

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

**ТЕЛИЧКУН ЮЛІЯ СТАНІСЛАВІВНА**

**УДК 664.653.4**

**УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ЕКСТРУДУВАННЯ ДРІЖДЖОВОГО  
ТІСТА З МЕТОЮ СТВОРЕННЯ ВИСОКОЕФЕКТИВНОГО  
ОБЛАДНАННЯ**

05.18.12 - процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та  
фармацевтичних виробництв

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Київ – 2011

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному університеті харчових технологій  
Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України.

**Науковий керівник:** доктор технічних наук, професор  
**Таран Віталій Михайлович,**  
 Національний університет харчових технологій, МОН,  
 молоді та спорту України, м.Київ , завідувач кафедри  
 машин і апаратів харчових виробництв

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
**Петухов Аркадій Дем'янович,**  
 Національний технічний університет України  
 "Київський політехнічний інститут" МОН, молоді та  
 спорту України, м.Київ, професор кафедри хімічної  
 технології композиційних матеріалів

кандидат технічних наук, доцент  
**Сергєєв Анатолій Дмитрович,**  
 Національний університет харчових технологій, МОН,  
 молоді та спорту України, м.Київ , доцент кафедри  
 процесів і апаратів харчових виробництв та технології  
 консервування

Захист відбудеться ”6“ квітня 2011 року о 14<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.058.02 Національного університету харчових технологій за адресою:

01601, м.Київ, вул. Володимирська, 68, аудиторія А-311.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного університету харчових технологій за адресою:

01601 м.Київ, вул. Володимирська, 68

Автореферат розісланий ” “ \_\_\_\_\_ 2011 року.

Вчений секретар  
 спеціалізованої вченої ради,  
 к.т.н., доц.

Л.О. Кривопляс-Володіна

## **ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ**

**Актуальність теми.** Важливим напрямом технічного прогресу в харчовій промисловості є постійне вдосконалення техніки, заміна застарілого обладнання більш продуктивним і економічним, мінімізація витрат на виробництво продукції для зниження її собівартості.

Процес оброблення дріжджового тіста є одним із основних в технології виробництва хлібобулочних виробів. Він включає стадії поділу тіста на шматки, формування, в залежності, від виду виробів та вистоювання.

Формування екструзією тістових заготовок є досить ефективним для створення потокового виробництва джгутоподібних виробів, але внаслідок ускладнення наступних стадій технологічного процесу, особливо вистоювання, практично не використовується. Поглиблене вивчення процесів, які відбуваються під час оброблення тіста дозволить ефективно впровадити процес екструзії у виробництво виробів із дріжджового тіста, використавши при цьому всі переваги даного прогресивного способу виробництва. Оскільки важливе значення при екструдюванні мають реологічні характеристики продукту, виникає необхідність більш глибокого їх дослідження для дріжджового тіста в залежності від вмісту газової фази тіста, оскільки такі відомості в літературі відсутні.

Дослідженню структурно-механічних властивостей харчових продуктів присвячені роботи багатьох вчених: Б.М.Азарова, Ю.А.Мачіхіна, С.А.Мачіхіна, Б.А.Ніколаєва, К.П.Гуськова, В.Г.Михайленко, Д.Н.Протопопова та ін.

При остаточному формуванні тістового джгута екструдюванням важливо дослідити вплив геометричних параметрів формувального органу на розміри, стан поверхні, структуру пористості екструдату.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Роботу виконано відповідно до планів науково-дослідної роботи НУХТ, а саме до теми "Розроблення наукових основ тепломасообмінних та інших процесів харчових, мікробіологічних і фармацевтичних виробництв з метою створення високоефективних технологій та обладнання, засобів механізації та автоматизації для харчових і переробних галузей АПК" (схвалено вченою радою НУХТ, протокол №7 від 25.03.2006р.), а також планів науково-дослідної роботи кафедри „Машини і апарати харчових виробництв НУХТ“ - „Інтенсифікація тепломасообмінних та інших процесів з метою створення високоефективного обладнання харчових виробництв“.

Виконання роботи відповідає Закону України № 2623–3 від 11 липня 2001 року „Про пріоритетні напрямки розвитку науки і техніки“.

Автор особисто брала участь в створенні дослідної установки, проведенні експериментальних досліджень, обробленні та узагальненні результатів експериментів, в проектуванні дослідного зразка агрегату.

**Мета і завдання дослідження.** Метою роботи є вдосконалення процесу формування екструдюванням виробів із дріжджового тіста і створення високоефективного екструзійного обладнання.

У відповідності допоставленої мети сформульовані наступні завдання дослідження:

- встановити закономірності течії дріжджового тіста, насиченого вуглекислим газом, та числових значень показників реологічних рівнянь з метою їх використання для моделювання процесів екструзії газонаповненого тіста;
- визначити основні закономірності екструдювання газонаповненого тіста, параметри та режими процесу;
- встановити вплив геометричних параметрів формувального каналу на стан та структуру тістового джгута;
- сформулювати вимоги до конструкції формувальної матриці;
- створити математичну модель течії газонаповненого тіста в бродильній камері агрегату, формувальному каналі та на виході з нього;
- визначити критеріальні залежності під час течії газонаповненого тіста в циліндричному каналі;
- провести теоретичні та експериментальні дослідження процесу розрихлення тістових заготовок перед випіканням;
- дослідити формування питомого об'єму тістової заготовки, його зв'язок із структурно-механічними властивостями тіста і їх зміною в технологічному процесі;
- встановити об'єктивний показник інтенсивності зміни об'єму тістової заготовки під час вистоювання;
- розробити математичну модель формування об'єму тістової заготовки при вистоюванні та випіканні, визначивши характер та основні закономірності формування одного із основних показників якості готової продукції - питомого об'єму та факторів, що впливають на даний процес;
- вдосконалити стадію оброблення тіста, використавши процес екструзії, розробити конструкції бродильно-формувальних агрегатів, розробити машино-апаратні схеми виробництва.

**Об'єктом досліджень** є процес формування екструдюванням джгутоподібних тістових заготовок із дріжджового тіста.

**Предметом досліджень** є течія вибродженого дріжджового тіста, наповненого вуглекислим газом, який виділився в результаті бродіння, закономірності насичення тіста газом.

**Методи дослідження включають** фізичний експеримент, математичне моделювання та оброблення результатів досліджень. Фізичний експеримент здійснювався на розроблених установках, із застосуванням електроконтактного та НВЧ нагрівання, реологічні дослідження – методами капілярної віскозиметрії. Оброблення експериментальних даних та розрахунки виконувались із застосуванням сучасних інтегрованих систем MathCAD 14, КОМПАС– 3DV11, Flow Vision.

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

- отримано залежність структурно-механічних властивостей тіста від вмісту газової фази, отримано криві течії газонаповненого тіста, визначено закон зв'язку між напруженням та швидкістю зсуву, отримано конкретні математичні залежності та числові значення реологічних величин;
- визначено ефективну в'язкість, її залежність від тиску екструдювання та швидкості зсуву в процесі екструзії;

- визначено основні закономірності екструдювання газонаповненого тіста, встановлено параметри та режими процесу;
- встановлено вплив геометрії формувального каналу на параметри процесу екструдювання та структуру пористості екструдату, визначено оптимальні параметри екструдювання для формування рівномірної дрібнопористої структури;
- створено математичну модель течії тіста, наповненого вуглекислим газом у бродильній камері агрегату, каналі матриці та на виході з каналу;
- узагальнено результати теоретичних і експериментальних досліджень потоку газонаповненого тіста у вигляді критеріальних рівнянь;
- встановлено, що розрихлення тістової заготовки тісно пов'язане із структурно-механічними властивостями тіста і їх зміною в технологічному процесі під впливом режимних факторів, визначено оптимальні параметри розрихлення тістових заготовок під вистоювання;
- отримано математичні залежності формування об'єму готового хліба під час вистоюванні і випіканні, створена математична модель зміни об'єму тістової заготовки.

**Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій** забезпечена використанням сучасних методик і технічних рішень математичних методів оброблення експериментальних даних, а саме використанням метрологічно атестованої вимірювальної техніки і приладів, сучасного методу визначення реологічних характеристик – методу капілярної віскозиметрії, використанням сучасних інтегрованих систем MathCAD 14, КОМПАС – 3DV11, Flow Vision.

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

В роботі обґрунтовано та розроблено новий спосіб оброблення тістових заготовок шляхом екструдювання тіста, наповненого вуглекислим газом, який не має аналогів в нашій країні та за кордоном, захищений авторськими свідоцтвами та патентами України. Запропоновано класифікувати процес розрихлення тістових заготовок перед випіканням як розрихлення в статичних умовах при традиційному вистоюванні тістових заготовок перед випіканням, та розрихлення в динамічних умовах - при екструдюванні розрихленого тіста.

Запропоновано визначати активність бродіння тіста коефіцієнтом, розроблена методика експериментального визначення коефіцієнта активності бродіння.

На основі проведених досліджень сформульовані вимоги до конструкції формувальної матриці при екструзії газонаповненого тіста.

Розроблені конструкції бродильно-формувальних агрегатів для виробництва різних видів продукції, запропоновані ефективні механізовані потокові лінії для виробництва сухарних та бараночних виробів.

Результати роботи використані при розробці та виготовленні бродильно-формувального агрегату лінії для виробництва сухариків на хлібокомбінаті №11 м. Києва, виготовлено експериментальний зразок агрегату, проводяться виробничі випробування.

**Особистий внесок здобувача** полягає в дослідженні розрихлення тістових заготовок перед випіканням, створенні установки та розробленні методики визначення реологічних характеристик газонаповненого матеріалу, проведенні досліджень та опрацюванні результатів, автором запропоновано новий спосіб оброблення тістових заготовок із дріжджового тіста екструдуванням, обґрунтовано вимоги до конструкції формувального каналу, запропоновано конструкція бродильно-формувального агрегату.

Теоретичні дослідження процесу розрихлення тістових заготовок та екструзії вибродженого тіста розроблено у співавторстві з к.т.н. доц.Теличуном В.І., проф. Тараном В.М.

**Апробація результатів досліджень.** Матеріали дисертаційної роботи доповідались і обговорювались на Всесоюзній науковій конференції «Проблеми впливання теплової обробки на пищевую ценность продуктов питания» - Харків: ХІОП,1990, на Шостій міжнародній науково-технічній конференції "Проблеми та перспективи створення та впровадження нових ресурсо- і енергоощадних технологій, обладнання в галузях харчової і переробної промисловості",2000, 71 - 75-наукових конференціях молодих вчених аспірантів і студентів „Наукові здобутки молоді-вирішенню проблем харчування людства у ХХІ столітті“ НУХТ, ІХ Міжнародній науково-технічній конференції "Нові технології та технічні рішення в харчовій та переробній промисловості: сьогодення і перспективи" 2005 р. 17-19 жовтня, VI Міжнародній науковій конференції Техника и технология пищевых производств, Могилев, на Міжнародній науково-практичній конференції "Інноваційні енерго- і ресурсозберігаючі технології та обладнання в хлібопекарській, кондитерській, макаронній, харчоконцентратній і зернопереробній галузях харчової промисловості" 3-6 червня 2008.Київ, на Міжнародній науково-практичній конференції " Актуальні проблеми харчування: технологія і обладнання, організація і економіка" Святогірськ, Україна, на Науковій конференції з міжнародною участю "Food science engineering and technologies 2009", 23-24 October, "Food science engineering and technologies 2010" 15-16 October, Plovdiv, Міжнародній науково-практичній конференції 27-28 вересня 2010 р.

**Публікації.** За темою дисертації опубліковано 32 наукові роботи, із них: 9 статей у фахових виданнях, включаючи 4 міжнародні, 9 авторських свідоцтв, деклараційних патентів, патентів на винахід та корисну модель, 14 тез доповідей на наукових конференціях.

**Структура і обсяг роботи.** Дисертаційна робота складається із вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Основний зміст роботи викладено на 183 сторінках, включаючи 75 рисунків, до роботи додається 7 додатків на 23 сторінках. Список використаних літературних джерел містить 156 найменувань.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

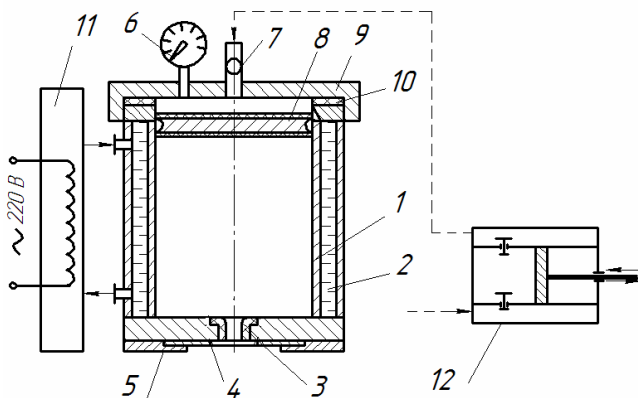
У **вступі** обґрунтована актуальність теми, визначені мета та основні завдання досліджень, наукова новизна і практична цінність отриманих результатів.

У **першому розділі** наведені традиційні способи формування і оброблення тістових заготовок, застосування процесу екструзії в хлібопекарській промисловості, проаналізована поведінка газонаповнених матеріалів, вплив реологічних характеристик на процес екструзії, досліджені структурно-механічні властивості тіста, моделі течії хлібопекарного тіста, вплив тиску на його структуру, обґрунтовано використання процесу екструзії дріжджового тіста, насиченого вуглекислим газом.

На основі проведеного аналізу сформульовано мету і задачі досліджень.

У **другому розділі** обґрунтовано використання методів капілярної віскозиметрії для дослідження реологічних характеристик газонаповненого тіста, описані об'єкти, методи досліджень та експериментальні установки для визначення реологічних характеристик тіста і зміни об'єму тістової заготовки при вистоюванні та випіканні.

Для дослідження і контролю структурно-механічних властивостей, визначення їх кількісних характеристик найбільш доцільно використовувати реологічні методи. При їх оцінюванні найбільш повно дає можливість дослідити залежність реологічних характеристик тіста від вмісту газової фази метод капілярної віскозиметрії. Розроблена експериментальна установка (рис.1)



дає змогу провести широкий спектр досліджень як кінетичних факторів: середньої швидкості потоку, об'єму, масову витрату, так і динамічних до яких відносяться і реологічні властивості тіста, визначити і зміну густини тіста, її залежність від вмісту вуглекислого газу.

Вплив геометрії формувального каналу досліджували

використовуючи матриці з різним кутом входу, довжини.

**Рис.1.**Схема установки для дослідження реологічних характеристик дріжджового тіста та процесу екструзування: 1 - корпус циліндричний; 2 - водяна сорочка; 3 - матриця; 4- ніж; 5 –напрямна; 6 - манометр; 7- запірний клапан; 8 – поршень; 9 - кришка; 10 – ущільнювач; 11 – ультратермостат; 12 - компресор.

Для дослідження зміни об'єму тістової заготовки під час вистоювання та прогрівання використовували струми НВЧ та електроконтактне прогрівання.

У **третьому розділі** досліджено процеси формування пористості та об'єму тістової заготовки.

До найбільш важливих якісних показників готових хлібобулочних виробів відносяться їх об'єм та стан пористості, які тісно корелюють між собою і характеризують ефективність технологічного процесу.

На основі аналізу отриманих даних можливо стверджувати, що зміна питомого об'єму тістової заготовки під час вистоювання носить лінійний характер до досягнення нею максимального об'єму, запропоновано ввести спеціальний коефіцієнт активності бродіння тіста під час вистоювання  $k$ , що показує приріст питомого об'єму тістової заготовки за одиницю часу, методика визначення його наведена в другому розділі. Цей коефіцієнт визначає тривалість вистоювання - чим вища активність бродіння, тим менше тривалість вистоювання і навпаки.

Залежність об'єму тістової заготовки від температури тіста під час його бродіння носить лінійний характер до досягнення максимального об'єму заготовки, котрий визначається тривалістю бродіння тіста до оброблення та тривалістю вистоювання тістової заготовки.

Проведені теоретичні та експериментальні дослідження послужили базою для створення математичної моделі формування одного із найважливіших показників якості готового хліба – питомого об'єму під час вистоювання та прогрівання, яка враховує збільшення об'єму за рахунок термічного розширення газу, захопленого під час замішування тіста, накопиченого у вільному стані під час вистоювання заготовки, незначної кількості повітря, розчиненого у воді, взятої для замішування, вуглекислого газу, розчиненого вологою тіста, а також газів, утворених за рахунок бродіння у початковий період, до етапу інактивації дріжджових клітин. Розрахунок показав, що вуглекислий газ, виділений під час бродіння, розчиняється не тільки вологою, але й адсорбується білками та колоїдами тіста, Для врахування цього нами введено поправочний коефіцієнт, значення якого визначили експериментально.

Для розрахунку зміни об'єму тістової заготовки пошарово в часі запропоновано рівняння регресії, що встановлює залежність між температурою шару, віддаленістю від скоринки та часом випікання. Математична модель враховує і зміну активності бродіння залежно від температури.

Проведені розрахунки підтверджують адекватність формули та правильність висловлених припущень.

На основі проведених досліджень нами запропонований спосіб розрихлення тістових заготовок, який полягає в екструдванні тіста, насиченого вуглекислим газом за рахунок бродіння в закритій ємкості. Це дозволило розширити класифікацію способів розрихлення тістових заготовок перед випіканням з виділенням окремо:

розрихлення в статичних умовах (традиційне вистоювання тістових заготовок перед випіканням);

розрихлення в динамічних умовах (екструдвання розрихленого тіста).

**В четвертому розділі** досліджено реологічні характеристики дріжджового тіста залежно від вмісту газової фази, оскільки такі відомості в літературі відсутні.

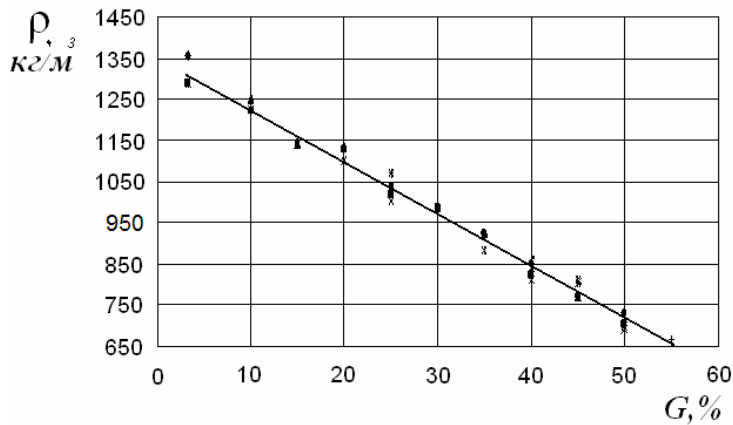
Під час бродіння дріжджового тіста відбувається безперервне виділення вуглекислого газу, що приводить до зміни густини тіста, яка визначається тільки тією кількістю газу, що знаходиться в тістовій заготовці у вільному



стані. Вуглекислий газ у розчиненому та адсорбованому стані на зміну густини тіста не впливає.

Густина тіста характеризує співвідношення рідкої і газоподібної фаз у матеріалі. Вміст газової фази ( $G, \%$ ) визначається знаходимо як співвідношення між густиною тіста без дріжджів ( $\rho_{\text{без газу}}, \text{кг/м}^3$ ) та густиною після бродіння ( $\rho_{\text{екс}}, \text{кг/м}^3$ ):

$$G = \frac{\rho_{\text{без газу}} - \rho_{\text{екс}}}{\rho_{\text{без газу}}} \cdot 100, \%$$



**Рис.2.** Зміна густини тістового джгута від вмісту газової фази

Нами досліджено зміну густини тіста в залежності від вмісту газової фази в тісті в вільному стані (рис. 2).

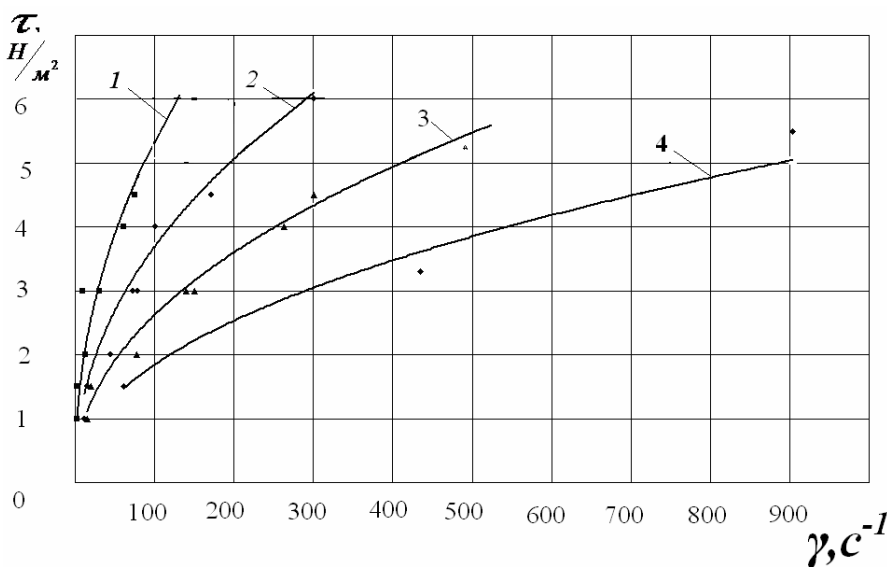
Густина тістового джгута  $\rho$  чітко корелює із вмістом  $G$  газової фази в тісті і може бути представлена залежністю:

$$\rho = 1380 - 13,5 G, \text{кг/м}^3.$$

Для побудови кривих течії дріжджового тіста з різним вмістом вуглекислого газу використову-

ємо отримані експериментальні дані залежності об'ємної витрати  $V(\text{м}^3/\text{с})$  від перепаду тиску  $\Delta p$  (МПа) по довжині формувального каналу та розраховуємо швидкість зсуву та напруження зсуву.

В результаті математичного опрацювання експериментальних даних отримали криві течії хлібопекарного дріжджового тіста з вмістом вуглекислого газу від 0 до 42% , представлених на рис.3.



**Рис.3.** Залежність напруження зсуву від швидкості зсуву при різному вмісті газової фази тіста: 1- 9; 2- 33; 3- 38; 4- 42%

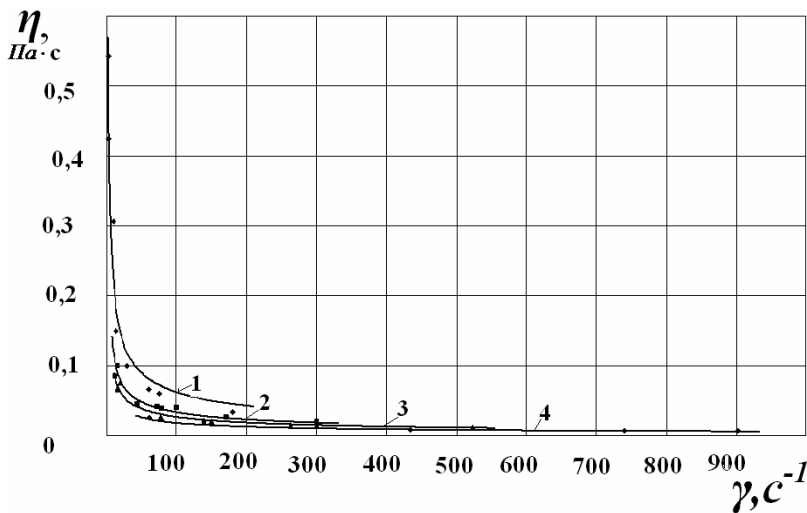
Отримані графічні залежності характеризують якісну поведінку газонаповненого тіста як аномальної (неньютонівської) псевдопластичної рідини. Наповнення тіста вуглекислим газом призводить до зменшення напружень, що виникають на стінці капіляру.

Залежність напруження ( $\tau, \text{Н/м}^2$ ) від швидкості ( $\gamma, \text{с}^{-1}$ ) зсуву носить степеневий характер і описується рівнянням :

$$\tau = (-0.01 \cdot G + 0.76) \cdot \gamma^{0.457}, \text{ Н/м}^2.$$

Залежність ефективної в'язкості від швидкості зсуву (рис. 4) показує, що ефективна в'язкість газонаповненого тіста знижується з збільшенням вмісту в ньому вуглекислого газу і швидкості зсуву через послаблення взаємодії між частинками тіста, що обумовлено орієнтацією високомолекулярних сполук тіста та у напрямку руху під дією зростаючих зусиль зсуву.

Із збільшенням швидкості зсуву вплив газової складової тіста стає мінімальним. Максимальна швидкість зсуву, при якій можливо отримати якісний екструдований продукт, відповідає інтервалу до  $100 \text{ с}^{-1}$  при вмісті газової фази 30-40%, початку плавного переходу в область зруйнованої структури



джгута

Рис.4. Залежність ефективної в'язкості від швидкості зсуву за різного вмісту газової фази: 1 - 9; 2- 33; 3 - 38; 4- 42%.

Залежність ефективної в'язкості ( $\eta, \text{Па}\cdot\text{с}$ ) від вмісту газової фази ( $G, \%$ ) описується рівнянням:

$$\eta = (-0.015 \cdot G + 0.89) \cdot \gamma^{-0.543}, \text{ Па}\cdot\text{с}.$$

**В п'ятому розділі** досліджено процес екструдкування газонаповненого тіста.

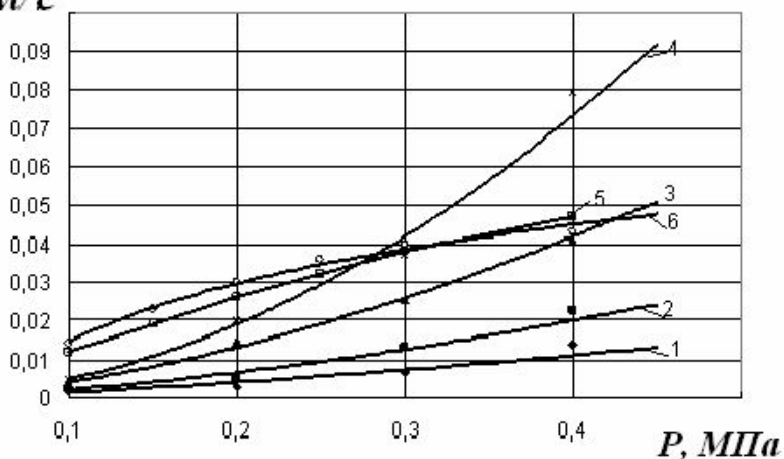
Сутність будь-якого процесу формування полягає в спрямованому деформуванні матеріалу за допомогою відповідного інструменту. Таким профільюючим елементом екструдера є матриця, а саме її формувальний канал, досконалість якого визначає параметри екструдату і якість поверхні. Процес екструдкування дріжджового тіста, перш за все, визначається неньютонівським характером течії останнього, для якого характерні специфічні прояви його властивостей, пов'язані із збільшенням поперечного перерізу екструдату, який вільно виходить із формувального каналу та загублень на його поверхні джгута, що призводить до його спотворення.

В даному інтервалі відповідних характеристик отримуємо рівно-мірну дрібнопористу структуру екструдату. Вміст газової фази менше 30% є недостатнім для розрихлення, у разі вмісту  $\text{CO}_2$  вище 40% при незмінних інших параметрах екструдкування характер та структура пористості тістового погіршується внаслідок перебування в зоні зруйнованої структури.

Насичення тіста вуглекислим газом за рахунок бродіння зумовлює зменшення в'язкості тіста, збільшення середньої швидкості потоку та витратних характеристик (рис.5) і дає змогу формувати заготовки в зоні більш низьких значень тиску 0,2-0,4 МПа. із забезпеченням достатніх витратних характеристик процесу і уникненням загрублень на поверхні екструдату.

Характер залежності середньої швидкості потоку змінюється із збільшенням вмісту газової фази. Кількість газу більше 40% (криві 5,6) і градієнт тиску 0,3-0,4 МПа призводить до руйнування газових пухирців, тиск всередині яких перевищує силу поверхневого натягу і межу міцності їх стінок, про що свідчить погіршення стану поверхні тістового джгута і поява дефектів, пов'язаних з нерегулярністю потоку і розривів суцільного поверхневого шару

$w, \text{ м/с}$



тіста та втрати кінетичної енергії потоку, про що свідчить характер кривих.

За менших значення тиску 0,1-0,25 МПа поверхневий шар не руйнується, але спостерігається більш крупна пористість готового виробу і навіть порожнини всередині

тістового джгута внаслідок злиття пор.

**Рис. 5.** Залежність середньої швидкості екструдатування тістового джгута від тиску та вмісту газової фази: 1 - 0; 2 - 8,6; 3 - 23; 4 - 36; 5 - 42; 6 - 46%.

Рівняння залежності середньої швидкості потоку ( $w, \text{ м/с}$ ) від тиску екструдатування ( $p, \text{ МПа}$ ) за різного вмісту газової фази ( $G, \%$ ) для сталого режиму, коли не спостерігається нерегулярності течії (криві 1-4), має вигляд:

$$w = 0,045e^{0,06G} P^{(-0,1G+1,9)}, \text{ м/с.}$$

В потоці нен'ютонівської рідини виникають і продовжують діяти на виході із формувального каналу напруження, нормальні до поверхні зсуву, що приводить до збільшення поперечних розмірів екструдату. У разі застосування процесу екструзії тільки для традиційного формування тістових заготовок, явище розбухання потоку не має важливого значення, оскільки після формування джгут піддається подальшому обробленню, однак застосування екструдатування газонаповненого тіста без наступних стадій оброблення перед випіканням потребує всебічного вивчення даного процесу, впливу геометричних параметрів формувального каналу на розміри, стан поверхні та характер пористості тістового джгута та готових виробів.

Для кількісної оцінки збільшення діаметру тістового джгута порівняно з діаметром формувального каналу ми використали коефіцієнт розширення, що враховує і нен'ютонівський характер течії, і збільшення поперечних розмірів

екструдату внаслідок виділення газової фази. Коефіцієнт розширення визначаємо як відношення діаметру джута до діаметру формувального каналу.

Залежність коефіцієнта розширення ( $K_p$ ) від вмісту газової фази ( $G, \%$ ) (рис.6) носить степеневий характер залежно від вмісту газової фази і лінійно залежить від діаметру ( $d, \text{мм}$ ) формувального каналу.

Для розглянутого діапазону матриць при тиску 0,2 МПа:

$$K_p = (35d + 0,2)G^{0,7-27d}$$

Дослідження показали, що зі збільшенням довжини формувального каналу величина коефіцієнта розширення зменшується внаслідок структурних змін компонентів екструдату, які зміцнюють його каркас, орієнтують молекули вздовж потоку, що зменшує коефіцієнт розширення. Крім того, в довгому каналі втрачається енергія потоку внаслідок тертя і збільшення зрушувальних деформацій в поверхневій зоні екструдату.

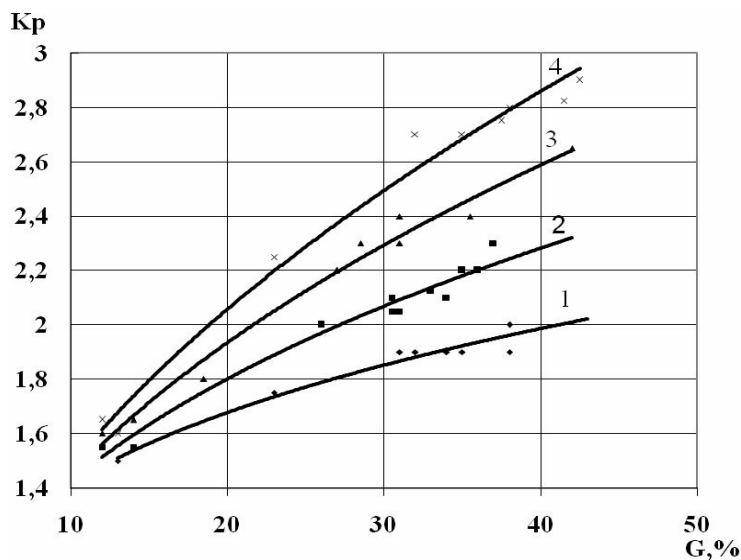


Рис.6. Залежність коефіцієнта розширення від вмісту газової фази при діаметрі формувального каналу матриць: 1 –6; 2 –10; 3 –12; 4 –15мм.

Залежність середньої швидкості випресовування від довжини матриці при різному значенні тиску матиме вигляд:

$$w = -13,63P^{2,6}l + 0,98P^3, \text{ м/с.}$$

Для дослідження залежності коефіцієнта розширення від кута входу в формувальний канал залежно від вмісту вуглекислого газу в тісті використаємо матриці з різним кутом входу (рис.8).

Падіння тиску в такому каналі відбувається повільно, градієнт зміни тиску в пухирцях незначний і таке сповільнене виділення газу приводить не до утворення нових центрів газоутворення, а до росту існуючих пухирців газу і утворення крупнопористої структури екструдату. Із збільшенням довжини каналу підвищуються втрати енергії на в'язке тертя та пружне деформування, внаслідок чого зменшується кінетична енергія потоку (рис.7).

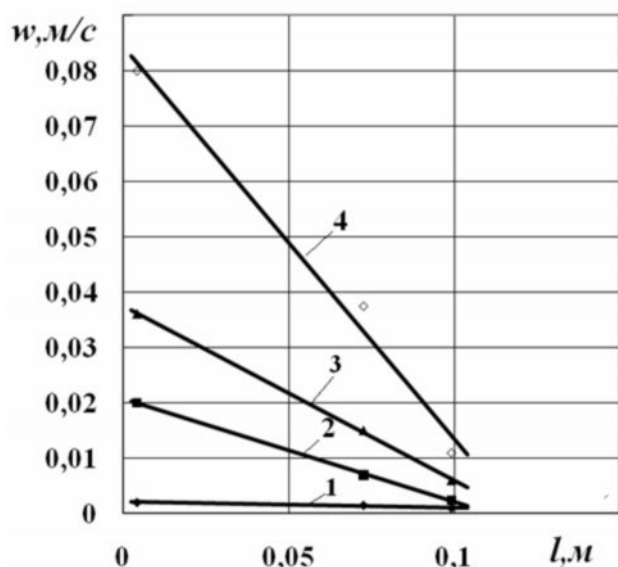


Рис.7. Залежність середньої швидкості екструзії від довжини каналу для значень тиску: 1-0,1; 2-0,2; 3-0,3; 4-0,4 МПа.

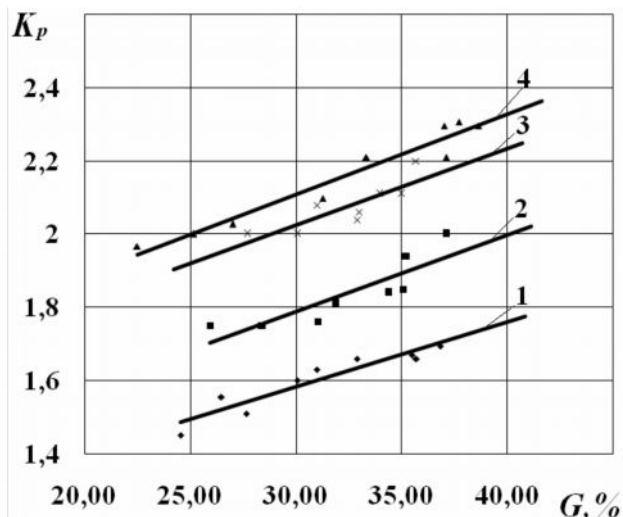


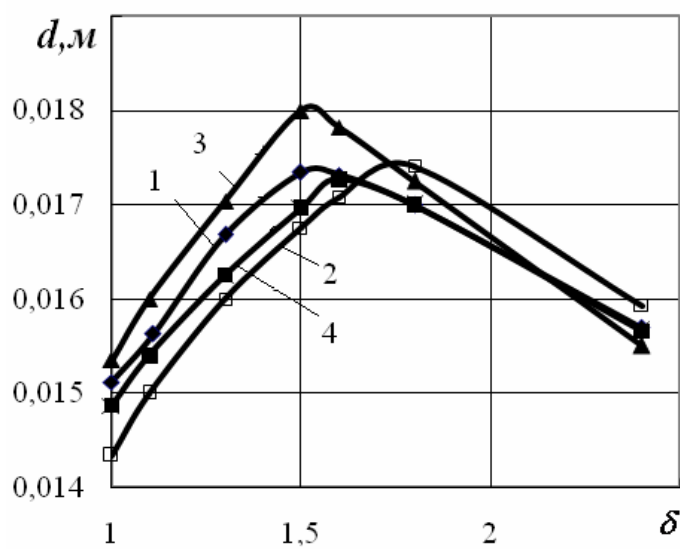
Рис.8. Залежність коефіцієнта розширення від вмісту газової фази в тісті для значень кута входу в формувальний канал: 1 –20°; 2 –35°; 3 –90°; 4 –65°.

Дослідження показали, що крива залежності коефіцієнта розширення тістового джгута від кута входу в формувальний канал має екстремум. Оптимальне значення конусності входу становить 70-80°, що, на нашу думку, пов'язане з тривалістю перебування в каналі достатньою для перебудови високомолекулярних сполук, що визначають структуру тіста, зняття напружень, які виникають на вході в канал, та переорієнтації молекул. У разі, коли значення кута входу в канал більше 80° зона входу в канал є короткою і час перебування тіста в даній зоні менше тривалості релаксації напружень, які виникають при звуженні потоку. Виконання входу в канал під прямим кутом не є доцільним внаслідок збільшення напружень та втрати енергії потоку, що призводить до зменшення діаметру джгута на виході. Із зменшенням кута входу збільшується загальна довжина каналу і втрачається енергія потоку.

Математичне опрацювання отриманих даних дозволило записати рівняння:

$$K_p = 0,02G + 0,0001\alpha^2 + 0,02\alpha + 0,7.$$

Найбільш суттєво на розміри екструдату впливає виконання виходу з



каналу розширеним. В каналах, що розширюються на виході, переріз потоку збільшується, і енергія, раніше витрачена на звуження потоку, вивільняється. Кінетична енергія потоку мала, порівняно з енергією, витраченою на в'язке тертя та пружну деформацію. Зворотність останньої визначає всі

особливості потоку в розширених каналах.

Криві залежності середнього діаметра тістового джгута від відносного розширення формувального каналу (рис.9) мають яскраво виражений максимум при відносному розширенні діаметру каналу 1,5 – 1,7 залежно від вмісту в тісті газової фази.

**Рис.9. Залежність середнього діаметру тістового джгута від відносного розширення каналу на виході та вмісту газової фази в тісті: 1 - 25,7 ; 2 - 33,6 ; 3 - 40,7 ; 4 -41,8%.**

Найбільше значення діаметру досягається за вмісту газової фази 40%.

Подальше збільшення відношення діаметру вихідної зони до діаметру формувального каналу призводить до зменшення середнього діаметру тістового джгута, оскільки подібне розширення знаходиться поза межами величини розбухання потоку.

Математичне моделювання потоку вибродженого дріжджового тіста в екструзійному обладнанні зводиться до вирішення таких задач, що відрізняються параметрами процесу, станом середовища, властивостями: течії дріжджового тіста в нагнітальному пристрої (в роботі не розглядається), в бродильній камері екструдера, в формувальних каналах матриці та після виходу із формувального каналу.

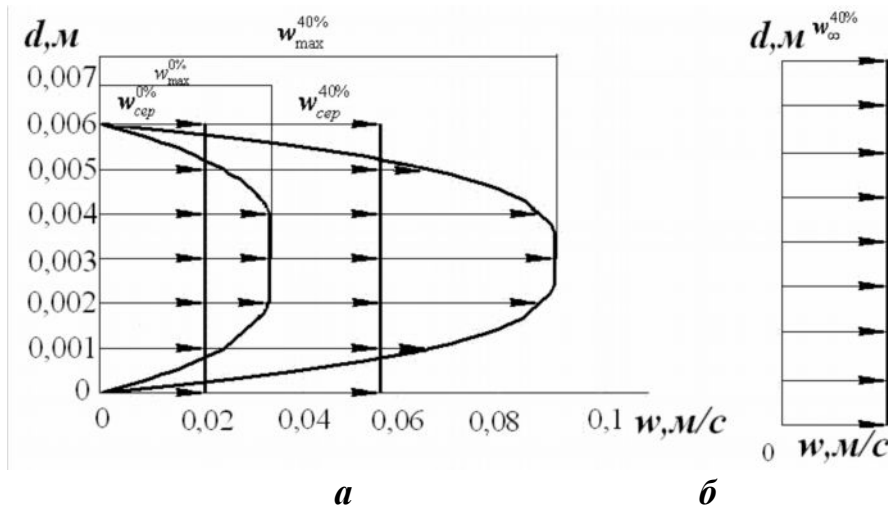
Оскільки течія в камері бродіння відбувається під тиском 0,2-0,4 МПа, ми можемо розглядати її як ламінарний сталий потік рідини, яка не стискається. Течія дріжджового тіста на всіх ділянках екструзійного обладнання відбувається в ізотермічних умовах.

Математична модель включає в себе: рівняння руху Нав'є–Стокса для в'язкої маси, рівняння збереження маси або суцільності потоку та рівняння нерозривності для сталого потоку, зміну ефективної в'язкості представимо отриманим нами рівнянням. Розглянута нами течія в різних зонах бродильно – формувального агрегату має свої особливості, які визначаються сукупністю початкових і граничних умов, залежностями між змінними величинами. Для розрахунку представленої математичної моделі газонаповненого тіста в робочій ємкості бродильно-формувального агрегату нами використаний програмний комплекс Flowvision. Основним завданням є числове розв'язання рівнянь Нав'є–Стокса і рівняння нерозривності.

Розрахунок течії тіста в бродильній камері проводили з метою визначення оптимальної форми камери бродіння. Для цього розглянули прямокутну, колову та овальну форми перерізу. Овальна форма перерізу зберігає в собі переваги прямокутної форми (збереження швидкості потоку по центру камери), та уособлює позитивні сторони колового перерізу робочої камери (рівномірність потоку, зменшення застійних зон).

Для визначення профілю швидкості в каналі скористалися експериментально визначеними значеннями середньої швидкості потоку на деякій відстані від формувального каналу та враховували залежність профілю швидкості в каналі для псевдопластичних рідин.

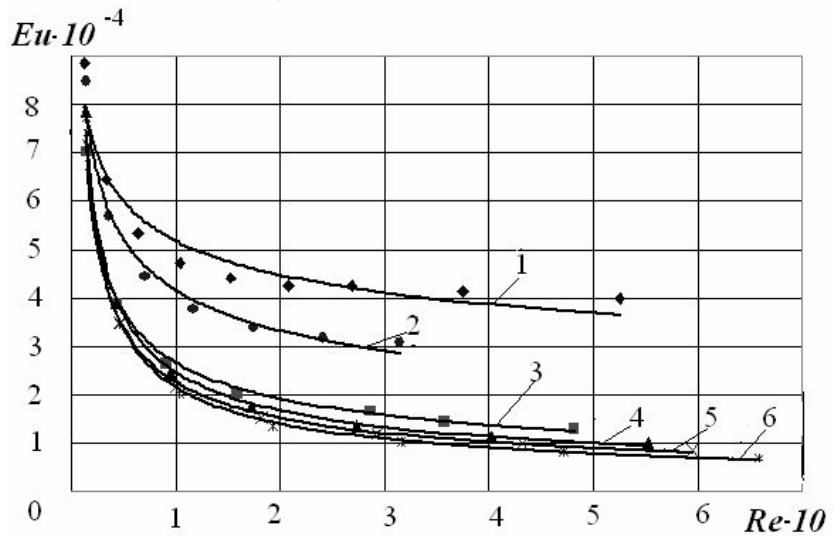
Результати розрахунків представлено на рис.10 для тістового джута з вмістом газу 0 і 40 % і діаметра каналу 0,006 м.



Таким чином,

Рис. 10. Епюра швидкості по перерізу каналу *a* та на деякій відстані від виходу *б*.

створена нами математична модель дозволила дослідити процеси, що відбуваються в камері броди льно формувального агрегату, визначити оптимальну форму останньої та конфігурацію порожнини, отримати розподіл швидкості по перерізу потоку в каналі залежно від вмісту вуглекислого газу.



На основі проведених експериментальних досліджень і отриманої епюри швидкості потоку в циліндричному каналі нами розраховані критерії гідродинамічної подібності для потоку газонаповненого дріжджового тіста, отримана залежність критерію  $Eu$  від  $Re$  з

урахуванням відношення довжини ( $l, м$ ) до діаметру ( $d, м$ ) каналу:

$$Eu = 2321 Re^n \left( \frac{l}{d} \right)^{2,4}, \text{ де } n = \frac{l}{3d} - 0,75.$$

У разі, коли співвідношення довжини до діаметру менше одиниці (криві 3,4,5,6 на рис.11), можна стверджувати що вказаний параметр практично не впливає на залежність між критеріями  $Eu$  значення  $Re$ .

Рис.11. Залежність критерію  $Eu$  від  $Re$  в каналі для співвідношення довжини до діаметру  $l/d$ : 1 – 1,67; 2 – 1,25; 3 – 0,83; 4 – 0,67; 5 – 0,5; 6 – 0,33.



Рис. 12. Залежність відношення значень критерію  $Eu$  на виході з каналу до  $Eu$  в каналі з урахуванням вмісту газової фази при співвідношенні довжини каналу до діаметру ( $l/d$ ): 1 - 0,33; 2 - 0,5; 3 - 0,67; 4 - 0,83; 5 - 1,25; 6 - 1,67.

Нами розраховано значення критерію  $Eu$  в каналі та на виході з останнього.

В результаті встановлених співвідношень між значеннями критерію  $Eu$  в каналі та виході з нього, отримали показник, що дозволяє враховувати вплив газової фази на ефективність процесу:

$$G_r = \frac{Eu^{вих}}{Eu^{кан}} = 33,3 \left( \frac{l}{d} \right)^{-1,9} \left( \frac{G}{100} \right)^{1,9-0,9 \frac{l}{d}}$$

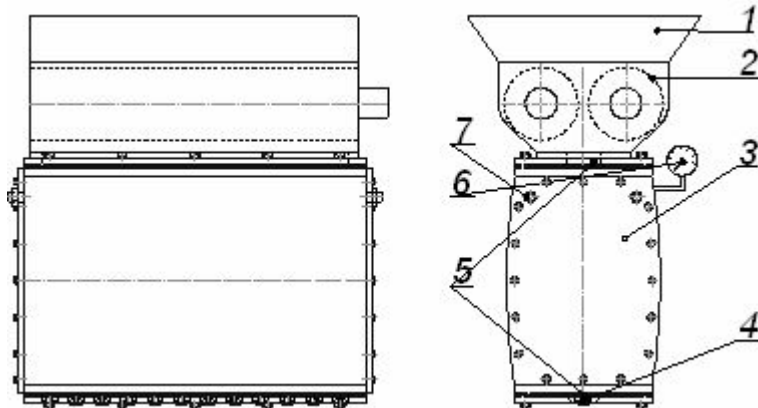
Для потоку газонаповненої рідини у разі виділення газової фази у вільному стані спостерігається збільшення значень критерію  $Eu$ , а відношення зазначених критеріїв на вході в канал та на виході з нього більше 1. При цьому значення відношення  $Eu^{вих}$  до  $Eu^{кан}$  тим більше, чим коротший канал. Це пояснює отримані нами експериментальні дані, що у разі течії газонаповненого тіста довжина каналу має бути мінімальною для забезпечення найбільшого коефіцієнта розширення екструдату.

На основі аналізу отриманих значень відношення критеріїв встановлено, що з метою найбільш ефективного використання газової складової під час течії тіста в каналі співвідношення довжини до діаметру має бути менше 1. При цьому величина відношення  $Eu^{вих}$  до  $Eu^{кан}$  змінюється в межах від 20 до 45 для максимального вмісту газової фази.

Таким чином, отримані критеріальні залежності дозволяють узагальнити проведені експериментальні та теоретичні дослідження течії газонаповнених неньютонівських матеріалів.

В шостому розділі наведено практичне застосування результатів досліджень.

Нами запропонований спосіб розрихлення тістових заготовок в динамічних умовах, найбільш ефективний у виробництві екструзією джгутоподібних виробів та відсаджуванням круглих виробів. Для здійснення запропонованого способу виробництва розроблені конструкції агрегатів, які ми назвали бродильно-формувальними,



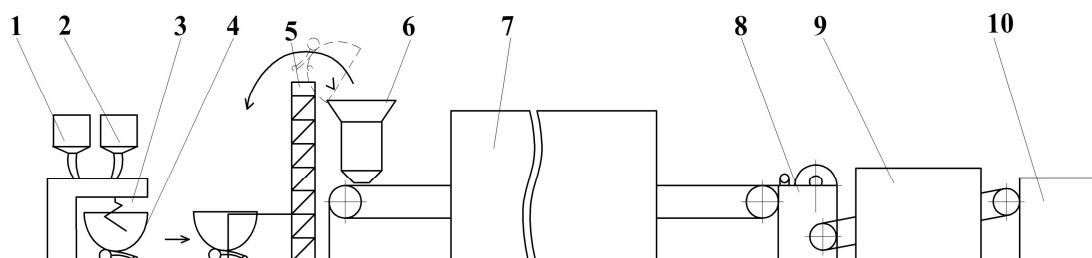


оскільки в них відбувається бродіння з метою накопичення вуглекислого газу, достатнього для розрихлення тістових заготовок і формування екструдуваним.

Бродильно-формувальний агрегат для виробництва сухарних виробів представлений на рис.13.

**Рис.13. Бродильно-формувальний агрегат:** 1 - завантажувальний патрубок; 2 - нагнітальні валки; 3 - бродильна ємкість, 4 - формувальна матриця, 5 - шибери, 6 - манометр, 7 - патрубок подавання стисненого повітря.

Машино-апаратурна схема лінії виробництва сухариків з агрегатом представлена на рис.14.



**Рис. 14. Машино-апаратурна схема виробництва сухариків:** 1 - дозатор борошна; 2 - дозатор рідких компонентів; 3 - тістомісильна машина; 4 - діжа, 5 - діжеперекидач; 6 - бродильно-формувальний агрегат (екструдер); 7 - піч-сушарка; 8 - різальна машина; 9 - охолоджувальна камера; 10 – пакувальна машина.

Використання бродильно-формувального агрегату в лінії для виробництва сухариків дозволяє повністю механізувати і автоматизувати всі операції оброблення тіста, спростити машино-апаратурну схему, значно зменшити кількість обслуговуючого персоналу та виробничі площі.

На даний агрегат розроблена конструкторська документація на дослідний зразок. Агрегат виготовлено на ЗАТ “Дослідний завод харчового обладнання” м. Київ, встановлено для заводських випробувань на Київському хлібокомбінаті №11 в лінію для виробництва сухариків.

Спосіб виробництва джгутоподібних виробів, сухариків із використанням екструзії газовмісного тіста, конструкції бродильно-формувальних агрегатів захищено авторськими свідоцтвами та патентами.

## ВИСНОВКИ

Аналіз літературних джерел, традиційних способів формування джгутоподібних виробів із дріжджового тіста свідчить, що формування екструдуваним є досить ефективним для створення потокового виробництва, але внаслідок ускладнення подальших стадій технологічного процесу, особливо вистоювання, практично не використовується. В літературі відсутні реологічні характеристики для газонаповненого дріжджового тіста.

Розширено класифікацію способів розрихлення тістових заготовок перед випіканням, запропоновано розрізняти розрихлення в статичних умовах (при традиційному вистоюванні тістових заготовок перед випіканням), та розрихлення в динамічних умовах (при екструдванні газонаповненого тіста).

1. Досліджено реологічні властивості тіста, насиченого вуглекислим газом, отримано криві течії залежно від вмісту газової фази. Встановлено, що

газонаповнене тісто відноситься до псевдопластичних рідин у дослідженому діапазоні навантажень.

2. Отримано залежність коефіцієнта розширення від вмісту газової фази тіста. Встановлено, що коефіцієнт розширення джгута прямо пропорційний діаметру каналу і залежить від вмісту газової фази тіста.

3. Визначено, що оптимальний діапазон значень тиску екструдуювання для отримання рівномірної дрібнопористої структури екструдату складає 0,2 - 0,3 МПа.

4. Досліджено вплив геометрії формувального каналу на характер та структуру пористості екструдату та встановлено, що оптимальне значення кута входу в канал становить 30-40°. Найбільший вплив на формування дрібнопористої структури тістового джгута та збільшення його діаметру має виконання зони виходу із каналу розширеною.

5. Сформульовано вимоги до конструкції формувальної матриці для екструзії газонаповненого тіста: вхід в канал виконувати плавним або під кутом входу 30-40°, довжина каналу має бути мінімальною, а оптимальне відносне розширення зони виходу з каналу має становити 1,5-1,7.

6. Створено математичну модель процесу течії газонаповненого тіста в ємкості агрегату, у формувальному каналі та на виході з нього. Проведені розрахунки дозволили оптимізувати форму та розміри ємкості бродильно-формувального агрегату, виконати її овальної форми. Розраховано профіль швидкості потоку по перерізу каналу залежно від вмісту.

7. Встановлена залежність між критеріями  $Eu$  та  $Re$  для течії в циліндричному каналі.

8. Встановлено, що розрихлення тістової заготовки та досягнення нею максимального об'єму тісно пов'язане із структурно-механічними властивостями тіста і їх зміною в технологічному процесі, а також впливу на них режимних факторів.

9. Для оцінювання інтенсивності бродіння тіста запропоновано використовувати коефіцієнт активності бродіння. Розроблено методику його експериментального визначення.

10. Отримано математичну залежність формування об'єму готового хліба, створено математичну модель зміни об'єму тістової заготовки. Математичну модель використано в розрахунках для прогнозування якості готового виробу.

11. Запропоновані безперервний та періодичний способи оброблення виробів із дріжджового тіста із використанням екструдуювання тіста, наповненого вуглекислим газом (АС1525967, АС1824698), розроблено конструкції бродильно-формувальних агрегатів, впровадження яких дозволить здійснити весь процес оброблення в одному агрегаті, формувати вироби з дріжджового тіста без наступної обробки безпосередньо на під печі, організувати безперервне потокове компактне виробництво, забезпечивши високу механізацію та автоматизацію, за мінімальної виробничої площі (Деклараційний патент на винахід 59060А, Патент України №25943 на корисну модель, Патент України на винахід, Патент України №37822 на корисну модель). Створено спосіб виробництва сухариків (Патент України №24301 на корисну модель, Патент України на винахід №83945). Розроблено

конструкторську документацію та виготовлено експериментальний зразок агрегату для виробництва сухариків, проводяться його заводські випробування.

### ПЕРЕЛІК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Бережницкая Ю.С. Изменение объема тестовой заготовки в процессе расстойки и выпечки /Ю. С. Бережницкая, В. И. Теличкун, Т. Л. Михеенко, С. Д. Дудко // Ред. сборник «Соврем. аспекты индустриализации общественного питания», - 1990. – С. 34-36.

*Особистий внесок здобувача: проведення експериментальних досліджень, математичне оброблення результатів.*

2. Сандул О.О. Математичне моделювання процесу формування тіста екструзією / О. О. Сандул, Є. В. Штефан, Ю. С. Теличкун, В. І. Теличкун // Харчова промисловість. - 2001.- № 1. С. 95-98.

*Особистий внесок здобувача: запропоновано спосіб формування екструзією дріжджового тіста.*

3. Чепелюк О. Інтенсифікація процесу екструзії / О. Чепелюк, В. Теличкун, Ю. Теличкун // Харчова і переробна промисловість. – 2006. - № 2. – С. 27-29.

*Особистий внесок здобувача: обґрунтовано параметри процесу екструзії.*

4. Губеня О.О. Сухарні шпали невеликого діаметру доцільно нарізати після випікання і висушування /О.О. Губеня, В.І. Теличкун, Ю.С.Теличкун, В.М. Таран //Хлібопекарська і кондитерська промисловість. – 2007. - № 12. – С. 19-21.

*Особистий внесок здобувача: розроблено машино-апаратну схему з нарізанням сухарної шпали відразу після випікання.*

5. Теличкун В. І. Особливості екструзування вибродженого тіста / В. І. Теличкун, Ю.С. Теличкун, О.О. Чепелюк // Наукові праці НУХТ. - Київ: НУХТ. - 2008. - С. 70-71.

*Особистий внесок здобувача: теоретичне обґрунтування процесу, проведення експериментальних досліджень.*

6. А.с. 1525967 МПК А21 Д8/02 Способ производства жгутообразных изделий из дрожжевого теста / Теличкун В.И., Дудко С.Д., Бережницкая Ю.С. – заявл. 04.01.1988; опубл. 1.08.1989.

*Особистий внесок здобувача: запропоновано бродіння тіста під тиском.*

7. А.с. 1824698 СССР, МКИ А 21 С 3 / 04. Способ производства жгутообразных изделий из дрожжевого теста / В.И. Теличкун, Ю.С. Бережницкая, С.Д. Дудко, А.В. Ковалев; № 4834192/13; Заявлено 07.06.90; Опубл. 12.10.92. / Для служебного пользования /.

*Особистий внесок здобувача: запропоновано безперервний спосіб оброблення тістових заготовок.*

8. Деклараційний патент на винахід 59060А, МПК А21 СВ/00. Бродильно-формульний агрегат / Теличкун В. І., Сандул О. О., Теличкун Ю. С., Черета В.В.; НУХТ. - №2002129970; заявл. 11.12.2002; опубл. 15.08.2003, бюл. №8.

*Особистий внесок здобувача: запропоновано конструктивне рішення агрегату.*

9. Патент на корисну модель 25943 Україна, МПК А21С 11/00, А21С/13/00; Бродильно-формульний агрегат / Теличкун В.І., Чепелюк О.О., Шкляр С.В.,

Теличкун Ю.С., Губеня О.О.; НУХТ. - № u2007 04727; Заявл.27.04.2007; Опубл. 27.08.2007, Бюл. №13.

*Особистий внесок здобувача: запропоновано конструктивне рішення.*

10. Патент на корисну модель 24301 Україна, МПК А21D 8/06, А21С 3/00. Спосіб виробництва сухарів / О.О. Губеня, В.І.Теличкун, Ю.С.Теличкун; заявник Національний університет харчових технологій. – №u200701543; заявл. 13.02.2007; опубл. 25.06.2007, Бюл. №9.

*Особистий внесок здобувача: запропоновано використати екструзію газонаповненого тіста для виробництва сухарної шпали.*

11. Патент України на винахід № 83945 МПК А21D 8/06, А21С 3/00. Спосіб виробництва сухарів/ Губеня О.О. Теличкун В.І, Теличкун Ю.С.; заявник Національний університет харчових технологій. – № а2007701544; заявл. 13.02.2007; опубл.26.082008 , Бюл.№16.

*Особистий внесок здобувача: запропоновано використати екструзію газонаповненого тіста для виробництва сухарної шпали.*

12. Патент на винахід 25943 Україна, МПК А21С11/08, А21С/13/00; Бродильно-формулюючий агрегат / Теличкун В.І., Чепелюк О.О., Шкляр С.В., Теличкун Ю.С., Губеня О.О.; НУХТ. - Заявл.27.04.2007.; Опубл. 12.01.2009, Бюл. №1.

*Особистий внесок здобувача: запропоновано вивантажувати тісто після закінчення роботи за допомогою повітря.*

13. Патент на корисну модель № 37822 Україна, МПК А21С11/08, А21С/13/00; Бродильно-формульвальний агрегат / В. І. Теличкун, Ю. С. Теличкун, М. Г. Десик, С. В. Цибуля; заявник НУХТ. - №u2008 08749; Заявлено 02.07.2008; Опубліковано 10.12.2008, бюл.№ 23.

*Особистий внесок здобувача: запропоновано виконати бродильну ємкість із двох об'ємів.*

14. Патент на винахід 91314 Україна, МПК А21С 1/00, А21С 13/00. Бродильно-формульвальний агрегат / В.І.Теличкун, Ю.С. Теличкун. Десик М.Г., О.В. Василенко; заявник НУХТ. – № u2009 11210; заявл. 04.11.2009; опубл. 12.04.2010, Бюл, №7.

*Особистий внесок здобувача: запропонована конструкція агрегата овальної форми перерізу.*

15. Олійник Н.В., Бережницька Ю.С., Теличкун В.І. Нові способи екструзії дріжджового тіста / Н. В. Олійник, Ю. С. Бережницька, В. І. Теличкун // Тезиси докл. межд. научно-практ. конф. "Потребительская кооперация в переходный период: проблемы и перспективы". - Полтава: ПКИ. - 1995. - С. 62.

*Особистий внесок здобувача: запропоновано спосіб екструзії тіста, наповненого вуглекислим газом.*

16. Сандул О. О. Розроблення методики дослідження контактної взаємодії „продукт-екструдер” в процесах пресування тіста / О.О. Сандул, Є.В. Штефан, Ю.С.Теличкун, В. І. Теличкун // Шоста міжнародна науково-технічна конференція „Проблеми та перспективи створення і впровадження нових

ресурсо- та енергоощадних технологій, обладнання в галузях харчової і переробної промисловості”: Тези доп. – К.: УДУХТ. – 2000. – С. 64-65

*Особистий внесок здобувача: Формулювання граничних і початкових умов.*

17. Шпак О. О. Особливості екструзії тіста, насиченого вуглекислим газом / О.О. Шпак, А. М. Сватенко, В. І. Теличкун, Ю. С. Теличкун // Програма і матеріали 71-ї наукової конференції “Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті”, 18-19 квітня 2005 р. – У 2 ч. : – К.: НУХТ, 2005. – Ч.2. – С.129.

*Особистий внесок здобувача: встановлено визначальні параметри процесу екструдуювання газонаповненого тіста.*

18. Теличкун Ю.С. Дослідження реологічних характеристик тіста, насиченого вуглекислим газом / Ю. С. Теличкун, В. І. Теличкун // IX Міжнародна науково-технічна конференція „Нові технології та технічні рішення в харчовій та переробній промисловості: сьогодення і перспективи” 17-19 жовтня. Тези доповідей. - К.:НУХТ, 2005. – с.

*Особистий внесок здобувача: розроблено методику, проведення дослідів і опрацювання результатів.*

19. Волошиненко Н. В. Взаємозв'язок технологічних параметрів процесу дозрівання тіста з конструкцією екструдера /Н. В. Волошиненко, В. І. Теличкун, Ю. С. Теличкун // Матеріали 72-ої наукової конференції молодих вчених аспірантів і студентів "Наукові здобутки молоді-вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті" 17-18 квітня, 2006 р. Ч II. - К.: НУХТ, 2006. – С. 45.

*Особистий внесок здобувача: постановка досліджень, обґрунтування висновків.*

20. Горцепаєв В.Ю. Дослідження та математичне моделювання зміни об'єму хліба в процесі випікання / В.Ю. Горцепаєв , В.І. Теличкун , Ю.С. Теличкун // Наукові здобутки молоді - вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті: програма і матеріали 73-ї наукової конференції молодих вчених, аспірантів і студентів, 23-24 квітня 2007 року. - Ч. II. - К.: НУХТ, 2007. - С. 41

*Особистий внесок здобувача: формулювання початкових та граничних умов задачі, формулювання висновків.*

21. Теличкун В. І. Розробка дріжджового тіста екструдуюванням / В. І. Теличкун, Ю. С. Теличкун, В. М. Таран // Інноваційні енерго- й ресурсозберігаючі технології та обладнання в хлібопекарській, кондитерській, макаронній, харчоконцентратній і зернопереробній галузях харчової промисловості: Міжнародна науково-практична конференція.: Тези доповідей. – К.: НУХТ, 2008. С.40.

*Особистий внесок здобувача: обґрунтування параметрів процесу.*

22. Харківська І. В. Вплив геометрії формувального каналу на процес екструдуювання та якість екструдату / І. В. Харківська, Ю. С. Теличкун // Програма і матеріали 74-ї наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті: 21 –22 квітня 2008 р. - Ч.2 – К.: НУХТ, 2008. - С.234.

*Особистий внесок здобувача: постановка досліджень, формулювання висновків.*

23. Василенко О. В. Розробка математичної моделі течії тіста в ємності екструдера /О. В. Василенко, В. І. Теличкун, Ю. С. Теличкун // Програма і матеріали 75-ї наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у ХХІ столітті: 13 –14 квітня 2009 р. - Ч.2 – К.: НУХТ, 2009. - С.228

*Особистий внесок здобувача: формулювання початкових та граничних умов, визначення реологічного рівняння та параметрів процесу.*

24. Евтушенко А. Е. Реологические характеристики газонаполненного теста / А. Е. Евтушенко, Ю. С. Теличкун // Техника и технология пищевых производств: VI Междунар. науч. конф.: тез. док. Ч.1. – Могилёв: УО МГУПП, 2008. - С.174.

*Особистий внесок здобувача: створення експериментальної установки, постановка експерименту, формулювання висновків.*

25. Теличкун Ю. С. Вдосконалення оброблення тістових заготовок із дріжджового тіста екструдуванням / Ю. С. Теличкун, В. І. Теличкун, М. Г. Десик / Актуальні проблеми харчування: технологія та обладнання, організація і економіка: тези доповідей Міжнародн. науково-техн. конференції.: Донецьк: ДонНУЕТ, 2009. – С.62-63.

*Особистий внесок здобувача: запропонованоспосіб оброблення тістових заготовок із дріжджового тіста, визначено параметри процесу.*

26. Теличкун Ю.С.. Математична модель процесу екструзії газонаповненого тіста / В.І. Теличкун, Ю.С. Теличкун, Таран В.М. // Новітні технології, обладнання, безпека та якість харчових продуктів: сьогодення та перспективи: Тези доп. Міжнар. наук.- практ. конф. 27-28 вересня 2010 р. Ч.1. – К.: НУХТ, 2010. - - С. 68.

*Особистий внесок здобувача: створено математичну модель потоку в трьох зонах екструдера.*

27. Василенко О. В. Розподіл швидкості потоку нен'ютонівської двофазної рідини в каналі круглого перерізу / О. В. Василенко, Ю.С. Теличкун, В.І. Теличкун // 76-а наукова конференція молодих учених, аспірантів і студентів, 12-13 квітня 2010 р: Тези доповідей. Ч.2. - Київ, НУХТ. - 2010. - С. 115.

*Особистий внесок здобувача: формулювання математичного апарату розрахунків, обґрунтування висновків.*

28. Теличкун Ю.С.. Математична модель процесу екструзії газонаповненого тіста / В.І. Теличкун, Ю.С. Теличкун, В.М. Таран // Новітні технології, обладнання, безпека та якість харчових продуктів: сьогодення та перспективи: Тези доп. Міжнар. наук-практ. конф., 27-28 вересня 2010р. Ч.1. – К.: НУХТ. - 2010. С. 68.

*Особистий внесок здобувача: створення моделі опрацювання результатів.*

29. Теличкун В.И. Поточно-механизированная линия производства сухариков экструзией/ В.И. Теличкун, Ю.С. Теличкун, А.А. Губеня, Н.Г. Десик // Научни трудове на УХТ, Том LVI, Свитьк 2. - Пловдив: Академично издателство на УХТ. - С. 295-300.

*Особистий внесок здобувача: компоновання машино-апаратурної схеми лінії.*

30. Теличкун Ю. Исследование реологических характеристик дрожжевого теста / Ю. Теличкун, В. Теличкун, В. Таран, Н. Десик // Научни трудове на УХТ, том 57, свитък 2. – Пловдив: Академично издателство на УХТ. – 2010. - С. 645-650.

*Особистий внесок здобувача: створення установки, постановка експерименту, формулювання висновків.*

31. Таран В.М. Создание комплексно-механизированной линии производства сухариков / В.М. Таран, В.И. Теличкун, Ю.С. Теличкун, А.А. Губеня, Н.Г. Десик // Инновации в интеграционных процессах образования, науки, производства: материалы Международной научно-практической конференции (г. Мелеуз, 25-26 марта 2010г. - Ч.1. – Уфа: Вагант, - 2010. - С. 270-275.

*Особистий внесок здобувача: компоновання машино-апаратної схеми.*

32. Yu. Telichkun, V. Telichkun, V. Taran, O. Gubenia, M. Desik. The research of the gas-filled dough rheological characteristics / EcoAgroTourism. -2010. -N1. –P. 67-71.

*Особистий внесок здобувача: створено установку, розроблено методику проведення експерименту, опрацьовано результати.*

## АНОТАЦІЯ

**Теличкун Юлія Станіславівна. Удосконалення процесу екструдювання дріжджового тіста з метою створення високоефективного обладнання: - Рукопис.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.18.12. - Процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв. Національний університет харчових технологій Міністерства освіти і науки молоді та спорту України, Київ, 2011.

Дисертаційна робота присвячена дослідженню процесу екструдювання газонаповненого дріжджового тіста, вивченню реологічних характеристик газонаповненого тіста, процесів формування об'єму тістової заготовки під час вистоювання та випікання, створенню високоефективних екструзійних агрегатів для здійснення процесу оброблення тістових заготовок із дріжджового тіста.

В результаті дослідження реологічних характеристик тіста залежно від вмісту вуглекислого газу отримано криві течії, визначено ефективну в'язкість для тіста, наповненого вуглекислим газом, встановлено оптимальні параметри екструдювання та вплив геометрії формувального каналу на параметри процесу екструдювання і структуру пористості екструдату, визначено оптимальні параметри екструдювання для формування рівномірної дрібнопористої структури екструдату, сформульовано вимоги до конструкції формувальної матриці для екструзії газонаповненого тіста. Розроблено математичну модель течії в ємкості, в каналі та на виході. Проведені розрахунки дозволяють визначити оптимальну форму камери бродіння агрегату, розрахувати профіль швидкості потоку в формувальному каналі та на виході. Отримані критеріальні залежності для течії газонаповненого тіста.

Дослідження процесів формування об'єму тістової заготовки під час вистоювання та випікання дозволило визначити оптимальні параметри даного процесу, взаємозв'язок із структурно-механічними властивостями.

Запропоновано класифікувати процес розрихлення тістових заготовок перед випіканням як розрихлення в статичних умовах (традиційне вистоювання тістових заготовок перед випіканням) та розрихлення в динамічних умовах (екструдкування розрихленого тіста). На основі отриманих математичних залежностей створено математичну модель формування об'єму тістової заготовки під час вистоювання та випікання.

На основі проведених досліджень доведено ефективність використання екструдкування дріжджового тіста, наповненого вуглекислим газом за рахунок бродіння і поєднання в одному агрегаті всіх процесів оброблення тістових заготовок, розроблено конструкції бродильно-формувальних агрегатів і машино-апаратні схеми для виробництва джгутоподібних виробів.

**Ключові слова:** екструдкування, газонаповнене дріжджове тісто, оброблення тістових заготовок, питомий об'єм, реологічні характеристики, нен'ютонівська рідина, псевдопластична рідина, формувальний канал, математична модель, бродильно-формувальний агрегат.

## АННОТАЦІЯ

**Теличкун Юлія Станиславовна. Усовершенствование процесса экструдирования дрожжевого теста с целью создания высокоэффективного оборудования: - Рукопись.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.18.12. - Процессы и оборудование пищевых, микробиологических и фармацевтических производств. Национальный университет пищевых технологий Министерства образования и науки, молодежи и спорта Украины, Киев, 2011.

Диссертационная работа посвящена исследованию процесса экструдирования газонаполненного дрожжевого теста, изучению реологических характеристик газонаполненного теста, процессов формирования объема тестовой заготовки при расстойке и выпечке, созданию высокоэффективных экструзионных агрегатов для осуществления процесса разделки тестовых заготовок из дрожжевого теста.

В результате исследования реологических характеристик теста в зависимости от содержания углекислого газа получена кривая течения, определена эффективная вязкость для теста, наполненного углекислым газом, установлены оптимальные параметры экструдирования для формирования равномерной мелкопористой структуры экструдата, сформулированы требования к конструкции формирующей матрицы при экструзии газонаполненного теста. Разработана математическая модель течения в емкости, в канале и на выходе. Проведенные расчеты позволяют определить оптимальную форму камеры брожения агрегата, рассчитать профиль скорости потока в формирующем канале и на выходе. Получены критериальные зависимости для потока газонаполненного теста.

Исследование процессов формирования объема тестовой заготовки во время расстойки и выпечки позволило определить оптимальные параметры данного процесса, его связь со структурно-механическими свойствами.



Предложено классифицировать процесс разрыхления тестовых заготовок перед выпечкой как разрыхление в статических условиях (традиционная расстойка тестовых заготовок перед выпечкой) и разрыхление в динамических условиях (экструдирование разрыхленного теста). На основе полученных математических зависимостей создана математическая модель формирования объема тестовой заготовки при расстойке и выпечке.

На основе проведенных исследований доказана эффективность использования экструдирования дрожжевого теста, наполненного углекислым газом за счет брожения, и совмещения в одном агрегате всех процессов разделки тестовых заготовок, разработаны конструкции бродильно-формующих агрегатов и машино-аппаратурные схемы для производства жгучообразных изделий.

**Ключевые слова:** экструдирование, газонаполненное дрожжевое тесто, разделка тестовых заготовок, удельный объем, реологические характеристики, неньютоновская жидкость, псевдопластическая жидкость, формующий канал, математическая модель, бродильно-формующий агрегат.

#### ANNOTATION

**Telychkun Julia Stanislavivna. Improvement of process of extrusion of yeast dough with the purpose of creation of high efficiency equipment: - Manuscript.**

Dissertation for competition of scientific candidate's degree of Technical Sciences by speciality 05.18.12. - Processes and equipments of food, microbiological and pharmaceutical productions. – The National University of Food Technologies of Department of Education and Science, Youth and Sports of Ukraine, Kyiv, 2011.

Dissertation work is devoted research of process of extrusion of yeast dough filled with gas, study of rheological descriptions of dough filled with gas, processes of forming of volume dough purveyances at standing and baking, to creation of high efficiency extrusion aggregates for realization of process of treatment of dough purveyances from yeast dough.

In result of research of rheological descriptions of dough in dependence from maintenance of carbon dioxide the curve of flow is got, certain effective viscosity for dough, filled with carbon dioxide, the optimum parameters of extrusion and structure of the porosity of extrudate, influencing of geometry of forming channel is set on to the parameters of process of extrusion and structure of porosity of extrudate, determine optimum parameters of extrusion for forming of uniform fine-pored structure of extrudate, articulate demands to the construction of forming matrix at extrusion of dough filled with gas.

The mathematical model of flow is developed in a capacity, in the channel and in the output and the conducted calculations allow to define the optimum form tank fermentation of aggregate, calculations the type of speed Profile velocity flow in a forming channel and in the output.

Research of processes of forming of volume dough purveyances during standing and baking allowed to define the optimum parameters of this process, him contact from structural-strength properties, it is suggested to classify the process of

loosening of dough purveyances before baking as loosening in static terms (the traditional standing of dough purveyances is before baking) and loosening in dynamic terms (extrusion of loosening dough). On the basis of the mathematical dependences is created the mathematical model of forming of volume of dough purveyances are at standing and baking.

On the basis of the conducted researches efficiency of the use for extrusion of yeast dough, filled with carbon dioxide by fermentation and combination in one aggregate of all processes of treatment of dough purveyances is proved, the constructions of fermenting-formings aggregates for the production of long products and of machine-apparatus scheme are developed.

**Keywords:** extrusion, yeast dough filled with gas, Trim dough, unit volume, rheological descriptions, not- neutron liquid, pseudo-plastic liquid, forming channel, mathematic model, fermenting-forming aggregate.