

ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕТИКИ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ГРУШ КОМБІНОВАНИМ ЕНЕРГОПІДВЕДЕННЯМ

Дубковецький І.В., канд. техн. наук, доцент, Малежик І.Ф., д-р техн. наук, професор,
Шевчук О.О., магістрант

Національний університет харчових технологій, м. Київ

Як відомо при конвективному висушуванні повітря є носієм теплоти від електрокалорифера до продукту, що є більш енергозатратним ніж при інфрачервоному при якому повітря не виконує функцію носія теплоти, а лише функцію відведення вологи. Нами запропоновано комбінувати два способи підведення теплоти при сушінні, що дозволить зменшити відносну вологість повітря, а отже збільшити рушійну силу процесу в порівнянні з інфрачервоним сушінням.

As is known in convective air drying is the carrier of heat from Electroheaters the product, which is more energy intensive than in the infrared where the air carrier does not perform the function of heat and moisture removal only feature. We suggest to combine the two methods of supplying heat drying, which will reduce the relative humidity, and thus increase the driving force of the process compared with infrared drying.

Ключові слова: сушіння, груші, комбінований метод, опромінення, енергозатрати, інфрачервоне сушіння.

Одним із перспективних продуктів для сушіння є груші. Сушені груші – це дуже цінний поживний продукт, але, на жаль, їх виробництво в нашій країні незначне через складність і тривалість промислового виробництва, яке потребує багато ручної праці та спеціальних умов висушування.

Мета нашої роботи полягала у розробці технологічного процесу виробництва сушених груш за допомогою різних методів сушіння. Перш за все, необхідно було встановити технологічні параметри та оптимальні режими процесу, при якому максимально зберігаються початкові смакові і поживні властивості вихідної сировини. Для сушених груш вирішальними показниками, які впливають на якісні показники готового продукту є вміст цукрів та показник кольоровості.

Попередня підготовка груш полягала у митті, різанні на кружальця товщиною 4...6 мм та бланшуванні у лимонній кислоті для попередження потемніння сировини. Сушіння груш відбувалось при температурах 40, 60, 80 і 100 °С комбінованим способом – з терморадіаційним і конвективним енергопідведенням. Далі перевіряли показник кольоровості, що відповідає за якість готової продукції, та визначали вміст цукрів.

Для порівняння далі при вибраній оптимальній температурі проводили сушіння груш окремо конвективним та інфрачервоним способами.

Груші дольками розміщували на сітчастий піддон, який вставляли в сушильну камеру. Опромінення здійснювалось зверху і знизу продукту трубчастими «темними» ІЧ-генераторами з довжиною хвиль 2,0...4,0 мкм., в імпульсному режимі нагрів-охолодження, при одночасному конвективному і ІЧ-енергопідведенні з рециркуляцією повітря. Нагрів протягом 30...60 секунд до досягнення граничної температури в камері, а охолодження вели протягом 120...180 с до досягнення заданої температури в камері. Величина опроміненості інфрачервоних тенів становила $E=8$ кВт/м². Відстань від інфрачервоних тенів до продукту становила 15 см. Одночасно з опроміненням здійснювали конвективне підведення теплоти від зовнішнього тону потужністю 1 кВт, з швидкістю руху теплоносія 6 м/с.

Побудовані за дослідними даними криві сушіння (рис. 1) характеризують зміну інтегрального вологовмісту w^c залежно від часу. З рисунка видно, що із зростанням температури теплоносія тривалість процесу сушіння скорочується на незначну величину для досягнення кінцевої величини вологовмісту $w^c = 25$ % (вологість $w = 20$ %). При одночасному підведенні конвективної теплоти і теплоти випромінювання ІЧ генераторами з рис. 1 не спостерігається першого періоду сушіння.

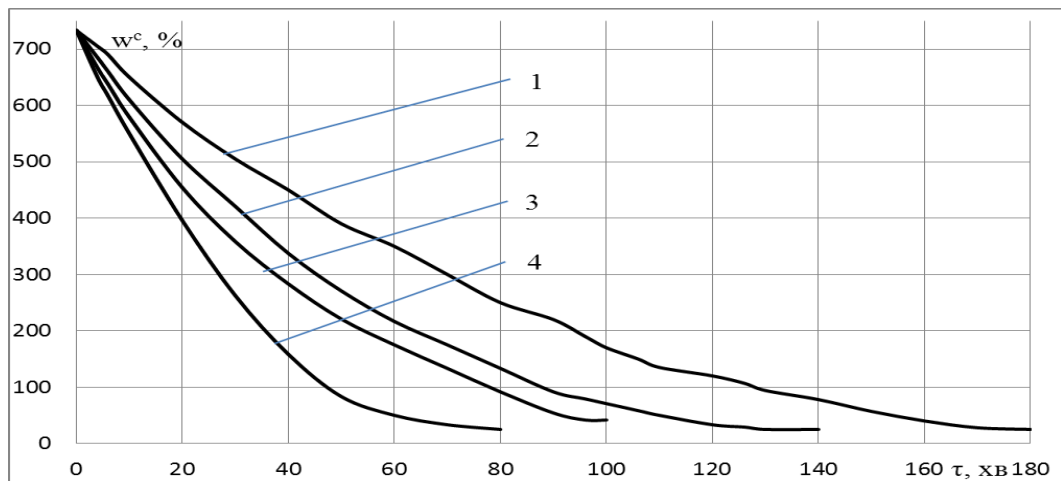


Рис. 1. Залежність зміни вологовмісту груш від температури та часу сушіння комбінованим способом при: 1 – 40 °C; 2 – 60 °C; 3 – 80 °C; 4 – 100 °C

Після сушіння при різних температурах визначали показник кольоровості у сушених грушах. Дані зображено на рис. 2.

Аналізуючи всі температури сушіння можна відмітити, що при 40 °C сушіння груш недоцільно проводити, оскільки температура невисока і процес потребує багато часу, тому температуру далі підвищували. При 60 °C процес проходить швидше, але теж тривало. При 80 °C процес займає менше часу, груші мають найсвітліше забарвлення, ніж у попередніх дослідах. При 100 °C процес сушіння проходить швидко, але якість груш дуже низька, оскільки відбувається побуріння груш внаслідок карамелізації цукрів.

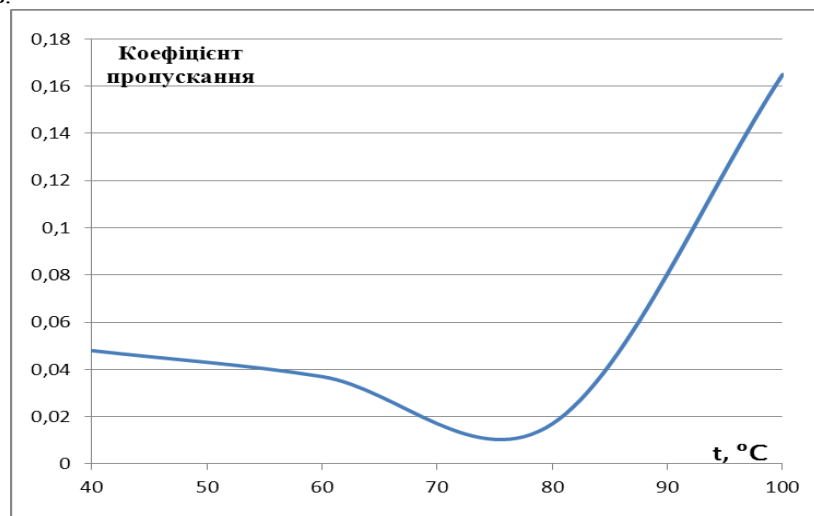


Рис. 2. Залежність показника кольоровості від температури сушильного агенту

Як видно з рис. 2, показник кольоровості при 80 °C має найнижче значення (0,017), що відповідає найкращій якості. Тому можемо робити висновок, що оптимальна температура для сушіння груш 80 °C.

При обраній оптимальній температурі 80 °C для порівняння проводили сушіння конвективним, інфрачервоним та комбінованим способами.

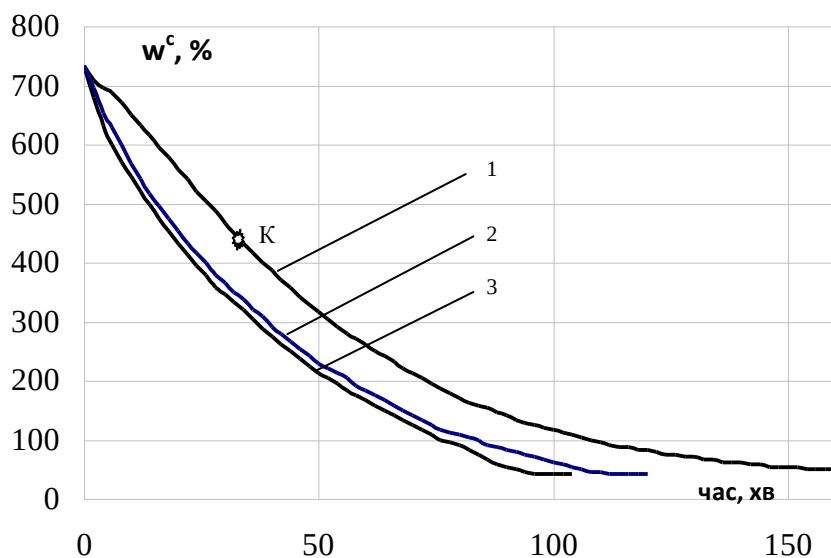


Рис. 3. Криві сушіння груш при 80 °С: 1 – конвективним способом; 2 – інфрачервоним; 3 – комбінованим.

З рис 3 видно, що при конвективному сушінні спостерігається перший період сушіння до точки К, апроксимуючи дані якого, вивели рівняння, що підпорядковуються лінійному закону – $W^c = -9,19\tau + 743,4$ при $R^2 = 0,99$.

Апроксимуючи другий період сушіння вивели рівняння:

1 – конвективним способом – $w^c = 754,8 e^{-0,18\tau}$ при $R^2 = 0,99$;

2 – інфрачервоним способом – $w^c = 767,38 e^{-0,025\tau}$ при $R^2 = 0,99$;

3 – комбінованим способом – $w^c = 795 e^{-0,028\tau}$ при $R^2 = 0,98$.

На рис 4. зображенні криві швидкості сушіння груш при температурі 80 °С.

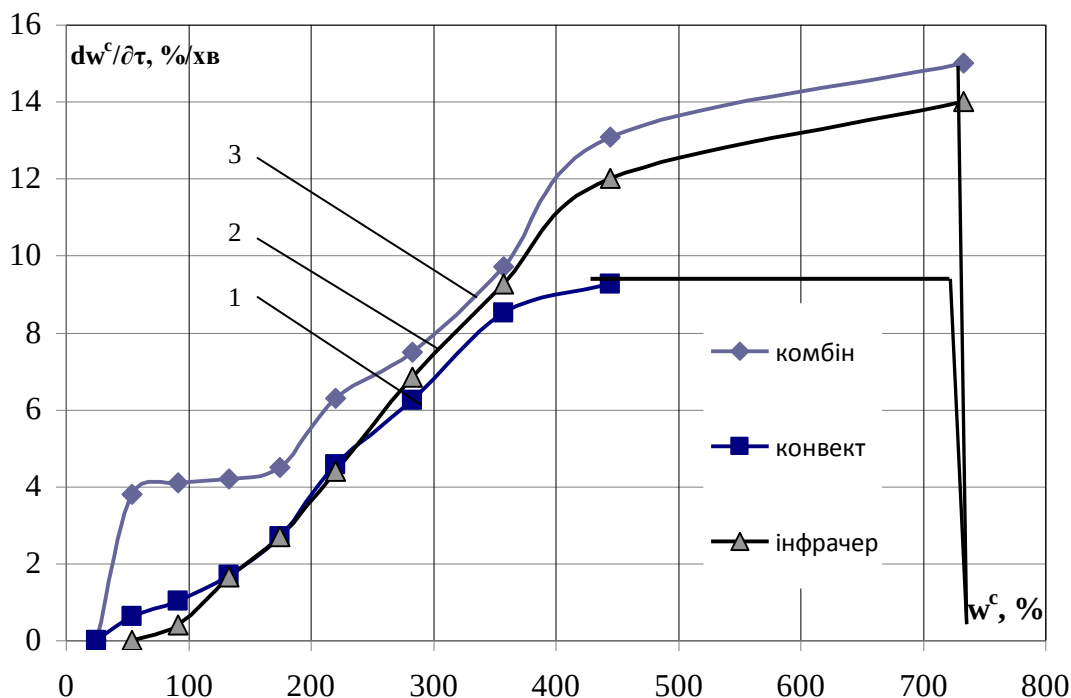


Рис. 4. Криві швидкості сушіння груш при 80 °С: 1 – конвективним способом; 2 – інфрачервоним; 3 – комбінованим.

Проаналізувавши другий період сушіння вивели апроксимаційні рівняння:

- 1 – конвективним способом – $dW^c/d\tau = -5 \cdot 10^{-7}W^2 + 0,0244W - 0,97$ при $R^2 = 0,97$;
- 2 – інфрачервоним способом – $dW^c/d\tau = -3 \cdot 10^{-5}W^2 + 0,0448W - 3,43$ при $R^2 = 0,98$;
- 3 – комбінованим способом – $dW^c/d\tau = -2 \cdot 10^{-5}W^2 + 0,0325W + 0,37$ при $R^2 = 0,95$;

Також порівнювали показник кольоровості (рис. 5) та вміст цукрів (рис. 6) при трьох способах сушіння.

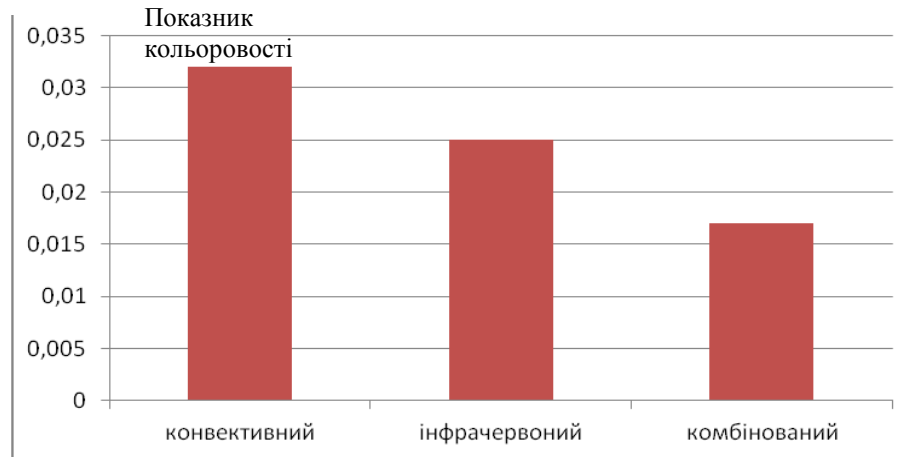


Рис. 4. Порівняльна характеристика кольоровості при різних способах сушіння.

З рис 4. найнижчий показник кольоровості при комбінованому способі сушіння, що свідчить про кращу якість продукту, ніж при конвективному та інфрачервоному способах.

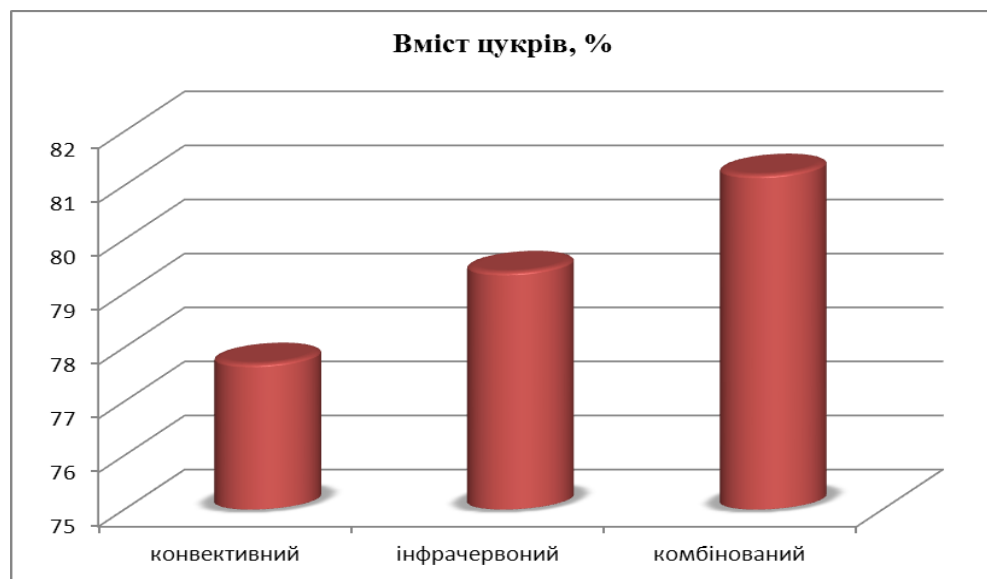


Рис. 5. Залежність вмісту цукрів залежно від способу сушіння.

З рис. 5 можна зробити висновок, що вміст цукрів найвищий одночасному підведенні конвективної теплоти і теплоти випромінювання ІЧ генератора (81,2 %). При інших методах сушіння, вміст цукрів незначно, але нижче ніж при комбінованому способі.

Проаналізувавши дослідні дані, можна сказати, що показники, які відповідають за якість сушених груш (кольоровість, вміст цукрів) мають найкращі значення при комбінованому способі сушіння. Отже, сушіння груш рекомендовано краще проводити при температурі 80 °C комбінованим способом, щоб скоротити тривалість процесу та отримати кращу якість готової продукції.

Встановлена залежність витрат енергії на кілограм готової продукції від температури теплоносія при комбінованому енергопідведенні (рис.6) і побудовано графік при оптимальній температурі різних методах енергопідведення (рис.7).

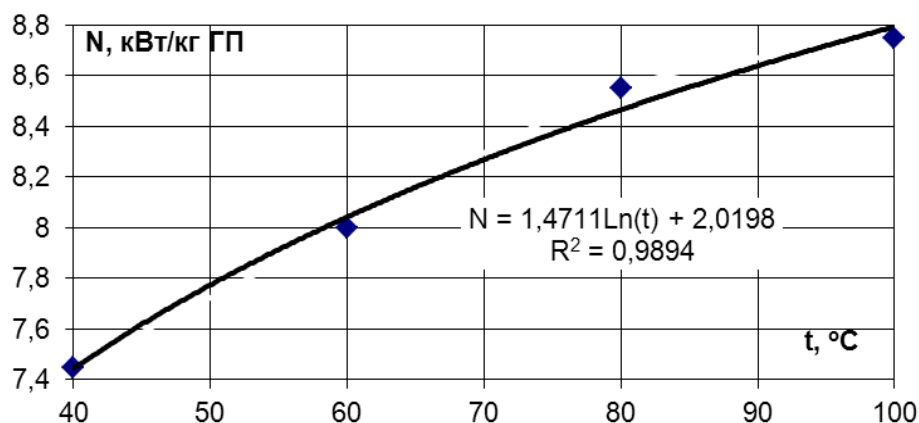


Рис. 6. Залежність витрат енергії від температури теплоносія при комбінованому енергопідведенні.

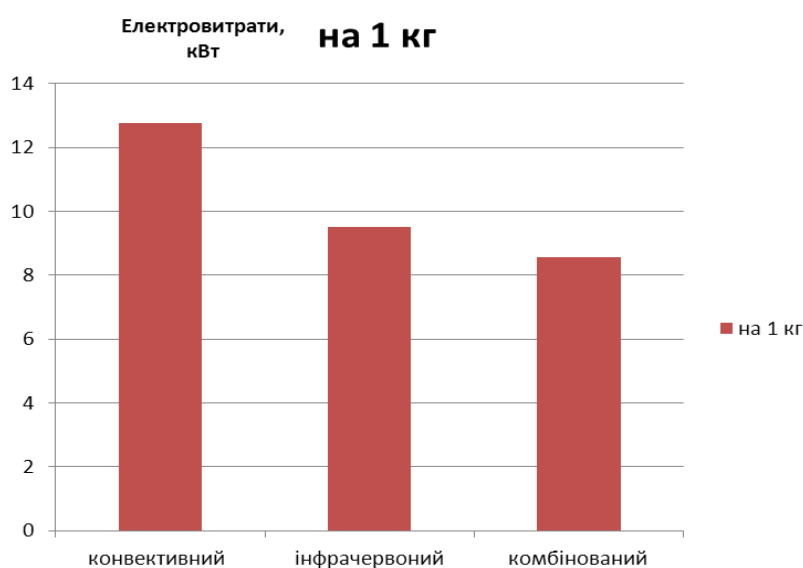


Рис. 7. Залежність витрат енергії при температурі теплоносія 80 °C різними методами енергопідведення.

Висновки

Дослідження забезпечують поліпшення якості готового продукту і підвищення теплової ефективності процесу сушіння за рахунок використання комбінованого енергопідведення з використанням ступеневого режиму радіаційно-конвективного сушіння груші, зниження енерговитрат на отримання готового продукту при інтенсифікації процесу сушіння.

Література

1. Красников В.В. Кондуктивная сушка. – М.: Энергия, 1973. – 228 с.
2. Лебедев П.Д. Сушка инфракрасными лучами. М. – Л.: Госэнергоиздат, 1955.
3. Лабораторный практикум по курсу общей технологии бродильных производств. Великая Е. И., Суходол В. Ф. Издательство: Легкая и пищевая промышленность. 1983, ст.157.