

ОДЕСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

ЧАБАНОВА ОКСАНА БОРИСІВНА

УДК 664.785.8.047:66.096.5

СУШІННЯ ВІВСЯНОЇ КРУПИ У ЗАВИСЛОМУ ШАРІ

Спеціальність 05.18.12 – процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Одеса - 2002

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Одеській державній академії харчових технологій Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник - доктор технічних наук, професор **Грішин Михайло Олександрович**, Одеська державна академія харчових технологій, професор кафедри технології молока та сушіння харчових продуктів;

Офіційні опоненти: - доктор технічних наук, професор **Бурдо Олег Григорович**, Одеська державна академія харчових технологій, завідуючий кафедрою процесів та апаратів;

- кандидат технічних наук, старший науковий співробітник **Малецька Кіра Дмитрівна**, Інститут технічної теплофізики НАН України, завідувача лабораторією тепломасообміну дисперсних матеріалів.

Провідна установа - Харківська державна академія технологій та організації харчування, кафедра процесів, апаратів і автоматизації харчових виробництв, Міністерство освіти та науки України, м.Харків

Захист відбудеться "25" жовтня 2002 р. о годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 41.088.01 при Одеській державній академії харчових технологій за адресою: 65039, м. Одеса, вул. Канатна, 112.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Одеської державної академії харчових технологій за адресою: 65039, м. Одеса, вул. Канатна, 112.

Автореферат розіслано "24" вересня 2002 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
доктор технічних наук, професор
О.І.

Гапонюк

Загальна характеристика роботи

Актуальність теми. Характерною рисою нашого часу є зміни у структурі харчового раціону у бік зростання харчових концентратів. У зв'язку з цим вченими проводяться пошуки по виробництву так званих продуктів "Fast Food". Особливе місце серед цих продуктів належить похідним вівсяної крупи завдяки їх унікальному хімічному складу і харчовій цінності.

Вівсяним продуктам присвячено вкрай мало робіт, незважаючи на великий попит у населення.

Науково-практичні розробки щодо технології вівсяних продуктів в основному стосуються режимів гідротермічної обробки. Ключовими ланками таких технологій є пропарювання і сушіння, а це складні нестационарні фізико-хімічні процеси, котрі у сполученні зі складністю хімічного складу сировини потребують обґрунтованого наукового підходу до вибору технологічного регламенту. В основі цього лежить інженерний розрахунок, пов'язаний із визначенням: гігроскопічних властивостей, термодинамічних параметрів, залежностей процесів тепло-масопереносу, гідродинаміки шару, розрахунком матеріального і теплового балансу сушильної установки.

Перспективним є використання активних гідродинамічних режимів: сушіння у завислому шарі, яке дозволяє отримувати високопористі крупи, що швидко розварюються.

Крупи є капілярно-пористими тілами з коагуляційною структурою, розходження в

хімічних і теплофізичних властивостях істотно впливає на поведінку їх при сушінні. Розробка економічних режимів технології сушіння для України в нинішній час, в умовах енергетичної кризи, відсутності власного ефективного теплоенергетичного обладнання, певно є актуальною.

Питання сушіння вівсяної крупи сучасними методами (до яких належить завислий шар) не досліджували. Відсутні дані про зміну хіміко-технологічних показників варено-сушеної вівсяної крупи в процесі сушіння у завислому шарі в залежності від температур сушильного агента, практично відсутні дані про термодинамічні параметри вологопереносу варено-сушеної вівсяної крупи.

У зв'язку з цим процес сушіння вівсяної крупи в завислому шарі є актуальною темою.

Мета і завдання дослідження. Мета дисертаційної роботи полягає у визначенні та рекомендації науково обгрунтованої раціональної технології сушіння, яка забезпечує отримання вівсяної крупи, що швидко розварюється, для обідніх страв із високими споживчими якостями, зниження тривалості процесу сушіння і досягнення енергоекономічних витрат.

Для досягнення мети необхідно вирішити наступні взаємопов'язані поміж собою завдання:

- дослідити режими гідротермічної обробки вівсяної крупи;
- визначити гігроскопічні властивості крупи в залежності від умов зберігання;
- встановити термодинамічні параметри вологопереносу;
- визначити критичні швидкості повітря при сушінні вівсяної крупи у завислому шарі;
- визначити вплив основних чинників на кінетику процесу сушіння;
- визначити біохімічні, мікробіологічні, споживчі показники якості вівсяної крупи, отриманої сушінням у завислому шарі при різних параметрах сушильного агента і при зберіганні;
- визначити інтенсивність вільнорадикальних процесів окислення, а також дослідити вплив попередньої обробки та сушіння у завислому шарі на амінокислотний, вітамінний, ферментний склад вівсяної крупи;
- встановити раціональні режими сушіння вівсяної крупи у завислому шарі;
- розробити інженерну методику розрахунку процесу сушіння вівсяної крупи;
- розрахувати сушильну установку завислого шару для сушіння вівсяної крупи;
- впровадити результати в практику та визначити їхню економічну ефективність.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Вперше отримані залежності швидкості постійного періоду сушіння досліджуваного об'єкта від початкового вологовмісту, потенціалу сушіння, питомого навантаження і масової швидкості. Встановлені масообмінні коефіцієнти A і b і показник ступеня m .
2. Отримані нові відомості про зв'язок вологи з матеріалом і термодинамічні параметри вологопереносу варено-сушеної вівсяної крупи, отриманої сушінням у завислому шарі.
3. Отримані нові дані про критичні швидкості повітря при сушінні вівсяної крупи у завислому шарі.
4. Отримано нову інформацію, яка експериментально підтверджує вплив гідротермічної обробки і сушіння у завислому шарі на реологічні характеристики досліджуваного об'єкта.
5. Отримано нові біохімічні, мікробіологічні, споживчі показники досліджуваного об'єкта, які впливають на якість вівсяної крупи при різних температурних режимах сушіння у завислому шарі і термінах збереження. Вперше визначена інтенсивність вільнорадикальних процесів окислення, а також досліджено вплив попередньої обробки і сушіння у завислому шарі на амінокислотний, вітамінний, ферментний склад вівсяної крупи.

Практичне значення отриманих результатів.

Запропоновано інженерну методику розрахунку сушильної установки. Розраховано промислову сушильну установку завислого шару для вівсяної крупи на підставі отриманих експериментальних даних із зниженими енерговитратами. Розроблено раціональний технологічний регламент виробництва вівсяної крупи, що швидко розварюється, з максимальним ступенем зберігання її нативних властивостей на підставі комплексних досліджень термічних процесів і біохімічних показників. Технологія сушіння вівсяної крупи пройшла апробацію на Новоукраїнському комбінаті хлібопродуктів.

Особистий внесок здобувача. Автор особисто брав участь у проведенні теоретичного обґрунтування, опрацьовані методики дослідження, у проведенні дослідів та хімічних досліджень зразків, обробці експериментальних даних, в узагальненні одержаних результатів.

Апробація роботи. Основні результати досліджень доповідалися, обговорювалися та були схвалені на 59-62-ій наукових конференціях Одеської державної академії харчових технологій у 1999 - 2002 рр.; на конференції “Хлібопродукти” (м.Одеса, 2000, 2002 рр.); конференції ОДАХ (м.Одеса, 2001); на конференції ДонДует (м. Донецьк, 2002).

Публікації. За результатами досліджень з теми дисертаційної роботи опубліковано сім наукових праць, в тому числі 4 у збірниках наукових праць і 3 у наукових журналах.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається з вступу, п'ятих розділів, висновків, списку використаної літератури і додатку. Зміст роботи викладено на 195 сторінках, містить 72 рисунки (29 сторінок), 48 таблиць (22 сторінки). Список використаної літератури включає 168 найменувань (13 сторінок), у тому числі 38 іноземних.

Основний зміст роботи

У вступі обґрунтована актуальність теми дисертації, вказані основні напрямки проведення досліджень, подана наукова новизна і практичне значення роботи.

У першому розділі наведено огляд літературних джерел і патентних матеріалів, на підставі яких визначено конкретні завдання даної роботи, рішення котрих необхідне для досягнення мети.

Наведено характеристику вівсяної крупи як об'єкта сушіння, показано зростаючий інтерес до вівса і продуктів його переробки завдяки його унікальному хімічному складу та харчовій цінності, наведені технологічні схеми процесів виробництва швидко розварюваних круп у світі та в Україні, зміни біохімічних властивостей вівсяної крупи при гідротермічній обробці та вплив ГТО на біологічні показники при зберіганні круп. Розглянуті питання з вивчення різних методів сушіння варених круп, виділені основні їх недоліки, які викликають необхідність проведення досліджень, спрямованих на інтенсифікацію тепло-масообмінних процесів, що відбуваються під час сушіння. Розглянуті кінетичні закономірності процесу сушіння у завислому шарі.

У другому розділі наведено характеристику сировини, яка використовувалась при дослідженні, описане лабораторне обладнання для визначення кінетичних закономірностей процесу сушіння, методику експериментальних досліджень. Як об'єкт досліджень використали непропарену і пропарену вівсяну крупу з Новоукраїнського КХП. Під час проведення експериментів використовували комплекс сучасних фізико-хімічних, біохімічних, мікробіологічних методів дослідження. Результати експериментальних даних обробляли методами математичної статистики на ЕОМ.

Третій розділ присвячено експериментальному дослідженню кінетики сушіння вівсяної крупи у завислому шарі, гідродинамічному стану, гігроскопічним властивостям крупи та термодинамічним параметрам вологопереносу. Наведені досліди по вивченню рівноважного вологовмісту початкової вівсяної крупи при температурі 20⁰С, та варено-

сушеної крупи при температурах 0, 20, 40 °С та відносній вологості повітря $j=10-80\%$. За результатами експериментів побудовані ізо-Опрацювання ізотерм за методом Ликова і Ленгмюра дало можливість визначити зони мономолекулярного, полімолекулярного і капілярного прошарків вологи для вихідної та висушеної вівсяної крупи. У зоні рівноважного вологовмісту нижче 6,6 % видаляється волога мономолекулярного прошарку; 6,6-7,8 % - полімолекулярного прошарку; понад 7,8 % - капілярного прошарку (для температури 20 °С).

Визначені вперше термодинамічні властивості варено-сушеної вівсяної крупи (рис. 3-5): потенціал вологопереноса (хімічний потенціал m ; експериментальний потенціал переноса вологи q), вологоємність, термоградієнтний коефіцієнт (коефіцієнт $C_{\text{оре}}$). Хімічний потенціал за абсолютною величиною тотожний енергії зв'язку вологи. Характер залежності термоградієнтного коефіцієнта від вологості крупи показує форму зв'язку вологи з матеріалом, а також механізм переносу вологи у продукті.

З ціллю визначення раціонального режиму гідротермічної обробки вівсяної крупи, який дозволить отримати крупу швидкого приготування та знизити тривалість процесу сушіння досліджено вплив різних способів підготовки крупи на тривалість сушіння. У процесі дослідження змінювали режими зволоження (без зволоження, із зволоженням у воді $t=5-45$ °С через кожні 10 °С при тривалості 2, 12, 24 години та із зволоженням у 30 %-ому розчині NaCl при $t=35$ °С і тривалості 2 години), змінювали режими пропарювання (пропарювання при атмосферному тиску, надлишковому $P=0,15-0,3$ МПа через кожні 0,05 МПа та пропарювання із скиданням тиску від 0,35 до 0 МПа протягом 1-1,5 хв. Тривалість пропарювання змінювали від 5 до 90 хв через кожні 10 хв).

Зволоження крупи у розчині NaCl збільшує тривалість сушіння на 11 % у порівнянні із зволоженням у воді. Це пояснюється тим, що сіль утримує вологу. Із збільшенням тиску пари та часом впливу на крупу у процесі пропарювання тривалість сушіння зростає. Так, пропарювання при надлишковому тиску пари 0,2 МПа збільшує тривалість сушіння у 2 рази, а при тиску 0,25 МПа – у 2,2 рази (при однаковому часі дії пари – 30 хв).

Збільшення тривалості дії пари із 10 до 40 хв (при надлишковому тиску 0,2 МПа) призводить до зростання тривалості сушіння у 1,2 рази. Зростання тиску пари при пропарюванні у більшій мірі впливає на тривалість сушіння, ніж зростання часу дії пари на крупу. Пропарювання парою при атмосферному тиску знижує тривалість сушіння у порівнянні з пропарюванням із надлишковим тиском. Із збільшенням часу пропарювання при атмосферному тиску до визначеного моменту (40-60 хв) тривалість сушіння зменшується, а понад 60 хв – зростає. Все це можна пояснити клейстеризацією крохмалю. У результаті вивчення впливу попередньої обробки крупи на тривалість процесу сушіння встановили, що зволоження у воді $t=35$ °С протягом 2 годин із наступним пропарюванням парою при атмосферному тиску протягом 40 хв скорочують тривалість сушіння і дозволяють одержати вівсяну крупу, що швидко розварюється.

Визначена критична швидкість сушильного агента (V_{K1}), необхідна для переведення шару вівсяної крупи з нерухомого стану у завислий; швидкість сушильного агента (V_{K2}), забезпечуючого підтримання у крупі стану розвинутої стадії завислого шару; швидкість витання часток вівсяної крупи ($V_{\text{Вит}}$), при якій виникає стан пневмотранспорту (табл. 1).

Таблиця 1

Швидкість сушильного агента

Рейнольдса	$w^c, \%$	$d_{эКВ}, м$	$\rho, кг/м^3$	K_{ϕ}	Швидкість сушильного агента, м/с					Критерій	
					$V_{к1}$	$V_{к2}$	$V_{віт}$	$Re_{к1}$	$Re_{к2}$	$Re_{віт}$	Fe
8	0,004	1180	0,72	1,69	3,37	10,7	$0,45 \cdot 10^3$	$0,89 \cdot 10^3$	$2,86 \cdot 10^3$		
	163	$3,26 \cdot 10^6$									

Вплив початкового вологовмісту крупи на процес сушіння. Варену та пропарену вівсяну крупу з початковим вологовмістом від 25 до 270 % (через кожні 15 %) сушили у розвинутій стадії завислого шару зі швидкістю 3,4 м/с, первісним питомим навантаженням 60 кг/м^2 при однакових значеннях температури і потенціалу сушіння нагрітого повітря відповідно у межах $70-150 \text{ }^0\text{C}$ і $39-82 \text{ }^0\text{C}$. Це дослідження показало, що тривалість сушіння більш вологої крупи збільшується в більшій мірі за рахунок збільшення першого періоду сушіння. На початку процесу інтенсивність випарування вологи тим вище, чим вище початковий вологовміст крупи, так, при температурі сушильного агента $100 \text{ }^0\text{C}$ за 5 хв сушіння у зразку крупи з початковим вологовмістом 160 % інтенсивність випарування знизилася на 50 %, з початковим вологовмістом 60 % - на 22 %, з початковим вологовмістом 26 % - на 7 %. Подальше (глибоке) сушіння до кінцевого вологовмісту 2 % протікає з однаковою чи мало відмінною швидкістю випарування вологи.

Підвищення початкового вологовмісту крупи перед сушінням сприяє отриманню швидковідновлюваного продукту. При великому початковому вологовмісті у результаті випаровування вологи всередині зерен утворюється більше пари, зростає градієнт тиску та підвищується пористість продукту, однак, при вологовмісті вище 100 % у крупі збільшується вміст слизів, що ускладнює процес сушіння (частки злипаються й не зависають), хоча коефіцієнт набухання та час розварювання суттєво знижуються. При початковому вологовмісті вище 150 % крупа по формі нагадує пластівці.

Вплив швидкості повітря на процес сушіння. Визначення впливу швидкості повітря на процес сушіння проводили при постійних параметрах: $t_{с.вх}=120 \text{ }^0\text{C}$; потенціал сушіння $E_{ср}=67 \text{ }^0\text{C}$; початкове питоме навантаження – 20 кг/м^2 і охоплювали зони швидкостей повітря від 2,0 до 6,0 м/с. Швидкість повітря виявляє вплив на тривалість сушіння крупи лише у періоді постійної швидкості сушіння, а у періоді падаючої швидкості сушіння зменшення вологості матеріалу практично не залежить від швидкості повітря, що не впливає на переміщення вологи всередині крупи. Тому сушіння вівсяної крупи проводили при мінімальній швидкості повітря, що забезпечує розвинену стадію завислого шару – 3,4 м/с.

Вплив температури і потенціалу сушіння повітря на процес. Безперервний хаотичний рух матеріалу в процесі сушіння у завислому шарі вирівнює температуру нагрітого повітря і часток, виключає місцеві перегрівання. Тому можна застосовувати вищі температури сушильного агента. Із підвищенням температури й відповідно потенціалу сушіння скорочується тривалість процесу (табл.2). Досліди проводили при постійному питомому навантаженні 60 кг/м^2 , швидкості повітря 3,4 м/с.

Таблиця 2

$w^c_H - w^c_K$ Тривалість сушіння (t, хв)

$t_{вх}^{\circ C}$	80	90	100	110	120	130	140
$E_{ср}^{\circ C}$	42	49	55	59	67	76	80

Температура пари при пропарюванні - 100⁰С, експозиція – 40 хв

110-10	34,0	31,0	29,0	25,0	23,0	22,0	17,0
110-8	38,0	36,0	32,0	30,0	25,0	24,0	19,0
160-10	57,0	-	38,5	30,5	26,0	-	20,5
160-8	-	-	41,0	34,0	27,5	-	22,0
60-10	26,5	22,0	18,0	14,5	11,5	-	5,0
60-8	34,5	26,0	20,0	17,0	12,5	-	8,0

Визначення впливу питомого навантаження вівсяної крупи на процес сушіння проведено в діапазоні від 20 до 120 кг/м² при температурі сушильного агента 110 та 120⁰С при його постійній швидкості. Збільшення питомого навантаження крупи в 6 разів збільшує тривалість процесу сушіння в 2,5 рази. При навантаженнях 40-60 кг/м² та 80-120 кг/м² різниця у часі складає 2-4,5 хв (в залежності від кінцевого вологовмісту). Тому перевага даного способу сушіння полягає в тому, що ми можемо підвищити питоме навантаження у 10-12 разів (100-120 кг/м²) у порівнянні з паровими сушильними установками (із питомим навантаженням 8-10 кг/м²).

Нагрівання вівсяної крупи. Режим сушіння матеріалу визначається температурою, допустимою для його нагрівання. Вимір температури у центрі і на поверхні крупи проводили при постійному питомому навантаженні матеріалу 60 кг/м², масовій швидкості повітря 4 кг/м²Чс і температурах повітря на вході в сушильну камеру, постійних у кожному досліді: 85, 100, 120, 140⁰С.

З підвищенням температури сушильного агента зростає різниця між температурами центральних і поверхневих прошарків у процесі сушіння (рис.6-8).

Рис. 6. Залежність температури матеріалу від вологовмісту ($t_{с.а.}=140^{\circ C}$) Рис.7.

Залежність температури матеріалу від вологовмісту ($t_{с.а.}=100^{\circ C}$) Рис.8. Залежність температури матеріалу від вологовмісту ($t_{с.а.}=85^{\circ C}$)

Температуру крупи визначали всередині частки крупи (термопарами діаметром 0,18 мм) і на поверхні крупи (в момент зважування). На рис. 9 показана залежність середньої температури матеріалу від вологовмісту. Для збереження якості крупи температура нагрівання крупи не повинна перевищувати 68⁰С. Це може бути забезпечено при температурах сушильного агента до 110⁰С.

У результаті проведеного дослідження температури нагрівання крупи в розвинутій стадії завислого шару визначені значення і встановлена єдина залежність критерію Ребіндера від вологи, яка видалається, на всьому протязі обох періодів сушіння вівсяної крупи для температур 100-140⁰С:

$$Rb=0,186Чe^{-2,92Ч(U-U_p)}, s=\pm 0,0059; e=5,73 \%$$

Рис.9. Залежність середньооб'ємної температура-тури від вологовмісту крупи де Rb – критерій Ребіндера; c_{np} – наведена пи-тома теплоємність вівсяної крупи, кДж/(кгЧК);

\bar{g} – прихована питома теплота пароутворення, кДж/кг; $\frac{d\bar{t}}{d\bar{u}}$ – температурний коефіцієнт сушіння. Дане рівняння дозволяє розрахувати середню температуру матеріалу і встановити зв'язок між тепло- й вологообміном у процесі сушіння.

Для розрахунку тривалості процесу сушіння вівсяної крупи у киплячому шарі ми скористалися методом приведеної швидкості професора Г.К. Філоненка, який дозволяє виключити вплив параметрів сушильного агента й обмежитися фізико-хімічними властивостями матеріалу.

Загальне рівняння процесу сушіння має наступний вигляд:

$$\tau = \frac{1}{N} \left[(w_1 - w_k) + A \int_{w_2}^{w_k} \frac{dw}{(w - w_p)^m} + \beta (w_k - w_2) \right], \quad (1)$$

де N - швидкість постійного періоду сушіння, %/хв; w та w_p - відповідно початковий і рівноважний вологовміст, %; A і b - масообмінні коефіцієнти, характеризуючі переміщення вологи в процесі сушіння; m - показник ступеня, характеризуючий зв'язок вологи із матеріалом.

Завдяки математичній обробці експериментальних даних визначили залежності, які дозволили отримати усі члени рівняння (1) (табл. 3).

Таблиця 3

Математичні залежності

Швидкість постійного періоду сушіння (N) $N=2,2023+0,7745E_{cp}F/M_cU_Hnr$ ($d=\pm 0,37$; $e=7\%$)

Масообмінні коефіцієнти: A $A=403,77-2,7459E_{cp}/U_H$ ($d=\pm 6,81$; $e=5,127\%$)

b $b=0,0053E_{cp}/U_H-0,3096$ ($d=\pm 0,0357$; $e=4,185\%$)

Критичний вологовміст (w_k) $w_k=60-0,305E_{cp}/U_H$ ($d=\pm 0,4403$; $e=1,458\%$)

У четвертому розділі розглянуте питання визначення раціональної температури сушильного агента, наведені результати досліджень біохімічних, мікробіологічних, вільнорадикальних, споживчих характеристик сушеної вівсяної крупи.

Для отримання якісного продукту, комплексно дослідили вплив температурних режимів на показники якості крупи. Якість крупи характеризується багатьма параметрами оптимізації – споживчими, біохімічними, ферментативними, вільнорадикальними властивостями. Для одержання єдиного параметру скористалися узагальненою функцією Харрінгтона.

Отримали рівняння регресії для усіх параметрів оптимізації: $Y_i = j(t)$.

Y_1 – вміст білків, %; Y_2 – вміст водосолерозчинної фракції білків, %; Y_3 - вміст спирторозчинної фракції білків, %; Y_4 – вміст лугорозчинної фракції білків, %; Y_5 – вміст білкового залишку, %; Y_6 – вміст редукуючих сахарів, %; Y_7 – вміст сахарози, %; Y_8 – вміст крохмалю, %; Y_9 – вміст жиру, %; Y_{10} – кислотне число, мг КОН; Y_{11} – перекисне число, % йоду; Y_{12} – вміст вітаміну Е, мг%; Y_{13} – вміст вітаміну В₁, мг %; Y_{14} – вміст вітаміну В₂, мг%; Y_{15} – активність а-амілаз, мг/1млЧ1ч; Y_{16} – активність в-амілаз, мг/1млЧ1ч; Y_{17} – активність ліпаз, мг/г продукту; Y_{18} – активність супероксиддисмутази, о.е.; Y_{19} – вміст малонового діальдегіду, о.е.; Y_{20} – коефіцієнт набухання; Y_{21} – час розварювання, хв; Y_{22} – перетравлюваність білків, %.

Дослідження якісних характеристик вівсяної крупи.

Таблиця 4

Зміна біохімічних показників вівсяної крупи у процесі сушіння

Зразок %	Тривалість сушіння, хв.		Загальний азот, %		Небілковий азот, %		Редукуючі сахари %		Сахароза, %		% білків	
	Відсоток від загальної кількості білків	“Сирий” жир, %	Кислотне число, мг КОН	перекисне число, % йоду	Сахароза, %	Сахароза, %	Сахароза, %	Сахароза, %	Сахароза, %	Сахароза, %	Сахароза, %	Сахароза, %
ція	Луго-роз-чинна фрак-ція	Луго-роз-чинна фрак-ція	Водо-солерозчинна фрак-ція	Залишок, %	Водо-солерозчинна фрак-ція	Водо-солерозчинна фрак-ція	Водо-солерозчинна фрак-ція	Водо-солерозчинна фрак-ція	Водо-солерозчинна фрак-ція	Водо-солерозчинна фрак-ція	Водо-солерозчинна фрак-ція	Водо-солерозчинна фрак-ція
Не оброб	-	3,46	1,15	13,16	16,4	3,6	64,5	15,5	0,38	1,22	65,20	
	6,47	24,79	0,036									
проп.	-	3,45	1,21	12,77	11,6	1,5	63,2	23,7	0,88	0,71	62,23	6,15
	16,26	0,054										
Суш. 80 ⁰ С	30,0	3,45	1,19	12,88	15,8	3,3	63,6	17,3	0,79	0,82	63,73	
	6,22	20,19	0,070									
90 ⁰ С	25,0	3,46	1,19	12,94	16,2	3,8	59,0	21,0	0,69	0,85	63,61	6,29
	19,46	-										
100 ⁰ С	18,0	3,46	1,19	12,94	17,3	3,0	60,1	19,6	0,67	0,84	63,30	6,30
	18,58	0,064										
110 ⁰ С	14,0	3,46	1,17	13,05	16,9	3,5	57,8	21,8	0,70	0,83	63,10	6,37
	17,81	-										
120 ⁰ С	11,0	3,45	1,18	12,94	17,6	3,8	56,2	22,4	0,55	0,79	63,45	6,36
	17,78	-										
130 ⁰ С	9,0	3,44	1,18	12,88	16,3	3,1	55,4	25,2	0,51	0,72	62,63	6,30
	17,23	-										
140 ⁰	7,0	3,44	1,19	12,84	15,8	3,2	58,0	23,0	0,59	0,70	64,96	6,27
	17,08	0,064										

Дослідження біохімічних характеристик вівсяної крупи показало, що процентний склад основних компонентів практично не змінюється в процесі сушіння. Змінюються фізико-хімічні характеристики жиру і білків: знижується розчинність білкових фракцій, збільшується нерозчинний залишок білків. Олія зразка вівсяної крупи, що досліджувалася, характеризується високим кислотним числом, що вказує на кількість вільних жирних кислот в олії. У процесі сушіння відбувається зниження кислотного числа. Це можливо пояснюється переходом ненасичених жирних кислот під впливом високих температур у зв'язаний із білками й вуглеводами стан.

Пропарювання призводить до зниження вмісту крохмалю, що пояснюється частковою його декстринізацією під дією підвищеної температури у присутності вологи та зниженню вмісту “сирого” жиру (при високій вологості ліпіди взаємодіють з білками та вуглеводами й утворюють зв'язані форми, які важко виділити звичайними методами). При пропарюванні спостерігається найвища активність β -амілази (рис.10). Досліджено амінокислотний склад білків. Найменші втрати амінокислот – 1,22 % спостерігаються у крупі, висушеній при температурі сушильного агента 110⁰С. При температурах нижче 100⁰С та вище 120⁰С втрати амінокислот збільшуються. Визначена активність супероксиддисмутази (СОД) та продукту перекисного окислення ліпідів – малонового діальдегіду (МДА) (рис.12), найбільша активність СОД та найменший вміст МДА

спостерігається у зразку, висушеному при температурі 110⁰С. У цьому ж зразку найменші втрати вітаміну Е - антиоксиданту - 1,8 % та вітаміну В₂ - 5,9 %. Втрати вітаміну В₁ складають – 1,6 %.

Рис. 10. Зміна активності а- і b-амілаз до і після процесу сушіння
Рис. 11. Зміна активності а- і b-амілаз у процесі зберігання

Рис. 12. Зміни активності СОД та вмісту МДА

Визначені коефіцієнти набухання, відновлюваність і дана оцінка кулінарних властивостей вівсяної крупи (табл.5).

Таблиця 5

Порівняльна характеристика споживчих показників сушеної вівсяної крупи, отриманої різними способами (t_{c.a.}=100⁰С)

Зразок	Маса сушеної крупи, г			Маса крупи після зволоження, г			Відновлюваність (В), %		
	М ₁	М ₂	К	Колір	Кон-систенція	Час варіння, хв			
1	Завислий шар (зволож. у воді)			50	115,6	203,2	2,31	Кремовий	В'язка 15
2	Завислий шар (із скидан. тиску)			50	113,5	204	2,27	Світло-кремовий	В'язка 20
3	Завислий шар (зволож. у NaCl)			50	114,5	197	2,29	Світло-кремовий	В'язка 11
4	Нерухомий шар			50	93,6	184	1,87	Кремовий з корич-невим відтінком	В'язка 30

Із збільшенням температури сушильного агента й початкового вологовмісту коефіцієнт набухання збільшується. Це пов'язано з тим, що у процесі сушіння в киплячому шарі при підвищених температурах сушильного агента випарування відбувається не тільки із поверхні, але і усередині часток, тому крупа набуває пористої структури. Коефіцієнт набухання знижується з ростом тиску та часу впливу пари на крупу. Все це можна пояснити клейстеризацією крохмалю, він уплотнюється, тому у пори трудно поступає волога. Найкращою відновлюваністю володіють зразки крупи № 1, 2. Деяко гірша відновлюваність спостерігається у зразку № 3. Проте час варіння у зразку № 3 – 11 хв, у зразку № 2 – 20 хв, а у зразку № 1 - 15 хв.

Вищою перетравлюваністю володіє зразок, висушений при низькій температурі сушильного агента – 90⁰С – 82,4 %, а найнижчої - при температурі сушильного агента 130⁰С – 76,7 %. Це пов'язано із різною мірою денатурації білків.

Використовуючи узагальнену модель оцінки якості вівсяної крупи при сушінні в киплячому шарі, після усіх перетворень було отримано рівняння регресії для узагальненої

функції: $D = -0,5832 + 0,0234Ct - 0,000121Ct^2$ та визначені оптимальні значення чинника t, забезпечуючі найкращу якість крупи (найбільше значення узагальненої функції

D). Рациональна температура сушильного агента 99,7⁰С.

У п'ятому розділі наведена інженерна методика розрахунку сушильної установки у вигляді узагальненої структури і наборові блок-схем для розрахунку самостійних етапів - гідродинаміки шару; термодинамічних параметрів вологопереносу; кінетики процесу сушіння; розрахунку рациональної температури сушильного агента; теплового розрахунку сушильної установки; розрахунку елементів конструкції і розмірів робочої камери; розрахунок термосифонного теплоутилізатора й узагальненої структури розрахунку

економічної ефективності процесів одержання вівсяної крупи швидкого приготування, що впроваджуються. Коректність розрахунків по схемах підтверджена статистичною обробкою експериментальних даних із хорошою збіжністю результатів і відповідністю розрахункових параметрів експериментальним даним (точність не перевищує 12%).

В залежності від температурного стану при сушінні у завислому шарі може мати місце як зниження пористості (усадка продукту), так і збільшення пористості (збільшення об'єму продукту). Границею режимів є умови виникнення в капілярах продукту надлишкового тиску, обумовленого переходом від поверхневого випаровування до пароутворення в об'ємі продукту при інтенсивному теплопідведенні (табл. 6).

Вихідна крупа: довжина – 6,6 мм; ширина – 2,4 мм; товщина – 1,6 мм; об'єм – 25,34 мм³.

Дані таблиці 6 показують, що в процесі низькотемпературного сушіння (нижче 90 °С) об'єм крупинок знижується у порівнянні з об'ємом після пропарювання, а з підвищенням температури сушильного агента (вище 100 °С) – об'єм збільшується.

Таблиця 6

Зміна геометричних розмірів крупинок у процесі зволоження (2 години, $t=35^{\circ}\text{C}$), пропарювання ($t_{\text{пари}}=100^{\circ}\text{C}$; 40 хв) і сушіння

Зразок	довжина		ширина		товщина		Об'єм збільшення об'єму по віднош. до об'єму початкової крупи, %					
	мм	%	мм	%	мм	%	мм ³	%				
<u>Після зволоження</u> (контроль-початкова крупа)	+11,9	46,8	46,8				+0,2	3,03	+0,3	12,5	+0,5	31,3
<u>Після пропарювання</u> ($W^c=40\%$) (контроль-крупа після зволоження)	1,9	-0,10	4,8	-3,1	8,2	38,6			-0,1	1,5		-0,05
<u>Після сушіння 90 °С</u> (контроль-крупа після пропарювання)	-0,10	5,0	-0,75	2,2	36,4				+0,57	8,51	-0,15	5,7
<u>Після сушіння 100 °С</u>				+0,11	1,64	+0,13	4,90	+0,1	5,0	+3,94	11,5	50,1
<u>Після сушіння 110 °С</u>				+0,13	1,94	+0,17	6,4	+0,1	5,0	+4,56	13,3	52,0
<u>Після сушіння 130 °С</u>				+0,15	2,24	+0,28	10,6	+0,2	10,0	+7,77	22,8	61,4
<u>Після сушіння 166 °С</u>				+0,20	3,00	+0,35	13,2	+0,2	12,0	+9,62	28,2	66,8

На основі експериментальних досліджень наведений розрахунок сушильної установки завислого шару для вівсяної крупи з встановленням термосифонного утилізатора, розробленого в ОДАХТ на кафедрі процесів і апаратів, який дозволив знизити рівень енерговитрат на 16 %.

Розглянуто пропозиції щодо практичного застосування технології сушіння вівсяної крупи і результати її випробувань в умовах виробництва.

Пропонується спосіб отримання вівсяної крупи швидкого приготування, що включає очищення крупи, її зволоження у воді продовж 2 годин при температурі 35 °С до вологовмісту 50-55 %, пропарювання у середовищі насиченої пари при атмосферному тиску ($t_{\text{пари}}=100^{\circ}\text{C}$) до вологовмісту 60-65 %, сушіння в умовах інтенсивного теплопідведення у завислому шарі (температура сушильного агента 100 °С; швидкість

повітря 3,4 м/с; питоме навантаження матеріалу – 60 кг/м²). Спосіб пройшов випробування в умовах виробництва на Новоукраїнському комбінаті хлібопродуктів.
Рис. 13. Результати виробничих досліджень

Таблиця 7

Скорочення витрати пари та собівартості продукту

Варіант	Витрата пари (кг) на 1 кг випаруваної вологи	Собівартість 1 т крупи, грн.
Базовий	1,86 1142,53	
Без утилізатора	1,76 1104,53	
З утилізатором	1,32 952,11	

На заключному етапі роботи на підставі результатів виробничих впроваджень було розраховано економічний ефект від впровадження розробленого режиму, який підтвердив ефективність та доцільність рекомендованої технології сушіння вівсяної крупи. Необхідні капітальні вкладення в розмірі 231490,44 грн., ефективність їх вкладання складає 193783,21 грн, термін їхньої окупності 1,01 рік.

ВИСНОВКИ

Всі досліді щодо визначення технологічного регламенту сушіння проведені у порівнянні зі способом сушіння в нерухомому шарі, який використовується у промисловості сьогодні.

1. Визначено раціональний режим попередньої обробки вівсяної крупи, який дозволяє отримати крупу з хорошими споживчими властивостями при скороченні тривалості сушіння: зволоження крупи у воді протягом 2 годин при температурі 35⁰С до вологовмісту 50-55 % та пропарювання у середовищі насиченої пари при атмосферному тиску до вологовмісту 60-65 %.
2. Побудовані ізотерми сорбції варено-сушеної та не підданої обробці вівсяної крупи у широкому діапазоні змін відносної вологості повітря та температур. Визначені зони мономолекулярного, полімолекулярного та капілярного прошарків: у зоні рівноважного вологовмісту нижче 6,6 % видаляється волога мономолекулярного прошарку; 6,6-7,8 % - полімолекулярного прошарку; понад 7,8 % - капілярного прошарку (для температури 20⁰С).
3. Визначені термодинамічні параметри вологопереносу (ТПВ) варено-сушеної вівсяної крупи при різних температурах. Встановлені залежності ТПВ від рівноважного вологовмісту та температури.
4. Знайдені значення швидкостей повітря, при яких вівсяна крупа знаходиться у стані завислого шару: підймальна ($V_{к1}$) - 1,69 м/с, критична ($V_{к2}$) -3,37 м/с, витання ($V_{віт}$) -8,37м/с. Доцільно застосовувати мінімальну швидкість 3,4 м/с, що забезпечує розвинену стадію киплячого шару.
5. Для розрахунку тривалості сушіння вівсяної крупи до будь-якого вологовмісту за рівнянням (1) встановлено значення показника ступеня $m=1,5$, визначені залежності швидкості постійного періоду сушіння, критичного вологовмісту, масообмінних коефіцієнтів А і b (табл.3).
6. Підвищення температур сушильного агента з 70 до 150⁰С й відповідно потенціалу сушіння (із 39 до 82⁰С) інтенсифікує процес сушіння у 5,3 рази; з ростом питомого навантаження у 6 разів тривалість сушіння зростає у 2,5 рази.
7. Визначена єдина залежність критерію Ребіндера від вологовмісту матеріалу для

- температур 100-140 °С.
8. Визначені зміни об'єму крупинок в залежності від попередньої обробки та температурних режимів сушіння. У процесі низькотемпературного сушіння (90 °С) об'єм крупинок знижується на 2,2% у порівнянні з об'ємом після пропарювання, а з підвищенням температури сушильного агента - збільшується: при 100 °С на 11,5 %, при 110 °С - на 13,3 %, при 130 °С - на 22,8 %, при 160 °С - на 28,2 %.
 9. Досліджено біохімічні, мікробіологічні, споживчі показники вівсяної крупи при різних температурних режимах сушіння у завислому шарі і термінах збереження. Визначена інтенсивність вільнорадикальних процесів окислення, а також досліджено вплив попередньої обробки і сушіння у завислому шарі на амінокислотний, вітамінний, ферментний склад вівсяної крупи.
 10. Визначено раціональний режим сушіння: температура сушильного агента 99,7 °С, швидкість – 3,4 м/с, питома навантаження – 60 кг/м² на основі комплексного дослідження процесу сушіння, а також показників якості зразків вівсяної крупи, висушених при різних температурних режимах, яке було оброблено на ЕОМ з використанням моделі Харінгтона.
 11. Розроблено інженерну методику розрахунку сушильної установки завислого шару для вівсяної крупи, подану у вигляді узагальненої структури і набором блок-схем для розрахунку самостійних етапів. Запропоновано спосіб отримання вівсяної крупи швидкого приготування. На Новоукраїнському комбінаті хлібопродуктів проведені виробничі випробування запропонованого способу (акт від 21.06.2000), що підтверджують його доцільність. Проведений економічний розрахунок показує, що для впровадження даного способу необхідні капітальні вкладення в розмірі 231490,44 грн., ефективність їх вкладання складає 193783,21 грн, термін їхньої окупності 1,01 рік.

Список праць, опублікованих за темою дисертації:

1. Гришин М.О., Чабанова О.Б. Кінетика сушіння вівсяної крупи у завислому шарі //Наукові праці. - Одеса: ОДАХТ. – 1999. – Вип. 20. – С.56-60.
2. Гришин М.А, Чабанова О.Б. Расчет продолжительности сушки овсяной крупы во взвешенном слое //Холодильная техника и технология. – Одесса: ОГАХ. – 1999. Вып. 64 . – С. 104-108.
3. Чабанова О.Б. Влияние режимов сушки на потребительские свойства варено-сушеной овсяной крупы. //Холодильная техника и технология. – Одесса: ОГАХ. - 2000. Вып. 69. – С.102-106.
4. Чабанова О.Б., Крестинков І.С., Гришин М.О. Зміни біохімічних показників вівсяної крупи в процесі сушіння у взваженому шарі // Холодильная техника и технология. – Одесса: ОГАХ. - 2001. Вып. 70. – С. 36-38.
5. Гришин М.А., Чабанова О.Б. Равновесное влагосодержание и термодинамические параметры влагопереноса овсяной крупы в процессе сушки в кипящем слое. //Наукові праці. – Одеса: ОДАХТ. – 2001. – Вип. 21. – С.105-108.
6. Чабанова О.Б., Крестинков І.С., Гришин М.А. Изменение активности ферментов и содержание витаминов в процессе сушки и хранения варено-сушеной овсяной крупы //Наукові праці. – Одеса: ОДАХТ. – 2001. – Вип. 21. – С.121-123.
7. Станкевич Г.Н., Чабанова О.Б., Гришин М.А. Обобщенная модель качества овсяной крупы //Наукові праці. – Одеса: ОДАХТ. – 2002. – Вип. 24. – С. 294-297.

АНОТАЦІЯ

Чабанова О.Б. Сушіння вівсяної крупи у завислому шарі. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.18.12 – процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв. – Одеська державна академія харчових технологій. Одеса. 2002.

Дисертація присвячена питанням дослідження тепло- масообміну у процесі сушіння, впливу основних факторів на процес, гідродинамічного стану, рівноважного вологовмісту та термодинамічних параметрів вологопереносу, гідротермічної обробки, біохімічних, мікробіологічних, споживчих властивостей вівсяної крупи у процесі сушіння, активності ферментів, вільно-радикальних процесів при сушінні та при зберіганні крупи. Отримано математичний опис закономірностей кінетики сушіння вівсяної крупи. Розроблена інженерна методика розрахунку сушильної установки, розрахована сушильна установка завислого шару для вівсяної крупи продуктивністю 100 кг випаруваної вологи за годину. Пропонується спосіб отримання швидко розварюваної крупи. Промислова апробація підтвердила економічну ефективність результатів роботи.

Ключові слова: Сушіння, пропарювання, вівсяна крупа, що швидко розварюється, математичний опис кінетики, спосіб, біохімічні, мікробіологічні, споживчі властивості.

АННОТАЦІЯ

Чабанова О.Б. Сушка овсяной крупы во взвешенном слое. – Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.18.12 – процессы и оборудование пищевых, микробиологических и фармацевтических производств. – Одесская государственная академия пищевых технологий. Одесса, 2002.

Диссертация посвящена вопросам исследования тепло-массообмена в процессе сушки овсяной крупы во взвешенном слое, влияния основных факторов на процесс сушки, гидродинамического состояния, равновесного влагосодержания и термодинамических параметров влагопереноса, гидротермической обработки крупы, биохимическим, микробиологическим, потребительским свойствам, ферментативным активностям в процессе сушки и хранения овсяной крупы, интенсивности свободнорадикальных процессов. Установлен рациональный режим предварительной обработки овсяной крупы, позволяющий получить крупу с хорошими потребительскими свойствами и сниженным временем сушки. Построены изотермы сорбции и определены области мономолекулярного, полимолекулярного и капиллярного слоев влаги. Установлены зависимости термодинамических параметров влагопереноса от равновесного влагосодержания и температур для овсяной крупы, высушенной в кипящем слое. Определены изменения объема крупинок для разных режимов предварительной обработки и сушки крупы. Установлен рациональный режим сушки овсяной крупы во взвешенном слое: температура сушильного агента $99,7^{\circ}\text{C}$, скорость 3,4 м/с, удельная нагрузка материала – 60 кг/м^2 . Предложена рациональная технология сушки, проведена математическая обработка кинетики методом приведенной скорости сушки профессора Г.К.Филоненко. Разработана инженерная методика расчета сушильной установки, рассчитана сушильная установка взвешенного слоя для овсяной крупы производительностью 100 кг испаренной влаги в час. Подсчитан экономический эффект от внедрения разработанного способа получения быстроразвариваемой овсяной крупы.

Ключевые слова: Сушка, пропаривание, овсяная крупа быстроразвариваемая, математическое описание кинетики, режим, способ, биохимические, микробиологические, потребительские свойства.

ANNOTATION

Chabanova O.B. The drying process of oatmeal in the cavitation Layer. – Manuscript.

Thesis on competition of a scientific degree of the candidate of engineering science on a speciality 05.18.12 – processes and equipment for food, microbiological and pharmaceutical production. – Odessa state academy of food process engineerings. Odessa, 2002.

The dissertation is devoted to questions of research heat and mass changing in process drying oat of groats in the weighed layer, influence of major factors on process drying, hydrodynamical condition, equilibrium moisture maintain and thermodynamic parameters moisture transfer, hydrothermal processing of groats, biochemical, microbiological, consumer properties, activity of ferments in process drying and storage oat of groats, intensity of free - radical processes. The mode drying is developed, the mathematical processing kinetic by a method of the given speed dry of the professor G.K. Filonenko is carried out. The economic benefit of introduction of the developed technology of drying, allowing was counted up to receive fast boiling oat groats.

Key words: drying of oat groats, fast boiling oat groats, mathematical description kinetic, rational regime, method, biochemical, microbiological, consumer properties.

Підписано до друку 23.09.2002 р. Формат 60x90/16. Об'єм 1.0 умов.друк.арк.
Замовлення №445. Тираж 100 прим.

ОДАХТ, 65039, м. Одеса-39, вул. Канатна, 112