

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
Факультет інженерії та енергетики  
Кафедра процесів, машин і обладнання в агроінженерії

УДК 631.363

Кваліфікаційна робота на правах  
рукопису

**МАМЧУР Микола Володимирович**

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ТІСТОМІСИЛЬНОЇ МАШИНИ**

208 «Агроінженерія»

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень.  
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на  
відповідне джерело

---

(підпис)

(ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи  
к.т.н., Медведський О.В.

Житомир – 2021

## АНОТАЦІЯ

Мамчур М. В. **Удосконалення конструкції тістомісильної машини.** – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістр зі спеціальності 208 – агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2021 р.

У кваліфікаційній роботі виконано аналіз серійних конструкційні тістомісильних машин. Встановлено, що на якість приготування тіста має вплив не тільки показники сировини, але і спосіб організації технологічного процесу з використанням ефективних робочих органів технічних засобів .

Кваліфікаційна робота вирішує науково-технічне завдання підвищення ефективності приготування тіста у машинні періодичної дії за рахунок обґрунтування конструкційних параметрів та режимів роботи удосконаленого робочого органу.

Виконані аналітичні дослідження дозволили встановити вплив геометричних параметрів удосконаленого робочого органу на енергетичну ефективність приготування тіста, обґрунтовано режими роботи тістомісильної машини.

**Ключові слова:** тістоприготування, частота обертання, енергоємність, пружність тіста, продуктивність машини.

## ANNOTATION

Mamchur M. V. **Improving the dough mixing machine design.** – Qualification work on the rights of the manuscript.

Qualifying work for a master's degree in 208 – agroengineering. – Polissia National University, Zhytomyr, 2021.

In the qualification work the analysis of serial structural kneading machines is executed. It is established that the quality of dough preparation is influenced not only by the indicators of raw materials, but also by the way of organizing the technological process with the use of effective working bodies of technical means.

Qualification work solves the scientific and technical problem of increasing the efficiency of dough preparation in the machine of periodic action by substantiating the design parameters and modes of operation of the advanced working body.

The performed analytical researches allowed to establish the influence of geometrical parameters of the improved working body, of energy efficiency of dough preparation, the modes of operation of the kneading machine are substantiated.

**Key words:** dough preparation, speed, energy consumption, dough elasticity, machine productivity.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	4
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ТА ТЕХНОЛОГІЙ ПРИГОТУВАННЯ ТІСТА .....	7
1.1. Технологічні вимоги до технічних засобів приготування тіста ...	7
1.2. Аналіз ефективності робочих органів машин для приготування тіста .....	10
1.3. Висновки до розділу 1 .....	13
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ УДОСКОНАЛЕНОЇ ТІСТОМІСИЛЬНОЇ МАШИНИ .....	14
2.1. Обґрунтування конструкції удосконаленої тістомісильної машини .....	14
2.2. Встановлення аналітичних залежностей параметрів тістоприготування удосконаленим робочим органом .....	16
2.3. Висновки до розділу 2 .....	19
РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ УДОСКОНАЛЕНОЇ ТІСТОМІСИЛЬНОЇ МАШИНИ .....	20
3.1. Визначення впливу конструкційних параметрів тістомісильної машини на енергетику процесу .....	20
3.2. Встановлення технологічної ефективності удосконаленої тістомісильної машини .....	23
3.3. Висновки до розділу 3 .....	25
ВИСНОВКИ .....	27
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	29

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Для виробництва хлібобулочних виробів сучасні хлібопекарські підприємства використовують різне за своїми властивостями тісто. Тісто, в свою чергу, виготовляється за допомогою тістомісильних машин, які відрізняються за своїм техніко-технологічним призначенням та умовами експлуатації. Найбільш поширеними у хлібопекарському виробництві є тістомісильні машини неперервної або періодичної дії [1, 2]. Використання тістомісильних машин періодичної дії вважається більш прийнятним. Це стосується як технічної так і технологічної складової виробничого процесу. Основною перевагою тістомісильних машин періодичної дії є можливість приготування тіста об'єм потреби якого відповідає одному замісу. Для цього використовуються машини як із вертикальними так і з горизонтальними робочими органами. Використання вертикальних робочих органів спрощує процес завантаження компонентів та вивантаження готового тіста. Ефективне використання тістомісильної машини зумовлене детальним знанням її будови та функціонального призначення кожної складової.

Приготування якісного тіста залежить від ефективності кожної складової тістомісильних машин. Так, у більшості представлених на ринку обладнання, для інтенсифікації процесу замішування тіста використовується активний привод як робочих органів так і місткості для тіста. Окрім цього, використання робочих органів із складною геометричною формою не тільки ускладнює процес їх виготовлення, а також вимагає використання складного приводу. У деяких конструкціях тістомісильних машин використовується по два робочих органи, що ускладнює привод та технічну експлуатацію такого обладнання. Використання активного приводу місткості та складних робочих органів обумовлена додатковими витратами енергії.

Тому, розроблення нових робочих органів тістомісильних машин з удосконаленням технологічного процесу тістоприготування залишається актуальною проблемою сучасної хлібопекарської галузі.

**Мета і задачі досліджень.** Мета досліджень – підвищення ефективності приготування тіста шляхом удосконалення робочих органів та технологічних параметрів тістомісильної машини.

Для досягнення поставленої мети підлягають вирішенню такі завдання:

- оцінити техніко-технологічні параметри тістомісильних машин та вимоги до приготування тіста;
- обґрунтувати конструкційно-функціональну схему удосконаленого робочого органу тістомісильної машини;
- виконати дослідження конструкційних параметрів та технологічних режимів роботи удосконаленої тістомісильної машини;
- встановити ефективність використання удосконаленого робочого органу тістомісильної машини.

**Об'єкт дослідження** – тістомісильна машина періодичної дії із удосконаленим робочим органом.

**Предмет дослідження** – вплив геометрії удосконаленого робочого органу тістомісильної машини на ефективність технологічного процесу.

**Методи досліджень.** При вирішенні основних завдань на кваліфікаційну роботу використовували основні положення теорії математичного моделювання із застосуванням положень гідродинаміки, теплотехніки та технічної термодинаміки. Теоретичні дослідження проводились з метою отримання аналітичних залежностей, які дозволяють встановити конструкційно-технологічні параметри вертикального спіралеподібного робочого органу тістомісильної машини.

Обробка та аналіз результатів досліджень здійснювалась з використанням теорії ймовірності, кореляційного та регресійного аналізу, використовувався комп'ютерний програмний продукт Microsoft Excel.

**Апробація результатів роботи.** Результати пошукових та теоретичних досліджень за тематикою кваліфікаційної роботи пройшли апробацію на конференціях міжвузівських та міжнародній, відображені у наступних опублікованих працях:

1. Мамчур М. В. Встановлення технологічних особливостей тістомісильних машин. *I-й тур Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт з галузей знань і спеціальностей* : збірник тез доповідей науково-практичної конференції. 18 січня 2021 р. Житомир: Поліський національний університет, 2021. С. 36–37.

2. Медведський О. В., Мамчур М. В. Енергетична складова тістомісильних машин різних типів. *Біоенергетичні системи* : матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції. Житомир: Поліський національний університет, 2021. Том 3. С. 10–11.

3. Медведський О. В., Мамчур М. В. Оцінка робочих органів тістомісильних машин. *Студентські читання–2021* : матеріали науково-практичної конференції. 15 листопада 2021 р. Житомир: Поліський національний університет, 2021. С. 29–31.

**Структура та обсяг роботи.** Кваліфікаційна робота включає вступ, три розділи основної частини, загальні висновки, список використаних літературних джерел (20 найменувань), викладена на 30 сторінках комп'ютерного тексту, проілюстрована 11 рисунками.

# РОЗДІЛ 1

## АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ТА ТЕХНОЛОГІЙ ПРИГОТУВАННЯ ТІСТА

### 1.1. Технологічні вимоги до технічних засобів приготування тіста

Основою технологічного процесу приготування тіста є якісна підготовка вихідних компонентів їх дозування та перемішування. Однорідність тіста є основною вимогою якості, адже від того, наскільки рівномірно окремі компоненти будуть розподілені в основному об'ємі залежать характеристики отриманого готового продукту. Саме тому тістомісильна машина є найбільш відповідальним обладнанням технологічного ланцюга з виготовлення хлібобулочних виробів [1, 2, 3].

Для замісу тіста застосовуються різноманітні за конструкційними особливостями тістомісильні машини. Будь-яка тістомісильна машина складається з трьох основних елементів [3, 4]:

- ємності для замісу тіста;
- місильного органу;
- приводу робочих органів.

Тістомісильні машини класифікують:

- за характером роботи – обладнання періодичної та неперервної дії;
- за типом ємності – машини зі стаціонарними ємностями або змінними діжками;
- за розташуванням та характером руху робочого органу – машини з горизонтальною, вертикальною та похилою віссю обертання робочого органу, з плоским коливальним і складним просторовим рухом;
- за частотою обертання робочого органу – машини бувають тихохідні, з частотою обертання робочого органу 15–60 об/хв., та швидкохідні - 80–280 об/хв.

Найважливішою характеристикою тістомісильних машин є інтенсивність замісу тіста, яка позитивно впливає на якість хлібобулочних виробів, сприяє підвищенню вологопоглинальної здатності борошна, поліпшенню структури м'якушки, збільшення об'ємного виходу хліба та уповільнення черствіння.

Підвищення інтенсивності замісу тіста в тістомісильних машинах може здійснюватися різними способами [3, 4, 5, 6]:

- підвищенням частоти обертання робочого органу в швидкохідних машинах;
- збільшенням тривалості замісу тіста до 15–20 хв. в тихохідних машинах.

Найбільш поширеними вважаються тістомісильні машини неперервної та циклічної дії. Проте, хлібопекарські підприємства надають перевагу тістомісильним машинам періодичної дії з вертикальними або горизонтальними робочими органами (рис. 1.1). Це пояснюється особливістю організації технологічного процесу – можливість приготування об'єму тіста достатнього для одного замісу [6].

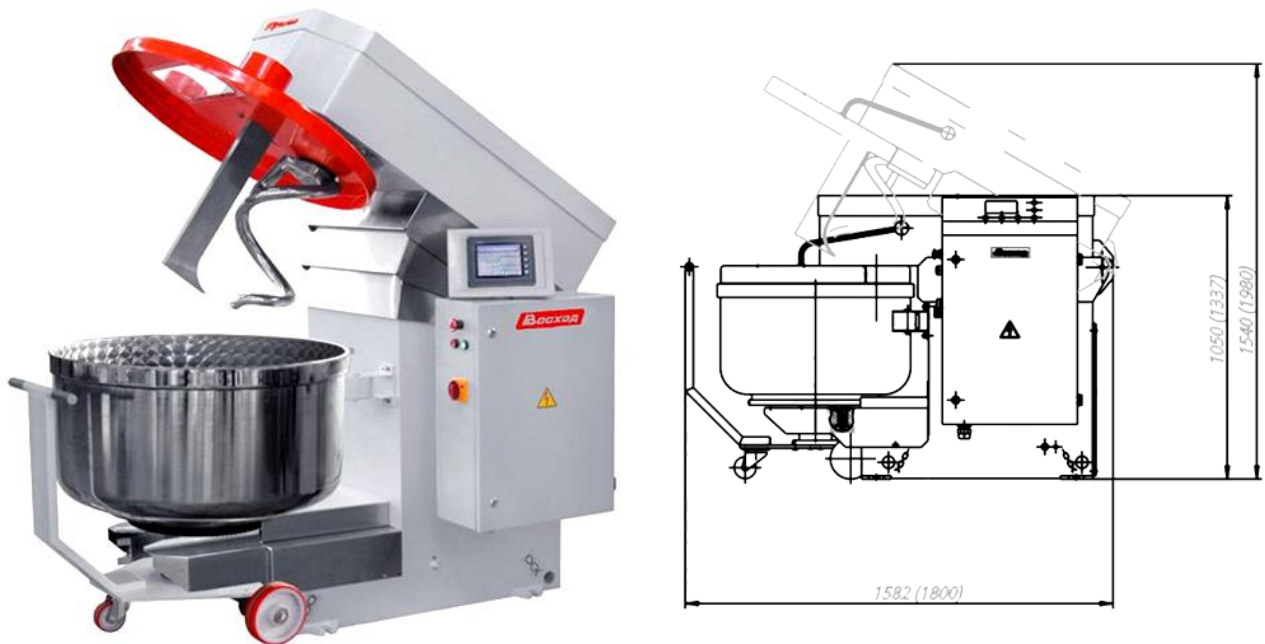


Рис. 1.1 Тістомісильна машина «Прима-300» [7]



На рис. 1.1 зображено тістомісильну машину «Прима-300». Це двошвидкісна автоматична тістомісильна машина для інтенсивного замісу, має один спірального типу робочий орган та центральний відсікач, циліндрична товстостінна місткість для тіста (об'єм 300 л.) оснащена колісним підкатним пристроєм та обертається навколо своєї осі за допомогою приводу циліндричної зубчастої передачі [7].

Універсальна тістомісильна машина періодичної дії Г4-МТМ-330 має дві швидкості обертання робочих органів, призначена для виробництва пшеничного, житньо-пшеничного, житнього та інших сортів тіста (рис. 1.2), оснащена підкатною місткістю на 330 л [7].

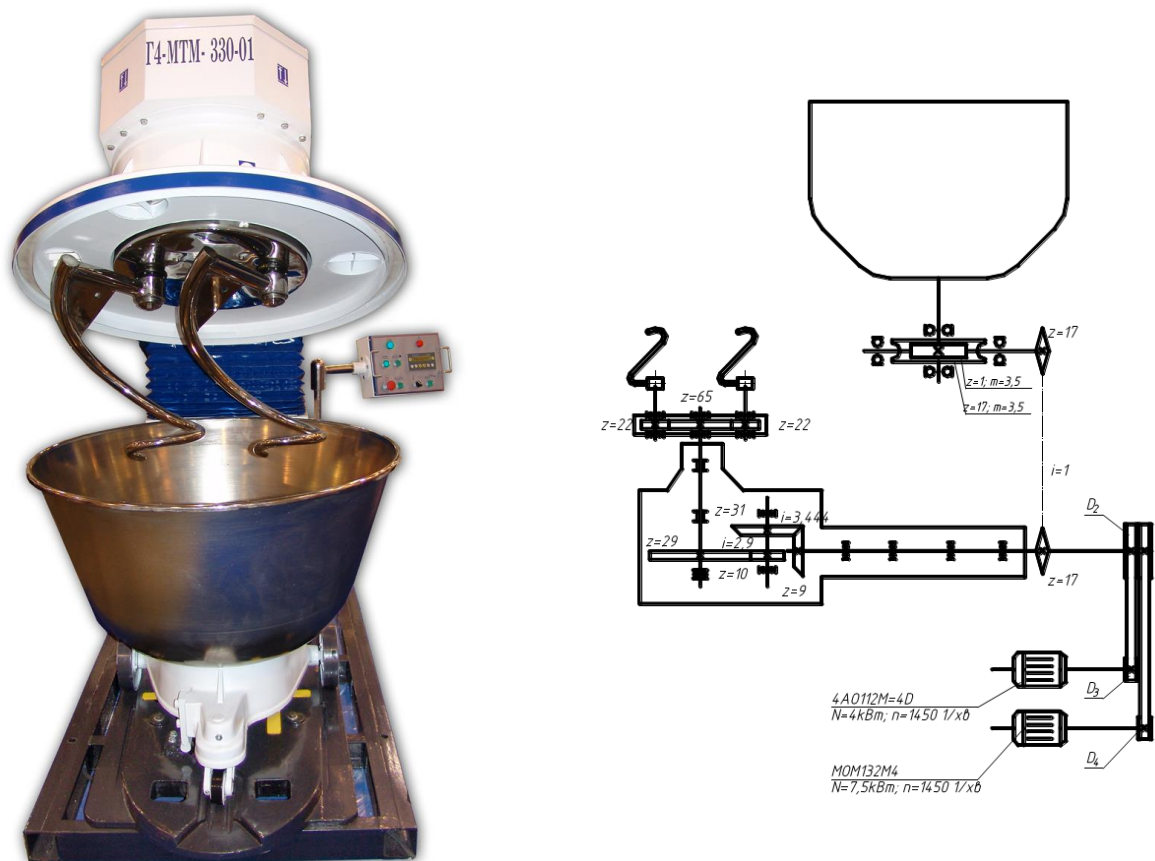


Рис. 1.2. Загальний вигляд та кінематична схема тістомісильної машини періодичної дії Г4-МТМ-330 [7].

Характерною особливістю тістомісильної машини Г4-МТМ-330 є використання двох паралельних робочих органа, що дозволяє підвищити інтенсивність замісу тіста.

Під час вимішування тіста місильним робочим органом в'язкість тіста поступово змінюється. Від впливу робочого органу тістомісильної машини суміжні шари тіста зрушуються один відносно одного, а швидкість зрушення залежить від в'язкості тіста. При зниженні в'язкості тіста знижується опір перемішування робочого органу тістомісильної машини, а це впливає на зниження енергетичних витрат на замішування тіста [3, 4].

Деякі дослідники [5] відзначають, що на якість отримання кінцевого продукту впливають конструкційні особливості робочих органів, кінематичні характеристики робочих органів, тривалість технологічного процесу вимішування тіста та його початкова структура. До конструкції робочих органів тістомісильних машин висуваються вимоги не тільки якісно вимішувати тісто шляхом механічної взаємодії, але виконувати цю технологічну функцію із найменшими енергетичними витратами. Відповідно до витрат енергії пропонується класифікувати тістомісильні машини на три групи [5]:

- стандартний тип – за умови питомої витрати енергії до 15 кДж/кг тіста;
- інтенсивний тип – за умови питомої витрати енергії в діапазоні від 15 до 30 кДж/кг тіста;
- понад інтенсивний тип – за умови питомої витрати енергії в понад значення у 30 кДж/кг тіста.

При цьому, інтенсивність механічного впливу робочих органів на тісто залежить від тривалості перемішування, відносною швидкістю переміщення та формою поверхні взаємодії компонентів.

## **1.2. Аналіз ефективності робочих органів машин для приготування тіста**

Виготовлення тіста дуже важливий технологічний процес, від ефективності якого залежить кінцева якість хлібобулочних виробів. На

виготовлення тіста витрачається майже 70 % [6, 8] усього часу на отримання готового хліба. Тому резервом скорочення затрат часу є прискорення процесу приготування тіста за рахунок використання оптимальної конструкції робочих органів.

Форма та геометрія робочого органу тістомісильної машини визначається способом перемішування тіста при взаємодії із місткістю для тіста – рухома або нерухома. У тістомісильних машинах використовуються робочі органи різноманітної геометричної форми та просторового розташування у місткості для замішування тіста (рис. 1.3) [8, 9, 10, 11].

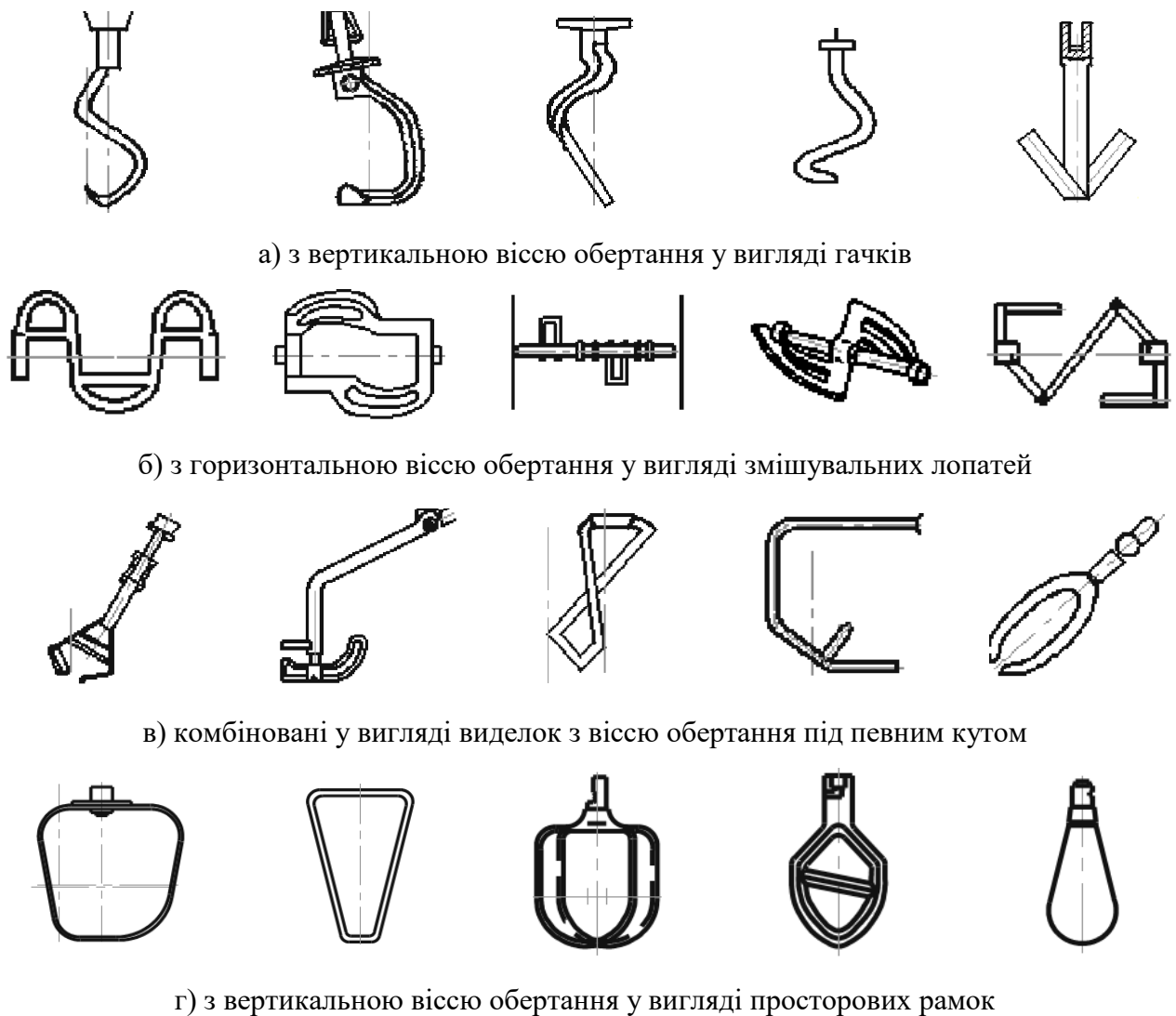


Рис. 1.3. Геометричні форми робочих органів тістомісильних машин

Робочі органи з вертикальною віссю обертання (рис. 1.3, а) використовують у тістомісильних машинах періодичної дії у яких обертається місткість для приготування тіста. у машин такого типу регулюється тільки частота обертання робочого органу у визначених межах, або можлива відсутність такого регулювання, що звужує умови використання машини. Перевагою таких машин є відносна простота конструкції та визначені умови впливу робочих органів на тісто під час його замішування [8, 9, 10, 11].

Для робочих органів з горизонтальною віссю обертання (рис. 1.3, б) характерним є часткова взаємодія з тістом. Кожна частина такого робочого органу одночасно взаємодіє з тістом тільки однією своєю частиною, а інша виконує холостий хід. В такому випадку важливим є ступінь заповнення місткості для тіста [8, 9, 10, 11].

Робочі органи, вісь обертання яких знаходиться під кутом до вертикалі місткості для тіста (рис. 1.3, в) забезпечують інтенсифікацію перемішування при одночасному обертанні місткості. Деякі робочі органи даного типу повторюють контур бічної поверхні змішувальної місткості для тіста. Таке рішення може сприяти більш повному перемішуванню тіста, особливо у місці біля стінок та дна місткості, але недостатньо перемішуваними будуть при осьові зони, що вимагає використання додаткових лопатей [8, 9, 10, 11].

Робочі органи у вигляді просторових рамок (рис. 1.3, г) видаються найбільш оптимальним технічним рішенням для тістомісильних машин періодичної дії з обертовою місткістю для тіста. Це можна пояснити тим, що поверхні такого робочого органу сприймають однакові зусилля без значних коливань навантажень. В такому випадку спрощується система приводу, головне синхронізувати частоту обертання робочого органу та місткості для тіста навколо своєї осі [8, 9, 10, 11].

Проте, деякі дослідники вважають за оптимальне не обертати місткість для тіста для економії енергетичних витрат. При цьому пропонуються конструкції робочих органів у вигляді лопатей та спіралей (рис. 1.4) [8, 9, 10, 11].



Рис. 1.4. Робочі органи для нерухомих місткостей тістомісильних машин

Різноманіття робочих органів тістомісильних машин та умов їх використання вказує на постійний пошук раціонального конструкційного рішення, тобто, проблема є актуальною для сьогодення.

### 1.3. Висновки до розділу 1

1. Хлібопекарська галузь для реалізації технологічного процесу приготування тіста використовує тістомісильні машини періодичної дії, оскільки вони забезпечують приготування об'єму тіста потрібного для одного замісу. Окрім цього, такі машини мають набір різноманітних робочих органів, які відрізняються формою та режимами роботи.

2. Встановлено, що найпоширенішими є тістомісильні машини у яких обертаються не тільки робочі органи, також приводиться в обертний рух місткість для тіста. Використання такої техніко-технологічної схеми вимагає додаткових витрат енергії, а відсутність можливості регулювання інтенсивності замісу знижує функціональність тістомісильних машин. Тому, пошук оптимального конструкційного рішення триває, про що свідчить різноманітність представлених на ринку тістомісильних машин.

## РОЗДІЛ 2

### ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ УДОСКОНАЛЕНОЇ ТІСТОМІСИЛЬНОЇ МАШИНИ

#### 2.1. Обґрунтування конструкції удосконаленої тістомісильної машини

У попередньому розділі встановлено, що найбільшого поширення набули тістомісильні машини періодичної дії зі спіралеподібними робочими органами. Метою удосконалення тістомісильного органу є підвищення ефективності замішування тіста із меншою енергоємністю технологічного процесу (рис. 2.1).

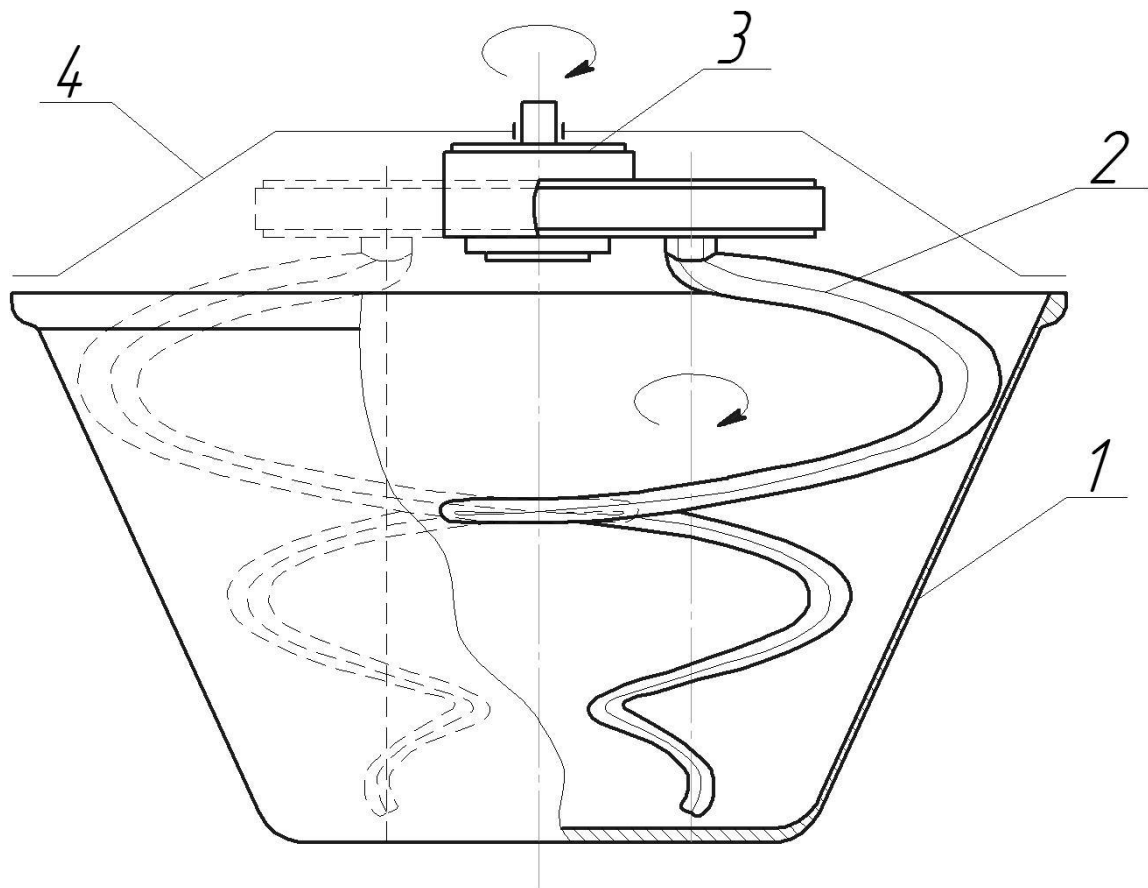


Рис. 2.1. Схема розробленої тістомісильної машини: 1 – місткість для тіста; 2 – робочий орган; 3 – планетарний привід; 4 – кришка.

Одним із напрямків зниження енергоємності полягає у відмові у приводі в обертовий рух місткості для тіста. Підвищити ефективність замісу тіста можна за рахунок оптимізації форми профілю робочого органу, який забезпечував рівномірний силовий вплив на масив тіста. Окрім цього, оптимізація геометричної форми та положення робочого органу відносно місткості має важливе значення на інтенсивність та тривалість процесу замісу тіста.

Запропонований робочий орган приводиться не тільки в обертовий рух навколо своєї осі, а створюється обертовий рух по периметру місткості завдяки застосуванню планетарного механізму. В такому випадку, один розроблений робочий орган буде забезпечувати ефективне замішування тіста по всій робочій поверхні, що знизить енергоємність процесу, порівняно із необхідністю використання двох робочих органів та з приводом місткості, як у машини періодичної дії Г4-МТМ-330.

Принцип роботи запропонованої удосконаленої тістомісильної машини полягає в наступному. Компоненти які необхідні для отримання тіста подаються до робочої місткості, яка жорстко фіксується на фундаментній плиті машини. Траверса із робочим органом, яка поєднана із кришкою опускається, у заповнену компонентами місткість для замісу тіста. Після перевірки дотримання заходів безпеки, вмикається привод робочого місильного органу. За рахунок своєї геометричної форми, поверхня дотику буде активно контактувати з компонентам у місткості. Це проявляється у спрямуванні траєкторій переміщення часточок. За рахунок конусно-спіральній формі розробленого робочого органу компонентам надається додатковий напрям руху, порівняно із використанням серійного робочого органу. При роботі розробленого робочого органу часточки будуть переміщуватись від центру обертання до стінок місткості та вздовж стінок місткості ввєрх і вниєз, а додатковий напрям виникає вздовж зони перетину траєкторій спірального робочого органу, що позитивно впливає на ефективність перемішування й отримання тіста вищої якості. Отримання тіста вищої якості є прямим наслідком для отримання хліба високих споживчих якостей. Таким чином,

запропонований робочий орган тістомісильної машини забезпечує зниження енергоємності та одночасне підвищення якості технологічного процесу приготування тіста.

## 2.2. Встановлення аналітичних залежностей параметрів тістоприготування удосконаленим робочим органом

Під час функціонування тістомісильної машини витрачається енергія на привод робочого органу, на безпосереднє виконання робочим органом своїх функцій із замісу тіста, на процеси які відбуваються у тісті та на втрати. Для оцінки енергетики процесу скористаємося розрахунковою схемою на рис. 2.2.

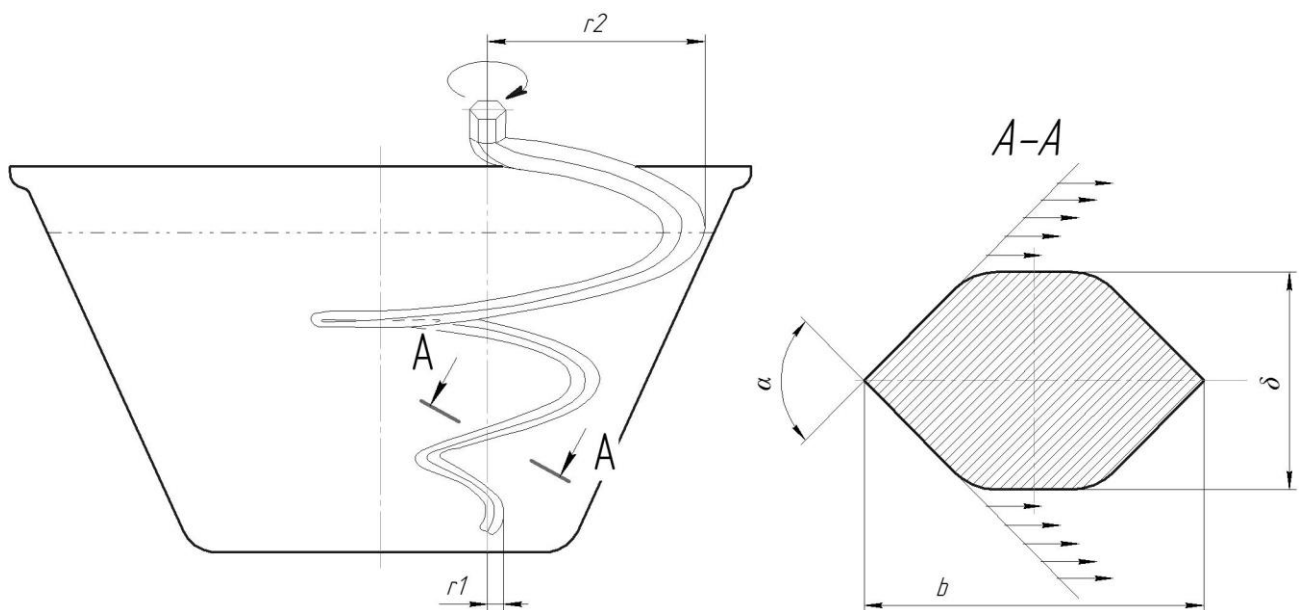


Рис. 2.2. Схема до визначення параметрів тістоприготування запропонованим робочим органом.

На основі рекомендацій [6, 12, 13, 14], рівняння енергетичного балансу на заміс тіста буде мати вигляд:



$$E = E_1 + E_2 + E_3, \quad (2.1)$$

де  $E_1$  – енергія, що витрачається на перемішування тіста;

$E_2$  – енергія, що витрачається на привод робочого органу;

$E_3$  – енергія, що витрачається на структурування та нагрівання компонентів тіста.

Енергія на виконання роботи перемішування компонентів тіста визначається з врахуванням рекомендацій [15, 16, 17, 18], можна встановити за формулою:

$$E_1 = b \cdot \pi \cdot \rho_m \cdot n^2 \cdot \sin \alpha (r_2^2 - r_1^2) \left( \pi^2 \cdot (r_2^2 + r_1^2) + \frac{k \cdot S^2}{2} \right), \quad (2.2)$$

де  $b$  – ширина робочого органу (див. рис. 2.2), м;

$n$  – частота обертання робочого органу, об./хв.;

$\alpha$  – кут контакту робочого органу, град.;

$r_1$  – менший радіус обертання робочого органу (див. рис. 2.2), м;

$r_2$  – великий радіус обертання робочого органу (див. рис. 2.2), м;

$k$  – коефіцієнт який враховує надходження компонентів у зону робочого органу;

$S$  – відстань між вершинами витків робочого органу, м;

$\rho_m$  – об'ємна маса тістосуміші, кг/м<sup>3</sup>.

Енергія, яка витрачається на виконання роботи з приводу в рух робочого органу, з врахуванням рекомендацій [15, 16, 17, 18], визначається за формулою:

$$E_2 = 0,75 \cdot b \cdot \delta \cdot \rho_r \cdot \pi^2 \cdot n^2 \cdot (r_2^3 + r_1^3), \quad (2.3)$$

де  $\delta$  – товщина робочого органу (див. рис. 2.2), м;

$\rho_r$  – щільність металу з якого виготовлено робочий орган, кг/м<sup>3</sup>.

Енергія, яка витрачається на виконання роботи пов'язаної із взаємодією компонентів суміші під час сумішоутворення та інтенсивності процесу, з врахуванням рекомендацій [17, 18, 19, 20], визначається за формулою:

$$E_3 = 124 \cdot \mu \cdot n \cdot \left( \frac{r_2^4 - r_1^4}{l} + 2 \cdot \frac{r_2^3 \cdot b \cdot \sin \alpha}{f} \right), \quad (2.4)$$

де  $\mu$  – коефіцієнт який враховує тертя компонентів суміші по робочому органу;

$f$  – проміжок між робочим органом та внутрішньою поверхнею стінки місткості для тіста, м.

Для порівняльної оцінки тістомісильної машини доцільно використовувати питомий показник витрати енергії на одиницю виконаної роботи:

$$E_{num} = \frac{E \cdot n \cdot t}{m}, \quad (2.5)$$

де  $t$  – тривалість приготування тіста запропонованим робочим органом, с;

$m$  – сукупна маса тіста у місткості, кг.

Потужність на привод тістомісильної машини з розробленим робочим органом для замісу тіста можна визначити за формулою:

$$N = \frac{E \cdot n}{\eta_{\Sigma}}, \quad (2.6)$$

де  $\eta_{\Sigma}$  – добуток коефіцієнтів корисної дії механізмів приводу робочого органу.

Деякі вчені [20] пропонують збільшити витрати енергії на 5–10 % на процеси пов'язані із фізикою сумішоутворення з використанням дріжжів та

води. Але це потребує конкретизації для кожної конкретної тістомісильної машини під час проведення експериментальних досліджень.

### **2.3. Висновки до розділу 2**

1. Розроблений робочий орган тістомісильної машини увібрав усі позитивні ознаки серійних конструкцій. Це дало змогу організувати технологічний процес перемішування без приводу в обертний рух місткості для тіста. Особливість конструкції запропонованого робочого органу полягає в тому, що він дозволяє реалізувати три контури переміщення компонентів суміші для тіста, порівняно із двома контурами у серійних машинах.

2. Отримані аналітичні залежності визначення основних складових енергетичного балансу. Доведено, що витрати енергії на перемішування компонентів тіста зростають із збільшенням геометричних параметрів тістомісильної машини та робочого органу для замішування тіста. У структурі витрат енергії найбільша питома вага (до 89–93 %) належить виконанню роботи пов'язаної із утворенням та інтенсифікацію структурування тіста під час його замісу. Таким чином, на ефективність замішування тіста має суттєвий вплив кінематика та геометрія робочого органу. Вплив робочого органу на тісто визначає траєкторії точкових переміщень компонентів тіста в об'ємі одного замісу, що визначає їх швидкості та прискорення, а тому, і енергетику технологічного процесу.

## РОЗДІЛ 3

### ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ УДОСКОНАЛЕНОЇ ТІСТОМІСИЛЬНОЇ МАШИНИ

#### 3.1. Визначення впливу конструкційних параметрів тістомісильної машини на енергетику процесу

Відповідно до теоретичних передумов розглянутих у попередньому розділі, геометричні параметри та режими роботи запропонованого робочого органу впливають на витрати енергії для реалізації технологічного процесу. В процесі досліджень отримали рівняння регресії (3.1) залежності питомих витрат енергії від кутового дотику, товщини дотику робочої поверхні місильного органу та загальної площі дотику середовища місильної місткості, на основі чого побудували графічні залежності (рис. 3.1–3.3).

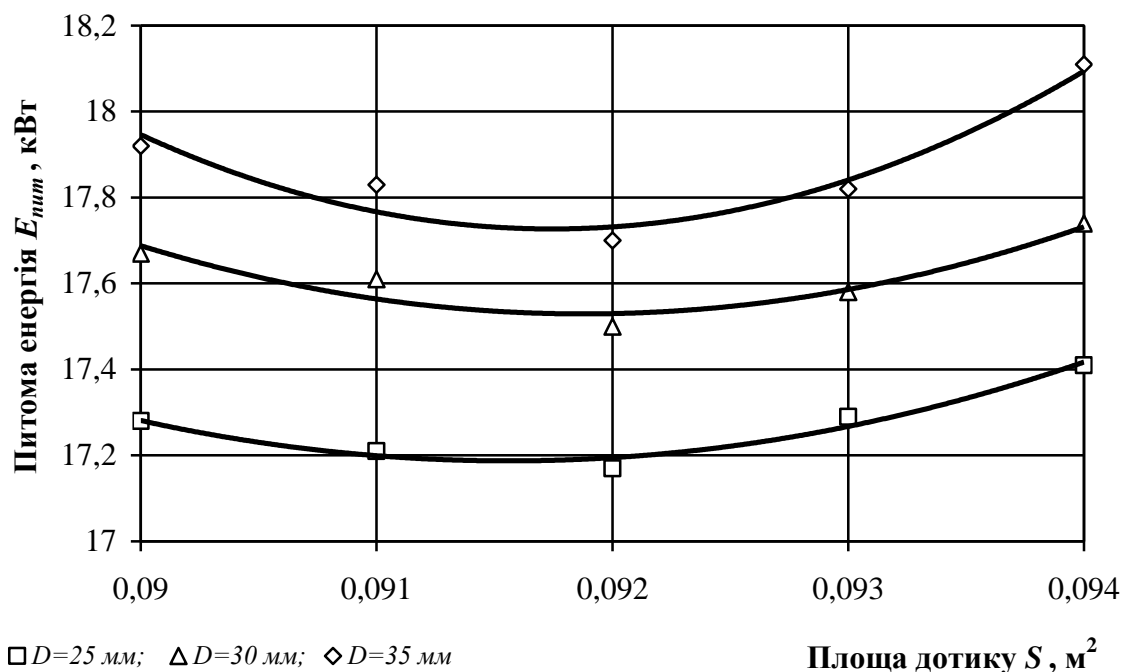


Рис. 3.1. Залежність питомої витрати енергії ( $E_{пит}$ ) тістомісильної машини від площі дотику ( $S$ ) робочого органу при відомих значеннях лінійної величини контакту ( $D$ ) із середовищем

Рівняння регресії взаємозв'язку геометричних дотичних параметрів запропонованого робочого органу та питомих витрат енергії має вигляд:

$$E_{num} = 75 + 9,08 \cdot \alpha + 724 \cdot D + 706,55 \cdot S. \quad (3.1)$$

Як видно з графічних залежностей (див. рис. 3.1), зі збільшенням лінійної величини контакту ( $D$ ) робочого органу із компонентами у місильній місткості від 25 мм до 35 мм збільшуються на 4 % питомі витрати енергії на приготування тіста у всьому діапазоні досліджуваних площ дотику. При зростанні площі дотику ( $S$ ) від 0,09 до 0,092 м<sup>2</sup> питомі витрати енергії зменшуються для  $D=25$  мм на 0,6 %, для  $D=30$  мм на 0,9 % і для  $D=35$  мм на 1,2 %. При наступному збільшенні площі дотику ( $S$ ) від 0,092 до 0,094 м<sup>2</sup> питомі витрати енергії зростають для  $D=25$  мм на 1,3 %, для  $D=30$  мм на 1,4 % і для  $D=35$  мм на 2,3 %.

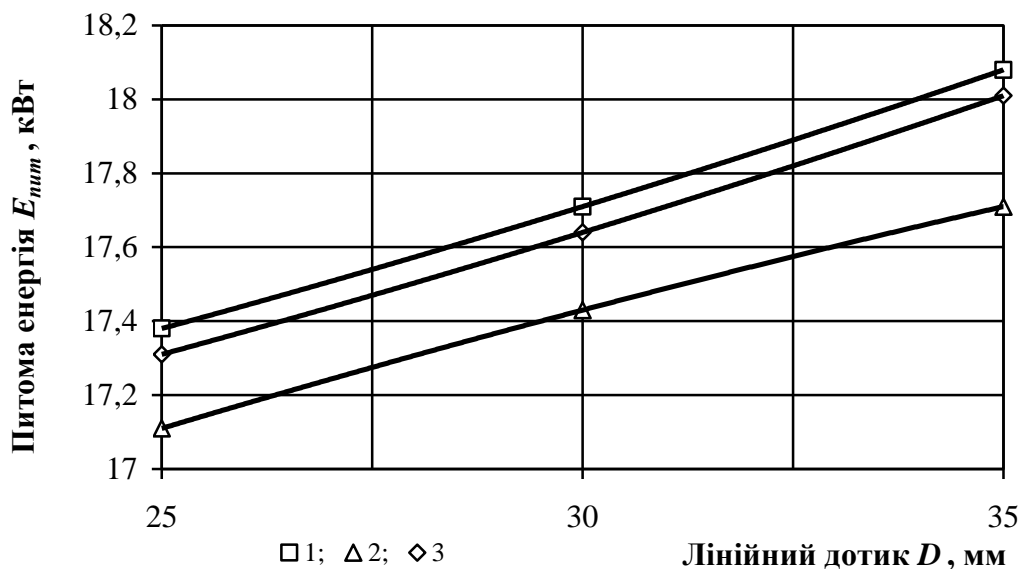


Рис. 3.2. Залежність питомої витрати енергії ( $E_{num}$ ) тістомісильної машини від лінійної величини контакту ( $D$ ) із середовищем за умови величини кутового дотику: 1 –  $\alpha=1,4^\circ$ ; 2 –  $\alpha=1,5^\circ$ ; 3 –  $\alpha=1,6^\circ$ .

Відповідно до отриманих графічних залежностей (рис. 3.2), питома витрата енергії буде найменшою при величині кутового контакту (див. рис. 2.2) на рівні  $\alpha=1,5^\circ$ . Але при збільшенні величини лінійного контакту із середовищем від 25 мм до 35 мм витрати питомої енергії зростають на 1,5–2,0 % незалежно від величини кутового дотику. Найбільші витрати енергії спостерігаються при найменшому значенні –  $\alpha=1,4^\circ$ , незалежно від лінійної величини контакту ( $D$ ).

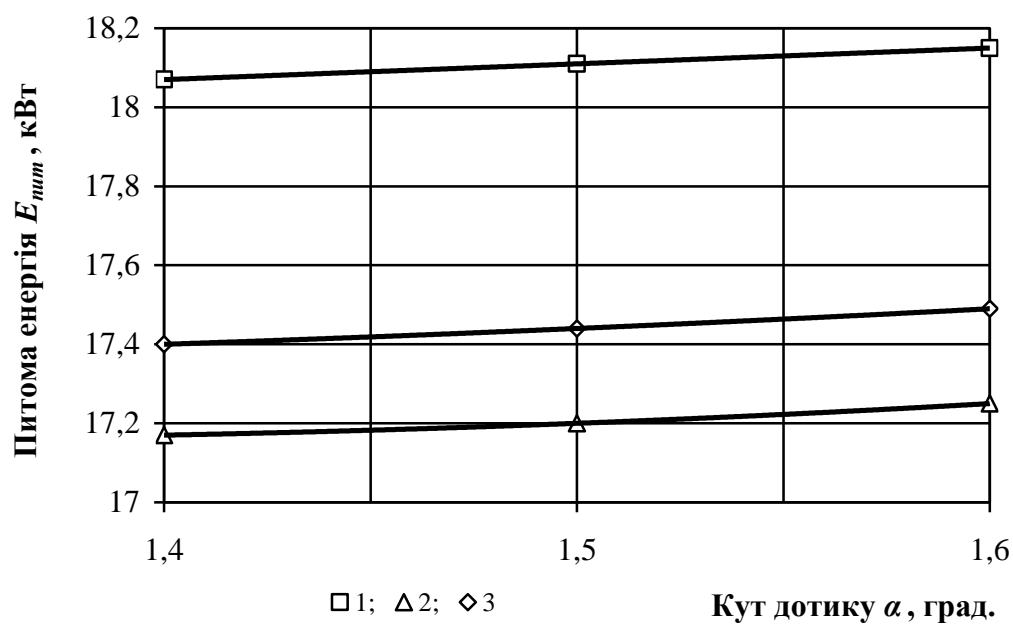


Рис. 3.3. Залежність питомої витрати енергії ( $E_{num}$ ) удосконаленої тістомісильної машини від величини кутового дотику ( $\alpha$ ) із середовищем за умови величини площі дотику робочого органу: 1 –  $S=0,09$  м<sup>2</sup>; 2 –  $S=0,092$  м<sup>2</sup>; 3 –  $S=0,094$  м<sup>2</sup>.

Відповідно до графічних залежностей на рис. 3.3., найменша витрата енергії спостерігається при величині площі дотику робочого органу на рівні  $S=0,092$  м<sup>2</sup>, а найбільша при найменшій із досліджуваних величин  $S=0,09$  м<sup>2</sup>. Причому, кут дотику ( $\alpha$ ) не впливає на зміну величини питомих витрат енергії при використанні розробленого робочого органу тістомісильної машини.

### 3.2. Встановлення технологічної ефективності удосконаленої тістомісильної машини

На технологічні показники роботи розробленої тістомісильної машини впливає вологість тіста та температура води для приготування тіста та тривалість процесу замішування. Зрозуміло, що чим ефективніший робочий орган для замісу тіста тим менша тривалість приготування тіста, при цьому варто не забувати і про якісні показники готового продукту (рис. 3.3–3.4).

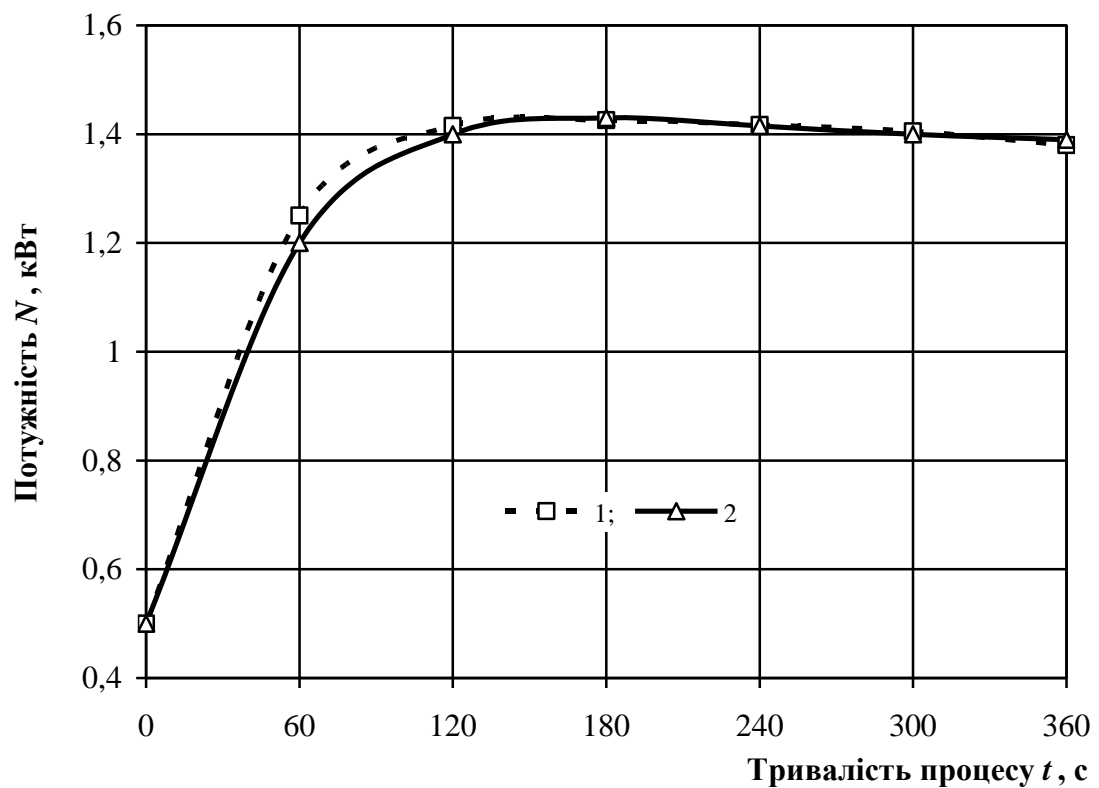


Рис. 3.4. Залежність витрати потужності ( $N$ ) на приготування тіста від тривалості процесу ( $t$ ) замішування за умови вологості тіста: 1 –  $w=40\%$ ; 2 –  $w=45\%$ .

Відповідно до графічних залежностей (рис. 3.4), вологість тіста несуттєво впливає на витрати потужності для його приготування, при відхиленні вологості на 5 % змін у величині енерговитрат майже не спостерігається.

Натомість, витрати потужності зростають протягом перших 180 с тривалості технологічного процесу замішування тіста. Це можна пояснити необхідністю формування однорідної структури тіста. Так у перший період (60 с) зростають витрати потужності у зв'язку із формуванням однорідної суміші із завантажених до місильної місткості компонентів. У наступний період (60–180 с) витрати потужності зростають оскільки збільшується в'язкість тіста, а процес його готовності ще не завершився. У наступний період (від 180 с) витрати потужності стабілізуються та поступово знижуються. Поступово структура тіста стає однорідною та оптимальною для подальшого використання, тому продовжувати процес (довше за 360 с) недоцільно.

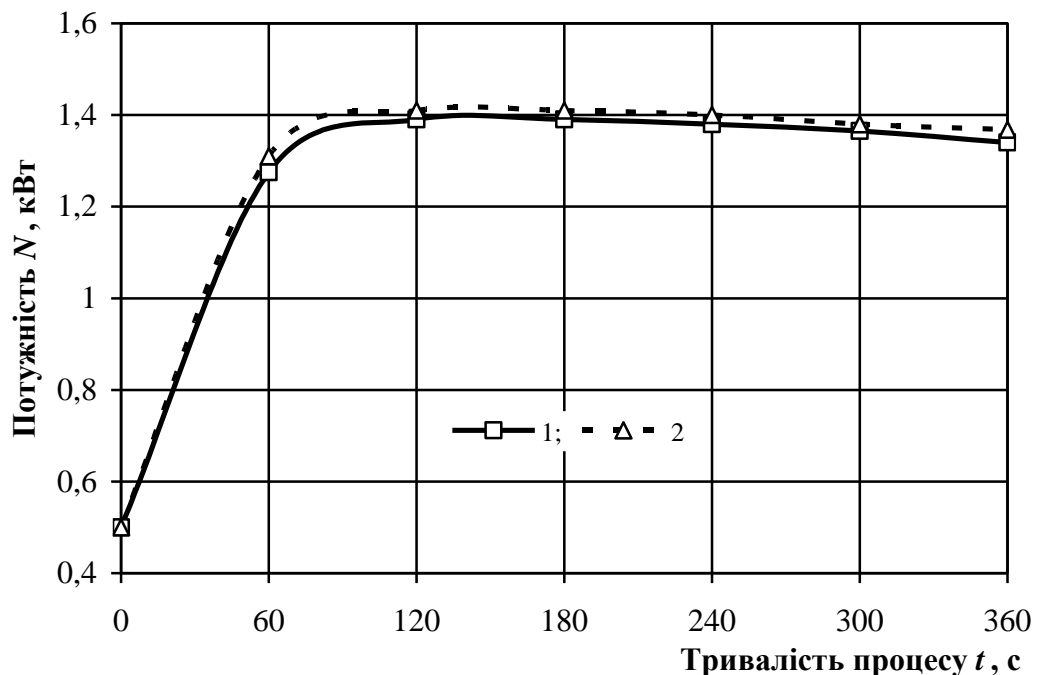


Рис. 3.5. Залежність витрати потужності ( $N$ ) на приготування тіста від тривалості процесу ( $t$ ) замішування за умови початкової температури води: 1 –  $T=30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; 2 –  $T=35\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Відповідно до графічних залежностей (рис. 3.5), можна впевнено стверджувати про мінімальний вплив збільшеної початкової температури води для замісу тіста на потужність процесу тістоутворення. Як і у попередньому



випадку (див. рис. 3.4), потужність зростає поступово до 180 с, що пояснюється процесами структурування компонентів в одну суцільну суміш. Після стабілізаційного періоду потужність з часом несуттєво знижується, що може свідчити про завершення процесу формування тіста придатного для подальшого використання. Тому, продовжувати процес замісу після 360 с немає сенсу, оскільки інтенсивний вплив запропонованого робочого органу може погіршити сформовані структури.

### 3.3. Висновки до розділу 3

1. Проведені дослідження дозволили встановити, що збільшення лінійної величини контакту робочого органу із компонентами тіста від 25 мм до 35 мм призводить до збільшення на 4 % питомих витрат енергії на приготування тіста у всьому діапазоні досліджуваних площ дотику. При зростанні площі дотику від 0,09 до 0,092 м<sup>2</sup> питомі витрати енергії зменшуються для  $D=25$  мм на 0,6 %, для  $D=30$  мм на 0,9 % і для  $D=35$  мм на 1,2 %. При наступному збільшенні площі дотику ( $S$ ) від 0,092 до 0,094 м<sup>2</sup> питомі витрати енергії зростають для  $D=25$  мм на 1,3 %, для  $D=30$  мм на 1,4 % і для  $D=35$  мм на 2,3 %.

2. Встановлено, що питома витрата енергії буде найменшою при величині кутового контакту на рівні  $\alpha=1,5^\circ$ . Зростання величини лінійного контакту від 25 мм до 35 мм призводить до збільшення витрат питомої енергії на 1,5–2,0 % незалежно від величини кутового дотику. Найбільші витрати енергії спостерігаються при найменшому значенні –  $\alpha=1,4^\circ$ , незалежно від лінійної величини контакту.

3. Встановлено, що найменша витрата енергії спостерігається при величині площі дотику робочого органу на рівні  $S=0,092$  м<sup>2</sup>, а найбільша при найменшій із досліджуваних величин  $S=0,09$  м<sup>2</sup>. Причому, кут дотику не впливає на зміну величини питомих витрат енергії при використанні розробленого робочого органу тістомісильної машини.

4. Доведено, що незначне збільшення вологості тіста (на 5 %) несуттєво впливає на витрати потужності для його приготування, тобто, незначні зміни вологості тіста не збільшують енерговитрати. В процесі досліджень визначено, що протягом перших 180 с тривалості технологічного процесу замішування тіста збільшується потужність на приготування тіста, оскільки виникає необхідність доведення до однорідності структури тіста з подальшим збільшенням в'язкості тіста. Так як зростає в'язкість, логічним є пояснення у збільшенні витрат потужності. Впродовж наступного після 180 с періоду витрати потужності стабілізуються, що може свідчити про доведення структури тіста до бажаної однорідності. Таким чином, структура тіста з часом стає одноріднішою, тому продовжувати замішування тіста після 360 с є недоцільним, оскільки не дозволить покращити якість кінцевого продукту, а витрати енергії зростатимуть.

## ВИСНОВКИ

1. У сучасному хлібопекарському виробництві для реалізації технологічного процесу приготування тіста застосовуються, в переважній більшості випадків, тістомісильні машини періодичної дії. Це пояснюється тим, що вони забезпечують приготування об'єму тіста потрібного для одного замісу. Серійні тістомісильні машини комплектуються різноманітними робочими органами, що мають відмінність як за формою так і за кількістю. Найбільшого поширення набули тістомісильні машини у яких окрім робочих органів, також, в обертовий рух приводиться місткість для тіста. Використання такої техніко-технологічної схеми вимагає додаткових витрат енергії на приготування тіста. Отже, пошук оптимального конструкційного рішення тістомісильних машин є актуальним завданням.

2. Запропонований робочий орган тістомісильної машини дозволяє організувати технологічний процес замісу тіста без приводу в обертовий рух місткості для тіста. Особливість конструкції запропонованого робочого органу полягає в тому, що він забезпечує утворення трьох контурів взаємного руху компонентів суміші під час їх перемішування, порівняно із двома у серійних машинах.

3. За допомогою встановлених у роботі аналітичних залежностей доведено, що витрати енергії на перемішування компонентів тіста зростають пропорційно при збільшенні геометричних параметрів робочих органів для замішування тіста та місткості для замісу. У структурі витрат енергії на виконання роботи з приготування тіста найбільшу питому вагу займають витрати на виконання роботи пов'язаної із утворенням та інтенсифікацію структурування тіста. Отже, дослідженнями доведено, що на енергетику тістоутворення суттєво впливає кінематичний режим та геометричні параметри робочих органів.

4. Проведені дослідження дозволили встановити, що збільшення лінійної величини контакту робочого органу із компонентами тіста від 25 мм до 35 мм

призводить до несуттєвого (4 %) збільшення питомих витрат енергії під час приготування тіста у всьому діапазоні досліджуваних площ дотику. При зростанні площі дотику до величини  $0,092 \text{ м}^2$  питомі витрати енергії зменшуються для  $D=25 \text{ мм}$  на 0,6 %, для  $D=30 \text{ мм}$  на 0,9 % і для  $D=35 \text{ мм}$  на 1,2 %. При наступному збільшенні площі дотику до  $0,094 \text{ м}^2$  питомі витрати енергії зростають для  $D=25 \text{ мм}$  на 1,3 %, для  $D=30 \text{ мм}$  на 1,4 % і для  $D=35 \text{ мм}$  на 2,3 %. Доведено, що питома витрата енергії буде найменшою при величині кутового контакту на рівні  $\alpha=1,5^\circ$ . Зростання величини лінійного контакту від 25 мм до 35 мм призводить до збільшення витрат питомої енергії на 1,5–2,0 % незалежно від величини кутового дотику. Найбільші витрати енергії спостерігаються при найменшому значенні –  $\alpha=1,4^\circ$ , при цьому величина лінійного контакту не має суттєвого впливу.

5. Встановлено, що найменша витрата енергії спостерігається при значенні  $0,092 \text{ м}^2$  площі дотику робочого органу, а збільшені витрати енергії спостерігаються при найменшій площі дотику –  $0,09 \text{ м}^2$ . Кутовий параметр дотику запропонованого робочого органу до середовища впливу не впливає на зміну величини питомих витрат енергії тістомісильною машиною. Доведено, що при збільшенні вологості тіста на 5 % не спостерігається відчутних витрат потужності для його приготування. В процесі досліджень визначено, що протягом перших 180 с тривалості технологічного процесу замішування тіста збільшується потужність на приготування тіста, оскільки виникає необхідність доведення до однорідності структури тіста з подальшим збільшенням в'язкості тіста. Впродовж наступного, після 180 с, періоду витрати потужності стабілізуються, що може свідчити про доведення структури тіста до бажаної однорідності.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Мамчур М. В. Встановлення технологічних особливостей тістомісильних машин. *I-й тур Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт з галузей знань і спеціальностей* : збірник тез доповідей науково-практичної конференції. 18 січня 2021 р. Житомир: Поліський національний університет, 2021. С. 36–37.
2. Концептуальні підходи до оцінки процесу замішування тіста безлопатеvim робочим органом : веб-сайт. URL : <https://hipzmag.com/tehnologii/kontseptualni-pidhodi-do-otsinki-protsesu-zamishuvannya-tista-bezlopativim-robochim-organom/>
3. Технологічне обладнання хлібопекарських і макаронних виробів / Лісовенко О. Т. та ін. К.: Наукова думка, 2000. 282 с.
4. Обладнання підприємств переробної і харчової промисловості / Гулий І. С. та ін. В.: Нова книга, 2001. 576 с.
5. Технологічне устаткування хлібопекарського і макаронного і кондитерських виробництв. / Петько В. Ф., Гапонюк О. І., Петько Є. В., Уляницький А. В. К.: Центр учбової літератури, 2007. 432 с.
6. Медведський О. В., Мамчур М. В. Енергетична складова тістомісильних машин різних типів. *Біоенергетичні системи* : матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції. Житомир: Поліський національний університет, 2021. Том 3. С. 10–11.
7. Тістоміс Прима-300 : веб-сайт. URL : <https://impexmash.com/uk/product/tistomis-pryma-300/>
8. Процеси та апарати харчових виробництв / Поперечний А.М. та ін. К.: Центр учбової літератури, 2007. 304 с.
9. Медведський О. В., Мамчур М. В. Оцінка робочих органів тістомісильних машин. *Студентські читання–2021* : матеріали науково-практичної конференції. 15 листопада 2021 р. Житомир: Поліський національний університет, 2021. С. 29–31.

10. Кавецький Г. Д., Васильев Б. В. Процессы и аппараты пищевой технологии. М.: Колос, 1999. 550 с.
11. Технологічне обладнання переробних та харчових виробництв: лабораторний практикум для студентів інженерних спеціальностей / І. М. Бендера, О. Я. Стрельчук, О. М. Семенов, М. М. Борис, В. В. Підлісний; за ред. І. М. Бендери. Кам'янець-Подільський: Вид-во «Абетка», 2007. 204 с.
12. Механічні процеси і обладнання переробного та харчового виробництва. / П. С. Бернік, З. А. Стоцько, І. П. Паламарчук та ін. Львів : Львівська політехніка, 2004. 336 с.
13. Машины та обладнання переробних виробництв / Дацишин О. В. та ін. К.: Вища освіта, 2005. 159 с.
14. Дацишин О. В. Механізація переробки і зберігання плодоовочевої продукції. К.: Мета, 2003. 288 с.
15. Смесительные машины в хлебопекарной и кондитерской промышленности / А.Т. Лисовенко, И.Н. Литовченко, И.В. Зирнис и др.; Под ред. А.Т. Лисовенко. – К.: Урожай, 1990. – 192 с.
16. Процеси і апарати харчових виробництв / під ред. І.Ф. Малежика. К.: Нац. ун-т харч. технологій, 2003. 400 с.
17. Загальна технологія харчових виробництв у прикладах і задачах / Л. Л. Товажнянський, С. І. Бухкало, П. О. Капустянка, Є. І. Орлова. К.: Центр навчальної літератури, 2005. 496 с.
18. Розрахунки обладнання підприємств переробної і харчової промисловості : навч. посіб / за ред. В. Г. Мирончук. Вінниця: Нова книга, 2004. 288 с.
19. Загальна технологія харчових виробництв у прикладах і задачах / Л. Л. Товажнянський, С. І. Бухкало, П. О. Капустянка, Є. І. Орлова. К.: Центр навчальної літератури, 2008. 496 с.
20. Бурдо О. Г., Калинин Л. Г. Прикладное моделирование процессов переноса в технологических системах. О.: 2008. 348 с.