

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

**МІЗНІК ЛАРИСА МИКОЛАЇВНА**

УДК 664.653.4.03

**ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ  
ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСІВ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИРОБІВ ІЗ ТІСТА З  
НАЧИНКОЮ**

05.18.12 – процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та  
фармацевтичних виробництв

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Київ –2006

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному університеті харчових технологій Міністерства освіти і науки України

**Науковий керівник:** кандидат технічних наук, доцент  
Штефан Євгеній Васильович,  
Національний університет харчових технологій, доцент  
кафедри матеріалознавства та технології  
машинобудування

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук,  
Циганков Сергій Петрович,  
Інститут харчової хімії і технології Національної  
академії наук України, заступник директора  
з наукової роботи та нової техніки

кандидат технічних наук, доцент  
Теличкун Володимир Іванович,  
Національний університет харчових технологій,  
доцент кафедри машин і апаратів харчових виробництв

**Провідна установа:** Харківський державний університет харчування та торгівлі Міністерства освіти і науки України

Захист відбудеться „\_\_\_\_” \_\_\_\_\_2006 року о \_\_\_\_\_ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.058.02 в Національному університеті харчових технологій за адресою: 01033 м. Київ, вул. Володимирська, 68, аудиторія А-311.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного університету харчових технологій за адресою: 01033, м. Київ, вул. Володимирська, 68.

Автореферат розісланий „\_\_\_\_” \_\_\_\_\_2006р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

Зав'ялов В.Л.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Сучасний інтенсивний розвиток харчової промисловості України ставить все більш жорсткі вимоги до якості виробів, продуктивності та рівня безвідходності виробництва. В цих умовах для забезпечення населення України якісними і недорогими продуктами доцільно розробляти універсальні технології виготовлення виробів із тіста з начинкою. Розроблення технологічного обладнання, яке дозволяє формувати вироби з різноманітних компонентів матеріалів є перспективним направленням інтенсифікації виробництва. Проектування такого типу обладнання не можливо без проведення комплексних теоретичних досліджень, що включають промислову перевірку їх результатів. При цьому значно зменшуються витрати на проведення фізичних експериментів. Тому задача по розробленню сучасних інформаційних технологій проектування процесів формування тістового джгута з широким спектром видів начинки і створення відповідного формуючого пристрою є актуальною.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Роботу виконано відповідно до плану науково-дослідної роботи Національного університету харчових технологій, за темою „Розробка наукових основ тепломасообмінних та інших робочих процесів харчових виробництв з метою створення нового високоефективного обладнання засобів механізації для харчових галузей”(код науково-технічної діяльності 1.216 за КВНТД). Окремі розділи дисертації виконані відповідно теми науково-дослідної роботи Черкаського державного технологічного університету „Дослідження механізмів інтенсифікованого процесу виготовлення виробів із тіста з начинкою”. Автором запропоновано новий методологічний підхід до проектування формуючого пристрою. Особистий внесок здобувача полягає в розробці наукових основ дослідження процесів коекструзії при проектуванні технологічного обладнання для формування джгута з начинкою. Експериментальні дослідження проводили на Черкаському підприємстві „Вояш”.

**Мета і задачі дослідження.** Метою роботи є дослідження та наукове обґрунтування раціональних конструктивно-технологічних параметрів процесу формування тістового джгута з начинкою, з врахуванням реологічних властивостей сировини, а також розробка формуючого пристрою, який забезпечує раціональні технологічні режими формування тістового джгута з начинкою.

У відповідності з поставленою метою були сформульовані такі задачі:

- розробити методику визначення раціональних конструктивно-технологічних параметрів формуючого пристрою;
- створити математичну модель процесу формування тістового джгута з начинкою;
- провести чисельні експерименти з метою дослідження впливу:
  - геометричних параметрів формуючого пристрою на величини тисків нагнітання компонентів сировини;

- тисків нагнітання сировини і геометрії формуючих матриць на кінематику об'єкта формування;
- тиску в об'ємі компонентів сировини на якість готових виробів;
- визначити раціональні конструктивно-технологічні параметри формуючого вузла;
- розробити дослідний зразок машини для виготовлення виробів із тіста з начинкою;
- шляхом фізичного моделювання на дослідному зразку машини довести адекватність проведених теоретичних досліджень.

*Об'єкт дослідження* – ізотермічний процес формування тістової трубки з начинкою, та технологічне обладнання для його реалізації.

*Предмет дослідження* – режими формування тісто-фаршевого джгута (ТФД), геометричні параметри формуючого пристрою та технологічні характеристики нагнітання компонентів сировини.

**Методи дослідження** включають в себе теоретичні дослідження з використанням сучасних методів математичного моделювання, які базуються на основних положеннях механіки дисперсних середовищ та чисельних методах (проекційно-сіткових) розв'язання відповідних задач математичної фізики, а також експериментальні дослідження, що спрямовані на перевірку отриманих теоретичних результатів.

#### **Наукова новизна одержаних результатів:**

- створена математична модель процесу формування тістового джгута з начинкою і на її основі запропоновано новий підхід до проектування формуючого пристрою;
- проведено чисельне моделювання різних конструктивних варіантів формування виробів із тіста з начинкою і на його основі досліджено вплив технологічних факторів і конструктивних параметрів формуючого пристрою на закономірності процесу формування;
- з використанням розробленої методики визначенні раціональні конструктивні параметри формуючого пристрою, та співвідношення тисків нагнітання компонентів сировини;
- на основі проведених досліджень розроблена та впроваджена нова конструкція формуючого пристрою, яка дозволяє значно зменшити кількість дефектів ТФД;
- розроблена експериментальна методика по визначенню технологічних параметрів (тиск нагнітання компонентів сировини, швидкість руху ТФД, продуктивність та ін.) машини у виробничих умовах.

**Практичне значення одержаних результатів.** Розроблена конструкторська та технологічна документація, за якою Черкаським заводом „Темп” виготовлений дослідно-промисловий зразок машини для автоматизованого виробництва виробів із тіста з начинкою. На підприємстві „Вояш” проведено промислові випробування автомата. За результатами випробувань автомат рекомендовано до серійного виробництва.

**Особистий внесок здобувача.** Автором особисто: розроблено метод теоретичного дослідження процесу формування трубки з начинкою; проведені

чисельні експерименти по дослідженню впливу конструктивно-технологічних параметрів формуючого пристрою на закономірності процесу формування; визначені раціональні конструктивно-технологічні параметри формуючого пристрою; дані рекомендації для конструювання формуючого вузла, які враховують реологічні характеристики компонентів сировини; розроблено та виготовлено конструкторську документацію дослідного зразка машини; розроблено експериментальну методику для оцінки адекватності запропонованих теоретичних розробок; проведено фізичне моделювання на дослідному зразку автомата по визначенню швидкості руху джгута та тисків нагнітання компонентів ТФД. Роботи по розробленню конструкторської та технологічної документації для виготовлення дослідного зразка автомата, проведення промислових випробувань, а також експериментальних досліджень виконані під керівництвом к.т.н., доцента Черкаського державного технологічного університету Титарчука А.О.

**Апробація результатів дисертації.** Матеріали дисертаційної роботи доповідались і обговорювались на Міжнародній науково-технічній конференції „Розроблення та вдосконалення прогресивних ресурсощадних технологій та обладнання в харчову та переробну промисловість”, Київ, 1997 рік; на 6-й Міжнародній науково-технічній конференції ”Проблеми та перспективи створення і впровадження нових ресурсо- та енергоощадних технологій, обладнання в галузях харчової і переробної промисловості”, Київ, 1999 рік; 70-й науковій конференції „Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у ХХІ столітті”, Київ, 2004 рік; ІХ Міжнародній науково-технічній конференції „Нові технології та технічні рішення в харчовій та переробній промисловості: сьогодення і перспективи”, Київ, 2005.

**Публікації.** За темою дисертаційної роботи опубліковано 8 друкованих праць, з яких 4 в наукових журналах і збірниках наукових праць і 4 – тези науково-технічних конференцій.

**Обсяг роботи.** Дисертаційна робота викладена на 122 сторінках друкованого тексту, складається з вступу, 4 розділів, висновків, вміщує 8 таблиць, 56 рисунків. Список використаної літератури включає 110 найменування вітчизняних і зарубіжних авторів.

## **ЗМІСТ РОБОТИ**

**У вступі** обґрунтована актуальність теми; визначені мета роботи, наукова новизна, практична цінність; викладені основні положення роботи, що виносяться на захист.

**У розділі 1** виконано аналіз сучасних харчових технологій виготовлення виробів з начинками. З аналізу визначено, що найбільш перспективною є технологія, що основана на формування джгута з начинкою. Аналіз особливостей технологій виготовлення виробів з начинками методом формування показав, що на якість готових виробів у значній мірі впливає конструкція формуючого пристрою. Конструктивні параметри формуючого пристрою повинні визначатися структурно-механічними та реологічними характеристиками компонентів сировини.

На підставі огляду літературних джерел, приведена характеристика бездріжджового тіста як об'єкта формування оболонки, розглянуто його фізико-хімічні та структурно-механічні властивості. Розглянуто вплив різноманітних технологічних факторів на структурно-механічні властивості тіста та м'ясного фаршу. Показано, що в процесі виробництва виробів з начинкою напівфабрикати перебувають в умовах складного напруженого стану. Здатність зберігати або змінювати форму під дією зовнішніх зусиль характеризується структурно-механічними властивостями дисперсних харчових матеріалів.

Встановлено, що бездріжджове пшеничне тісто, що використовується в якості оболонки та різноманітні харчові матеріали для начинки, в залежності від величини напружень, часу їх дії, швидкості деформації можуть проявляти пружно-пластичні або в'язко-пластичні властивості. Користуючись кривими кінетики деформації, в умовах незруйнованої структури експериментально визначають модулі пружності, найбільшу пластичну в'язкість, умовну статичну межу текучості. В області зруйнованої структури за допомогою кривих течії додатково можна отримати залежності ефективної в'язкості від напруження зсуву. Тобто повний комплекс реологічних характеристик дисперсних структурованих систем може бути отриманий сукупністю експериментальних методів, серед яких можна виділити два типи методів: 1) статичні методи, які ґрунтуються на встановленні реологічних характеристик при дуже малих швидкостях деформацій і вузькому діапазоні їх змін; 2) методи з широким діапазоном швидкостей деформацій.

Таким чином, аналіз технології виготовлення виробів із тіста з начинкою та особливостей процесів їх формування призвів до доцільності визначення раціональних конструктивних параметрів формуючого пристрою, які забезпечують необхідні технологічні показники готових виробів.

**У розділі 2** розроблена методика теоретичного визначення раціональних конструктивно-технологічних параметрів відповідного формуючого пристрою (рис.1). В основу цієї методики покладено математична модель процесів деформування дисперсних матеріалів, що складається з трьох основних частин аналітичної, алгоритмічної і цифрової. Аналітична модель ґрунтується на рівняннях механіки дисперсних матеріалів у формі крайової задачі пружно-в'язко-пластичності. Рівняння руху для макроточок дисперсної системи, з врахуванням відсутності взаємного руху фаз має вигляд:

$$\rho \frac{du}{dt} + \text{grad}(p u \times u) - \text{grad}\sigma - p g = 0, \quad (1)$$

де  $\sigma$  – тензор напружень у суміші;  $g$  – вектор прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;  $\rho$  – щільність в мікроточках дисперсного матеріалу;  $u$  – вектор швидкості мікроточок дисперсного матеріалу,  $\times$  – знак векторного множення.



Рис.1. Схема визначення раціональних конструктивно-технологічних параметрів формуючого пристрою

Напруження, які виникають в об'ємі матеріалу, зв'язані зі швидкостями деформацій, на основі прийнятої моделі деформування дисперсного матеріалу у режимі пружно-в'язко-пластичної течії твердої фази (рис.2).

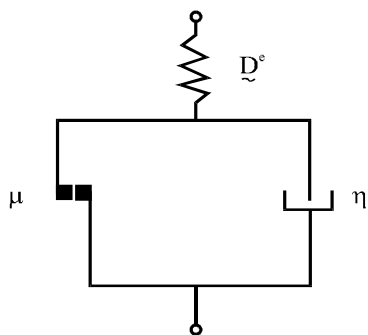


Рис.2. Схема пружно-в'язко-пластичної моделі деформованого тіла

$$e_{ik} = e_{ik}^e + e_{ik}^n = \frac{1+n}{E} \left( s_{ik} + \frac{n}{1+n} \cdot s_{ik} d_{ik} \right) + \frac{\sqrt{j_t g^2 + j_r e^2}}{j_t j_r (\sqrt{rk} + 2h_k \sqrt{j_t g^2 + j_r e^2})} \times \left[ j_t s_{ik} + \left( \frac{1}{3} j_t - j_r \right) p d_{ik} \right], \quad (2)$$

де  $e_{ik}, e_{ik}^e, e_{ik}^n$  – швидкості повної, зворотної (пружної) та незворотної (в'язко-пластичної) деформацій

відповідно;  $s_{ik}$  – тензор напруження;  $\gamma$  – другий інваріант девіатора швидкостей деформації  $e_{ik}$ ,  $p$  – рівень гідростатичного тиску в матеріалі;  $j_t, j_r$  – функції дисперсності, що залежать від об'ємного вмісту твердої та газорідкої фаз;  $k$  – границі текучості твердої фази матеріалу;  $\eta_k$  – коефіцієнт в'язкості твердої фази матеріалу;  $n, E$  – відповідно коефіцієнт Пуассона і модуль Юнга твердої фази матеріалу,  $\delta_{ik}$  – дельта Кронекера.

В основу побудови алгоритмічної моделі покладено:

- розв'язання сформульованої задачі проєкційно-сітковими методами: скінченних елементів (МСЕ) за просторовими змінними та скінченних різниць (МСР) за часовим аргументом;
- обчислювальні алгоритми, що реалізують реологічні процеси при формуванні;
- обчислювальні алгоритми, які реалізують кінематичні особливості процесу формування трубки з начинкою.

В результаті просторової апроксимації на основі МСЕ рівняння рівноваги геометричної області, яка зайнята матеріалом що деформується мають вид:

$$[K] \{u\} = \{Q\}, \quad (3)$$

де  $\{Q\}$  – вектор загальних вузлових зусиль;  $[K]$  – загальна матриця жорсткості для системи елементів;  $\{u\}$  – вектор вузлових переміщень; точка означає похідну по часу.

На основі МСР, здійснюємо числове інтегрування системи (3) на часовому інтервалі  $\Delta t_m = t_{m+1} - t_m$ . Відмітимо, що  $\Delta t_m$  в даному випадку визначає дискретний часовий інтервал при чисельній реалізації заданого закону силового навантаження. Таким чином, маємо:

$$\{u\}_{m+1} = \{u\}_m + (1 - \omega) [K]_m^{-1} (\{Q\}_{m+1} - \{Q\}_m) + \omega [K]_{m+1}^{-1} (\{Q\}_{m+1} - \{Q\}_m) \quad (4)$$

де  $w = \frac{t - t_m}{\Delta t_m}$  – ваговий множник, який визначає вид різницевого оператора ( $0 \leq w \leq 1$ ).

Розроблені алгоритми реалізовані у вигляді програмної системи (цифрової моделі). В якості базового програмного забезпечення цифрової моделі прийнята програмна система PLAST-KOEX-002.

Планування проведення обчислювальних експериментів виконано згідно розробленої розрахункової схеми (рис.3). При цьому розглянуті наступні конструктивні варіанти формуючого пристрою:

- діаметр матриці оболонки (розмір  $a$ ): 0,021 м; 0,019 м; 0,018 м;
- внутрішній діаметр матриці начинки (розмір  $d$ ): 0,014 м с товщиною стінки 0,002 м;
- кут конуса матриці ( $\alpha$ ) оболонки :  $44^{\circ} 30'$ ;  $43^{\circ}$ ;  $41^{\circ}$ ;
- розташування матриці начинки відносно нижньої кромки матриці оболонки (розмір  $b$ ): 0,022 м; 0,015 м; 0,008 м.

Враховано особливості нагнітання компонентів сировини шляхом завдання відповідних значень тисків нагнітання  $P_H$  для матеріалу начинки і  $P_0$  для матеріалу оболонки. На поверхнях контакту „матриця-матеріал” задані сили тертя  $F_T$ .

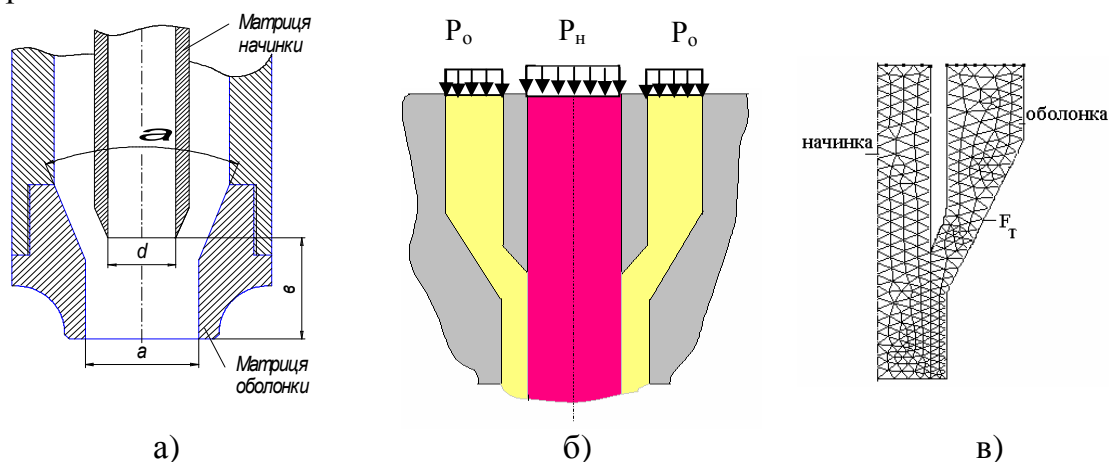
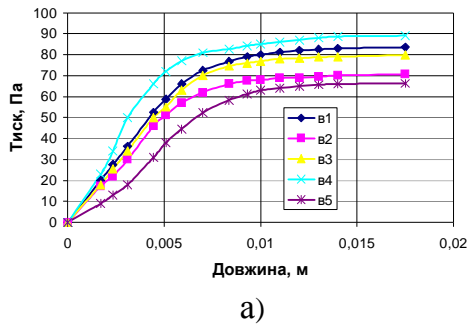


Рис.3. Схема формуючого пристрою (а), розрахункова схема (б) та скінченно елементна модель процесу формування (в)

Розглянуто приклад процесу формування джгута з таких компонентів: оболонка джгута – тісто, начинка – м'ясний фарш.

Мета проведення чисельних експериментів полягає у визначенні технологічних показників процесу формування ТФД (експлуатаційного тиску, продуктивності роботи машини, якості готового виробу та ін.) в залежності від конструктивних параметрів формуючого пристрою та реологічних властивостей компонентів сировини. Однією з основних характеристик процесу формування ТФД є залежність зміни тиску нагнітання матеріалу оболонки від довжини джгута. Слід відмітити, що експериментальне отримання такої залежності пов'язано з певними технічними труднощами. На основі результатів проведених обчислювальних експериментів отримано залежності “тиск-довжина” для прийнятих варіантів формування ТФД (рис.4).



B1  $a = 0,018$  м,  $\alpha = 44^{\circ}30'$ ,  $b = 0,022$  м;  
 B2  $a = 0,021$  м,  $\alpha = 44^{\circ}30'$ ,  $b = 0,022$  м;  
 B3  $a = 0,021$  м,  $\alpha = 43^{\circ}30'$ ,  $b = 0,015$  м;  
 B4  $a = 0,021$  м,  $\alpha = 44^{\circ}30'$ ,  $b = 0,008$  м;  
 B5  $a = 0,021$  м,  $\alpha = 43^{\circ}$ ,  $b = 0,022$  м

б)

Рис.4. Залежність тиску нагнітання матеріалу оболонки від довжини джгута (а) для п'яти конструктивних варіантів формуючого пристрою (б)

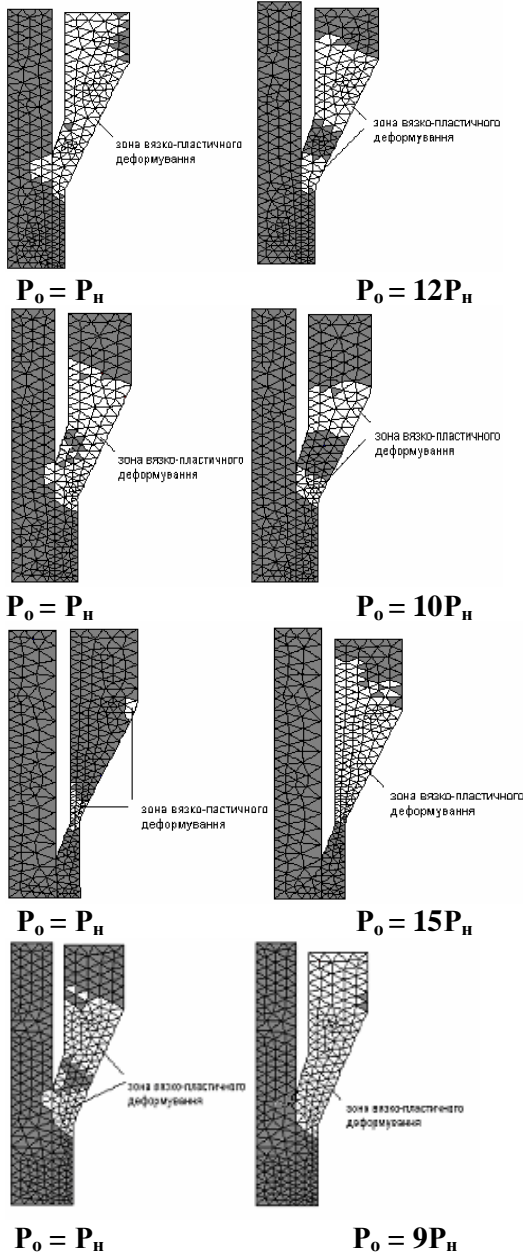


Рис.5. Зони пружної та в'язко-пластичної деформації матеріалу у формуючому пристрої при різних

З рис.4 видно, що незалежно від прийнятих варіантів формуючого пристрою тиск спочатку зростає, а потім поступово стабілізується. Це свідчить про перехід процесу у встановлену стадію формування. Аналіз цих залежностей дозволяє визначити механізм створення робочого тиску на окремі компоненти матеріалів ТФД, а також простежити перехід процесу з невстановленої у встановлену стадію формування. Стабілізація тиску нагнітання матеріалу оболонки обумовлена поступовою зміною фізичного стану матеріалу – переходом з пружного в пластичний стан (рис.5). Слід відмітити, що запропонований метод дозволяє дослідити вплив співвідношення тисків на закономірності пружно-пластичної деформації компонентів ТФД. З рис. 5 видно, що при однакових тисках нагнітання ( $P_o = P_n$ ) за рахунок стискування матеріалу начинки відбувається його непружна деформація, яка негативно впливає на якість готових виробів. Але при певному визначеному співвідношенні тисків пластичне деформування відбувається тільки у тій оболонці, а матеріал начинки у процесі формування залишається у пружному стані. Відсутність пластичної обробки матеріалу начинки у даному

співвідношеннях тисків нагнітання випадку є позитивним оскільки

забезпечує її початковий фазовий склад у готовому виробі. Аналіз характеру поступового розповсюдження зони пластичної деформації свідчить про те, що пружно – пластичне перетворення, як правило, починається у зони нижньої кромки матриці оболонки і поступово розповсюджується по всій товщині тістової оболонки у радіальному напрямку (рис.5) до охоплення всього об'єму очага деформації, що означає перехід процесу у встановлену стадію формування.

З аналізу розподілення переміщень мікроточок компонентів ТФД (рис.6) видно, що при  $P_o = P_n$ , переміщення точок матеріалу начинки не рівномірне по довжині каналу матриці, тобто відбувається стискання матеріалу начинки та розтягування матеріалу оболонки. Це підтверджується результатами розрахунку розподілення напружень в об'ємі матеріалу при формуванні ТФД (рис.7). Зрозуміло, що це приводить до незадовільної якості готових виробів. Розрахунки показали, що збільшення тиску нагнітання матеріалу оболонки приводить до рівномірного розподілу переміщень як вздовж каналу матриці начинки так і на виході з формуючого пристрою (рис.6). При такому режимі формування підвищується якість готових виробів, оскільки суттєво знижується рівень розтягуючих напружень в оболонці і практично зникає стискання в матеріалі начинки (рис.7).

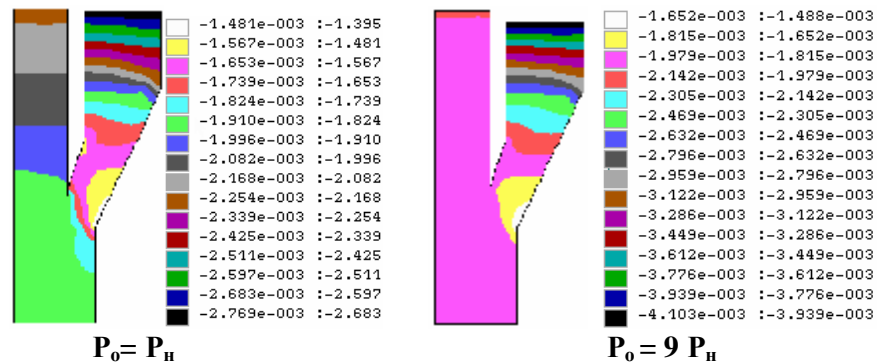


Рис.6. Розподілення переміщень макроточок матеріалів в осьовому напрямку ТФД при переході процесу у встановлену стадію формування для п'ятого конструктивного варіанту

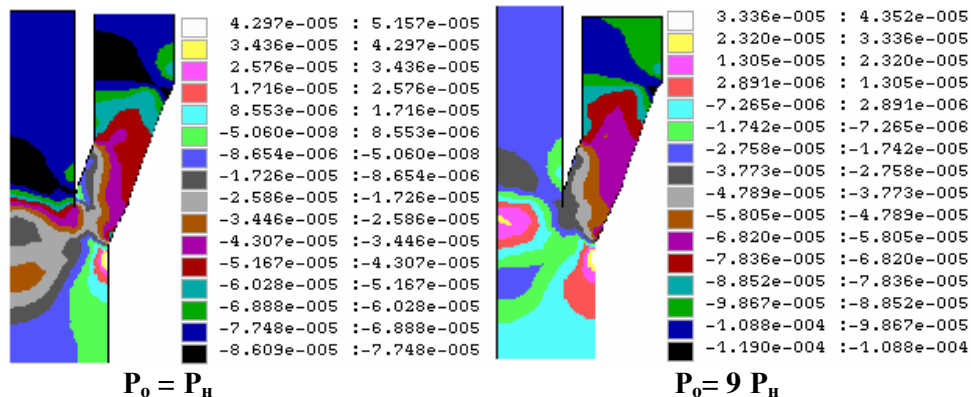


Рис.7. Розподілення осьових напружень (МПа) в об'ємі матеріалів при переході процесу у встановлену стадію формування для п'ятого конструктивного варіанту

Результати проведених обчислювальних експериментів по дослідженню процесів формування дозволили для всіх конструктивних варіантів формуючого пристрою визначити раціональні співвідношення тисків нагнітання на компоненти ТФД, які наведено на рис.5-7. Відмітимо, що швидкість руху ТФД на виході з формуючого пристрою різних конструктивних параметрів при раціональних значеннях відношення  $P_o/P_H$  визначається рухом компонента начинки. Тому цілком зрозуміло, що при зменшенні площі перерізу кільцевого прохідного зазору для компонента оболонки виникає необхідність у збільшенні тиску його нагнітання. При цьому швидкість руху ТФД при різних конструктивних варіантах формуючого пристрою суттєво не змінюється, а середнє значення швидкостей дорівнює 0,0328 м/с.

Виконано дослідження впливу конструктивних параметрів формуючого пристрою на величини та співвідношення робочих тисків нагнітання компонентів ТФД. На рис.8-10 показано залежності раціональних значень  $P_o/P_H$  від основних конструктивних параметрів формуючого пристрою.

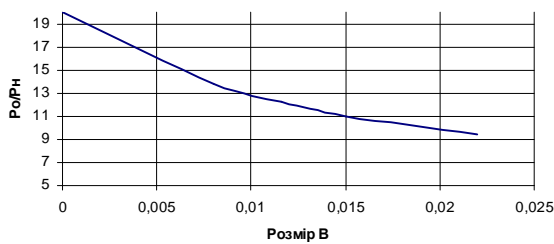


Рис.8. Залежність співвідношення тисків нагнітання компонентів джгута від розміру  $b$

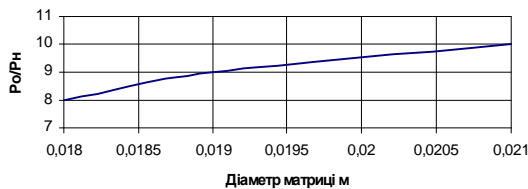


Рис.10. Залежність співвідношення тисків нагнітання компонентів джгута від діаметру матриці

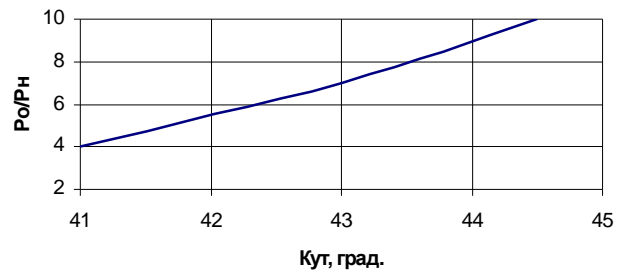


Рис.9. Залежність співвідношення тисків нагнітання компонентів джгута від величини кута матриці



Рис.11. Залежність тиску нагнітання матеріалу оболонки від діаметру матриці

З цих графіків (рис.8-10) видно, що найменший вплив на співвідношення тисків має діаметр матриці оболонки. Найбільший вплив має розмір  $b$ , який визначає товщину тістової оболонки.

Аналіз результатів розрахунку свідчить, що величини робочих тисків нагнітання компонентів ТФД залежать від конструктивних особливостей формуючого пристрою (рис.11-13). Тиск нагнітання матеріалу оболонки практично лінійно зростає при збільшенні кута матриці (рис.12). При збільшенні розміру  $b$  і діаметру матриці  $a$  відбувається відповідне зменшення тиску нагнітання матеріалу оболонки (рис.11,13).



Рис.12. Залежність тиску нагнітання матеріалу оболонки від кута матриці

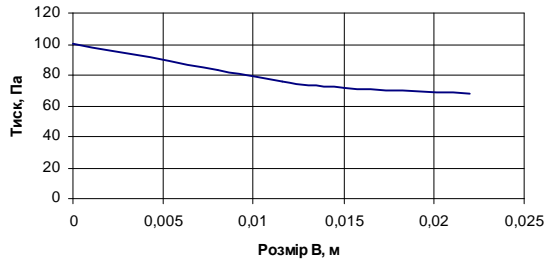


Рис.13. Залежність тиску нагнітання матеріалу оболонки від розміру  $b$

Отримані результати (рис.4-13) дозволяють з врахуванням реологічних властивостей сировини, тисків нагнітання матеріалів компонентів, показників якості готових виробів, апаратурного оформлення обладнання визначити раціональні конструктивно-технологічні параметри процесу формування джгута з начинкою.

Отримані результати використані для проектування відповідних нагнітаючих пристроїв формуючої машини.

**У розділі 3** представлено основні результати теоретичних досліджень, які були покладені в основу конструювання машини по автоматизованому виготовленню виробів із тіста з начинкою.

Розроблена конструкторська документація і на її основі виготовлений дослідно-промисловий зразок автомата. Конструктивна схема автомата наведена на рис.14.

Основними елементами автомата є бункер для начинки 1 і тіста 2, лопатний насос 3, матриці формування джгута з начинкою 4, вузол штампування виробів. В корпусі 1 і 2 встановлені валки 6 і 7 та нагнітаючі шнеки 8, 9. Валки і шнек подачі тіста одержують рух від привода 10 через зубчаті передачі 11, 12 і 13. Валки і шнек подачі начинки, рухаються від привода 14 через зубчаті передачі 15, 16 і 17. Лопатний насос 3 нагнітання начинки одержує рух від одного із подаючих валків.

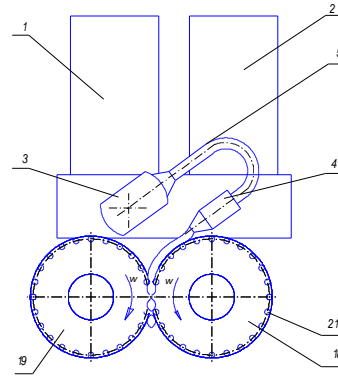
Вузол штампування виробів складається з двох барабанів 18, 19, які обертаються назустріч один одному. По периферії цих барабанів встановлені пережимні елементи 20. Між пережимними елементами розташовані гравітаційні витискувачі. Барабанам передається рух від електродвигуна через зубчасті передачі.

Промислові випробування автомата проводилися на Черкаському підприємстві напівфабрикатів „Вояш”.

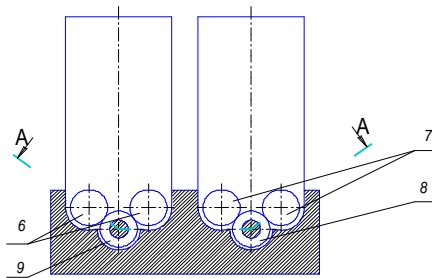
Економічна ефективність проведених досліджень полягає у зниженні вартості теоретично виконаних проектувальних робіт в зрівнянні з експериментальним методом, зниженні відходів виробництва, та енергетичних витрат при експлуатації розробленого автомата, а також зменшенні його металомісткості. Термін експлуатації 7 років. Економічний ефект за весь термін роботи складає 1707 тис. гривень (в цінах 2005 р.). Період окупності капітальних витрат 2,0 роки.



а)



б)



в)

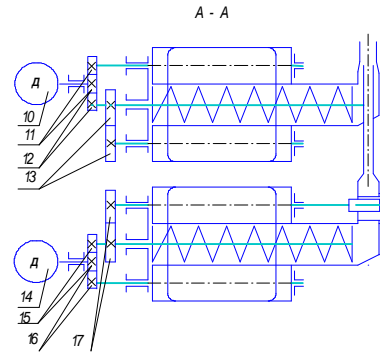


Рис.14. Дослідний зразок автомата (а), загальна схема його функціонування (б), та схема нагнітання компонентів матеріалів трубки з начинкою (в)

У розділі 4 представлено експериментальні дослідження процесу формування виробів із тіста з начинкою, що спрямовані на перевірку адекватності запропонованих методів теоретичного дослідження процесу формування ТФД. Експериментальні дослідження проводили на підприємстві „Вояш” м. Черкаси. Фізичні експерименти проводили на дослідному зразку автомата (рис.14), доповненому спеціальною оснасткою для вимірювання тисків нагнітання матеріалів начинки та тістової оболонки. Було розглянуто п'ять варіантів формуючих пристроїв відповідно рис.4.

Розроблена методика експериментального визначення швидкості руху ТФД, складається з наступних етапів:

1. Вимірювання діаметру штампуєчого колеса,  $D=2R=0,325$  м.

2. Обчислення довжини готового виробу,  $b = \frac{\pi D}{N} = 0,0426$  м, де  $N=24$  – кількість пережимних елементів барабана.
3. Запуск апарата з послідуочим вимірюванням ваги виробів за годину,  $\Pi_b = 28$  кг/год.
4. Вимірювання ваги одного виробу,  $V_1 = 0,012$  кг.
5. Обчислення продуктивності апарата,  $\Pi = \frac{\Pi_b}{V_1} = 2333$  шт/год = 0,648 шт/с.
6. Обчислення швидкості руху ТФД по формулі  $V = \Pi b$ ,  $V = 0,0276$  м/с.

На основі зрівняння результатів розрахунків з даними експериментів підрахована розбіжність відповідних результатів. По швидкостям руху погрішність не перевищує 16%, а по визначенню тиску не перевищує 12%.

## ВИСНОВКИ

1. Здійснено перехід від традиційних аналітично – емпіричних методик проектування формуючих вузлів машин для виробництва виробів з начинкою до сучасних інформаційних технологій проектування, які основані на методах імітаційного математичного моделювання.

2. Розроблена математична модель процесу формування двох компонентного суцільного джгута, яка основана на розв'язанні крайової задачі деформування дисперсних матеріалів в режимі пружно-в'язко-пластичної течії твердої фази.

3. Розроблено методологічний підхід до визначення раціональних конструктивно-технологічних параметрів формуючого вузла машини для виробництва виробів з начинкою. Для підвищення ефективності проведення проектувальних робіт використані сучасні комп'ютерні методи обчислень. Методика рекомендована для розроблення нових та удосконалення існуючих технологій формування тістової трубки з різноманітними начинками.

4. Проведено комплекс обчислювальних експериментів по дослідженню процесів формування ТФД для різних конструктивних параметрів формуючого пристрою; вивчено закономірності руху компонентів ТФД, вплив геометричних параметрів формуючих матриць на рівень тисків нагнітання компонентів сировини; визначені силові режими формування ТФД в залежності від структурно-механічних характеристик сировини та конструктивних особливостей обладнання; досліджено кінетику розповсюдження зони пружно-пластичних деформацій у компонентах сировини.

5. Розроблена експериментальна методика, яка спрямована на перевірку адекватності отриманих результатів досліджень по визначенню швидкостей руху ТФД та тисків нагнітання компонентів сировини. На основі зрівняння результатів розрахунків з даними експериментів підрахована розбіжність відповідних результатів: по швидкостям руху ТФД не перевищує 16%, по визначенню тисків нагнітання – 12%.

6. Результати проведених досліджень рекомендовані та використанні для конструювання і виготовлення формуючого вузла дослідного зразка пельменного автомата. Економічний ефект від впровадження складає 1707 тис.грн.

### **ПЕРЕЛІК РОБІТ, ОПУБЛІКОВАНИХ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ:**

1.Таран В.М., Титарчук А.О., Мізнік Л.М. Вдосконалення виробництва виробів із тіста з начинкою // Харчова промисловість – 2000.– Вип.45. – С.65–68.

*Особистий внесок здобувача:* літературний огляд, визначення напрямку вдосконалення виробництва виробів з начинкою.

2.Титарчук А.О., Мізнік Л.М. Пошук оптимального профілю різальної кромки ножа подрібнювача пластично в'язких матеріалів // Вісник ЧІТІ. – 1999. – №2 . – С.76–79.

*Особистий внесок здобувача:* дослідження впливу конструктивних параметрів обладнання на закономірності створення структурно-механічних параметрів харчових матеріалів.

3.Штефан Є.В., Мізнік Л.М. Математичне моделювання процесів коекструзії при виготовленні трубчастих виробів з начинкою // Наукові вісті НТУУ „КПІ” – 2005. – № 6. – С.82–85.

*Особистий внесок здобувача:* розроблено аналітичну модель процесу коекструзії дисперсних матеріалів при виготовленні трубчастих виробів із тіста з начинкою.

4.Штефан Є.В., Мізнік Л.М. Тістові вироби з начинками, виготовлені методом коекструзії // Хлібопекарська і кондитерська промисловість України. – 2006. – № 3. – С.16–20.

*Особистий внесок здобувача:* постановка задачі, розроблена розрахункова схема процесу формування тісто-фаршевого джгута, проведені обчислювальні експерименти по дослідженню взаємовпливу конструктивно-технологічних параметрів процесу формування.

5.Мізнік Л.М., Титарчук А.О., Таран В.М. Інтенсифікований метод виробництва пельменів // Тези доповідей Міжнародної наукової конференції. – Київ: УДУХТ. – 1997. – С.30.

*Особистий внесок здобувача:* літературний огляд технологій виготовлення виробів пельменів, представлено розроблену конструкторську та технологічну документації для виготовлення дослідного зразка автомата.

6.Титарчук А.О., Мізнік Л.М., Таран В.М. Пошук оптимального профіля різальної кромки ножа подрібнювача м'ясних продуктів // Шоста міжнар. наук.-техн. конф. „Проблеми та перспективи створення і впровадження нових ресурсо- та енергоощадних технологій, обладнання в галузях харчової і переробної промисловості”. – Ч1. – К.: УДУХТ – 2000. – С.66–67.

*Особистий внесок здобувача:* розрахунок раціонального профілю різального інструменту, який забезпечує необхідні структурно-механічні властивості м'ясного фаршу.

7.Штефан Є.В., Мізнік Л.М. Математичне моделювання процесу екструзії виробів із тіста з начинкою // Тези доповідей 70-та наук. конф. молодих вчених і студентів.– Наук. пр. НУХТ. – 2004. – С.104.

*Особистий внесок здобувача:* : розроблена математична модель процесу формування тістового джгута з начинкою.

8.Штефан Є.В., Мізнік Л.М. Оброблення харчових матеріалів екструзією при виготовленні виробів із тіста з начинкою // Матеріали ІХ Між нар. наук.– техн. конф. „Нові технології та технічні рішення в харчовій та переробній промисловості: сьогодення і перспективи”. – К.:НУХТ – 2005. – С.63–64.

*Особистий внесок здобувача:* : проведення чисельних експериментів по дослідженню впливу конструктивно-технологічних параметрів формуючого вузла на процес формування тісто-фаршевого джгута.

### АНОТАЦІЯ

**Мізнік Л.М. Визначення раціональних конструктивно технологічних параметрів процесів виготовлення виробів із тіста з начинкою. – Рукопис.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.18.12 – процеси та обладнання харчових, мікробіологічних і фармацевтичних виробництв. – Національний університет харчових технологій, Київ, 2006.

Дисертацію присвячено дослідженню процесу формування тістового джгута з начинкою з врахуванням конструктивних особливостей формуючого пристрою та реологічних параметрів матеріалів сировини. На основі методів математичного моделювання розроблена методика визначення раціональних конструктивно-технологічних параметрів формуючого пристрою.

З використанням розробленої методики проведено комплекс обчислювальних експериментів по дослідженню впливу конструктивно технологічних параметрів формуючого вузла на процес формування ТФД. Проведені обчислювальні експерименти дозволили визначити тиски нагнітання на компоненти матеріалів ТФД для різних конструктивних варіантів формуючого пристрою. Для оцінювання достовірності отриманих результатів були проведені експериментальні дослідження по визначенню швидкості руху ТФД і тисків нагнітання його компонентів. Результати проведених досліджень використані при конструюванні та виготовленні формуючого вузла для дослідного зразка пельменного автомата.

**Ключові слова:** формування, формуючий пристрій, тісто-фаршевий джгут, математична модель.

### ABSTRACT

**Miznik L.M. The definition of the rational constructively technological parameters of the processes in producing dough products with fillings. – Manuscript.**

The thesis presented of food, microbiological and pharmaceutical productions. – The National University of Food Technologies, Kyiv, 2006.

The master's thesis is devoted to the research of constructively technological parameters of the processes in the forming of a dough rope with fillings. The methodic of the definition of the rational constructively technological parameters of the forming device is made. The calculation scheme of the process of forming the rope with the filling is made on the basis of the analysis of the accepted variants of a forming device and on the mechanism of interrelations in the system of matrix product. The forming process parameters are proved concerning reological features of a raw material.

A mathematical model is created. After using the created mathematical model, a set of numerous experiments is carried out to investigate the impact of constructively technological parameters of the forming knot on the process of forming the doughminced rope. The calculated experiments, which were carried out, let us determine the pressing power of the rope components for each variant of the forming device.

To evaluate the reliability of a theoretic method which is given in the master's thesis, the experimental re – searches were carried out. The experiments were made to determine a speed movement of the rope and the pressure of working chambers of the doughminced rope components. The given results of calculations in determining the rational parameters of the forming device were used for constructing an automatic machine to produce dough products with fillings.

**Key words:** the forming, a doughminced rope, a mathematical model, a forming device.

## АННОТАЦИЯ

**Мизник Л.Н. Определение рациональных конструктивно технологических параметров процессов изготовления изделий из теста с начинкой. – Рукопись.**

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.18.12 – процессы и оборудование пищевых, микробиологических и фармацевтических производств. – Национальный университет пищевых технологий, Киев, 2006.

Диссертация посвящена исследованию процесса формирования тестового жгута с начинкой с учетом конструктивных особенностей формирующего устройства и реологических параметров материалов сырья. На основе методов математического моделирования разработана методика определения рациональных конструктивно-технологических параметров формирующего устройства.

Было рассмотрено несколько вариантов конструктивного исполнения формирующего устройства, они отличаются между собой геометрическими размерами матриц для начинки и оболочки изделия та их взаимным расположением.

На основании анализа принятых вариантов формирующего узла, та механизма взаимодействия матрица продукт разработана расчетная схема процесса формирования жгута з начинкой. Для конкретизации математической модели формирования жгута з начинкой, поэтому в исследованиях в качестве пищевых компонентов жгута з начинкой, выбрано тесто та мясной фарш.

Расчетная схема включает не только геометрические особенности процесса, а также структурно-механические и реологические характеристики пищевых компонентов, что формируются в приспособлении.

Основной частью методики есть математическое моделирование нестационарного движения та формоизменения компонентов сырья. Разработанная математическая модель состоит из трех основных частей аналитической, алгоритмической и числовой.

Разработанная алгоритмическая модель реализована в виде программного обеспечения комплексу PLAST-KOEX-002 (цифровая модель). В качестве базового программного обеспечения при образовании данной цифровой модели принята программная система PLAST-002, которая дополнена некоторым набором специальных процедур: учетом сил трения, наличием двух компонентов материалов.

С использованием разработанной методики проведен комплекс вычислительных экспериментов по исследованию влияния конструктивно технологических параметров формирующего узла на процесс формирования тесто-фаршевого жгута (ТФЖ). Проведенные вычислительные эксперименты разрешили определить давления нагнетания на компоненты материалов ТФЖ для различных конструктивных вариантов формирующего устройства. Для оценивания достоверности полученных результатов были проведены экспериментальные исследования по определению скорости движения ТФЖ и давлений нагнетания его компонентов. Проведенные исследования по определению давлений нагнетания компонентов ТФЖ показывают, что при изменении геометрических параметров формирующего узла или типов пищевых материалов необходимо выполнять соответствующую переналадку систем нагнетания с целью задания эксплуатационных давлений, которые обеспечат заданную продуктивность машины та качество готовых изделий. На основании сравнения результатов расчетов с данными экспериментов подсчитано расхождение соответствующих результатов: по скорости движения ТФЖ не превышает 16%, по определению давления нагнетания – 12%.

Результаты проведенных исследований, использованные при конструировании и изготовлении формирующего узла для исследовательского образца автомата по изготовлению изделий с начинкой.

Метод определения рациональных конструктивно-технологических параметров может быть использованным для обоснования технологических режимов работы формирующей машины при переводе на различные типы пищевых компонентов та при изменении конструкций формирующего узла.

**Ключевые слова:** формирования, формирующее устройство, тесто-фаршевый жгут, математическая модель, цифровая модель.