

5. Бурдо О.Г., Пищевые наноэнерготехнологии – Херсон, 2013 – 294с.
6. Бурдо О.Г. Механо-диффузионный эффект массопереноса при экстрагировании в электромагнитном поле /«Харчова наука і технологія», № 4, 2012р., с.53-57.
7. Бурдо О.Г., Калинин Л.Г. Прикладное моделирование процессов переноса в технологических системах. Одесса, 2008. – 348 с.

УДК 664.8.047:536.6

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПОПЕРЕДНЬОЇ ГІГРОТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ НА ТЕПЛОВІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ПАРЕНХІМНИХ ТКАНИН КАРТОПЛІ

Дмитренко Н.В., Іванов С.О., Декуша Л.В., канд. техн. наук, ст. н. співр.,  
Снежкін Ю.Ф., д-р техн. наук, професор  
Інститут технічної теплофізики НАН України, Київ

*У статті наведені результати експериментального дослідження впливу попередньої гігротермічної обробки на теплові характеристики та ефективність процесу конвективного сушіння паренхімних тканин картоплі. Показано, що попередня гігротермічна обробка тканин картоплі призвела до збільшення як їх теплоємності, так і теплоти випаровування з них вологи. Але, за тих самих інших умов, процес сушіння гігротермічно обробленої картоплі виявився більш оптимальним, судячи зі зменшення за абсолютною величиною критерію Ребіндера.*

*The article represents the results of a study of the influence preliminary hydrothermal treatment on thermal characteristics and efficiency of convective drying process of potato parenchyma. It is shown that the preliminary hydrothermal treatment of potato tissue caused an increase in their heat capacity and heat of vaporization of them moisture. But, under otherwise identical conditions, the drying process of treated potato was more optimal, judging by the decrease in the criterion Rebinde absolute value.*

Ключові слова: картопля, сушіння, гігротермічна обробка, теплоємність, теплота випаровування, критерій Ребіндера.

Сушіння вологої сировини є одним з найефективніших засобів її підготування до довгочасного зберігання та наступної переробки. Однією з можливостей збереження кольору, смаку, запаху, вітамінної активності рослин в процесі промислового сушіння є їх попереднє бланшування. Під час такої гігротермічної обробки відбуваються складні фізичні, фізико-хімічні, структурні та біохімічні перетворення: інактивуються ферменти, припиняються окисні процеси, клітини набухають, протоплазма коагулює і відстає від клітинних оболонок. Бланшування картоплі призводить, до того ж, до часткової або повної клейстеризації крохмалю паренхімних тканин. Все це, в свою чергу, здатне призвести до змін у співвідношенні вільної та зв'язаної води в рослинних тканинах [1] і, як наслідок, до змін в їх теплоємності і теплоті випаровування з них вологи. Оскільки ефективність процесу сушіння в кожний конкретний момент часу відслідковують за співвідношенням між теплою, яку витрачено на нагрів матеріалу, та теплою, яку витрачено на випаровування з нього вологи (за критерієм Ребіндера Rb), можна припустити, що застосована попередня обробка призведе до змін і в цьому оптимізаційному критерії.

Експериментальне дослідження впливу гігротермічної обробки паренхімних тканин картоплі на їх теплові характеристики та оптимізаційний критерій їх сушіння є основною метою роботи.

Спеціально для такого роду досліджень в ІТТФ НАН України було розроблено установку синхронного теплового аналізу ДМКИ-01 [2, 3] – диференціальний мікрокалориметр випаровування, що суміщує в собі можливості диференціальної мікрокалориметрії і термогравиметрії. Прилад дозволяє визначати питому теплоту випаровування вологи з таких речовин як харчові, фармацевтичні, лакофарбні матеріали, розчини і розчинники. Через конструктивні особливості його можна використовувати також для виміру їхньої теплоємності.

Для дослідження було використано зразки паренхімних тканин картоплі сорту «Дніпрянка» (селекція Інституту картоплярства НАН України) розмірами від 1x2x2 мм до 2x3x3 мм. Попередню обробку проводили шляхом нагрівання зразків в киплячій воді до моменту досягнення ними температури 95 °С. Підсушування зразків необробленої картоплі, для отримання необхідного спектру вологості при визначенні теплоємності, проводили в вакуумній шафі, щоб запобігти ферментативному потемненню.

Підсушування зразків бланшованої картоплі провадили конвективним способом при температурі теплоносія 60...70 °С.

Використання установки ДМКИ-01 для виміру першої важливої складової критерію Ребиндера – теплоємності – базується на традиційній схемі диференціального виміру теплових потоків, що виникають в двох різних комірках калориметру (робочої та порівняння) при їх нагріванні. Дослід проводився за стандартизованою методикою [4] з використанням методу покрокового сканування. При цьому весь досліджуваний температурний діапазон поділяють на інтервали, проводять покрокове підвищення температури в цих інтервалах та визначають кількість теплоти, яку було витрачено на нагрів зразка від початкової до кінцевої температури інтервалу. Температурою віднесення визначеної за результатами дослідження питомої теплоємності  $\epsilon$ , при цьому, середнє значення температури інтервалу. При визначенні теплоємності вологих зразків комірки калориметру додатково закривають ізолюючою мембраною для запобігання випаровування вологи під час досліду.

З результатів дослідів (рис. 1) бачимо, що залежність від температури питомої теплоємності сухих тканин картоплі має вигляд, що є характерним для теплоємності складних твердих тіл. З ростом температури докілька і енергії теплового впливу на речовину відбувається поступовий ріст питомої теплоємності з-за активації все нових та нових коливальних і обертальних ступенів свободи молекул і атомів складного тіла, яким є висохлі паренхімні тканини. При збільшенні вологості теплоємність тканин картоплі поступово наближується до теплоємності води (4,17...4,22 кДж/(кг\*К)).

Зауважу, що на залежностях для теплоємності не обробленої картоплі ми спостерігаємо пікове збільшення теплоємності для тканин з вологістю більше ніж 50%. Оскільки цей ендотермічний ефект з'являється після прогріву тканин до температури вищій ніж 60°C, ми пов'язали його з процесом клейстеризації крохмалю в достатньо зволжених тканинах картоплі. Цікавим є той факт, що пік знаходиться в діапазоні температур 60...90°C, а його максимум зі зменшенням вологості тканин зміщується в бік більш високих температур. Це дає можливість шляхом відповідного підбору технологічних параметрів провести сушіння необробленої картоплі без руйнування нативних структур її крохмалю.

Процес попереднього прогріву тканин у киплячій воді до температури 95°C призвів до змін в їх теплоємності (рис. 1) порівняно з теплоємністю тканин не підданих попередньої обробці. Оскільки теплоємність є структурно чутливою характеристикою, то ріст за абсолютною величиною теплоємності висохлих тканин бланшованої картоплі, порівняно з висохлими небланшованими, свідчить про руйнування нативних структур картоплі, та відповідне збільшення кількості коливальних та обертальних ступенів свободи її молекул. До того ж процес клейстеризації крохмалю призвів до збільшення в вологих тканинах картоплі кількості зв'язаної води [5], теплоємність якої більша ніж теплоємність вільної. Тобто застосована попередня обробка паренхімних тканин картоплі призвела до загального збільшення їх теплоємності: невеликого на початку сушіння та більш значного наприкінці, коли нівелюється вклад теплоємності вільної води в загальну теплоємність матеріалу.

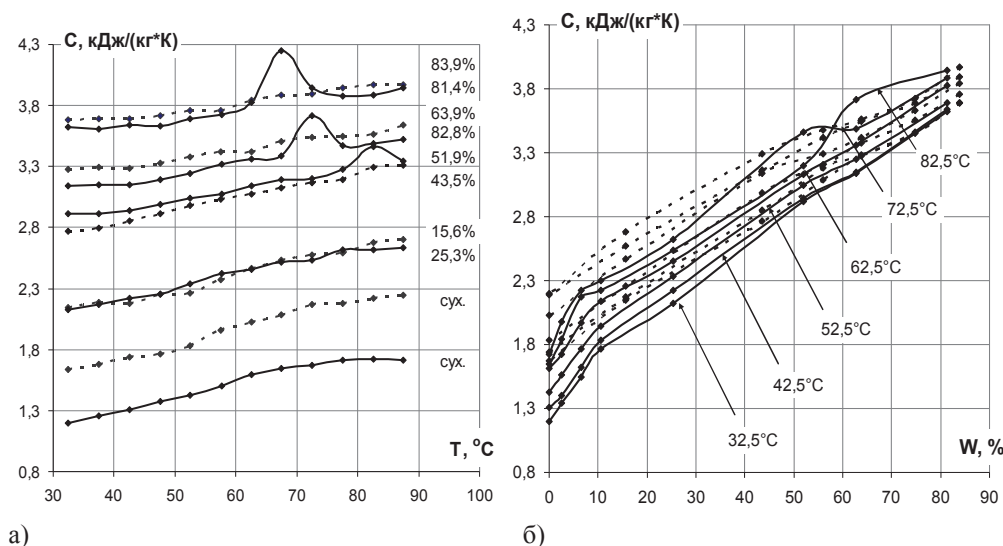


Рис. 1 – Залежність питомої теплоємності бланшованих (- - -) та не бланшованих (—) паренхімних тканин картоплі від температури при різній їх відносній вологості (а) та від відносній вологості при різній температурі (б).

Результати наведені на рисунку 1б свідчать, що питома теплоємність як бланшованої, так і не бланшованої картоплі загалом практично лінійно залежить як від температури, так і від вологості тканин в діапазоні температур  $t = 32,5 \dots 87,5^\circ\text{C}$  та відносної вологості  $W \geq 6,6\%$ . Це відповідає традиційним уявленням щодо характеру зміни теплоємності рослинних тканин [6]. В цьому діапазоні температур і вологості була проведена математична обробка експериментальних даних та, на підставі лінійної апроксимації, отримані формули, придатні для розрахунку теплоємності с картоплі не бланшованої:

$$c = 1,3301 + 0,0257 W + 0,0133 t - 9 \cdot 10^{-5} W t, \text{ кДж/кг}$$

та бланшованої:

$$c = 1,1013 + 0,0285 W + 0,0117 t - 7 \cdot 10^{-5} W t, \text{ кДж/кг}.$$

В області вологості нижчій ніж 6,6 % лінійний хід теплоємності картоплі порушується (рис. 1б) – для не бланшованих тканин значніше, ніж для бланшованих. Таке ж порушення закону адитивності було виявлено нами раніше при дослідженні теплоємності паренхімних тканин яблука [7] та пов'язано з фазовим переходом тканин низької вологості з твердого стану в еластичний через пластифікуючу дію малої кількості води на біополімери [8].

Для визначення другої важливої складової критерію Ребиндера – питомої теплоти випаровування, в ДМКИ-01 реалізовано метод безперервного виміру кількості теплоти, витраченої на випаровування вологи з матеріалу в процесі ізотермічної сушки, та одночасного безперервного виміру відповідного зменшення маси зразка. Поточні значення питомої теплоти випаровування вологи з матеріалу, при цьому, визначають за формулою:

$$r_i = \frac{\int_{\tau_i}^{\tau_{i+1}} q(\tau) d\tau}{m(\tau_i) - m(\tau_{i+1})} \quad (1),$$

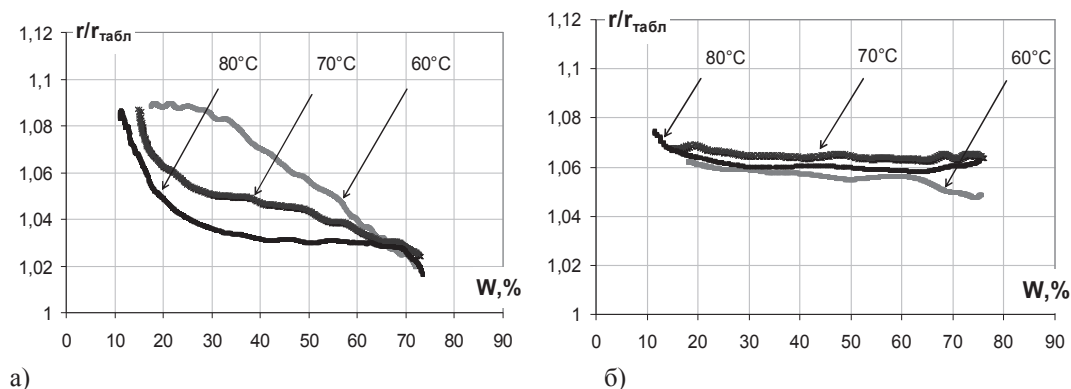
де  $q_i$  – питомі витрати теплоти на випаровування вологи за час сушки від  $t_i$  до  $t_{i+1}$ , кДж/кг;

$t_i$  та  $t_{i+1}$  – поточні моменти часу сушки, с;

$q(\tau)$  – диференціальний тепловий потік всередині робочої камери теплового блока ДМКИ-01 як функція часу, Дж/с;

$m(t_i)$  та  $m(t_{i+1})$  – маса зразка в моменти часу  $t_i$  та  $t_{i+1}$ , кг.

Сушіння сировини під час визначення питомої теплоти випаровування вологи проводили конвективним способом, всередині робочої камери теплового блока ДМКИ-01, при температурі теплоносія 60, 70 і 80 °С, його швидкості 0,4 см/с та вологовмісті 3 г/кг сухого повітря. Результати експериментів наведені на рисунку 2 в координатах залежності теплоти випаровування води зі зразків бланшованої та не бланшованої картоплі  $r$ , приведених до табличних значень  $r_{\text{таб}}$  теплоти випаровування чистої води [9], від відносної вологості  $W$ .



**Рис. 2 – Зміна приведеної питомої теплоти випаровування води з нативних (а) та попередньо бланшованих (б) паренхімних тканин картоплі при зменшенні їх відносної вологості під час сушки при різних температурах.**

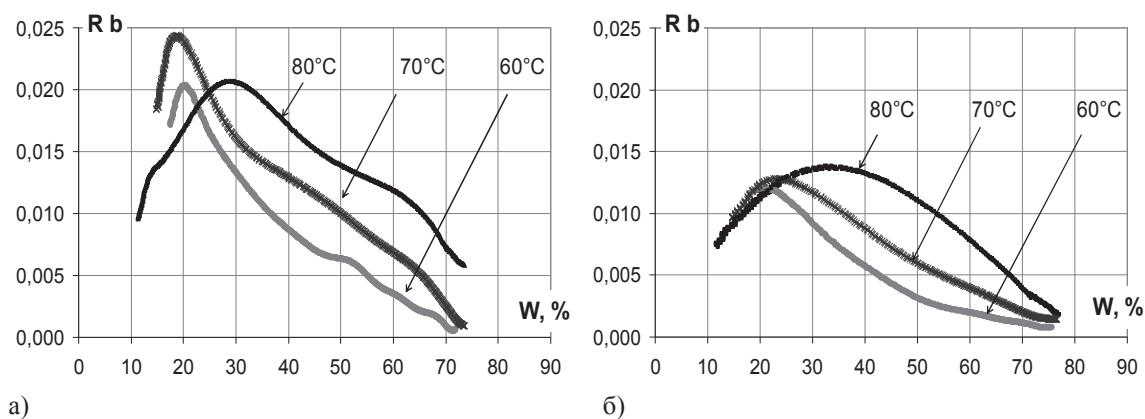
Як бачимо з рисунку 2, перевищення експериментально отриманої теплоти випаровування над

табличними значеннями для теплоти випаровування чистої води починається вже на ранніх етапах сушки і к моменту видалення гігроскопічної вологи може доходити до 9 %. Цій результат відрізняється від традиційних уявлень щодо залежності теплоти випаровування вологи з рослинних тканин від їх вологовмісту. Він свідчить про видалення зв'язаної вологи при сушінні рослинних тканин одночасно з вільною. Хоча традиційно вважається, що на протязі всього часу видалення вільної води кількість зв'язаної не змінюється, а істотне зростання енерговитрат на випаровування відбувається на заключному III етапі сушки рослинної сировини і обумовлено початком видалення гігроскопічної вологи.

Крім того, треба відзначити, що приведена питома теплота випаровування води з бланшованих паренхімних тканин картоплі для температур сушки 60, 70 і 80°C практично співпадає в межах похибки приладу ( $\leq 1\%$ ) (рис. 2б). Значення ж приведеної питомої теплоти випаровування води з нативних паренхімних тканин картоплі (рис. 2а) істотно відрізняються для різних температур сушки. Ми пов'язуємо це, перш за все, з реакціями ферментативного та не ферментативного браунінгу в тканинах картоплі, які призводять до загального збільшення витрат теплоти на сушіння, що фіксується ДМКИ-01 як збільшення витрат на зневоднення. Інтенсивність цих реакцій залежить від температури і в наших досліджах була максимальною при температурі сушки 60°C – потемнення зразків при цьому було досить значним. При зростанні температури сушки до 70°C паренхімні тканини картоплі змінили колір лише частково, а під час сушки при температурі 80°C зміни кольору зразків взагалі не відбулося. Тобто вплив реакцій ферментативного та не ферментативного браунінгу на витрати теплоти при зневодненні нативних тканин картоплі поступово зменшується зі зростанням температури, що і призводить до різниці в значеннях приведеної питомої теплоти випаровування води з нативних паренхімних тканин картоплі при різних температурах сушки.

При порівнянні ж витрат теплоти на випаровування вологи з бланшованих тканин картоплі із витратами теплоти на випаровування вологи з нативних тканин (рис. 2б та 2а) бачимо, що застосована попередня обробка призвела до загального збільшення цих витрат при температурах сушіння 70 і 80°C. Це явище є цілком закономірним, бо клейстеризація крохмалю під час бланшування призводить до збільшення кількості зв'язаної води в зразках картоплі [5], а її теплота випаровування, як і теплоємність, більша ніж у вільної.

На підставі експериментально отриманих даних щодо теплоємності попередньо оброблених та необроблених паренхімних тканин картоплі і теплоти випаровування з них вологи було вираховано критерій Ребиндера  $Rb$  оптимальності застосованого конвективного сушіння (рис. 3). Оскільки теплота випаровування за допомогою ДМКИ-01 може бути визначена лише після закінчення етапу попереднього прогріву зразків, зміну числа  $Rb$  під час сушки на рисунку 3 також представлено, починаючи з моменту закінчення попереднього прогріву зразків.



**Рис. 3 – Зміна числа  $Rb$  під час сушки при різних температурах паренхімних тканин картоплі нативної (а) та попередньо бланшованої (б) в залежності від зменшення їх відносної вологості**

З порівняння кривих, наведених рисунках 3а та 3б бачимо, що застосована гіротермічна обробка призвела до змін в оптимізаційному критерії сушки паренхімних тканин картоплі. Хоча після бланшування збільшились як теплоємність тканин, так і теплота випаровування з них вологи, але в різному ступеню, і в підсумку критерій  $Rb$  зменшився за абсолютною величиною. Це означає, що сушіння бланшованої картоплі є більш оптимальним за співвідношенням у витраті енергії на нагрів матеріалу к витратам на випаровування з нього вологи.

### Висновки

За допомогою розробленої в ІТТФ НАН України установки синхронного теплового аналізу ДМКИ-01 було експериментально досліджено теплоємність бланшованих та не бланшованих паренхімних тканин картоплі та питому теплоту випаровування з них вологи – теплові характеристики необхідні для визначення критерію Ребіндера ефективності їх сушки.

Отримані експериментальні результати показали, що процес прогріву тканин картоплі в киплячій воді до температури 95°C призвів до збільшення як теплоємності тканин, так і теплоти випаровування з них вологи. Причиною цього, очевидно, є збільшення кількості зв'язаної води в тканинах картоплі через клейстеризацію крохмалю тканин під час бланшування.

На підставі експериментально отриманих даних щодо теплоємності попередньо оброблених та необроблених паренхімних тканин картоплі і теплоті випаровування з них вологи було вираховано критерій Ребіндера  $R_b$  ефективності їх сушки. Результати розрахунку показали, що сушіння бланшованої картоплі є більш оптимальним за співвідношенням у витраті енергії на нагрів матеріалу к витратам на випаровування з нього вологи.

### Література

1. Михайлик В.А., Дмитренко Н.В., Михайлик Т.А. Влияние термического воздействия на состояние воды в растительных тканях // Промышленная теплотехника – 2007. – Т.29, №7. – С.212-217.
2. Патент України № 84075 МПК G01 N25/26, G01 N25/28 / Калориметричний пристрій для визначення питомої теплоти випаровування вологи і органічних рідин з матеріалів / Снежкін Ю.Ф., Декуша Л.В., Дубовікова Н.С., Грищенко Т.Г., Воробйов Л.Й., Боряк Л.А. – Заявка № а2006 13266 від 15.12.2006
3. Дубовікова Н.С., Снежкін Ю.Ф., Декуша Л.В., Воробьев Л.И. Теплотрический прибор синхронного термического анализа для определения удельной теплоты испарения // Промышленная теплотехника. – Киев, 2013, – Т. 35, № 2. – С. 87–95.
4. Пластмаси. Диференціальна сканувальна калориметрія. Частина 4. Визначення питомої теплоємності: ДСТУ ISO 11357-4:2010. – [Введено 2012-01-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2011. – 8 с.
5. Грабовська О.В., Парняков О.С., Михайлик В.А. Дослідження стану води в крохмальних суспензіях та клейстерах // Наукові праці ОНАХТ. – 2011. – Вип. 40, т.2. – С. 76-79.
6. Гинзбург А.С., Громов М.А. Теплофизические характеристики картофеля, овощей и плодов. – М.: Агропромиздат, 1987. – 272 с.
7. Михайлик В.А., Дмитренко Н.В., Снежкін Ю.Ф. Изменение удельной теплоемкости паренхимных тканей яблок при обезвоживании // Инженерно-физический журнал. – 2014. – Т.87, №1. – С. 45-50.
8. Бернштейн В.А., Егоров В.М. Дифференциальная сканирующая калориметрия в физикохимии полимеров. – Ленинград: Химия, 1990. – 256 с.
9. Александров А.А., Григорьев Б.А. Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара: справочник [рек. гос. службой стандартных справочных данных. ГСССД Р-776-98]. – М.: МЭИ, 1999. – 168 с.

УДК 631.417:547.992

## ОБГРУНТУВАННЯ МЕТОДІВ СТВОРЕННЯ МІНЕРАЛЬНО-ОРГАНІЧНИХ РЕЧОВИН НА БАЗІ ЛУГІВ ГУМАТІВ СОНЯШНИКОВОГО ПОПЕЛУ

Степанюк А.Р., канд. техн. наук, доцент, Борисенко Є.Ю., магістрант  
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ

*Розглянуто принципи та обгрунтовано методи створення мінерально-органічних речовин. Підібрано фізичну модель екстракції гуматів на базі лугів соняшникового попелу та бурого вугілля та торфу.*

*Principles and methods of producing the mineral-organic matter were considered and justified. Physical model of humates extraction based on the alkali of sunflower ash, brown coal and peat was chosen.*

Ключові слова: гумат, мінерально-органічне добриво, попіл, сульфат амонію.

При високому рівні агротехніки потрібно використовувати добрива, які відкривають можливості керування врожайністю, підвищення її в декілька разів, щоб вдосталь забезпечити потреби країни в