент з температурою до 200°C без ризику перегріти продукт, що висушується;
- інтенсивне перемішування в киплячому шарі обумовлює високий теплообмін і масообмін, високу швидкість і якість сушіння;
- відсутність рухомих частин всередині сушильної камери сприяє підвищенню надійності апарату, значно скорочує частоту і складність планово-попереджувальних ремонтів;
- простота конструкції знижує металоємність і габаритні розміри всієї сушильної установки.

Враховуючи вище перелічені переваги сушарки з киплячим шаром інертних тіл, а також недоліки інших типів сушарок, що унеможливають їх використання для вирішення поставленої задачі, обираємо сушарку з киплячим шаром інертних тіл.

Переробка якісних харчових продуктів не є доцільною, через те, що вони придатні для продажу і подальшого зберігання, тому об'єктом переробки обираємо сировину не придатну для транспортування або подальшого зберігання з метою максимального збереження корисних властивостей продукту. Також переробляти можна плодово-ягідні або овочеві культури, що



мають пом'ятості, невідповідність форми або розміру товарному вигляду для продажу.

## 2. Проведення досліджень

Дослідження процесу сушіння рідкої органічної сировини проводилося на лабораторній установці-сушарці киплячого шару (див. рис. 1).



Рис. 1 – Загальний вигляд лабораторної установки

Схема наведеної лабораторної установки показана на рис. 2.

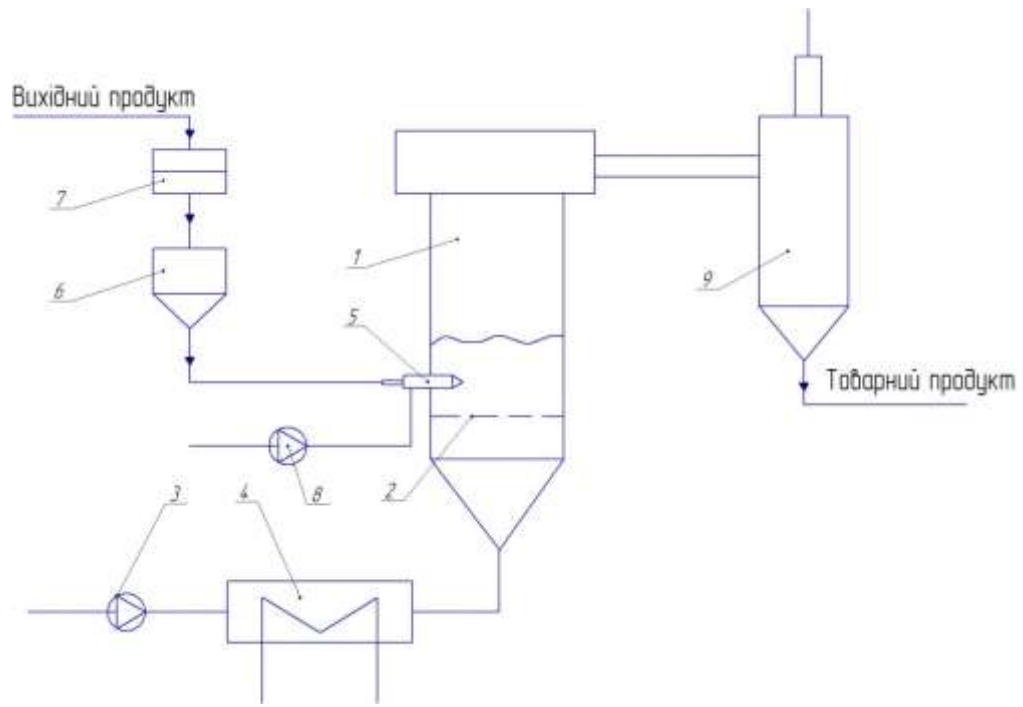


Рис. 2 – Схема дослідної установки:

1 - гранулятор; 2 – решітка; 3,8, – газодувка; 4 – калорифер;  
5 – пневмофорсунка; 6 – мірний бачок; 7 – млин; 9 – циклон

До складу лабораторної установки входять камера 1, виконана з органічного скла діаметром 180 мм. Знизу встановлена розподільча решітка 2 з отворами діаметром 2,5 мм у кількості 348 штук.

Під решітку через електрокалорифер 4 подавалося гаряче повітря за допомогою газодувки 3. Температура під решіткою змінювалася у межах від 0 до 350<sup>0</sup>С.

В якості органічного матеріалу використовували суміш з яблук без кісточок, що подавалася на пневмофорсунку 5 з мірного бачка 6. Перед подачею у киплячий шар суміш подрібнювалася у млині 7. Розпилювання у

киплячий шар інертних тіл здійснювалося пневмофорсункою 5 за допомогою повітрядувки 8 (пилососа).

Відділення висушеного матеріалу від відпрацьованого сушильного агента проводилося за допомогою циклона 9.

### **Досліди проводилися наступним чином.**

Спочатку харчові продукти (ягоди, плоди, тощо) перетиралася до утворення однорідної органічної суспензії.

На решітку вводилися інертні тіла. Під решітку подавалося повітря у кількості, яке забезпечувало стійкий киплячий шар інертних тіл. Після цього у киплячий шар починали вводити органічну суспензію за допомогою форсунки. Суміш покривала поверхню інертних тіл. Сушіння відбувалося за рахунок інтенсивного контакту з плівкою вологого матеріалу. Відділення висушеного матеріалу відбувалося за рахунок співудару інертних тіл у киплячому шарі. Відокремлений матеріал виносився відпрацьованим сушильним агентом до циклону, де відбувалося виділення кінцевого продукту.

У ході досліджень контролювалися такі параметри як витрати повітря та суспензії, температура повітря під решіткою та у киплячому шарі, вологість матеріалу.

Особливістю сушіння органічної речовини є напilenня на поверхню інертних тіл не рідини, а суспензії, яка представляє собою суміш клітковини, що становить дисперсну фазу, з рідкою фазою (дисперсійним середовищем) - соком.

В ході досліджень визначався оптимальний розмір і матеріал інертних тіл, що найбільш повно відповідає вимогам проведення процесу сушки харчових продуктів.

Проведений літературний аналіз показав, що в якості матеріалу інертних тіл доцільно використовувати фторопласт. Він має високу хімічну стійкість,

фторопласт інертний до розчинників, лугів і кислот, не розчинний у воді і не змочується нею.

Фторопласти характеризуються широким діапазоном механічних властивостей, низьким коефіцієнтом тертя, низькими значеннями зносу, не горять, мають стійкість до високих температур. Легко піддаються переробці.

Дослідження проводилися у два етапи.

**Першим етапом досліджень** було визначення умов сушки органічної суспензії на поверхні інертних тіл.

На першому етапі в якості інертних тіл бралися тіла з формою кулі розміром 4 мм. Встановлено, що механізм утворення оболонки навколо інертної гранули в залежності від температури гарячого повітря та вологості суспензії має певні відмінності.

Встановлено, що має місце три вида утворення оболонки навколо інертної гранули: одnobічний, оболонковий з вкрапленнями, нерівномірний.

Найбільш вагомим фактором, що впливає на кінетику росту гранул, є характер взаємодії між краплями суспензії та гранулами.

В залежності від різниці температур між зоною перегріву (прирешіточна зона) і зоною охолодження (зона введення суспензії) можна виділити чотири характерні режими сушки органічної суспензії при подачі суспензії у киплячий шар (див. рис. 4). При температурі шару в межах 40-50<sup>0</sup>С крапля суспензії не розтікається по поверхні гранули, а закріплюється з однієї сторони гранули, утворюючи при висиханні міцний нарост, який за своїми розмірами відповідає розмірам краплі (див. рис. 4.1). При підвищенні температури шару до 60-65<sup>0</sup>С крапля суспензії спочатку розтікається, але не повністю, бо починає інтенсивно випаровуватися рідина, утворюючи при висиханні тонкий міцний сухий шар, над поверхнею якого виступають вкраплені грудки різного розміру та форми, які містяться у вихідній суспензії (див. рис. 4.2). Подальше підвищення температури шару (> 70<sup>0</sup>С) призводить до утворення нерівномірної поверхні з

глибокими тріщинами (див. рис. 4.3). Аналіз утворених поверхонь показує, що окремі зони міцно зчепляються з поверхнею гранул, а інші легко сколюються. При дуже високій температурі ( $100^{\circ}\text{C}$  і більше) відбувається часткове висушування суспензії в об'ємі, коли вона ще не досягла поверхні гранули. Це призводить до утворення пилу, який складається з дуже дрібних часток різного розміру та форми (див. рис. 4.4).

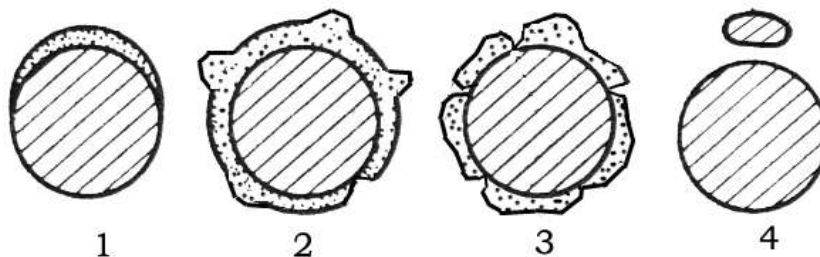


Рис. 4 – Режими утворення оболонки на поверхні гранули

1 – однобічний; 2 – оболонковий із вкрапленнями;

3 – нерівномірний з тріщинами; 4 - з утворенням нових центрів грануляції

Одержані результати дозволили зробити висновок, що безперервний процес сушки органічної суспензії у киплячому шарі з постійним вивантаженням сухого порошку можливий за умов підбору певного технологічного режиму.

Тобто сушка на поверхні інертного матеріалу у формі кульок відбувається, але органічна суспензія добре зчепляється з поверхнею гранул і не завжди зколюється.

Тому був проведений пошук, направлений на виявлення такої форми інертного матеріалу, який би сприяв гарному зколюванню висушеної суспензії з поверхні гранули.

**Другим етапом досліджень** було визначення впливу форми інертного тіла на швидку сушку суспензії та вмесення порошку з киплячого шару.

В якості інертних тіл були запропоновані фторопластові кубики (див рис. 4) розміром 4 x 4 x 4 мм, які випускаються промисловістю (див. рис. ...)

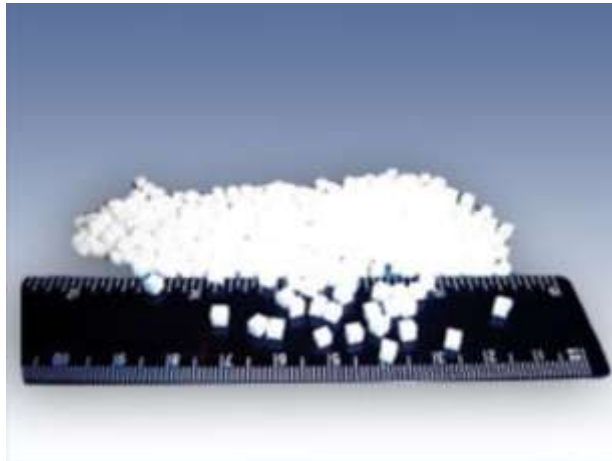


Рис. 4 – Інертні тіла – фторопластові кубики

Було встановлено, що більш рівномірне розподілення суспензії по поверхні відбувалося при сушінні на поверхні куль, але при сушінні на поверхні кубічної форми сколювання відбувалося більш інтенсивно завдяки наявності кутів, що виступали в якості зон концентрації напружень у шарі висушуваного матеріалу (див рис. 3). Це в свою чергу допомогло зменшити ризик перегріву висушеного матеріалу у киплячому шарі.

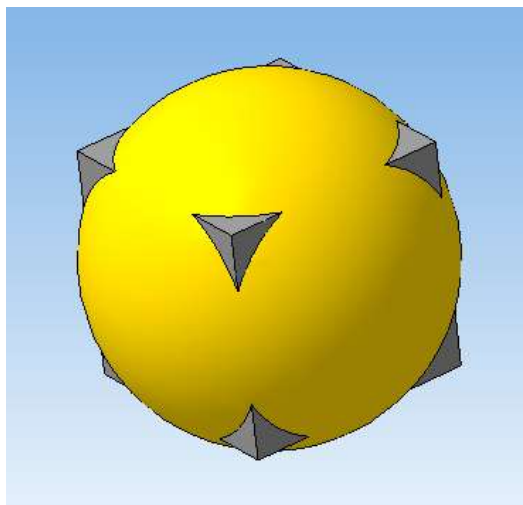


Рис. 3 – Розподілення суспензії по поверхні інертного тіла

#### 4. РОЗРОБКА ФІЗИЧНОЇ МОДЕЛІ ПРОЦЕСУ

Сформулюємо фізичну модель процесу. Специфіка киплячого шару інертних тіл при нанесенні висушуваної речовини складається з багаторазового змінення температури на поверхні інертних тіл, яке відбувається таким чином. У прирешіточній зоні інертне тіло обдувається гарячим повітрям і має температуру, близьку до температури повітря. Потім воно потрапляє в зону зрошення, яку утворює пневмофорсунка шляхом розпилювання суспензії. При цьому тіло в більшому або меншому ступені покривається шаром рідини і різко змінює температуру на значно меншу. Гранула стає важкою і знову опускається у прирешіточну зону, де контактує з потоком гарячого повітря, завдяки чому відбувається інтенсивне висушування рідини - плівка рідини випаровується «мігтєво» - так званий процес «вибухового» кипіння. Вода або розчин випаровується, а на поверхні гранули утворюється шар сухої речовини, котра в свою чергу відколюється при зіткненні з іншим інертним тілом.

Далі процес повторюється.

## 5. РОЗРОБКА СУШАРКИ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ПРОЦЕСУ

Враховуючи результати досліджень, а також проведені розрахунки була розроблена сушарка киплячого шару на інертних тілах (рис. 4), що має наступні параметри:

|  |            |
|--|------------|
| - продуктивність за вихідним продуктом | 500 кг/год |
| - вологість матеріалу                  |            |
| на вході                               | 85%        |
| на виході                              | 5%         |
| - діаметр сушарки                      | 600 мм     |
| - висота киплячого шару                | 100 мм     |

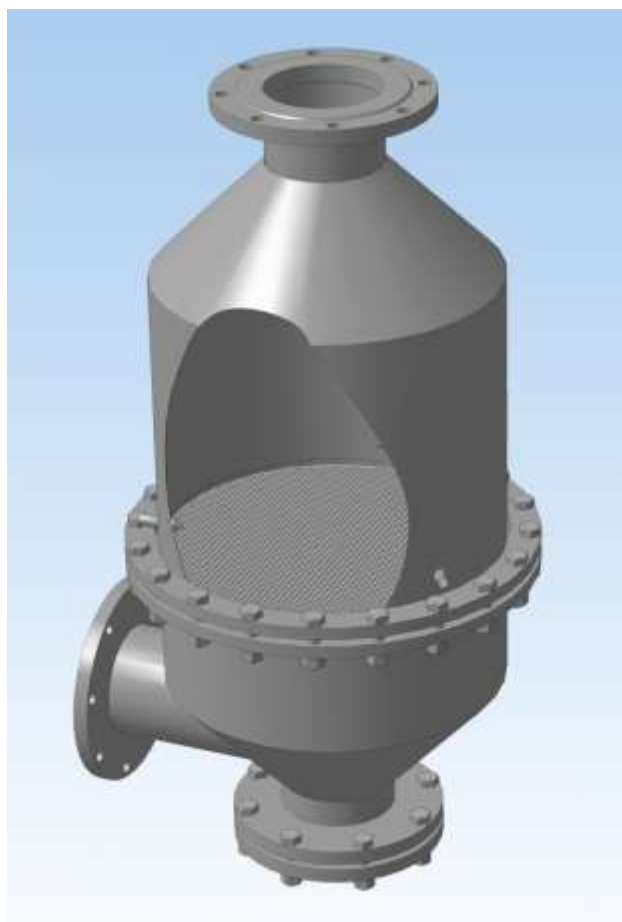


Рис. 5 Сушарка з киплячим шаром інертних тіл



Сушарка з киплячим шаром інертних тіл являє собою апарат, в який знизу подається підігріте повітря зі швидкістю, достатньою для підтримки киплячого шару інертних тіл. Висушуваний продукт вводиться в середину шару за допомогою пневмофорсунок. Інтенсивний контакт сушильного агента з плівкою вологого матеріалу сприяє прискореному висушуванню. Сколювання висушеного продукту відбувається при зіткненні інертних тіл в шарі. Відокремлені частинки сухого продукту виносяться відпрацьованим сушильним агентом в циклон, де відбувається виділення кінцевого продукту.

Інертні тіла - фторопластові кубики. Розміри кубиків 4x4x4 мм.



## ВИСНОВКИ

1. Створена лабораторна установка та досліджені умови процесу нанесення органічної суспензії на поверхню азотних добрив.

2. Обґрунтована доцільність використання органічних відходів (посліду та гною) в якості покриття за уповільнення виходу поживних речовин з азотних мінеральних добрив.

3. Встановлено механізм росту гранул органічної суспензії у киплячому шарі.

3. Визначені чотири режими росту гранул, характерні для гранулювання органічної суспензії у киплячому шарі

5. Розроблена фізична модель процесу дрозжування.

6. На основі проведених досліджень розроблена технологія виробництва гранульованих азотних добрив пролонгованої дії з покриттям дешевого органічного матеріалу.

7. Запропонована технологія має екологічний ефект, бо запобігає викиду необроблених відходів тваринництва у відкриті водоймища та не засмічує ґрунт біогенними речовинами.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гинзбург А.С. Расчёт и проектирование сушильных установок пищевой промышленности, Москва, Агропрмиздат, 1985 г.
2. Дытнерский Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии. Пособие по проектированию, Москва, Химия, 1991 г.
3. Дытнерский Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии. Пособие по проектированию, Москва, Химия, 1983 г. 272 с.
4. Стабников В.Н. Проектирование процессов и аппаратов пищевых производств, Киев, В. школа, 1982 г.
5. Сажин В.С. Основы техники сушки. - М: Химия, 1984 г.
6. Гришин М.А. Установки для сушки пищевых продуктов. Справочник: М: Пищевая промышленность, 1989 г.