

С.М. Пересічна, канд. техн. наук,

Р.П. Романенко, канд. техн. наук

Київський національний торговельно-економічний університет

СТРУКТУРНО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ БУЛОЧНИХ ВИРОБІВ

У статті досліджено структурно-механічні властивості батончиків із цільного зерна з начинками та вплив композиційних сумішей на чисельні значення напруження зсуву та межі міцності.

Ключові слова: батончики із цільного зерна, композиційні суміші, напруження зсуву, межа міцності.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Одним із завдань підвищення добробуту народу є його високоякісне харчування, яке оптимально збалансоване за вмістом харчових речовин, їх фізіологічної та енергетичної цінності. Щоденне, повсюдне і всенародне споживання хлібобулочних виробів дає підставу вважати їх продуктами харчування, які мають першорядне значення.

Вченими, які працюють в області гігієни харчування (А. Доброславін, П. Карпенко, М. Покровський, М. Попов, С. Руднєв, В. Самгін, Ф. Ерісмана та ін.), велика увага приділяється розробці наукових основ харчування та дослідженню харчової цінності хлібобулочних виробів і їх значущості в харчовому раціоні [1].

Одним з перспективних сучасних напрямів є розроблення новітніх технологій виробництва булочних виробів підвищеної харчової цінності.

Традиційні булочні вироби виготовляються з борошна вищих сортів. Але при одержанні борошна із зерна відокремлюються біологічно цінні, утримуючі мікроелементи частини, такі як зародок, зернова оболонка й алейроновий шар, воно втрачає біля половини вітамінів В2, майже повністю відсутні вітаміни В1 і

РР, а також вітамін Е. Значно зменшується вміст таких елементів, як магній і калій, марганець, мідь і залізо. Підраховано, що вітамінно-мінерального складу у борошні вищого сорту залишається лише 30% від початкового. Причому біохіміки стверджують, що в борошні харчові речовини зберігають біологічну активність після помелу зерна лише перші два тижні. Такі втрати корисних речовин спонукали розробити альтернативні технології виробництва булочних виробів, які дозволяють зберегти поживні речовини [2].

Вирішенню питань створення технологій булочних виробів функціонального призначення присвячені роботи вчених: А.Д. Грищенко, В.І. Дробот, Л.А. Міхонік, Г.М. Лисюк, О.В. Самохвалова, М.Ф. Кравченко, М.І. Пересічного [3, 4, 5].

Використання рослинних компонентів у технології булочних виробів дозволяє істотно впливати на органолептичні показники, структурно-механічні властивості готової продукції.

Структурно-механічні властивості батончиків із цільного зерна залежать від хімічної природи речовин, що утворюють дану систему, визначаються молекулярними способами зчеплення між елементами дисперсної фази, взаємодією їх із дисперсним середовищем і ступенем розвитку структурної сітки у всьому обсязі системи. Характеристика структурно-механічних властивостей виробів дає можливість вирішити ряд важливих практичних завдань, що з успіхом можуть бути використані для спрямованого керування технологічним процесом одержання виробів із заданими властивостями [6].

Технологічний процес виробництва батончиків із цільного зерна тісно пов'язаний зі структурно-механічними змінами, які впливають на формування їх структури й консистенцію. Використання різних видів зернової та борошняної сировини, особливості технології та перспективи подальшого використання розроблених композиційних сумішей у технологіях булочних виробів визначили необхідність дослідження їхніх реологічних властивостей.

Мета статті. Метою наукової роботи є дослідження структурно-механічних властивостей батончиків із цільного зерна з начинками на основі композиційних сумішей.

Знання закономірностей зміни реологічних властивостей дозволяє впливати на структуру і якість булочних виробів шляхом внесення різних добавок і біологічно активних інгредієнтів, регулювання режимів і способів механічної, термічної та хіміко-технологічної обробки [7].

Посилання на сучасні дослідження та публікації. За результатами досліджень [8] науково обгрунтовано і розроблено композиційні суміші для батончиків борошняних з цільного зерна з начинками (маково-курагово-мигдальною, курагово-гарбузово-сочевичної, з сиру зі шпинатом і мигдалем, з сиру з ламінарією і насінням льону) із заданими критеріями харчової цінності на основі використання білково-рослинної сировини: борошна з цільного зерна пшениці, жита, сої, вівсяних пластівців, насіння олійних культур: льону, соняшнику, кунжуту; дієтичних добавок: пшеничних висівок «ЕСО», зародків пшениці «ЕСО», ячменю плющеного «ЕСО», розторопші плямистої, що багаті на незамінні амінокислоти, вітаміни, мінеральні речовини, харчові волокна, із заміною 100% борошна пшеничного першого сорту.

Булочні вироби з начинками, включаючи сировину і напівфабрикати, в залежності від складу, дисперсної будови и структури володіють різними реологічними властивостями і текстурними відмінними ознаками (табл. 1).

Таблиця 1

Характеристика батончиків із цільного зерна з начинками по реологічним властивостям і текстурним ознакам*

Продукт (в тому числі напівфабрикат)	Дисперсна система	Типові реологічні властивості	Типові текстурні ознаки
---	----------------------	----------------------------------	-------------------------------

Тісто	Пов'язана м'яка	Пружно-пластично в'язкі	М'яке, еластичне
Начинка	Пастоподібна	Неньютонівська в'язкість, тиксотропія, реопексія, в'язкопружність	Густа, клейкоподібна, кашоподібна
М'якуш батончика	Пов'язана напівтверда	Пружність, пластична в'язкість, в'язкопружність	М'який

Примітка: *Реометрия пищевого сырья и продуктов: справочник / Под ред. Ю.А. Мачихина. – М.: Агропромиздат. – 1990. – С.6-7.

М'якуш батончика представляє собою дисперсну систему, що складається з дисперсної фази (бульбашок повітря, нерозчинних білків, частково кристалічних молекул крохмалю, часточок пшеничних висівок «ЕСО», зародків пшениці, ячменю «ЕСО» пробудженого плющеного, насіння соняшника) та дисперсійного середовища (крохмального і білкового гелю).

Відмінності у біохімічному складі житнього і пшеничного борошна істотно впливають на їх хлібопекарні властивості, тому специфіка і способи приготування житньо-пшеничного тіста значно відрізняються від пшеничного. Житньо-пшеничне тісто має підвищену в'язкість, пластичність і низьку здібність до розтягування. Білки житнього борошна, незважаючи на вміст у них гліадинової і глютенінової фракцій, не утворюють такого губчастого каркаса клейковини, як білки пшеничного борошна. У тісті білки житнього борошна необмежено набухають, пептизуються і переходять у стан в'язкого колоїдного розчину. Його реологічні властивості визначаються в основному станом рідкої фази. Таке тісто, крім в'язкості, володіє значною липкістю [9]. Тому введення додаткової сировини в пшеничне і житньо-пшеничне тісто може призвести до значної зміни консистенції і інших реологічних характеристик тіста.

Так, використання вівсяних пластівців сприяє збільшенню водопоглинальної здатності тіста. Високий вміст білку в борошні соєвому повножирному (37%) підвищує рівень абсорбції води і це сприяє поліпшенню

еластичності м'якушки, а зародки пшениці, що містять переважно альбуміни і високий вміст глютадіону (0,5% від сухої речовини), сприяє розрідженню клейковини і тіста.

ГЧ-обробка зерна з отриманням "вибухлого" зерна спричиняє деструкцію, що супроводжується частковою клейстеризацією крохмалю і утворенням декстринів. Оброблений продукт набуває модифікованої структури і стає крихким, при контакті з водою він набрякає та частково розчиняється в ній. Пшеничні висівки «ЕСО» і ячмінь «ЕСО» пробуджений плющений мають більш високу водопоглинальну здатність порівняно з пшеничним і утворюють тісто з низькою еластичністю і розтяжністю, що призводить до суттєвого зміцнення структури [10].

Виклад основного матеріалу дослідження. Для отримання зсувних характеристик булочних виробів і оцінки міцності їх структури, нами використано один з важливих показників якості - коефіцієнт граничної напруги зсуву (θ_0), який визначався за найбільшою напругою, при якій здійснювався зсув пластини з нержавіючої сталі розміром 10,5*9,1 мм.

Визначення граничної напруги зсуву здійснено за допомогою пенетрометра під'єданого до цифрового динамометра з ціною поділки 1 мН та верхньою межею вимірювання 4Н, абсолютна похибка окремого вимірювання складає не більше $\pm 0,000014$ Н. Оптимальний період вимірювання – 20 мс. Дані вимірювань виводили у вигляді графіку у координатах «сила/час» (рис. 1).

Дослідження проводили за постійною глибиною penetрації (тобто визначалася глибина занурення) ($h=10,5$ мм).

Для обрахунку ГНЗ визначали максимальне зусилля "F", за якого індентор (плоска пластинка) виходить з продукту. Також заміряли ширину ножа «b» ($b=9,1$ мм). Розраховували коефіцієнт граничної напруги зсуву, який характеризує консистенцію продукту [11].

Вплив композиційної суміші на граничну напругу зсуву батончиків, надано в таблиці 2.

Таблиця 2

Показники граничної напруги зсуву батончиків із начинками

Найменування батончиків	Концентрація добавок в композиційній суміші, % до маси борошна	Гранична напруга зсуву, Па	Дослід/ контроль, %
«Батончик до чаю» (контроль)	–	1831,50±89	–
«Мікс»	• борошно жорнове цілозерне пшеничне – 30% • борошно жорнове цілозерне житнє – 30% • зародки пшениці – 8% • борошно соєве повножирне – 5% • борошно з насіння льону – 5% • насіння соняшнику – 5%	1412,87±70	77,1
«Новинка»	• борошно жорнове цілозерне пшеничне – 62% • ячмінь «ЕСО» пробуджений плющений – 16% • розторопша плямиста – 5%	1726,84±85	94,3
«Закусочні»	• борошно жорнове цілозерне пшеничне – 62% • пшеничні висівки «ЕСО» – 16% • розторопша плямиста – 5%	2354,79±116	128,6
«Фітнес»	• борошно жорнове цілозерне пшеничне – 50% • вівсяні пластівці – 33%	1622,19±80	88,6

Примітка. * Різниця з контролем статистично достовірна, $P \leq 0,05$

Визначено, що показники в дослідних зразках батончиків «Мікс», «Фітнес», «Новинка» нижче контролю (в %) на 22,9; 11,4 та 5,7, що пов'язано з зменшенням кількості білків, які беруть участь у створенні клейковинного каркасу тіста. Разом з тим в батончиках «Закусочні» показник граничної напруги зсуву перевищує контрольний на 28,5 % (табл. 2), що свідчить про ущільнення структури зразку з використанням пшенично-висівково-розторопшевої композиційної суміші за рахунок більшої питомої поверхні та вологозв'язуючої здатності, що призводить до збільшення поверхні взаємодії з вільною вологою та поліпшення формованості виробів. З зменшення концентрації борошна жорнового цілозерного пшеничного у батончиках «Мікс», «Фітнес» інтенсивність ущільнення знижується.

Це викликано тим, що маючи унікальний хімічний склад, різні види зернової (ячмінь ЕСО пробуджений плющений, зародки пшениці, пшеничні висівки) та борошняної сировини (борошно пшеничне першого ґатунку, жорнове цілозерне пшеничне та житнє, соєве борошно повножирнове ЕСО), а також начинки: маково-курагово-мигдальна («Мікс»); курагово-гарбузово-сочевична («Новинка»); кисломолочно-сирно-шпинатно-мигдальна («Закусочні»); кисломолочно-сирно-ламінарієва («Фітнес») змінюють внутрішню структуру дріжджового тіста.

Борошно пшеничне першого ґатунку та розторопша плямиста, що мають більшу дисперсність, через більшу питому поверхню та вологозв'язуючу здатність, зв'язують вологу в тісті, (в тому числі і пшеничні висівки з високим вмістом харчових волокон – 8,2г/%) структура тіста стає значно в'язкою, що призводить до збільшення поверхні взаємодії з вільною вологою, отже до збільшення граничної напруги зсуву (батончики «Закусочні»), поліпшення формованості виробів, формостійкості готових виробів, але до певних меж.

Показники граничної напруги зсуву дослідних зразків знаходяться в межах 1412...2354 Па і відповідають вимогам до реологічних характеристик м'якуша батончиків (1000...2300 Па).

Методом penetрації, під час визначення ГНЗ, визначили межу міцності булочних виробів.

Для обчислення межі міцності визначали силу, яка виникає в батончику при деформації виробу, і площу впливу на предмет сторонньої сили (циліндричний індентор діаметром $d=1\text{мм}$). Механічне напруження в певній точці дорівнює відношенню внутрішньої сили в ньютонах до одиниці площі в певній точці перетину в м^2 . Тобто зовнішній вплив направлено на зміну положення частинок речовини відносно один одного, а та напруга, яка виникає в речовині при цьому, заважає цій зміні місця розташування і обмежують його поширення.

Межу міцності поверхневого шару визначали, шляхом напруження продукту при деформації згину. Датчиком сили слугував цифровий високошвидкісний динамометр з ціною поділки $0,001\text{Н}$ та межею вимірювання $3,2\text{ Н}$. Показники сили фіксувалися із частотою 1000 вимірювань за секунду.

Оскільки межею міцності називають напруження, що відповідає найбільшому навантаженню, яке витримує тіло перед руйнуванням, то пікове значення цифрового динамометра, яке можна отримати при максимальній деформації продукту, вказуватиме на межу міцності поверхневого шару продукту.

Програмне забезпечення «Мультимедійна лабораторія ІТМ», яке використовували в дослідженнях, дозволяє визначити силу, що діє на індентор у будь-який момент часу. При проходженні індентором повітряного прошарку між продуктом та начинкою на індентор діє лише сила тертя (F_{mp}), отже знаючи силу супротиву руху індентора, коли індентор проходить через повітряний проміжок можна визначити силу тертя (рис. 1).

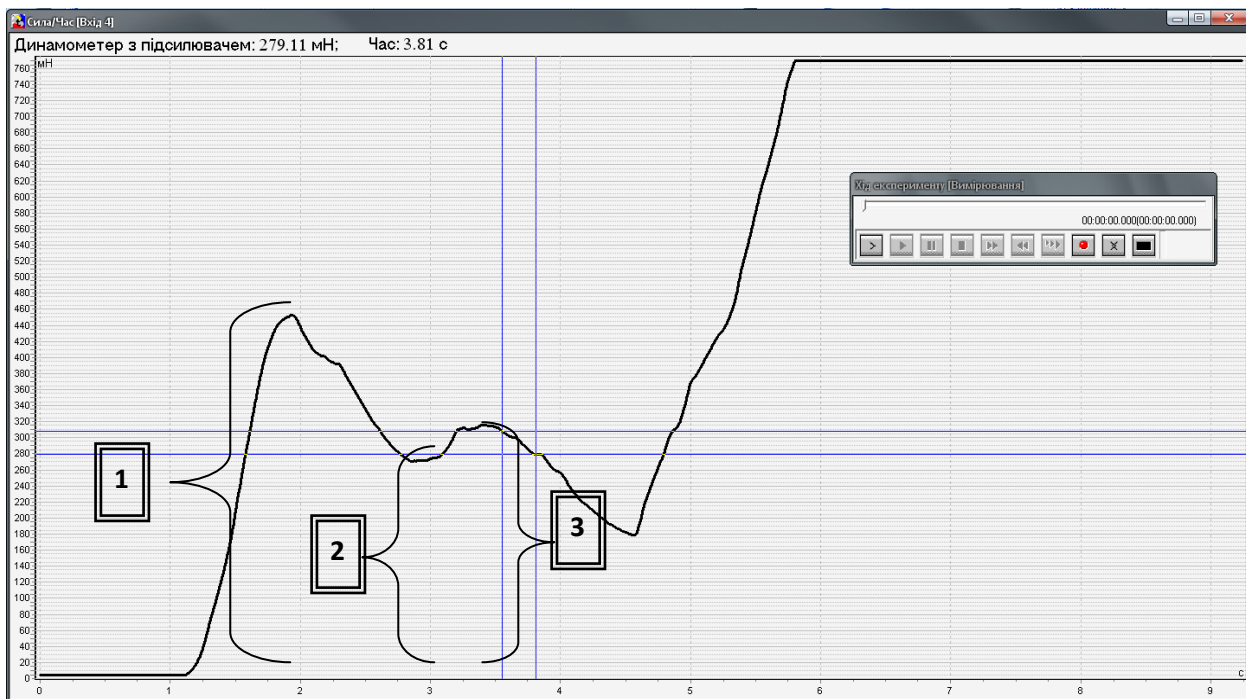


Рис. 1. Вікно програми «Мультимедійна лабораторія ІТМ». Фіксування сили супротиву руху індентора через продукт за сталої швидкості руху

- 1 – сила супротиву поверхневого шару продукту, що виникає при максимальній деформації, (F_{max});
 2 – сила тертя індентора з попередніми шарами продукту ($F_{тр}$);
 3 – сила супротиву поверхневого шару фаршу (F_{max}).

Дослідні зразки батончиків мають після випікання більш міцну структуру у порівнянні з контролем, що пояснюється наявністю у батончиках борошняних сумішей з високою водопоглинальною здатністю і утворенням тіста з низькою еластичністю, розтяжністю, граничною напругою зсуву (крім батончиків «Закусочні») та межею міцності.

Залежність межі міцності батончиків «Мікс» від вмісту цільнозмеленого жорнового борошна (ЦЖБ) описується рівнянням:

$$\Theta = -0,00713x^3 + 1,267x^2 - 64,588x + 1128,52 \quad (1)$$

де: Θ – межа міцності, Па;

x – вміст цільнозмеленого жорнового борошна, %.

Залежність межі пружності того ж зразка:

$$Y_{п} = 0,074x^2 - 3,98x + 75,9 \quad (2)$$

де: $Y_{п}$ – межа пружності, Па;

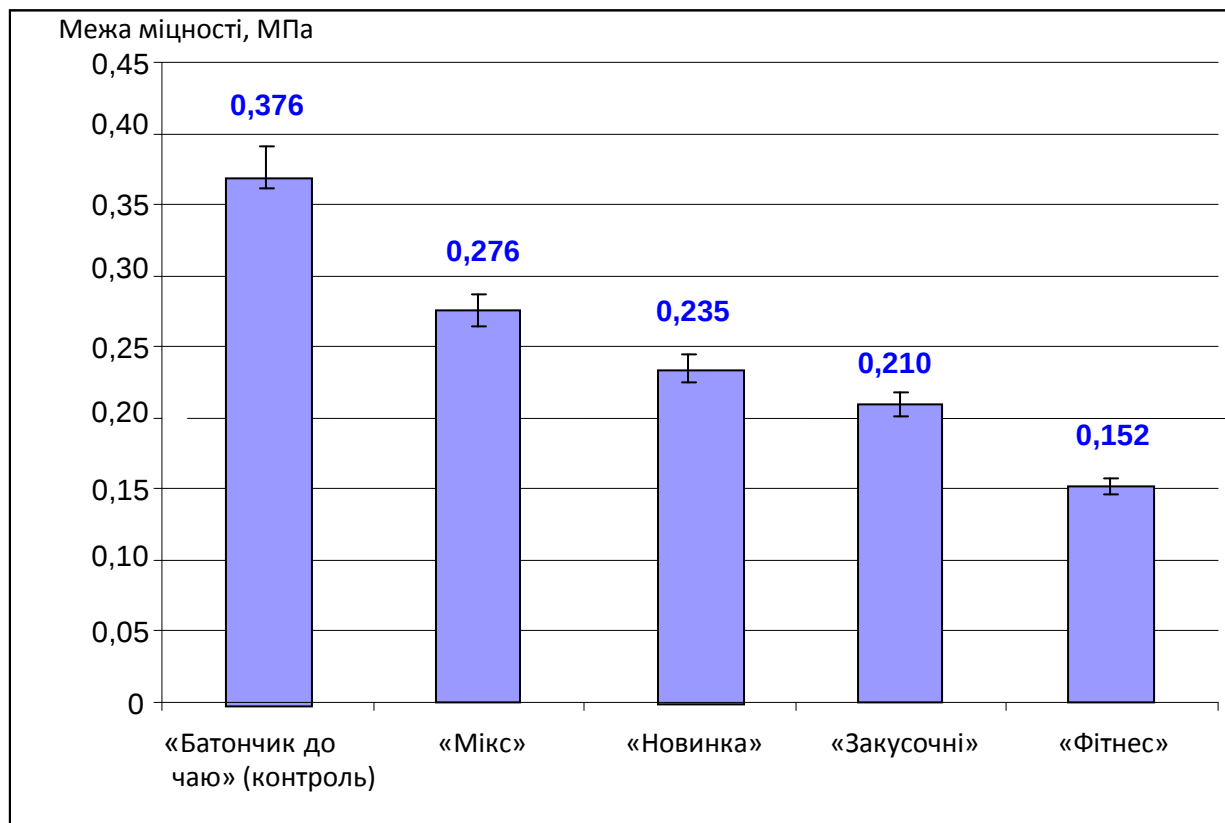


Рис. 2. Межа міцності досліджуваних зразків батончиків

Оскільки гранична напруга зсуву характеризує мінімальне дотичне напруження, яке необхідно для здійснення зсуву, що призводить до незворотньої деформації, то гранична напруга зсуву буде функцією межі пружності: $\theta = f(\sigma_{\text{п}})$

Проінтегрувавши формулу 1 знайдемо площу області даних, що описуватиме зону пружної деформації виробу:

$$\int_{35}^{75} (-0,00713x^3 + 1,267x^2 - 64,588x + 1128,52) dx = 3681,57 \text{ КПа}\cdot\% \quad (3)$$

За умови $\lim_{\sigma \rightarrow x}$ рівність (1) описуватиме граничну напругу зсуву, а визначений інтеграл між рівностями 1 та 2 – зону пластичної деформації виробу. Для Батончиків «Мікс»:

$$\int_{35}^{75} ((-0,00713x^3 + 1,267x^2 - 64,588x + 1128,52) * (0,074x^2 - 3,98x + 75,9)) dx \quad (4),$$

а площа визначеної фігури в досліджуваних межах складатиме 5647,48 КПа*%.

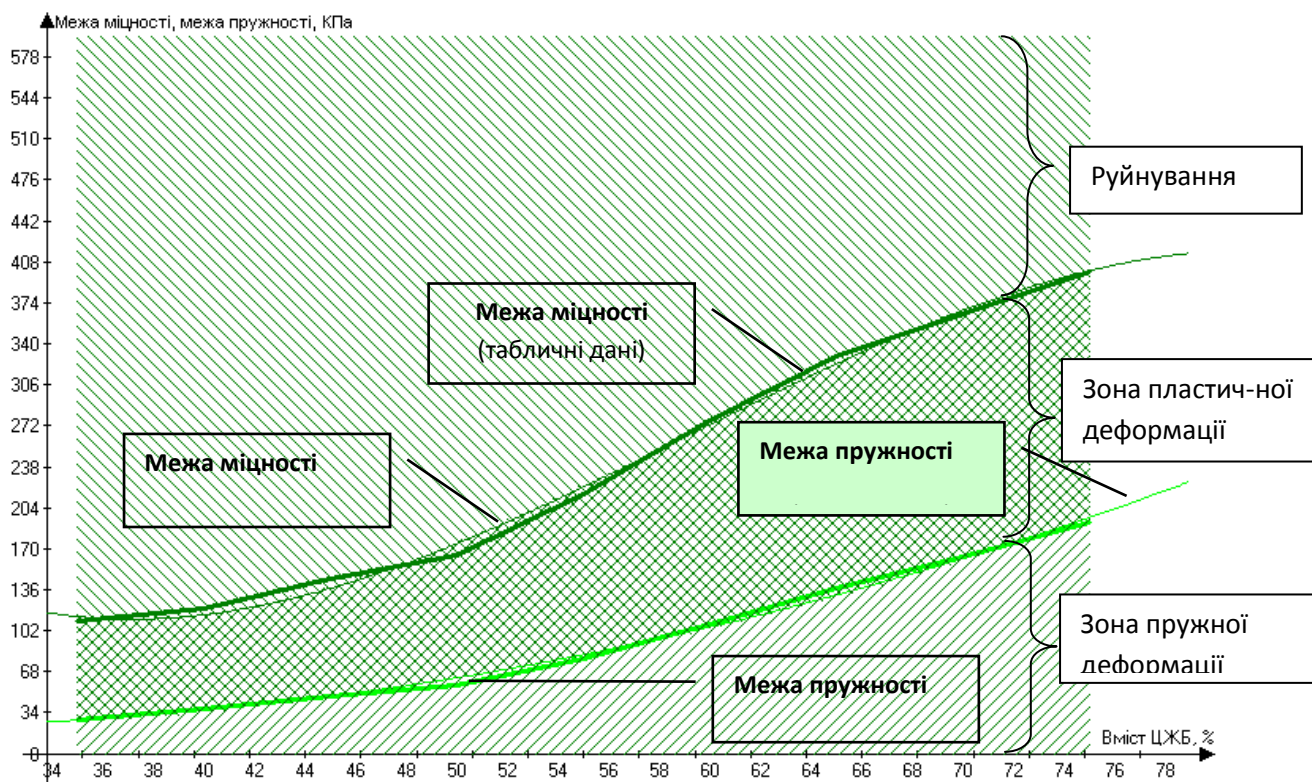


Рис.3. Інтегрування рівнянь регресії, які описують залежність структурно-механічних властивостей батончиків «Мікс» від вмісту суміші пшеничного та житнього ЦЖБ

Рівності та площі інтегралів батончиків «Мікс», «Новинка», «Закусочні» та «Фітнес» наведено в табл. 3.

Таблица 3

Результати аналізу структурно-механічних властивостей батончиків з начинками

Параметри	Мікс	Новинка	Закусочні	Фітнес
Залежність межі міцності від вмісту ЦЖБ, ($\Theta =$)	$-0,00713x^3 + 1,267x^2 - 64,588x + 1128,52$	$-0,049x^2 + 10,07x - 192,24$	$-0,0217x^2 + 6,72x - 115,51$	$-0,058x^2 + 9,48x - 183,29$
Залежність ГНЗ від вмісту ЦЖБ, ($Y_n =$)	$0,074x^2 - 3,98x + 75,9$	$0,0106x^2 + 1,598x - 40,87$	$0,019x^2 + 0,495x - 13,81$	$-0,0068x^2 + 2,78x - 67,40$
Площа області	3681,57	3218,33	2875,74	1625,48

даних пружної деформації, КПа*%				
Площа області даних пластичної деформації, КПа*%	5647,48	5104,32	4553,18	2609,52
Відношення площі пластичної до площі пружної деформації, %	153,4	158,6	158,3	160,54

Отже, проаналізувавши рівності, можна стверджувати, що розроблені вироби мають більше пластичну, аніж пружну консистенцію, оскільки площа зони пластичності на 45% більша за площу зони пружності.

Висновки. Проведені дослідження можуть бути рекомендовані для контролю технологічного процесу при виробництві булочних виробів.

Список використаної літератури

1. Ауэрман Л. Я. Технология хлебопекарного производства: Учебник. – 9-е изд.; перераб. и доп. / Под общ. ред. Л. И. Пучковой. – СПб: Профессия, 2009. – 416 с.
2. Технологія харчових продуктів функціонального призначення: монографія / за ред. М.І. Пересічного [та ін.] – 2-ге вид., переробл. та допов. – К.: Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 2012. – С. 464.
3. Дробот В.И. Продукты функционального назначения / В.И. Дробот, Л.А. Михоник, А.Д. Грищенко // Мир продуктов. – 2009. – № 9. – С. 6–8.
4. Технологія борошняних кондитерських і хлібобулочних виробів: Навчальний посібник / за ред. Г.М. Лисюк. – Суми: ВТД Університетська книга. – 2009. – С. 404–417.
5. Збірник рецептур кулінарної продукції і напоїв (технологічних карт) з використанням дієтичних добавок / за ред. М.І. Пересічного. – К.: Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 2012. – С.783-801.

6. Мусабаев Н.А. Исследование структурно-механических свойств творога и творожных масс: дис...канд. техн. наук. 05.18.16./ Н.А. Мусабаев. – М., 1970. – 135 с.
7. Реометрия пищевого сырья и продуктов: справочник / Под ред. Ю.А. Мачихина. – М.: Агропромиздат. – 1990. – С.6-7.
8. Пересічна С.М. Технологія булочних виробів функціонального призначення для харчування студентів / С.М. Пересічна, І.В. Смичек // Тематич. зб. наук. пр. «Обладнання та технології харчових виробництв». – Вип. 28. – Донецьк: ДонНУЕТ, 2012. – С. 344-352.
9. Афанасьева О.В. Микробиология хлебопекарного производства. С.-Петербург. фил. Гос. НИИ хлебопекар. пром.-сти (СПб.Ф ГосНИИХП). – СПб.: Береста, 2003. – 250 с.
10. Технологія харчових продуктів функціонального призначення: монографія / за ред. М.І. Пересічного [та ін.] – 2-ге вид., переробл. та допов. – К.: Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 2012. – С. 464, 484.
11. Шаповал С.Л. Методичні рекомендації до виконання науково-дослідних робіт з використанням універсального вимірювального комп'ютерного приладу / С.Л. Шаповал, Н.П.Форостяна, Ю.В. Литвинов, Р.П.Романенко // КНТЕУ. – Київ: 2012. – С. 93.