

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

УДК 664.63

Кваліфікаційна робота на правах
рукопису

ДАНИЛКО Дмитрій Юрійович

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ТІСТОМІСИЛЬНОЇ МАШИНИ

208 «Агроінженерія»

Подається на здобуття освітнього ступеня бакалавр

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., доцент О. В. Медведський

Житомир – 2025

АНОТАЦІЯ

Данилко Д. Ю. **Удосконалення конструкції тістомісильної машини.** – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота подається на здобуття першого освітнього ступеня бакалавр зі спеціальності 208 – агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2025 р.

Кваліфікаційна робота виконана в напрямку вирішення проблеми підвищення ефективності приготування тіста у хлібопекарському виробництві. З цією метою проаналізовано технологічні схеми та технологічне обладнання, встановлено переваги та недоліки, виділені шляхи покращення технологічного процесу.

Удосконалена конструкція потокової тістомісильної машини яка за рахунок обґрунтування конструкційних параметрів робочих органів забезпечить підвищення якості утворення тіста, виконані розрахунки витрат потужності вказують на енергетичну ефективність у відносних одиницях якості приготованого тіста.

Виконана порівняльна оцінка вказує на економічну доцільність використання удосконаленої машини за рахунок підвищення якості приготування приготованого тіста.

Ключові слова: в'язкість, пружність, потужність, потоковий процес

ANNOTATION

Danilko D. Yu. **Improving the design of a dough mixer.** – Qualification work in the form of a manuscript.

The qualification work is submitted for the first degree of bachelor in specialty 208 – agricultural engineering. – Polissia National University, Zhytomyr, 2025.

The qualification work was carried out in the direction of solving the problem of increasing the efficiency of dough preparation in bakery production. For this purpose, technological schemes and technological equipment were analyzed, advantages and disadvantages were identified, and ways to improve the technological process were identified.

An improved design of a flow dough mixer, which, due to the substantiation of the structural parameters of the working bodies, will ensure an increase in the quality of dough formation, the calculations of power consumption performed indicate energy efficiency in relative units of the quality of the prepared dough.

The performed comparative assessment indicates the economic feasibility of using the improved machine by increasing the quality of the prepared dough.

Keywords: viscosity, elasticity, power, flow process

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. КОНСТРУКЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ СХЕМИ ВИРОБНИЦТВА ТІСТА	7
1.1. Оцінка класифікаційних ознак обладнання для виробництва тіста	7
1.2. Аналіз конструкційних та експлуатаційних особливостей тістоутворювачів	11
1.3. Висновки до розділу 1	17
РОЗДІЛ 2. УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ТІСТОМІСИЛЬНОЇ МАШИНИ	18
2.1. Обґрунтування удосконалення конструкції потокового обладнання для приготування тіста	18
2.2. Розрахунок конструкційно-технологічних параметрів удосконаленого обладнання	20
2.3. Встановлення параметрів системи приводу удосконаленого робочого органу	26
2.4. Висновки до розділу 2	28
РОЗДІЛ 3. ВСТАНОВЛЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ ТА ЕКОНОМІЧНОЇ ДОЦІЛЬНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ УДОСКОНАЛЕНОГО ОБЛАДНАННЯ	29
3.1. Оцінка економічної доцільності впровадження удосконаленого обладнання	29
3.2. Висновки до розділу 3	31
ВИСНОВКИ	32
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	33
ДОДАТКИ	35

ВСТУП

Актуальність теми. Продовольче забезпечення населення країни продуктами першої необхідності вважається основною задачею уряду держави щодо політики соціальної безпеки. Основним продуктом першої необхідності є звичайно хліб та похідні вироби. Насьогодні, залежно від територіально-географічної приналежності громад споживання хлібобулочних продуктів може становити 50-60% від загального об'єму споживання продуктів харчування відповідно до раціону громадян. [1, 2] Звичайно вищий рівень споживання продуктів із хліба спостерігається у сільських територіальних громадах, менше у міських громадах. Такий стан речей стався виходячи із ментальності населення різних географічно розташованих на мапі країні територій та культури гастрономічної.

Для задоволення у необхідної кількості продукту хлібозаводи використовують різне технологічне обладнання. Основним серед номенклатури технологічного обладнання є звичайно обладнання для утворення тісто. На процес тісто утворення, за деякими даними дослідників, витрачається до 70 % всього часу на отримання готового продукту. [3, 4] Тому правильний вибір обладнання для утворення тіста є важливим завданням для хлібозаводів.

На утворення тіста промисловість, як вітчизняна так і закордонна виготовляє досить велику номенклатуру технологічного обладнання. На вибір для виробничників є машини як потокового так і циклічного принципу реалізації свого технологічного процесу. Відрізняються, окрім вищесказаних моментів організації процесу, машини і за типом робочих органів, за способом регулювання технологічного процесу, за витратами енергії, за інтенсивністю виконуваних операцій і т.д. Незважаючи на різноманіття запропонованого машинобудівниками обладнання, вибір залишається за виробниками продукту, які в першу чергу звертають увагу на технічні, експлуатаційні і головне на якісні показники пропонованого обладнання. Так використання горизонтальних змішувальних робочих органів може не влаштовувати виробничників за неповногою використання робочої поверхні. Використання машин потокової

дії, хоча і мають ряд переваг перед машинами порційної дії, може не влаштовувати за якістю утвореного тіста. Це пояснюють досить швидким перебігом механічного процесу, який не відповідає швидкості процесу ферментації та повного зволоження усіх частинок борошна.

Тому, пошук шляхів покращення якості утворення тіста у машинах потокового принципу реалізації технологічного процесу є актуальним і потрібним завданням сьогодення.

Мета та завдання кваліфікаційної роботи.

Мета роботи полягає у підвищенні ефективності приготування тіста шляхом удосконалення конструкції потокової тістозамішувальної машини.

Щоб досягнути поставлену мету у роботі варто вирішити такі задачі:

- виконати оцінку робочих органів та конструкційних схем машин для утворення тіста;
- визначити переваги та недоліки відомих конструкцій робочих органів та типів машин, встановити шляхи покращення конструкції робочого органу;
- визначити технологічні параметри та режими роботи, встановити конструкційні та енергетичні параметри удосконаленої машини;
- визначити експлуатаційну ефективність виконання технологічного процесу.

Об'єкт досліджень – тістомісильна машина потокового принципу дії із комбінованим лопатевим робочим органом.

Предмет досліджень – геометричні параметри комбінованого лопатевого робочого органу із сповільнювачем потоку.

Методи досліджень. Для виконання необхідних технологічних та конструкційних розрахунків у кваліфікаційній роботі використовувались відомі методики які ґрунтуються на таких складових як теоретична механіка, теорія машин і механізмів, механіка та реологічні властивості сільськогосподарських матеріалів, опір матеріалів, деталі машин, гідравліка, аналітичні засади вищої математики.

Деякі складні розрахунки виконували із застосуванням програмного забезпечення програмного продукту корпорації Microsoft, зокрема і для оформлення тексту кваліфікаційної роботи.

Перелік апробації матеріалів кваліфікаційної роботи.

Важливі для розуміння роботи теоретичні дані доповідались на науково-практичних конференціях в межах факультету та університету, відображені у наступних періодичних виданнях:

1. Данилко Д. Ю. Порівняльна оцінка робочих органів тістомісильних машин. *Студентські читання–2024* : матеріали науково-практичної конференції. 31 жовтня 2024 р. Житомир: Поліський національний університет, 2024. Ч. 2. С. 15–17.

2. Данилко Д. Ю. Техніко-технологічні вимоги до тістоприготувальних машин. *Наукові читання – 2025* : збірник тез доповідей науково-практичної конференції за підсумками І-го туру Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт з галузей знань і спеціальностей. 23 квітня 2025 р. Житомир: Поліський національний університет, 2025. С. 11–14.

Структура та обсяг роботи.

Кваліфікаційна робота включає вступ, три розділів теоретичної частина, висновки по роботі, список літературних використаних джерел та додатки. Теоретична основна частина викладена державною мовою за допомогою комп'ютерного набору обсягом 34 сторінок, вміщує 8 рисунків та 5 таблиць.

РОЗДІЛ 1

КОНСТРУКЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ СХЕМИ ВИРОБНИЦТВА ТІСТА

1.1. Оцінка класифікаційних ознак обладнання для виробництва тіста

Приготування тіста є важливим технологічним процесом на хлібозаводі. Основною умовою отриманого якісного хліба є його гарний заміс. Для виконання технологічного процесу замішування тіста використовують тістомісильні машини як потокового так і порційного принципу дії. Дані машини відрізняються не тільки способом реалізації основного технологічного процесу, а й типом робочих органів в межах одного типу обладнання (рис. 1.1, рис. 1.2).

Для хлібозаводів найбільшого поширення набуло тістоприготувальне обладнання порційного принципу реалізації технологічного процесу. Основним аргументом на користь такого обладнання є можливість приготування заданої кількості тісто у порційному вимірі, що досить зручно для технологів підприємства. Для реалізації технологічного процесу, як було сказано вище, основну роль відіграють робочі органи (рис. 1.1). [5, 6, 7]

Вертикальні робочі органи для тістоутворення (рис. 1.1-а) мають досить широке поширення для машин циклічного принципу дії. Вони виконані у вигляді зігнутих вздовж вертикальної осі. При обертанні таких робочих органів вигнуті ділянки інтенсивно діють на розміщенні у місткості компоненти що сприяє отриманню замісу прийнятної якості. Для покращення впливу робочого органу на процес приготування, як правило, у обладнання із вертикальним робочим органом передбачене і синхронне обертання місткості для компонентів.

Горизонтального типу робочі органи (1.1-б) також досить широко представлені у конструкціях виготовлювачів тісто. Це можна пояснити простим механізмом забезпечення приводу робочого органу, порівняно із приводом робочих органів із вертикальним обертанням. Проте виділяють основний

недолік – це суттєва залежність показників ефективності роботи обладнання від ступені заповнення місткості. Окрім цього не вся робоча поверхня такого типу робочих органів одномоментно задіяна у виконанні технологічного процесу. Первагою використання таго типу робочого орнану є відсутність потреби в обертанні міткості, що досить ефективно впливає за зниження енерговитрат та негативний вплив на довкілля.

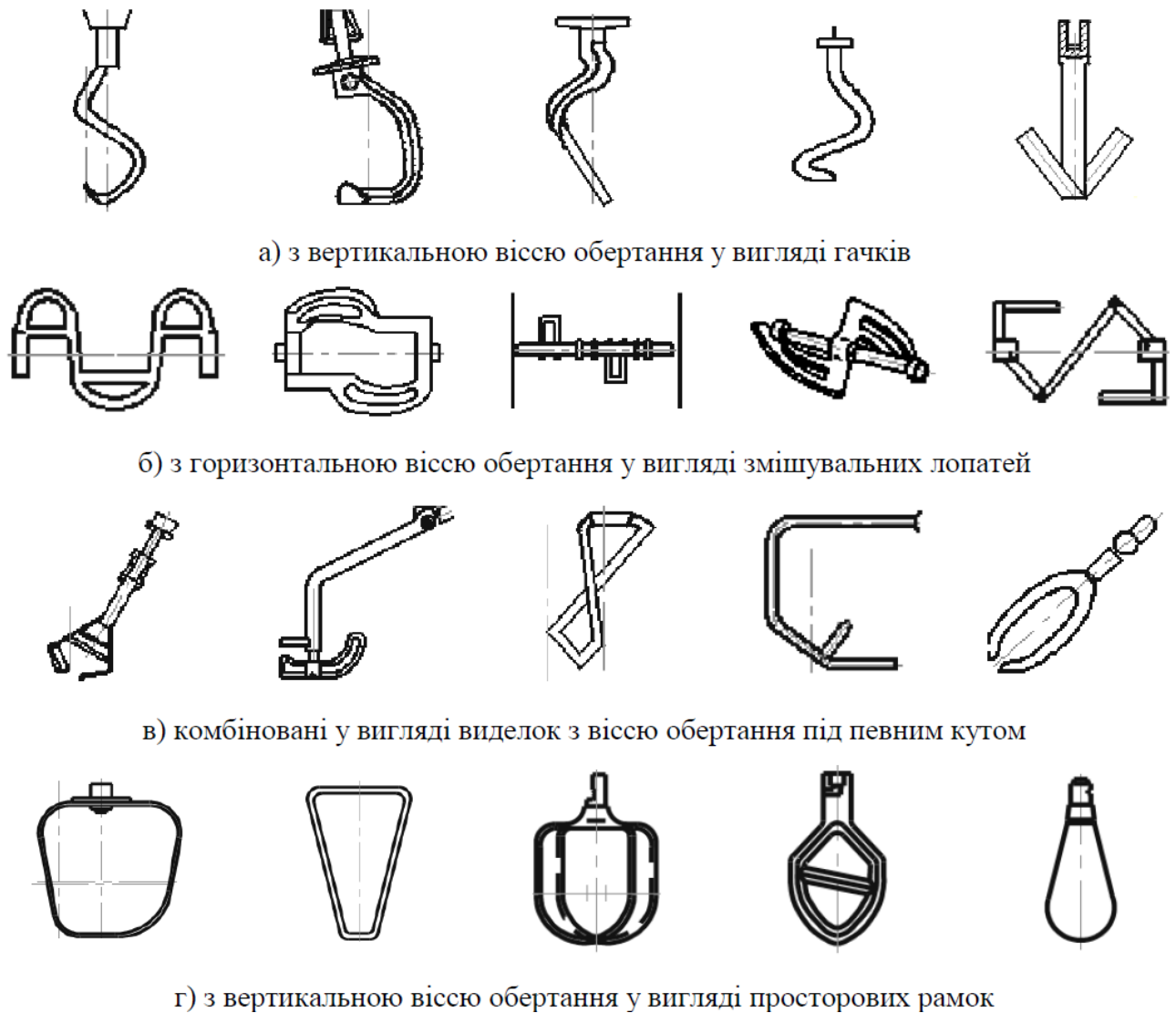


Рис. 1.1. Типи робочих органів для тістоутворювачів.

Іншою інтерпретацією органів робочих із вертикальним обертанням є робочі органи вісь яких розташована під кутом (рис. 1.1-в) до вертикалі місткості для тіста. Такого типу робочі органи гарно працюють біля стінок та

біля дна місткості у якій здійснюється утворення тісто. Для реалізації процесу у такому випадку обов'язково забезпечувати привод місткості при стаціонарному розміщенні робочого органу. Проте деякі зони особливо біля центра обертання можуть бути погано задіяні у процесі вимішування тісто.

Робочі органи у формі рамки (1.1-г) мають вертикальний спосіб забезпечення обертового руху. Така форма дозволяє забезпечити технологічний процес без обертання місткості із компонентами для тісто. Перевагою такого робочого органу можна вважати повністю використання поверхні рамки у технологічному процесі, на відміну від робочих органів із горизонтальним приводом. Також, порівняно із робочими органами поданими на рис. 1.1а, привод у роботу має більш простішу форму оскільки не потрібно організовувати складний рух навколо центра обертання для руху в горизонтальній площині місткості. Широкого поширення набули для незначного обсягу приготування тіста у закладах громадського харчування та невеликих пекарнях.

Тістомісильні машини потокового принципу реалізації технологічного процесу утворення тіста відзначаються великою номенклатурою застосованих робочих органів та різним конструкційним виконанням (рис. 1.2).

До першого ряду поміщені тістомісильні машини, які мають в одному корпусі робочі органи відмінні за своїм технологічним призначенням. Так, перша у рядку машина (рис. 1.2-1) має найпростіший робочий орган який на сьогодні мало використовується. [3, 8, 9]

У машині на рис. 1.2-2 робочий простір для тіста розділено на дві частини. Таке рішення сприяє підвищенню інтенсивності виробництва тісто із житнього борошна.

Два послідовно розташованих на одній осі робочих органи (рис. 1.2-3) інтенсифікують процес приготування замісу для тіста. Причому, перша частина виконана у вигляді шнека, що краще для попереднього процесу замісу тісто, а друга частина у вигляді лопатей з обмежувачами забезпечують процес вимішування. Таке рішення покращує якість отриманого продукту.

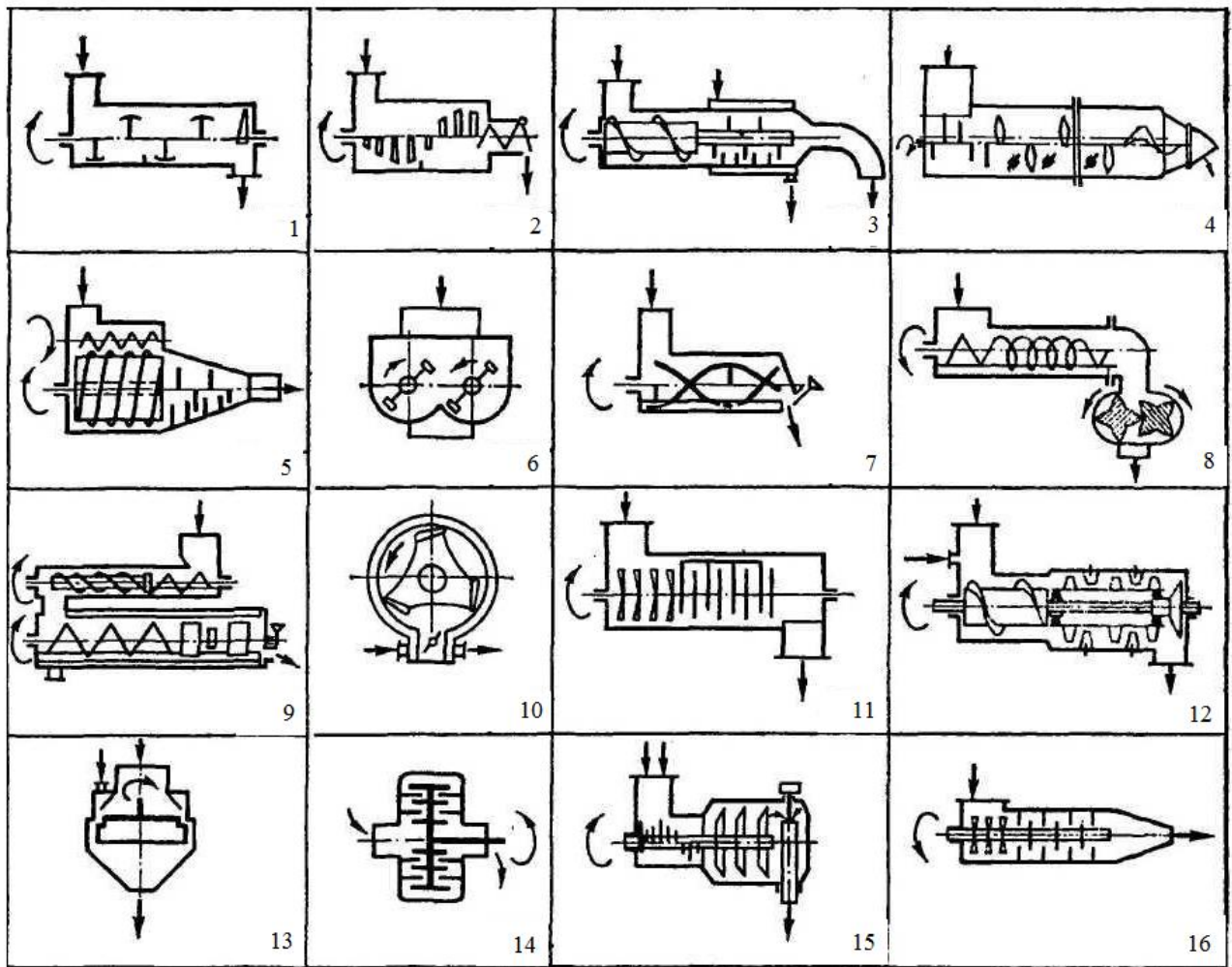


Рис. 1.2. Типи робочих механізмів тістомісильного обладнання потокового принципу дії [9]

На рис. 1.2-4 зображена машина яка поєднує три етапи приготування тіста в одному корпусі робочі органи якої знаходяться на одному валу. У першій частині за допомогою робочих органів у вигляді штифтів відбувається попередній замішування компонентів. Далі складові подаються до робочих органів у вигляді пелюсток де інтенсифікується процес утворення тіста за рахунок більшої площі контакту. На останньому етапі відбувається процес пластикування тісто за допомогою конічного шнека.

Схеми робочих органів машин на рис. 1.2-5, та 1.2-8 використовуються для приготування тісто в два етапи, мають на одному валу комбінований робочий орган. На рис. 1.2-6 та 1.2-7 представлена схема машини із двома робочими паралельними органами із лопатями на валах та із подвійним

спіральми робочим органом. Належать такого типу обладнання до однокамерного.

На рис. 1.2-11 представлена схема дискових робочих органів. Такого типу тістоміси набули широкого поширення вітчизняних хлібо заводів для потокового приготування тіста. Перемішування складників відбувається завдяки виникненню сил прилипання до обертових дисків.

Робочі органи машин у останньому ряді (рис. 1.2-13 – рис. 1.2-16) представляють собою інтерпретацію конструкцій розглянутих вище машин, деякі із них знаходяться на рівні початкового дослідження, тому не можуть бути належним чином охарактеризовані. Велике різноманіття схем робочих органів машин порційного та потокового принципу функціонування вказує на велику номенклатуру технологічного обладнання.

1.2. Аналіз конструкційних та експлуатаційних особливостей тістоутворювачів

Найбільшого поширення серед обладнання набули порційні тістоміси із спіральним робочим органом (рис. 1.3)



Рис. 1.3. Тістоміс Sigma Super Premium VE 200 SP [10]

Тістоміс Sigma Super Premium VE 200 SP (Італія) порційного принципу функціонування має спірального типу робочий орган із вертикальною віссю обертів. Для зручності використання на виробництві місткість для тіста обладнана мобільним пристосуванням. Технічна характеристика обладнання наведена у таблиці 1.1. [10]

Таблиця 1.1.

Техніко-технологічна характеристика тістомісильної машини VE 200 SP

Показник	Значення
Тип машини	Підлогова
Місткість для тіста, л	290
Вихід за один заміс, кг	200
Потужність встановлена, кВт	11,8
Кількість електродвигунів, шт.	2
Габаритні розміри, мм	
ширина	1250
глибина	1850
висота	1900
Вага, кг	1030

Весь механізм приводу робочого органу зосереджено у верхньому корпусі, який відкривається за допомогою гідравлічної системи. Окремий привод місткості забезпечує ефективне перемішування компонентів тіста.

Особливістю машини є використання інвертних двигунів та системи електронної приводом процесу технологічного. Це дозволяє налаштувати систему на потрібну частоту обертів чаші для тіста залежно від умов. Електронна система обладнання системою запам'ятовування рецептів, що досить зручно, не потрібно щоразу змінювати налаштування при зміні вихідних складових у приготуванні продукту. Використовується, також система запобігання пилу до робочих органів, що сприяє підвищенню терміну служби обладнання.

До машин періодичної дії для виробництва тісто використовуються досить широко вилкового типу робочі органи (рис. 1.4).



Рис. 1.4. Тістомісильне обладнання PMDK 240 Porlanmaz (Туреччина) [11]

Для утворення тіста із меншою вологістю (круте тіста) використовують тістомісильні машини з вилковими робочими органами. Особливість конструкції полягає у використанні приводу місткості яка синхронізована із приводом робочого органу. Проте незручним є вивантаження готового тіста для чого необхідно використовувати додаткові пристосування. Це викликане тим що робочий орган знаходиться стаціонарно і не дозволяє змістити місткість для

тіста. але, з іншого боку відсутність додаткових рухомих механізмів піднімання робочих органів та приводу сприяє підвищенню надійності обладнання. Технічна інформація наведена у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2.

Техніко-технологічна характеристика тістомісильної машини PMDK 240
Porlanmaz [11]

Показник	Значення
Тип машини	Підлогова
Місткість для тіста, л	300
Вихід за один заміс, кг	240
Потужність встановлена, кВт	4
Габаритні розміри, мм	
ширина	1850
глибина	1000
висота	1150
Вага, кг	350

За рахунок відсутності додаткових пристроїв потужність на привод робочого органу та місткості становить лише 4 кВт, що втричі менше ніж у попередньої машини. Окрім цього, обсяг разового отримання тіста не перевищує показник машини VE 200 SP. Все це вказує на пошук оптимального рішення для хлібозаводів залежно від умов та номенклатури виробництва хлібобулочних виробів.

Незважаючи на переваги обладнання тістомісильного порційного принципу реалізації технологічного процесу, варто виділити деякі недоліки. В першу чергу порційний режим роботи передбачає зупинку технологічного процесу для заповнення місткості компонентами та інгредієнтами, на що витрачається час. Окрім цього додатковий час витрачається на транспортування та вивантаження місткості з використанням додаткового обладнання. У зв'язку із чим, продуктивність такого обладнання не перевищуватиме 555-560 кг/год. Все це спонукає до розгляду машин неперервної дії як обладнання для подальшого удосконалення. [12]

Технологічна схема використання потокового обладнання при приготуванні тіста подано на рис. 1.5.

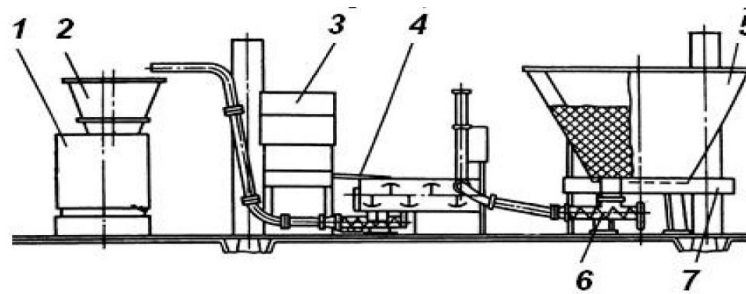


Рис. 1.5. Схема технологічного процесу потокового приготування тіста: 1, 2 – тістоділильне обладнання; 3 – система дозування; 4 – тістомісильна машина; 5 – місткість для приготування опари; 6 – гвинтовий подавач; 7 – основа. [13]

З рис. 1.5 видно, що процес завантаження, тістозамішування, вивантаження та отримання поділеного тіста здійснюється у неперервному потоці. Найпоширенішим обладнанням є потокового типу машина на рис. 1.6.

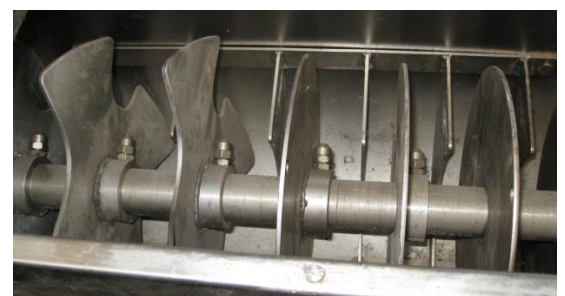
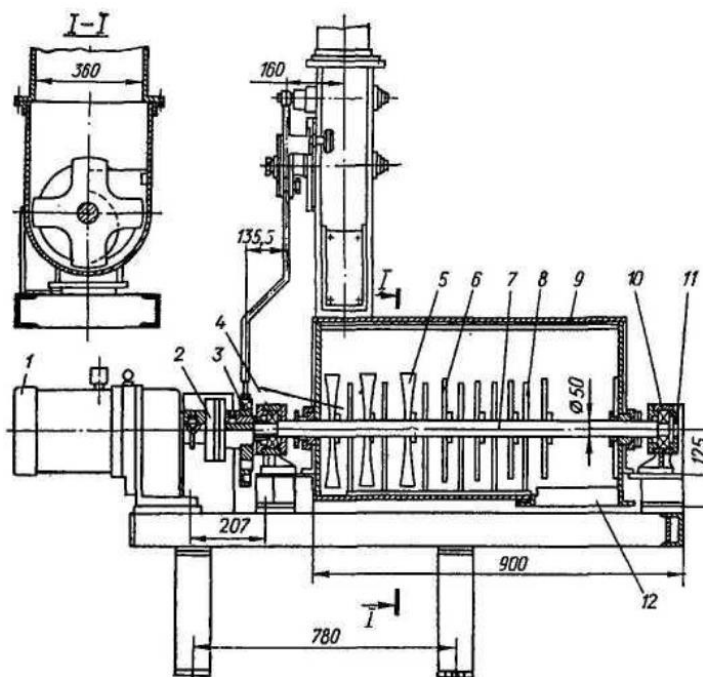


Рис. 1.6. Потокова тістомісильна машина НЗ-ННТ (Україна): 1 – електропривод; 2 – з'єднання приводу; 3 – система ексцентрична; 4 – місткість; 5 – диск із лопатками; 6 – диск гладкий; 7 – спільний вал; 8 – додаткові напівдиски; 9 – оглядовий пристрій; 10 – опора; 11 – рама; 12 – вихідний отвір. [4, 13]

Технічна характеристика обладнання потокового типу наведена у таблиці 1.3. [4, 13]

Таблиця 1.3.

Техніко-технологічна характеристика тістомісильної машини НЗ-ННТ

Показник	Значення
Продуктивність, кг/год	1300
Вологість тіста, %	33-54
Потужність встановлена, кВт	4
Температура тіста, °C	до 32
Габаритні розміри, мм	
ширина	500
довжина	2200
висота	2020
Вага, кг	435

Принцип роботи полягає в наступному. Компоненти для приготування тіста за допомогою дозувального пристрою подаються у зону розміщення дисків із вирізними формами та зігнутими в напрямку переміщення матеріалу. В цій зоні відбувається ретельне перемішування компонентів та подальше спрямування до дисків гладких. Процес перемішування відбувається за рахунок виникнення сил прилипання між дисками гладкими і на півдисках. В процесі руху тіста виникають зсувні моменти які інтенсифікують процес перемішування. [6, 9, 13]

Проте, дослідниками відзначається досить швидкий процес виробництва тісто, який триває 20-45 с. В наслідок цього волога не може в повній мірі поглинутися компонентами борошна, відбувається неповна ферментація що негативно впливає на кінцеві показники тіста. Відома, що гарне вимішування сприяє отриманню пухкої м'якоті уже готового хлібу.

Інтенсифікувати процес у такого типу обладнання можна за рахунок збільшення зусиль на прилипання компонентів тіста, тобто підбором

матеріалів. Будь-яких додаткових пристосувань для регулювання процесу виробництва тісто у цій машині не передбачено.

Перевагою машин потокового процесу полягає у значно більшій продуктивності. При цьому потужність на привод в менша порівняно із машинами періодичної дії, що спонукає хлібозаводи обирати саме такий тип машин.

Пропонуються виробниками обладнання конструкції машин для приготування тісто з лопатевими робочими органами. Проте вони мають недоліки притаманні усім типам машин потокового принципу виконання технологічної операції. Стаціонарні обмежувачі у вигляді напівдисків

1.3. Висновки до розділу 1

1. Велике різноманіття схем робочих органів тістомісильних машин порційного та потокового принципу функціонування вказує на пошук оптимальної конструкційно-функціональної схеми технологічного обладнання.

2. Оцінка технологічного обладнання для приготування тісто вказує на широке поширення у виробництві обладнання порційного принципу дії. Вища у рази продуктивність та нижча енергоємність потокового типу тістомісильних машин робить їх переважним вибором для виробничників. Проте наявні недоліки пов'язані із відсутністю усіх можливостей впливати на процес приготування тіста спонукають до пошуків шляхів покращення тістомісильних машин потокового типу.

РОЗДІЛ 2

УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ТІСТОМІСИЛЬНОЇ МАШИНИ

2.1. Обґрунтування удосконалення конструкції потокового обладнання для приготування тіста

Зважаючи на суттєві переваги тістомісильних машин потокового принципу реалізації технологічного процесу для удосконалення виберемо саме такого типу обладнання. Проте наявні конструкції серійних тістомісильних машин мають деякі недоліки які перешкоджають отриманню більш якісного тіста порівняно із машинами порційної дії. [12] В першу чергу це стосується робочих органів. Так машини із лопатковими робочими органами мають кращі показники ніж дискові, але відзначаються вищою енергоємністю. Таким чином, прийшли до висновку про необхідність поєднати позитивні сторони як дискових так і лопаткових робочих органів з можливістю впливати на перебіг процесу.

Розроблена у кваліфікаційній роботі структурно-функціональна схема тістомісильної машини подана на рис. 2.1.

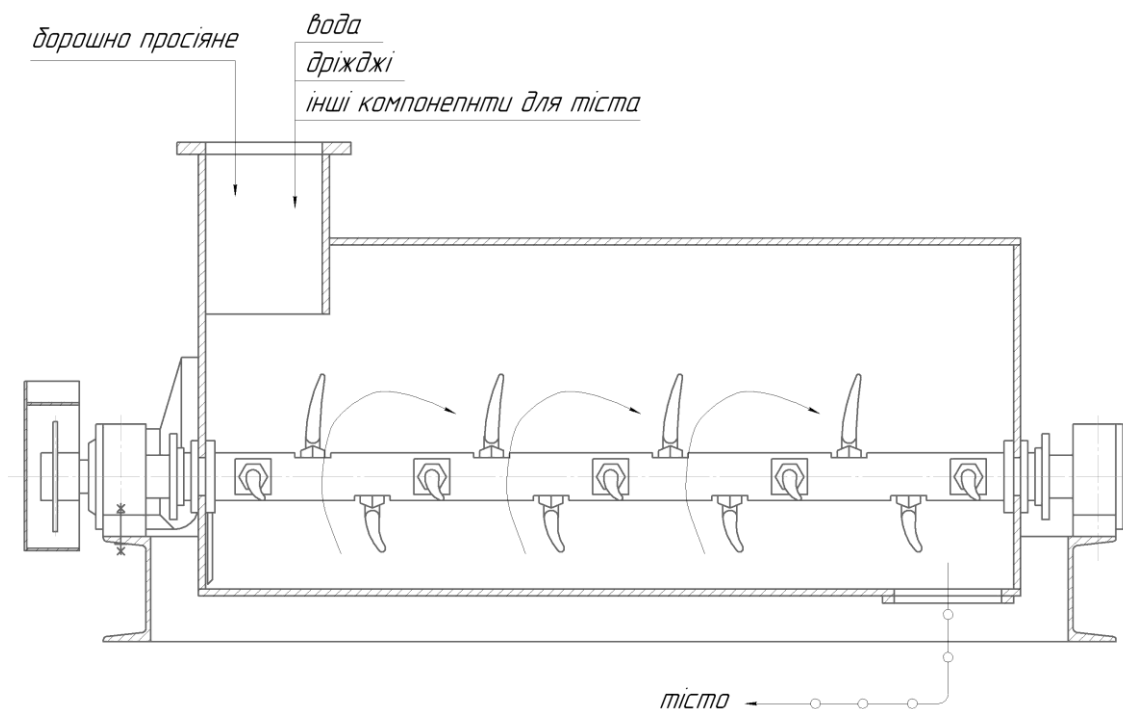


Рис. 2.1. Схема технологічного процесу розробленої машини

Запропонована структурно-функціональна схема тістомісильної машини увібрала в себе позитивні ознаки тістомісильного обладнання потокового принципу реалізації технологічного процесу.

Так, в якості робочих органів запропоновано використовувати криволінійної геометрії лопатки, які розташовуються на валу за гвинтовою лінією. Це забезпечує спрямоване переміщення компонентів до вивантажувального вікна. Криволінійна форма лопаток імітує форму спіральних робочих органів тістомісильних машин порційного принципу функціонування. В наслідок такого рішення ми отримали позитивні властивості як машин порційної дії так і машин неперервної дії. Від порційних машин отримали краще приготування тіста за рахунок інтенсивного впливу криволінійної поверхні робочого органу, а від поточкових машин – значно вищу продуктивність обладнання.

Для усунення недоліку поточкових машин, а саме відсутність керованого впливу на процес приготування тіста, конструкцію розробки доповнюємо регульованою лопаткою (рис. 2.2).

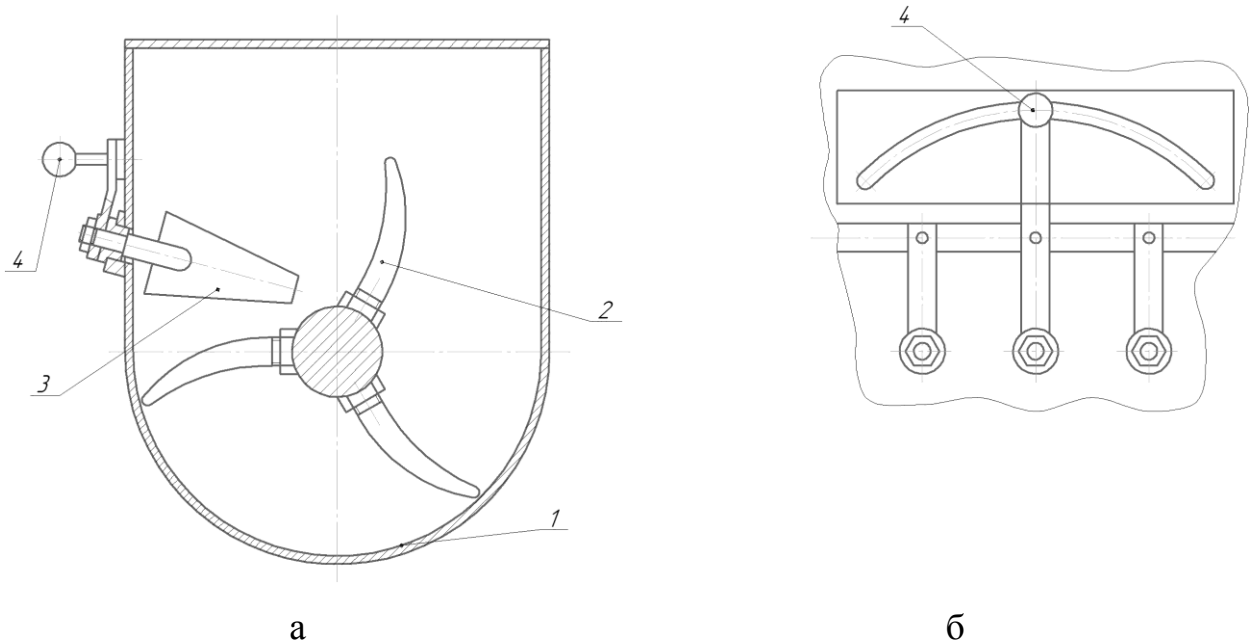


Рис. 2.2. Лопатка регульовальна: а – схема установки лопатки; б – механізм зміни кута лопатки: 1 – місткість; 2 – криволінійна лопатка; 3 – регульовальна лопатка; 4 – механізм зміни положення.

Основне призначення розробленої регульованої лопатки полягає у керованому впливі на процес переміщення тісто вздовж осі вала в процесі його приготування. В прототипові функцію сповільнення переміщення тіста до вихідного отвору виконували стаціонарні пристрої у вигляді напівкілець змонтованих на дні місткості. Це не давало змоги впливу на процес залежно від рецептури приготованого тісто.

За рахунок зміни кута установки регульованої лопатки відносно напрямку руху тісто ми можемо регулювати тривалість впливу робочих органів під час технологічного процесу замішування. Для зміни кута установки лопатки використовується спеціально розроблений пристрій (рис. 2.2б). Це дасть змогу розширити межі використання машини для приготування тісто різних консистенцій за різними рецептурами.

2.2. Розрахунок конструкційно-технологічних параметрів удосконаленого обладнання

Розрахунок технологічних параметрів удосконаленої тістомісильної машини виконується на основі відомих методик [14-18] та рекомендацій проектування машин і обладнання поданих у додатках.

Продуктивність розробленої машини визначаємо з врахуванням геометричних параметрів прототипу. Так, об'єм місткості для приготування тісто буде знаходитись як сума об'ємів двох геометричних фігур – призми та половина циліндра, м³:

$$V = B \cdot H \cdot L + \frac{\pi \cdot R^2}{2}, \quad (2.1)$$

де B – ширина місткості, м;

H – висота призматичної частини місткості, м;

L – місткості довжини, м;

R – місткості радіус, м

Відповідно до технічних даних параметрів прототипу радіус корпусу становить 342 мм, ширина буде становити два радіуси, тобто 684 мм, а висота призматичної частини корпусної деталі становить 350 мм при довжині 1350 мм.

Таким чином матимемо об'єм місткості, м³:

$$V = 0,684 \cdot 0,350 \cdot 1,35 + \frac{3,14 \cdot 0,342^2 \cdot 1,35}{2} = 0,442.$$

За рахунок наявності регульованих лопаток процес приготування тісто буде трошки сповільнюватися, при цьому і тривалість процесу буде відмінною від прототипу (в межах 60-90 с) та керованою.

Продуктивність удосконаленого обладнання з приготування тіста буде становити, кг/год:

$$Q = 3,6 \cdot S \cdot v \cdot \rho_c \cdot \varphi, \quad (2.2)$$

де S – площа поперечна геометричної форми місткості, м²;

v – переміщення компонентів вздовж осі машини, м/с;

ρ_c – сукупна маса об'ємна компонентів у тістові, кг/м³ (таблиця 2.1);

φ – коефіцієнт заповнення місткості компонентами.

Таблиця 2.1.

Параметри фізико-механічні компонентів [2, 13]

Назва компоненти	Значення у стані ферментованому, кг/м ³
Тісто з пшеничного борошна	1050...1190
Тісто із житнього борошна	1080...1120
Дріжджі розчинені	1000...1050
Дріжджі аактивні	1050...1080

В свою чергу, поперечна площа визначається як, м²:

$$S = B \cdot H \cdot + \frac{\pi \cdot R^2}{2}. \quad (2.3)$$

$$S = 0,684 \cdot 0,350 \cdot + \frac{3,14 \cdot 0,342^2}{2} = 0,328.$$

Інтенсивність пересування маси сумішки компонентів вздовж вала без врахування сповільнення розробленою лопаткою становитиме, м/с:

$$v = \frac{t \cdot n}{60} \cdot \psi, \quad (2.5)$$

де t – відстань між сусідніми лопатками робочого органу, м;

ψ – коефіцієнт втрати швидкості від сил злипання, $\psi=0,12$ [13];

n – оберти частоти робочого органу, об/хв.

Відповідно до особливостей організації процесу утворення тіста, швидкість обертів повинна відповідати умові, об/хв: [8, 9, 13]

$$n = 0,57 \cdot n_{\kappa}, \quad (2.6)$$

де n_{κ} – оберти частоти робочого органу критичні для тістоутворення, об/хв.:

$$n_{\kappa} = \frac{30}{\pi} \cdot \left(\frac{g \cdot f}{R_r} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (2.7)$$

де f – величина коефіцієнта тертя для тісто по матеріалу робочого органу, $f=1,3$ величина [13];

R_r – робочий радіус робочого органу, м.

$$n_{\kappa} = \frac{30}{3,14} \cdot \left(\frac{9,81 \cdot 1,3}{0,340} \right)^{\frac{1}{2}} = 88,51.$$

Тоді:

$$n = 0,57 \cdot 88,51 = 50,45.$$

Для подальших розрахунків прийmemo величину обертів робочу на рівні 50 об/хв.

Відстань між сусідніми на валу робочого лопаток визначається як, м:

$$t = \frac{(0,6...1,0) \cdot R_r}{z_t}, \quad (2.8)$$

де z_t – кількість лопаток в одній площині кроку, $z_t=3$ шт.

$$t = \frac{(0,6...1,0) \cdot 0,340}{3} = 0,068...0,133.$$

Конструкційно прийmemo значення відстані рівної 0,100 м, яку будемо використовувати в подальших обрахунках.

Підставимо отриманий результат у формулу (2.5), отримаємо, м/с:

$$v = \frac{0,100 \cdot 50}{60} \cdot 0,12 = 0,03.$$

Ступінь сповільнення переміщення маси у місткості буде залежати від кута установки лопаток щодо напрямку руху. За умови установки лопатки під кутом за якого до маси дотикається вся його поверхня продуктивність буде найменшою. Але, в такому випадку ступінь впливу робочих органів на тісто буде максимальним, що сприятиме підвищенню його якості для виробництва, наприклад, кондитерської випічки. За умови встановлення кута із мінімальним впливом на сповільнення переміщення тісто, швидкісні параметри будуть відповідати заданим.

Максимальна продуктивність удосконаленої тістомісильної машини, відповідно до формули (2.2), становить, кг/год:

$$Q_{\max} = 0,328 \cdot 0,03 \cdot 1050 \cdot 0,6 \cdot 3,6 = 1620.$$

Прототип із дискового типу робочими органами має продуктивність до 1200 кг/год. Отже розроблений робочий орган забезпечує зростання продуктивності на 420 кг/год.

Тривалість процесу утворення тісто в удосконаленому обладнанні становитиме, с:

$$T_p = \frac{L}{v}, \quad (2.9)$$

$$T_p = \frac{1,35}{0,03} = 45.$$

Дана тривалість є допустимим часом відповідно до рекомендацій для використання прототипу. Хоча відомо, що вища тривалість до 50-60 с могла б покращити якість кінцевого продукту. [13] Для підвищення якості тіста тривалість процесу необхідно несуттєво збільшувати на 5...15 с, для цього і запропонований регульований сповільнювач.

Для тривалості технологічного процесу 60 с, швидкість переміщення маси у місткості вздовж осі робочого органа повинна бути, м/с:

$$v_{\min} = \frac{L}{T_p}, \quad (2.10)$$

$$v = \frac{1,35}{60} = 0,0225.$$

В такому випадку, мінімальна продуктивність буде становити, кг/год:

$$Q_{\min} = 0,328 \cdot 0,0225 \cdot 1050 \cdot 0,6 \cdot 3,6 = 1215.$$

Кількість лопаток на валу знаходиться за формулою:

$$z_p = \frac{L_p}{t}, \quad (2.11)$$

де L_p – довжина робоча вала, $L_p=1300$ мм.

$$z_p = \frac{1300}{100} = 13.$$

Кількість лопаток регулювальних можна знайти за формулою, шт:

$$z_l = z_p - 1, \quad (2.12)$$

$$z_l = 13 - 1 = 12.$$

Таким чином, у місткості буде вмонтовано 12 регулювальних лопаток, а на робочому валу буде знаходитись 13 криволінійних лопаток.

Таблиця 2.2

Продуктивність удосконаленої тістомісильної машини залежно від кута повернення розробленої лопатки

Продуктивність	Кут повороту, град						
	0	30	60	90	120	150	180
Q, кг/год	1620	1480	1350	1215	1350	1480	1620

Відповідно до отриманих даних (табл. 2.2), найменша продуктивність спостерігається при поверненні розробленої лопатки на кут 90° , а найбільша продуктивність для кута установки лопатки на рівні 180° . Проміжне положення кута установки спричиняє зміну продуктивності у бік збільшення при поверненні на кут від 90° до 180° , і в бік зменшення при повороту на кут від 0° до 90° .

При цьому, кут повернення лопатки за чи проти годинникової стрілки по-різному впливає на характер перемішування компонентів для тіста. Так при куті 30° - 60° потоки компонентів будуть спрямовуватись під регулювальні лопатки що спричиняє створення додаткового зусилля тиску на дно місткості. В наслідок цього зростає процес вимішування, наприклад для приготування житнього хліба. При кутах повороту 130° - 150° потоки компонентів будуть спрямовуватись над регулювальні лопатки, що сприяє зменшенню зусиль на

вимішування, може бути використано для отримання тісто із пшеничного борошна.

2.3. Встановлення параметрів системи приводу удосконаленого робочого органу

Потужність на привод визначається за відомими методиками [18, 19] поданими у доступному вигляді у додатках кваліфікаційної роботи, здійснюється за такою послідовністю.

Потужність на приводному валу електродвигуна має становити, Вт:

$$N = \frac{2230 \cdot 0,83}{0,98 \cdot 0,97} = 1947,08. \quad (2.13)$$

Таким чином, для приводу у роботу розробленого робочого органу потужність двигуна електричного повинна становити не менше 2 кВт. Окрім цього необхідно підібрати редуктор у комплекті із електродвигуном із максимально наближеною частотою обертання робочого органу, яка встановлена розрахунково 50 об/хв.

На основі довідникових даних [17] обираємо електродвигун AIP100L6Y3 потужність якого становить 2,2 кВт та редуктор циліндричний E-R10 зі співвісною схемою і передаточним числом 20,07 [19].

Момент крутний становитиме, Н×м:

$$M = \frac{2,2 \cdot 9550}{50} = 420,2. \quad (2.14)$$

Крок розрахунковий для передачі приводу від мотор-редуктора до робочого органу становитиме, мм:

$$t = 2,8 \cdot \sqrt[3]{\frac{420,2 \cdot 2,1}{30 \cdot 40 \cdot 1}} = 12,45. \quad (2.15)$$

Будемо використовувати ланцюг крок якого становить 15,875 мм, а це перевищує отриману розрахункове значення по формулі (2.15).

Діюча на ланцюг швидкість переміщення лінійна, м/с:

$$v = \frac{30 \cdot 15,875 \cdot 50}{60 \cdot 10^3} = 1,11. \quad (2.16)$$

Сила яка виникає під час моменту приводу ведучої зірочки, Н:

$$F_t = \frac{2200}{1,11} = 1981,98. \quad (2.17)$$

Тиск зусилля від передачі руху у шарнірі вибраного ланцюга, МПа:

$$P = \frac{1981,98 \cdot 2,1}{420,2} = 11,9. \quad (2.18)$$

Отримане значення у формулі (2.18) повинно відповідати умові:

$$P \leq [P], \quad (2.19)$$

де $[P]$ – руйнівне зусилля яке може витримати ланцюг, 40 МПа.

$$11,9 < 40.$$

Таким чином умова (2.19) задовольняється, а це означає правильність вибору ланцюга.

Перевірка на витримування руйнівних зусиль шпонки призматичної із кінцями на заокруглення становитиме, МПа:

$$\sigma^{\max} = \frac{2 \cdot 420,2 \cdot 10^3}{60(11-7)(56-18)} = 71,06 \text{ МПа} < 100 \dots 120 \text{ МПа}. \quad (2.20)$$

Вибір шпонки можна вважати вірним, оскільки діюче руйнівне зусилля значно менше від граничного значення для матеріалу із якого виготовлено шпонку.

2.4. Висновки до розділу 2

1. Запропонована конструкція тістомісильної машини увібрала в себе позитивні ознаки тістомісильного обладнання потокового та порційного принципу реалізації технологічного процесу. В якості робочих органів запропоновано використовувати криволінійної геометрії лопатки, які розташовуються на валу за гвинтовою лінією. Криволінійна форма лопаток імітує форму спіральних робочих органів тістомісильних машин порційного принципу функціонування. Криволінійна форма лопаток сприяє кращому приготуванню тіста за рахунок інтенсивнішого впливу криволінійної поверхні робочого органу. Застосування потового процесу функціонування забезпечить вищу продуктивність обладнання. В наслідок такого рішення ми отримали позитивні властивості як машин порційної дії так і машин неперервної дії.

2. Виконано технологічні розрахунки, які дозволили встановити продуктивність розробленої машини для приготування тісто та її геометричні параметри. Так, за рахунок використання різних кутів установки сповільнюючи лопаток продуктивність може змінюватись від 1215 до 1620 кг/год. Найменше значення продуктивності спостерігається при поверненні розробленої лопатки на кут 90° , а найбільша продуктивність для кута установки лопатки 180° . Проміжне положення кутів установки спричиняє зміну продуктивності у бік збільшення при поверненні на кут від 90° до 180° , і в бік зменшення при повороту на кут від 0° до 90° .

РОЗДІЛ 3

ВСТАНОВЛЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ ТА ЕКОНОМІЧНОЇ ДОЦІЛЬНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ УДОСКОНАЛЕНОГО ОБЛАДНАННЯ

3.1. Оцінка економічної доцільності впровадження удосконаленого обладнання

Економічну оцінку та доцільність впровадження у виробництво запропонованих удосконалень виконано на основі загальноприйнятих методичних рекомендацій [15, 20] які сформовані у додатку Г кваліфікаційної роботи.

Встановимо балансовану вартість машини серійного виробництва (B_1) та удосконаленої машини (B_2), грн:

$$\begin{aligned} B_1 &= 1,3 \cdot 96000 = 124800, \\ B_2 &= 1,3 \cdot 104580 = 135954. \end{aligned} \quad (3.1)$$

Встановимо відрахування на поновлення використовуваного обладнання, грн:

$$\begin{aligned} B_1 &= \frac{124800 \cdot 15}{100} = 18720, \\ B_2 &= \frac{135954 \cdot 15}{100} = 20393,1. \end{aligned} \quad (3.2)$$

Оскільки продуктивність удосконаленої машини вища ніж попередника до удосконалення, то й тривалість роботи для отримання необхідного обсягу продукції буде різною. Так при добовому виробництві 9600 кг тісто, тривалість роботи обладнання серійного становить 2920 год/рік, а удосконаленого буде становити 2163 год/рік.

За діючої ціни на електричну енергію 6,9 грн/кВт×год, витрати на роботу машин буде наступна, грн:

$$\begin{aligned} E_1 &= 6,9 \cdot 3 \cdot 2920 = 60444, \\ E_2 &= 6,9 \cdot 2,2 \cdot 2163 = 32834,34. \end{aligned} \quad (3.3)$$

На утримання персоналу по управлінню машиною необхідно закласти видрати, грн:

$$\begin{aligned} \Pi_1 &= 150 \cdot 2920 = 438000, \\ \Pi_2 &= 150 \cdot 2163 = 324450. \end{aligned} \quad (3.4)$$

В загальному сукупні витрати становитимуть, грн:

$$\begin{aligned} C_1 &= 18720 + 60444 + 438000 = 517164, \\ C_2 &= 20393,1 + 32834,34 + 324450 = 377677,44. \end{aligned} \quad (3.5)$$

Загальні витрати приведені до капіталовкладень становлять, грн:

$$\begin{aligned} P_1 &= 517164 + 0,15 \cdot 124800 = 535884, \\ P_2 &= 377677,44 + 0,15 \cdot 135954 = 398070,54. \end{aligned} \quad (3.6)$$

Протягом року можна отримати наступну економію грошових ресурсів, грн:

$$H = 535884 - 398070,54 = 137813,46. \quad (3.7)$$

Додаткові вкладення в удосконалення машини можна отримати окупність через, років:

$$D = \frac{135954 - 124800}{137813,46} = 0,1. \quad (3.8)$$

Результати розрахунків вказують на економічну доцільність використання запропонованої тістомісильної машини. Це підтверджують дані щодо окупності вкладених ресурсів для модернізації діючого обладнання. Вартість нової удосконаленої машини взята з врахуванням витрат пов'язаних із виготовленням машини для умов серійного використання. Це зроблено для того

щоб урівняти можливу невідповідність у грошових ресурсах. Зрозуміло, що серійне обладнання яке використовується тривалий час уже окупило витрати на придбання та експлуатацію. Навіть не будемо згадувати про витрати на проектні роботи та запуск серійного виробництва. Тому, виконану порівняльний аналіз вважається адекватним заявленим цілям кваліфікаційної роботи.

3.2. Висновки до розділу 3

1. Проведена порівняльна оцінка удосконаленої машини та прототипу вказала на економічну доцільність використання запропонованої розробки. При добовому обсязі виробництві тіста 9600 кг річна економія коштів буде становити 137813,46 грн., а додаткові вкладення коштів окупляться протягом 1,2 місяців. Досягається економічний ефект за рахунок збільшення продуктивності удосконаленої машини на 8-26 % та зменшення потужності на привод від 3 кВт до 2,2 кВт.

ВИСНОВКИ

1. Оцінка технологічного обладнання для приготування тіста вказує на широке поширення у виробництві обладнання порційного принципу дії. Вища у рази продуктивність та нижча енергоємність потокового типу тістомісильних машин робить їх переважним вибором для виробників порівняно із порційними машинами. Проте наявні недоліки пов'язані із неможливістю регульованого впливу на процес приготування тіста спонукають до пошуків шляхів покращення тістомісильних машин потокового типу.

2. Запропонована конструкція тістомісильної машини потокового принципу дії. В якості робочих органів застосовуються криволінійні лопатки, які імітують форму спіральних робочих органів тістомісильних машин порційного принципу дії. Криволінійна форма лопаток сприяє приготуванню тіста вищої якості за рахунок інтенсивнішого впливу криволінійної поверхні робочого органу. В наслідок такого рішення ми отримали позитивні властивості як машин порційної дії так і машин неперервної дії.

3. Виконано розрахунки, які дозволили встановити технологічні та конструкційні параметри розробленої тістомісильної машини. За рахунок регулювання кутів установки сповільнюючи лопаток продуктивність тістомісильної машини може змінюватись від 1215 до 1620 кг/год. Найменше значення продуктивності при поверненні лопатки на кут 90° до осевого напрямку руху тіста, а найбільша продуктивність – при 180° . Проміжне положення кутів установки спричиняє зміну продуктивності у бік збільшення при поверненні на кут від 90° до 180° , і в бік зменшення при повороту на кут від 0° до 90° . Таке регулювання дозволить значно розширити межі використання тіста різноманітних рецептур.

4. Проведена порівняльна оцінка удосконаленої машини та прототипу вказала на економічну доцільність використання запропонованої розробки. При добовому обсязі виробництві тіста 9600 кг річна економія коштів буде становити 137813,46 грн., а додаткові вкладення окупляться через 0,1 рік.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Технологічне обладнання хлібопекарських і макаронних виробів / Лісовенко О. Т. та ін. К.: Наукова думка, 2000. 282 с.
2. Петько В. Ф., Гапонюк О. І., Петько Є. В. Технологічне устаткування хлібопекарського і макаронного і кондитерських виробництв. К.: Центр учбової літератури, 2007. 432 с.
3. Поперечний А. М. Процеси та апарати харчових виробництв. К.: Центр учбової літератури, 2007. 304 с.
4. Бернік П. С., Стоцько З. А., Паламарчук І. П. Механічні процеси і обладнання переробного та харчового виробництва. Львів : Львівська політехніка, 2004. 336 с.
5. Машини та обладнання переробних виробництв / за ред. Дацишина О. В. К.: Вища освіта, 2005. 159 с.
6. Процеси і апарати харчових виробництв / за ред. І. Ф. Малежика. К.: Нац. ун-т харч. технологій, 2003. 400 с.
7. Данилко Д. Ю. Порівняльна оцінка робочих органів тістомісильних машин. *Студентські читання–2024* : матеріали науково-практичної конференції. 31 жовтня 2024 р. Житомир: Поліський національний університет, 2024. Ч. 2. С. 15–17.
8. Розрахунки обладнання підприємств переробної і харчової промисловості: навч. посіб / за ред. В. Г. Мирончука. Вінниця: Нова книга, 2004. 288 с.
9. Загальна технологія харчових виробництв у прикладах і задачах / Л. Л. Товажнянський, С. І. Бухкало, П. О. Капустянко, Є. І. Орлова. К.: Центр навчальної літератури, 2008. 496 с.
10. Тістоміс Sigma Super Premium VE 200 SP : веб-сайт. URL : <https://lodmar.com.ua/tistomis-sigma-super-premium-ve-200-sp>.
11. Вилковий тістоміс PMDK 240 Porlanmaz : веб-сайт. URL : <https://proftehnika.com.ua/uk/p/1524589432-vilochnyy-testomes-pmdk-240-porlanmaz-inercionnyy/>

12. Данилко Д. Ю. Техніко-технологічні вимоги до тістоприготувальних машин. *Наукові читання – 2025* : збірник тез доповідей науково-практичної конференції за підсумками І-го туру Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт з галузей знань і спеціальностей. 23 квітня 2025 р. Житомир: Поліський національний університет, 2025. С. 11–14.

13. Ялпачик Ф. Ю., Янаков В. П. Процеси тістомісильних машин: монографія. Вижниця: «Черемош», 2014. 163 с.

14. Гайдамака А. В. Деталі машин. Основи теорії та розрахунків : навчальний посібник. Харків : НТУ ХПІ, 2020. 275 с.

15. Данильченко Л. М., Васильків В. В., Ткаченко І. Г. Ефективність інженерних рішень : навч. посібн. Тернопіль : ТНТУ, 2024. 248 с.

16. Калетнік Г. М. Основи інженерних методів розрахунків на міцність і жорсткість : підручник / за ред. Г. М. Калетніка, М. Г. Чаусова. Київ: Хай-Тек Прес, 2013. 528 с.

17. Борозенець Г. М., Павлов В. М., Семак І. В. Деталі машин : навчальний посібник. К.: Видавничий дім «Кондор», 2021. 220 с.

18. Основи конструювання машин: підручник для студентів інженерно-технічних спеціальностей вищих навчальних закладів / за ред. Ю. С. Рудь. Кривий Ріг: ФОП Чернявський Д. О., 2015. 492 с.

19. Співвісні циліндричні редуктори, мотор-редуктори gs-drive : веб-сайт. URL : <https://rsbc.com.ua/uk/produkcija-2/cilindrichni-reduktori-motor-reduktori/spivvisni-cilindrichni-reduktori-motor-reduktori-gs-drive-e-r-rf/>

20. Техніко-економічне обґрунтування інженерних рішень на СТО та АТП : навчальний посібник / за ред. Гевко І. Б. Тернопіль : Вид-во ТНТУ ім. Івана Пулюя, 2021. 276 с.