

УДК 664.656

Й.Й. Роглев, аспірант

А.В. Гавриш, канд. техн. наук, доцент

О.Б. Шидловська, канд. техн. наук, доцент

В.Ф. Доценко, д-р техн. наук, професор

Національний університет харчових технологій

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

ДРІЖДЖОВИХ НАПІВФАБРИКАТІВ

В ПРОЦЕСІ ЗАМОРОЖУВАННЯ ТА РОЗМОРОЖУВАННЯ

Для розвитку і вдосконалення технології заморожування напівфабрикатів для виробництва булочних виробів з них в закладах ресторанного господарства велике значення має вивчення їх теплофізичних характеристик в процесі заморожування.

Вода – основний компонент сировини і готових харчових продуктів. Наявність у виробках великої кількості вологи впливає на теплофізичні процеси при холодильній обробці і зберіганні продуктів, що обумовлено особливостями її розподілу і зв'язку з іншими компонентами, великою теплоємністю і теплотою фазового переходу при кристалізації і випаровуванні [1,2].

Перетворення води на лід при заморожуванні супроводжується міграцією вологи і змінами теплофізичних і механічних властивостей продуктів. Випаровування вологи з поверхні продуктів при холодильній обробці і зберіганні призводить до втрати маси і погіршення якості продукту. Зміна фазового стану води - головний чинник, що обумовлює гальмування небажаних дифузійних, хімічних, біохімічних і мікробіологічних процесів в напівфабрикатах при їх заморожуванні.

Тому значний вплив вологи на хід теплофізичних процесів при холодильній обробці і зберіганні призводить до необхідності розгляду поведінки води в тістових напівфабрикатах при холодильній консервації [3].

Метою дослідження було вивчення впливу масової частки вологи дріжджового напівфабрикату на його теплофізичні характеристики при розморожуванні і заморожуванні, а також на якість готового виробу.

Виходячи з теоретичного узагальнення, зробленого на основі літературних джерел [4] та результатів попередніх досліджень, була розроблена та оптимізована рецептура і параметри технологічного процесу виготовлення дрібноштучних булочних виробів округлої форми булочки «Наминайко».

Рецептури і режими приготування тіста прискореним способом для виробництва заморожених тістових напівфабрикатів представлені в таблиці 1.

Таблиця 1. Рецептури і технологічні параметри приготування тіста безопарним способом

Назва сировини і технологічних параметрів	Кількість сировини і величина параметрів, кг/100кг борошна
Борошно пшеничне в/г,	100
Пресовані дріжджі	5,0
Сіль	1,5
Цукор-пісок	5,0
Маргарин	5,0
Вода, см3	За розрахунком
Початкова температура тіста, °С	20
Вологість тіста, %	39,0

Замість тіста здійснювали з використанням тістомісильної машини періодичної дії. Відразу після замісу тісто піддавали відлежуванню протягом 10-15хв після чого його розподіляли на шматки масою 0,05 кг, округлювали, формували і укладали їх на листи. Висота тістових заготовок становила 4см.

Листи з тістовими заготовками переміщали до швидкоморозильного повітряного апарату. Заморожування проводили при температурі -33...-35 °С і швидкості руху повітря 5м/с впродовж 35хв до досягнення температури мінус 18°С в центрі тістової заготовки.

Заморожені напівфабрикати фасували по 3 штуки в пакети з поліетиленової плівки (ГОСТ 10354-82) і направляли на зберігання в холодильних камерах при температурі мінус 18°С.

Термограми заморожування тістових напівфабрикатів, представлені на рис.1.

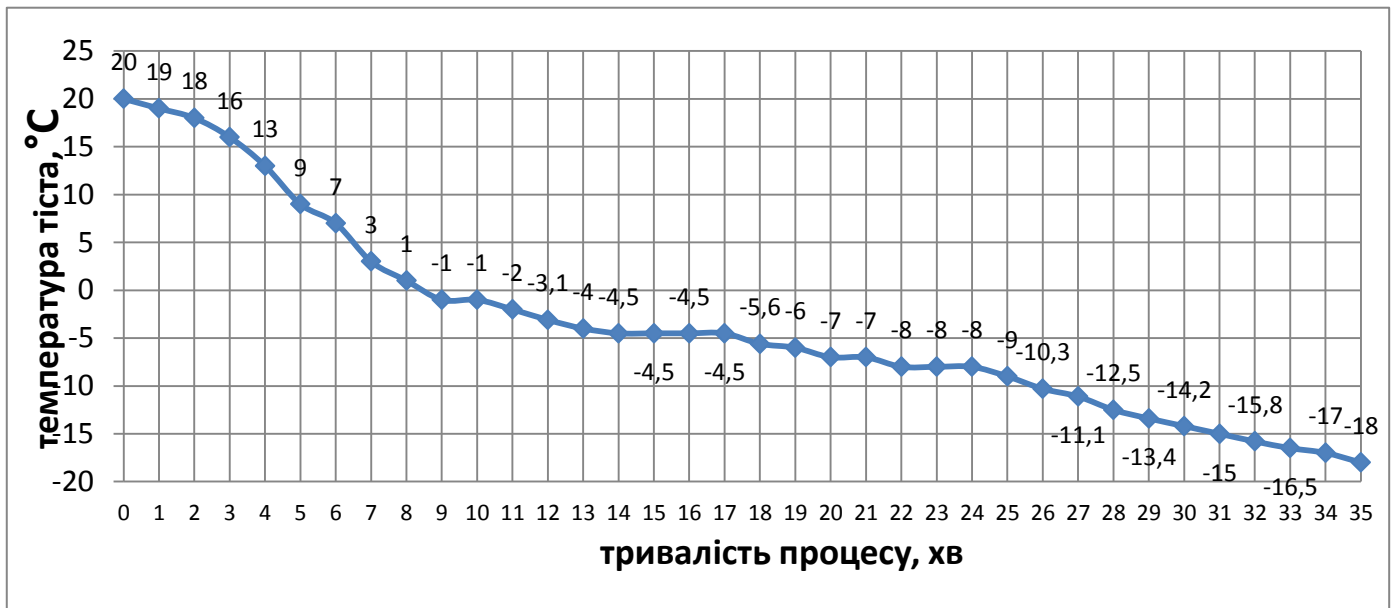


Рис. 1 Зміна температури в центрі напівфабрикатів борошняних виробів при заморожуванні.

В процесі заморожування можна виділити три діапазони температур в центрі продукту від 20 до 0 °C, від 0 до мінус 5°C і від мінус 5 до мінус 15... мінус 18°C.

На першому етапі відбувається охолодження напівфабрикату від 20 до 0°C. Зниження температури напівфабрикату тут йде пропорційно кількості роботи по відбору тепла.

На другому етапі відбувається перехід вологи з рідкої фази в тверду фазу при температурах від 0 до мінус 8°C. Робота по відбору тепла з напівфабрикату дуже значна, проте температура напівфабрикату практично не знижується, а відбувається кристалізація приблизно 70% рідкої фази напівфабрикату.

Уповільнення процесу заморожування при температурі мінус 4,5°C дозволяє вважати що це криоскопічна температура тіста для булочки «Наминайко». Після проходження зони криоскопії спостерігається пришвидшення зниження температури тістового напівфабрикату.

На третьому етапі відбувається доморожування при температурах напівфабрикату від мінус 10 до мінус 18°C. Зниження температури знову йде пропорційно виконуваною холодильною машиною роботи.

Для знаходження значень характеристик процесу заморожування, використовували попередньо виведені формули [1]. Результати розрахунку представлені в таблиці. 2.

Таблиця 2. Залежність значень параметрів процесу заморожування і теплофізичних характеристик дріжджового тіста від часу заморожування

Температура в центрі тістової заготовки, °С	Кількість води, що виморозилась, %	Питома теплоємність, Дж/(кг·К)	Коефіцієнт температуропровідності, м ² /с·10 ⁸	Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м ² ·К)
20,0	0,0	3096,0	18,03	0,5110
0,0	0,0	3091,5	18,06	0,5190
-2,0	25,0	3053,3	18,47	0,5351
-4,0	69,0	3018,1	18,52	0,5357
-6,0	74,0	3016,9	18,54	0,5359
-8,0	80,0	3012,7	18,55	0,5361
-10,0	81,0	3009,5	18,56	0,5362
-12,0	82,0	3007,2	18,58	0,5363
-14,0	85,0	3005,5	18,59	0,5365
-16,0	88,0	3004,5	18,62	0,5365
-18,0	91,0	3002,3	18,63	0,5366

Встановлено, що в ділянці плюсових температур (20°C...1 °C) термодинамічні характеристики майже не змінюються, тому їх значення прийняли постійними. На ділянці мінусових температур (-1°C...-18°C) змінюється щільність структурних елементів, відбувається здавлення і розрив клітин, проколювання їх кристалами льоду, денатурація білків. Увесь цей комплекс явищ безпосередньо впливає на термодинамічні характеристики дріжджового тіста.

Для дріжджових напівфабрикатів досліджуваної рецептури основна кількість води (70,0-80,0 %) перетворюється на лід в інтервалі температур від точки замерзання (кріоскопічна температура -4,5°C) до -8°C, а льодоутворення практично завершується при температурі біля -18°C (табл.2). Це відповідає приблизно 35 хв після початку процесу заморожування тіста (рис. 1). В процесі заморожування дріжджового тіста спостерігається зниження значення питомої

теплоємності, і збільшення значень коефіцієнтів температуропровідності і теплопровідності.

На наступному етапі теплофізичні параметри процесів заморожування і розморожування напівфабрикатів досліджували на інформаційно-вимірювальному комплексі, що включає диференціальний скануючий мікрокалориметр ДСМ-3А при швидкості охолодження/нагрівання, $(-2)/(+2)^{\circ}\text{C}/\text{хв}$ в діапазоні сканування $(-20)/(+20)^{\circ}\text{C}$ [5].

Для більш широкого розгляду впливу масової частки вологи дріжджового напівфабрикату на його теплофізичні характеристики при заморожуванні і розморожуванні, а також на якість готового виробу виходячи з прийнятої вище вологості тіста для булочки «Наминайко» (39%) готували зразки тістових заготовок з вологістю в діапазоні 37-41%. Тістові заготовки масою 0,05кг укладали на листи в паперові форми для випічки і заморожували в швидкоморозильному повітряному апараті. Зберігали їх у такому вигляді впродовж 30 діб. Потім заморожені тістові заготовки розморожували в умовах навколишнього середовища ($t_{\text{н.с.}}=21\dots27^{\circ}\text{C}$,) до температури центру $t_{\text{ц}}=20^{\circ}\text{C}$ протягом 60 хв. Після цього проводили вистоювання в лабораторній вистійній шафі ($t=34\dots40^{\circ}\text{C}$) протягом 30 хв і випікали в лабораторному пароконвектоматі при плавному збільшенні температури від 70°C до 210°C при швидкості $4^{\circ}\text{C}/\text{хв}$ і відносній вологості 75-80%.

Вироби, отримані на основі заморожених напівфабрикатів, аналізували через 3 години після випікання за методикою [6].

У таблиці. 3 представлені експериментальні значення теплофізичних параметрів напівфабрикатів булочки «Наминайко» в процесах заморожування і розморожування.

Таблиця 3. Теплофізичні характеристики дріжджового напівфабрикату різної вологості

Вологість тіста, %	$T_{\text{поч.}}/T_{\text{кін.}}, ^{\circ}\text{C}$		$H_{\text{лікв.}}, \text{mW}$	
	Заморожування	Розморожування	Заморожування	Розморожування
37	-10,1/-19,2	-14,1/-4,1	51,43	-30,4
38	-10,6/-19,4	-13,8/-3,8	65,31	-44,21
39	-11,5/-19,8	-13,6/-2,1	73,23	-54,30
40	-12,1/-20,1	-13,2/-1,5	83,30	-63,23
41	-12,6/-21,2	-12,2/+1,2	91,21	-81,10

$T_{\text{поч.}}$ - початкова температура фазового переходу води, °C;

$T_{\text{кін.}}$ - кінцева температура фазового переходу води, °C;

$H_{\text{піку}}$ - кількість підведеної (відведеної) теплоти в систему, mW

На підставі даних, одержаних методом диференціальної скануючої мікροкалориметрії, були отримані термограми зразків дріжджового тіста різної вологості, на яких зафіксовані початкові і кінцеві температури фазових переходів води при заморожуванні і розморожуванні напівфабрикатів, а також ентальпії зразків.

Як видно з представлених результатів (рис.2) зі збільшенням масової частки води в дріжджовому тісті відбувається зниження температури початку заморожування і підвищення значень кінцевих мінусових температур. У інтервалі вологості напівфабрикатів 37...41% початкова температура заморожування практично не змінювалася і складала мінус 10,1... мінус 12,6°C, а найбільша кінцева температура піку у зразків тіста з вологістю 41% (мінус 21,2°C).

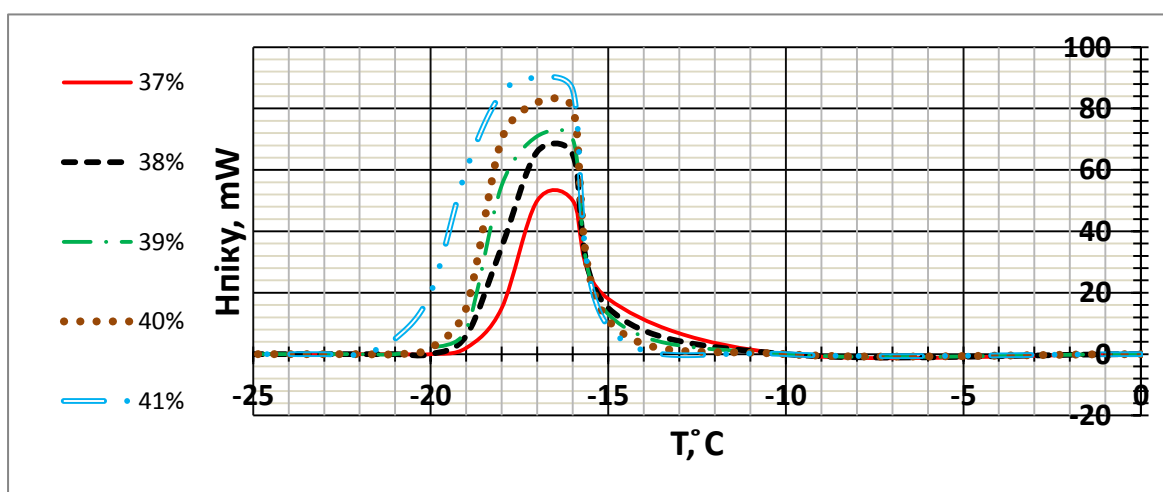


Рис. 2 Термограма зразків дріжджового напівфабрикату різної вологості при заморожуванні

Аналіз даних, представлених на термограмах, показав, що найменше значення температури початку піку при розморожуванні (рис.3) спостерігалось в зразках тіста з вологістю 41% і складало мінус 12,2°C. Максимальне значення кінцевої температури піку при розморожуванні спостерігалось у зразків з вологістю 41% (1,2°C), мінімальне – з вологістю 37% (мінус 4,1°C) (рис. 3).

З найменшими ушкодженнями структури тісто заморожується при «критичній» (мінімальній) тривалості заморожування [3].

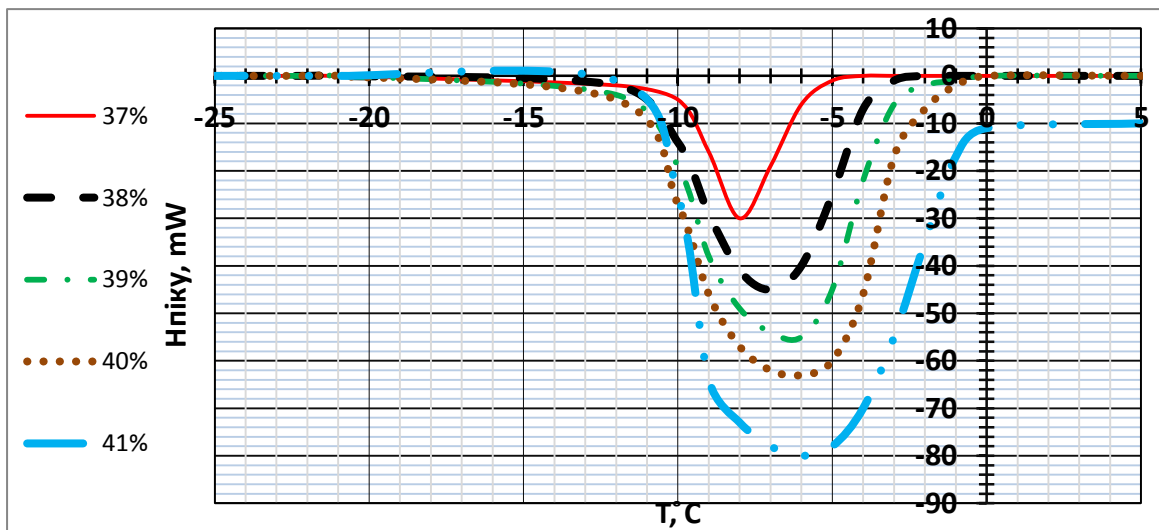


Рис. 3 Термограма зразків дріжджового напівфабрикату різної вологості при розморожуванні

Найменшим періодом максимального кристаллоутворення досліджуваних дріжджових напівфабрикатів характеризувалися зразки тіста з вологістю 37 і 38%.

Мінімальна величина ентальпії піку при заморожуванні і розморожуванні спостерігалася також у зразках тіста з вологістю 37%, що дорівнює 51,43 і -30,4mW відповідно. Отже, у цих зразків спостерігався стан, найбільш близький до термодинамічної рівноваги системи [3].

В зразках, приготовлених з дріжджового тіста вологістю 41%, необхідна кількість відведеної та підведеної теплоти, як для заморожування, так і для розморожування, була найбільшою і складала 91,21mW і -81,10mW відповідно.

Зі збільшенням масової частки води в борошняному напівфабрикаті відбувалося збільшення значення ентальпії піку.

В результаті проведених досліджень встановлено, що вологість дріжджового тіста впливає на енергію, що витрачається на фазові переходи води, як при заморожуванні, так і при розморожуванні. Ентальпія проб досліджуваних напівфабрикатів різної вологості представлена на рис.6,7.

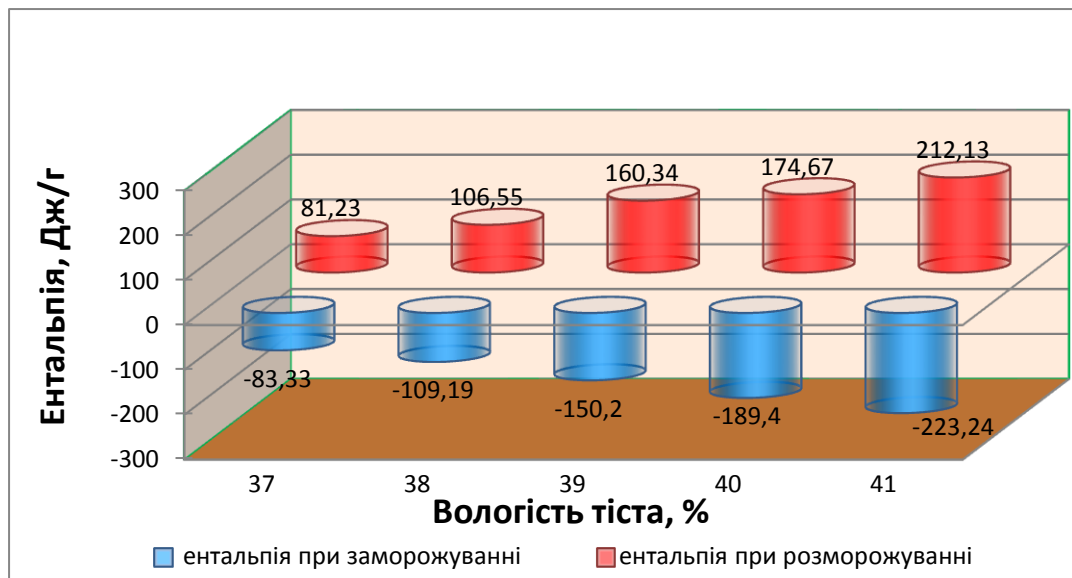


Рис.4- Ентальпія проб дріжджового тіста різної вологості

Для зразків тіста булочки «Наминайко» зі зростанням вологості (у інтервалі 37-41%) значення ентальпії підвищувалися. Це пояснюється тим, що точкове зіткнення часток сухого матеріалу з повітряними прошаруваннями стає тіснішим за допомогою прошарків, зайнятих водою, що зрештою призводить до помітного збільшення ентальпії [7].

У зразках тіста вологістю 37 і 41 % різниця в значеннях енергії фазових переходів при розморожуванні складала 81,23 і 212,13 Дж/г, а при заморожуванні мінус 83,33 та мінус 223,24 Дж/г, відповідно (рис.6).

Також можна помітити, що в зразках дріжджового тіста з вологістю 37 % витрати енергії, необхідні для заморожування (мінус 83,33 Дж/г) зразків практично відповідали витратам енергії, необхідним для їх розморожування (81,23 Дж/г).

Таким чином, виявлено, що на процеси кріотропного структуроутворення дріжджових напівфабрикатів впливає масова частка вологи.

Далі досліджували вплив масової частки вологи в заморожених напівфабрикатах на показники якості готових виробів (таблиця. 4).

Аналіз отриманих даних (таблиця. 4) свідчить про вплив масової частки вологи дріжджового тіста на показники якості булочних виробів.

Явища перенесення теплової енергії в зразках не відємні від явищ перенесення маси вологи, при цьому механізм переміщення вологи

обумовлений її формою зв'язку з матеріалом, інтенсивністю джерел електромагнітної енергії, діелектричними і теплофізичними характеристиками оброблюваного матеріалу, масою виробу, режимом випікання та рядом інших чинників.

При проведенні аналізу встановлено, що показник кислотності м'якушки булочок зменшувався зі збільшенням масової частки вологи у тісті від 37 % до 41 %. Питомий об'єм виробів був максимальним при вологості 37% (2,09 см³/г).

Найбільшими значеннями пластичної і пружної деформації характеризувались зразки, приготовлені з тіста вологістю 37% (35,6 і 15,8 од. приладу відповідно).

Таблиця 4. Фізико-хімічні показники булочних виробів із заморожених дріжджових напівфабрикатів

Показники якості	Значення показників якості залежно від вологості тіста, %				
	37,0	38,0	39,0	40,0	41,0
Вологість, мякушки, %	36,5	37,4	38,6	39,1	40,2
Кислотність, град	2,9	2,8	2,7	2,6	2,5
Питомий об'єм, см ³ /г	2,09	1,93	1,83	1,80	1,75
Деформація, од.приладу					
Δ Н _{заг.}	51,4	49,4	48,6	47,3	46,4
Δ Н _{пружн.}	35,6	35,3	35,1	34,2	33,6
ΔН _{пласт.}	15,8	14,1	13,5	13,1	12,8

Таким чином, результати досліджень дозволили охарактеризувати процес заморожування і розморожування тіста, з енергетичної точки зору. З допомогою диференціальної скануючої мікрокалориметрії встановлено, що зі зростанням масової частки вологи в тісті відбувалося збільшення енергії фазового переходу, як при заморожуванні, так і при розморожуванні, що було підтверджено збільшенням кількості теплоти, що утворилась в результаті кристалізації вологи і при перетворенні кристалів льоду у воду при дефростації.

Для формування оптимальної кріотропної структури дріжджових напівфабрикатів і отримання з них булочних виробів високої якості вологість тіста для булочки «Наминайко» складає 37 %.

Порівнюючи отримані результати по зміні теплофізичних характеристик дріжджових напівфабрикатів при заморожуванні і розморожуванні, в залежності від вибору оптимальної масової частки вологи останніх з фізико-

хімічними показниками якості булочних виробів, що готують з них, розробляють науково-практичні рекомендації для розробки технології виробництва булочних виробів із заморожених дріжджових напівфабрикатів.

Літературні джерела

1. Головкин, Н. А. Холодильная технология пищевых продуктов -М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984.-240 с.
2. Дурнев, А.Д. Функциональные продукты питания / А.Д. Дурнев, Л.А. Оганесянц, А.Б. Лисицин// Хранение и переработка сельхозсырья,2007.- №9.-С. 15-21.
3. Кретович, В.Л. Биохимия зерна и продуктов его переработки / В.Л. Кретович, Е.Д. Казаков.- М.: Агропромиздат, 1989.- 368 с.
4. Сарафанова Л.А. Применение пищевых добавок: практические рекомендации. - СПб.: Гиорд, 1999. - 46с.
5. Бойко, Б. Н. Прикладная микрокалориметрия: приборы и методы //Наука, 2006.-119 с.
6. Пащенко, Л. П. Биотехнологические основы производства хлебобулочных изделий : учеб. пособие для вузов / Л. П. Пащенко. - М.: Колос, 2002. - 368 с.
7. Жеребцов, Н.А. Углеводы в сырье и продуктах питания / Н.А. Жеребцов, Л.П. Пащенко.- ВГТА, Воронеж, 1999.- 107с