

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ  
Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії  
Кафедра автоматизації технологічних процесів і виробництв

**ЛОПУШНЯК ЮРІЙ БОГДАНОВИЧ**

**УДК 681.5: 664.1.048.5**

**ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ УСТАНОВКИ ВАКУУМ-  
ВИПАРОВУВАННЯ ТОМАТНОЇ ПАСТИ**

151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

**Автореферат**  
дипломної роботи на здобуття освітнього ступеня «магістр»

Тернопіль  
2018

Роботу виконано на кафедрі автоматизації технологічних процесів і виробництв Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя Міністерства освіти і науки України

**Керівник роботи:** кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматизації технологічних процесів і виробництв  
**МЕДВІДЬ Володимир Романович,**  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

**Рецензент:** кандидат технічних наук, доцент кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій  
**БАДИЩУК Василь Ігорович,**  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Захист відбудеться 27 лютого 2018 р. о 13<sup>00</sup> годині на засіданні екзаменаційної комісії №41 у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя за адресою: 46001, м. Тернопіль, вул.Руська, 56, навчальний корпус №1, ауд. 401

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми роботи.** Однією з важливих технологічних операцій виробництва харчових продуктів є згущення сировини методом випарювання до певного вмісту сухої речовини. Такий технологічний процес застосовують при виробництві багатьох продуктів харчування, таких як овочеві пасти, варення і т.п. Випарювання здійснюють у вакуум-випарних установках, це дозволяє вести процес при суттєво нижчих значеннях температури, що є важливим для збереження харчової цінності продуктів харчування та, відповідно, забезпечує значу економію енергоресурсів. Актуально дослідити динамічну модель цього технологічного процесу, з метою коригування законів регулювання для забезпечення підвищення продуктивності та зменшення енерговитрат.

**Мета роботи:** Розробка та дослідження автоматизованої системи керування технологічним процесом згущення сировини методом випарювання у вакуум-випарній установці. Визначення передавальних функцій автоматичної системи для вирішення завдання синтезу комбінованої системи регулювання температури й вакууму, а також оптимальних настроювань автоматичних регуляторів з метою підвищення ефективності використання теплоносіїв у вакуум-випарній установці.

**Об'єкт, методи та джерела дослідження.** Вакуум-випарна установка на базі скребкового теплообмінного агрегату, технологічний процес вакуумного випарювання томатної пасти та полікопонентних овочевих сумішей.

**Методи виконання роботи:** аналітичний, математичного моделювання, порівняльний, теоретико-емпіричний.

### **Наукова новизна отриманих результатів:**

Типові динамічні моделі не враховують змін витрат і температури продукту на вході у вакуум-випарний апарат та вакуумметричного тиску. Відповідно, при зміні навантаження вакуум-випарного апарату, для підтримки необхідної температури кипіння на заданому рівні, необхідно постійно коригувати параметри налаштування автоматичних регуляторів температури й вакууму, що призводить до зниження точності дотримання основних параметрів технологічного процесу та, як наслідок, зменшення продуктивності та енергоефективності.

У даній роботі однокорпусна вакуум-випарна установка розглянута як багатомірний об'єкт автоматичного керування й запропоновані нові модифікації лінеаризованих динамічних моделей цієї установки. На відміну від відомих запропоновані моделі дозволяють урахувати коливання витрати й температури продукту на вході у вакуум-випарний апарат, а також зміну вакуумметричного тиску. Визначено збурюючі впливи на канал регулювання температури й отримані передавальні функції по цих впливах. Такі передавальні функції дозволяють вирішити завдання синтезу комбінованих систем регулювання температури й вакууму, а також обчислити оптимальні настроювання автоматичних регуляторів. Застосування таких систем у практиці регулювання дозволить підвищити ефективність використання теплоносіїв у вакуум-випарній установці.

### **Практичне значення отриманих результатів.**

Аналіз вакуум–випарної установки, як об'єкта керування, на основі запропонованої лінеаризованої динамічної моделі з підвищенням ефективності використання теплоносіїв дозволить забезпечити:

1. поліпшення якості регулювання концентрації сухих речовин
2. поліпшення якості регулювання температури продукту
3. покращення якості регулювання вакуумметричного тиску

Запропоновані моделі застосовні для синтезу систем автоматичного управління вакуум–випарними установками харчових виробництв.

**Апробація.** Окремі результати роботи доповідались на VII-ій Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, Тернопіль, ТНТУ, 28-29 листопада 2018 року.

**Структура роботи.** Робота складається з розрахунково-пояснювальної записки та графічної частини. Розрахунково-пояснювальна записка складається з вступу, 8 частин, висновків, переліку посилань та додатків. Обсяг роботи: розрахунково-пояснювальна записка – 169 арк. формату А4, додатки – 4 арк. формату А4, графічна частина – 7 аркушів формату А1

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

**У вступі** проведено огляд сучасного стану автоматизації харчової промисловості.

**В аналітичній частині** проведено аналіз стану питання за літературними та іншими джерелами, обґрунтовано актуальність роботи, виконано постановку задачі на дипломну роботу, проведено огляд аналогів обладнання, технічних рішень, технологічних процесів харчової промисловості у частині автоматизованого обладнання для згущення та випарювання харчових продуктів

**В науково-дослідній частині** проведено дослідження динамічних моделей вакуум–випарних установок. Запропоновано удосконалювання процесу вакуум-випарювання полікомпонентних сумішей при виробництві пюреподібних концентратів. Запропоновано конструювання експериментальної установки й методики проведення досліджень процесу концентрування полікомпонентної сировини в умовах вакууму. Розроблено математичну модель гравітаційних течій плівки овочевих пюре по вертикальних поверхнях вакуум-випарних апаратів.

**В технологічній частині** Проведено вибір і обґрунтування технологічної схеми виробництва і загальний опис технології виготовлення томатної пасти. Вибране основне технологічне обладнання лінії виготовлення томатної пасти, розраховано продуктивність обладнання лінії. Уточнено функціональне призначення обладнання цеху виготовлення томатної пасти, обрано його основні техніко-економічні параметри. Обґрунтовано техніко-економічну доцільність модернізації вакуум-випарної установки.

**В конструкторській частині** розроблено базову конструкцію вакуум–випарної установки, технічні засоби контролю та автоматизації лінії виготовлення томатної пасти. Розроблено автоматизовану систему управління і контролю установки вакуумно-випарної на базі програмованого логічного контролера МСХ53-34.х.

**В спеціальній частині** виконано програмування логічного контролера MCX53-34.x. та модуля RS2-1 у режимі slave-пристрою промислової мережі MODBUS

**В частині «Обґрунтування економічної ефективності»** розглянуто питання організації виробництва і проведено розрахунки техніко-економічної ефективності прийнятих проектних рішень.

**В частині «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях»** розглянуто питання планування робіт по охороні праці, розроблено заходи по безпечній експлуатації обладнання, та по захисту і відновленню підприємства у разі надзвичайних ситуацій.

**В частині «Екологія»** проаналізовано сучасний екологічний стан на підприємствах харчової промисловості України, розглянуто питання забруднення довкілля, що виникає внаслідок реалізації технологічного процесу, а також запропоновано заходи зі зменшення забруднення довкілля.

**У загальних висновках щодо дипломної роботи** описано прийняті в проекті технічні, технологічні рішення та проведені наукові дослідження методів згущення сировини методом випарювання до певного вмісту сухої речовини, запропоновано контрольоване значення застосовувати для коригування умов технологічного процесу та функціонування системи автоматичного контролю та управління, з метою забезпечення максимальної продуктивності і точності, що дозволить покращити якість продукції та забезпечити енергоефективність технологічного процесу.

**В додатках** до пояснювальної записки приведено специфікації основних модулів логічного контролера MCX53-34.x та автоматизованої лінії згущення сировини методом вакуумного випарювання.

**В графічній частині** приведено креслення загального вигляду лінії з компонуванням обладнання та засобами автоматизації, креслення загального вигляду вакуум-випарної установки, креслення складальне теплообмінника вакуумного, скребкового, приведено функціональну та принципову електричну схеми системи автоматичного керування і контролю на базі логічного контролера MCX53-34.x. Представлено ілюстрації до науково-дослідної частини.

## **ВИСНОВКИ**

Запропоновані моделі застосовні для синтезу систем керування вакуум-випарними установками харчових виробництв.

Досліджено реологічні і теплофізичні характеристики вихідних і концентрованих полікомпонентних овочевих сумішей.

Вивчено основні закономірності тепло- і масообмінних процесів при вакуум-випарюванні полікомпонентних овочевих сумішей і розроблено нові способи виробництва полікомпонентних овочевих концентратів збалансованого складу; визначено раціональні технологічні режими процесу.

Досліджено вплив основних параметрів процесу на механізм формування структури полікомпонентних овочевих концентратів;

Розроблено математичну модель процесу вакуум-випарювання полікомпонентних овочевих сумішей для визначення температури й вологовмісту плівки пюре, режиму течії фруктового пюре на вертикальній стінці вакуум-камери.

Розроблено нові конструкції вакуум-випарних апаратів і способи виробництва полікомпонентних овочевих пюре.

Визначені реологічні й теплофізичні характеристики полікомпонентних овочевих сумішей.

Виявлено, сформульовані й описані основні закономірності тепло- і масообміну в процесі вакуум-випарювання полікомпонентних овочевих сумішей; обґрунтована необхідність використання випарювання мілкодисперсно-розпиленого пюре для збереження термолабільних поживних речовин.

Розроблено математичну модель процесу вакуум-випарювання полікомпонентних овочевих сумішей, що дозволяє розрахувати не тільки режим плинину плівки фруктового пюре на вертикальній стінці вакуум-камери, але й визначити характер зміни температури й вологовмісти в досліджуваному пюре по висоті вакуум-камери.

Визначено й обґрунтовані раціональні технологічні режими процесу вакуум-випарювання полікомпонентних овочевих пюре, що забезпечують скорочення тривалості процесу, зниження питомих енерговитрат і підвищення якості готової продукції.

## **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ АВТОРОМ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ**

Ю.Б. Лопушняк, І.Р. Козбур, Дослідження автоматизованого процесу вакуум-випарювання харчових продуктів / Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей міжнар. наук.-техн. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 28–29 листопад 2018.) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін]. – Тернопіль : ТНТУ, 2018. – 110–111.

## **ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ**

1. Хомяков, А. П. Усовершенствование выпарных установок «Виганд» для сгущения молока / Т. К. Трофимов, В. Д. Харитонов // Молочная промышленность. - 1999. - № 2. - С. 17-19.
2. Новое в автоматизации технологических процессов сгущения и сушки молока и молочных продуктов / Л. П. Брусиловский, А. Я. Вайнберг, В. П. Молотков. - М.: ЦНИИТЭИмясомолпром, 1983. - 56 с.
3. Хомяков, А. П. Отечественное оборудование для сгущения молока и молочных продуктов / А. П. Хомяков, Л. К. Трофимов // Молочная промышленность. - 1999. - № 1. -
4. Опыт эксплуатации выпарного и сушильного оборудования на Лианозовском комбинате / Ю. И. Меркулов [и др.] // Молочная промышленность. - 1993. - № 1. - С. 21-24.
5. Брусиловский, Л. П. Приборы технологического контроля в пищевой промышленности / Л. П. Брусиловский, А. Я. Вайнберг. - М.: Агропромиздат, 1990. - 288 с.

6. Соколов В.Н. Конструирование оборудования пищевых производств.- М.: Пищевая промышленность, 1983-348с.
7. Харламов С. В. Конструирование технологических машин пищевых производств. М.: Машиностроение, 1979 г. – 256с.
8. Азаров Б. М. Технологическое оборудование пищевых производств. – М.: Агропромиздат, 1988. – 320 с.

## АНОТАЦІЯ

В дипломній роботі досліджено основну технологічну операцію згущення методом випарювання до певного змісту сухих речовин. Випарювання здійснюється у випарних апаратах при вакуумному розрідженні, що дозволяє вести процес при знижених температурах. При зниженій температурі кипіння продукту в умовах вакууму досягається значно більша різниця температур між нагрівальною парою і киплячою рідиною. Процес згущення при цьому протікає більш інтенсивно, а знімання пари з одиниці поверхні нагрівання набагато вище в порівнянні з атмосферним випарюванням.

У даній роботі однокорпусна вакуум–випарна установка розглянута як багатомірний об'єкт автоматичного керування й запропоновані нові модифікації лінеаризованих динамічних моделей цієї установки. На відміну від відомих запропоновані моделі дозволяють урахувати коливання витрати й температури продукту на вході у вакуум–випарний апарат, а також зміну вакуумметричного тиску. Визначено збуджуючі впливи на канал регулювання температури й отримані передавальні функції по цих впливах. Такі передавальні функції дозволяють вирішити завдання синтезу комбінованих систем регулювання температури й вакууму, а також обчислити оптимальні настроювання автоматичних регуляторів. Застосування таких систем у практиці регулювання дозволить підвищити ефективність використання теплоносіїв у вакуум–випарній установці.

Запропоновані моделі застосовні для синтезу систем керування вакуум–випарними установками харчових виробництв.

Досліджено реологічні і теплофізичні характеристики вихідних і концентрованих полікомпонентних овочевих сумішей.

Вивчено основні закономірності тепло- і масообмінних процесів при вакуум-випарюванні полікомпонентних овочевих сумішей і розроблено нові способи виробництва полікомпонентних овочевих концентратів збалансованого складу; визначено раціональні технологічні режими процесу.

**Ключові слова:** РЕОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ, В'ЯЗКІСТЬ, ВАКУУМНЕ ВИПАРОВУВАННЯ, МЕТОДИ КОНТРОЛЮ, ПЕРЕДАВАЛЬНА ФУНКЦІЯ, ДИНАМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ.

## ANNOTATION

In qualifying work investigated the main technological operation of the condensation by evaporation to dry substance content. Evaporation is carried out in the apparatus when the vacuum pressure, which allows to carry out the process at low temperatures. When a lower boiling point product in vacuum conditions is achieved, a much bigger temperature difference between saturated steam and boiling liquid. The

thickening process thus proceeds more intensively, and the removal of vapor from the surface unit heating is much higher in comparison with atmospheric evaporation.

In this paper adenocarpus vacuum evaporation plant is considered as a multidimensional object automatic control and the proposed new modifications linearithmic dynamic models of the plant. In contrast to the known proposed model allows to take into account fluctuations in flow and temperature at inlet in the vacuum evaporation apparatus, and changing the vacuum pressure. Defined impact on the control channel temperature and the obtained transfer functions for these effects. Such a transfer function can solve the problem of synthesis of combined systems temperature control and vacuum, as well as to calculate the optimum settings for automatic controllers. The use of such systems in practice, the regulation will increase the efficiency of heat transfer in the vacuum-evaporation installation.

The proposed model is applicable for the synthesis of control systems, vacuum evaporators food production.

The rheological and thermo physical characteristics of the source and concentrated multicomponent vegetable mixtures.

The main regularities of heat and mass transfer processes during the vacuum evaporation of multicomponent vegetable mixes and developed new ways of producing multicomponent vegetable concentrates balanced composition; defined rational technological regimes of the process.

**Key words:** RHEOLOGICAL PROPERTIES, VACUUM EVAPORATION, METHODS OF CONTROL, TRANSFER FUNCTION, DYNAMIC PROPERTIES.