

допустимых пределах [2]. На рис. 1 представлены данные микронизации зерна при различных уровнях ИК-излучения, что позволяет выбрать: уровень ИК-излучения, и допустимую температуру за регистрируемое время облучения.

Было установлено, что ИК-облучению зерна имеют место две стадии теплопереноса:

Обогрев зерна за счет глубины проникновения ИК-излучения в зерно и прогревом и прогревом за счет теплопроводности. По видимому оптимальной температурой для зерна в этих процессах следует считать температуру перед началом второго периода.

Влаготепловая обработка комбикорма насыщенным паром.

Исследования процесса проводили при следующих режимах температура пара (100-120) °С; удельная подача теплоносителя – (0,02-0,16) кг. пара/кг. ; разовая загрузка комбикорма 7,5 кг [3];

продолжительность обработки – (2-4) мин. В опытах использовался комбикорм – К-5-25-2-1 РОС режима, который обеспечивает достаточный обеззараживающий эффект (т.е. для производительности 36 кг/г).

Были получены и подвергнуты анализу термограммы и кривые увлажнения комбикорма. (рис. 2), как следует из термограммы, в начальный период обработки наблюдается быстрый рост температуры комбикорма (называемый период прогрева). Начало периода прогрева соответствует температуре исходного продукта, а окончание – точка перегиба на температурной кривой – температуре насыщенного (около 100 °С). Быстрый прогрев комбикорма объясняется высокими значениями коэффициентов теплообмена при конденсации пара. Пар конденсируется на поверхности частиц, поскольку температура их ниже температуры насыщения. Коэффициент теплоотдачи при конденсации водяного пара атмосферного давления достигает величины от $a = 7 \cdot 10^3 - 12 \cdot 10^3$ Вт/Вт/(м² • град) при пленочной характере конденсации, что в 15-20 раз выше коэффициента теплопередачи воздуха зерну.

При обработке комбикорма паром происходит не только его нагрев, но и увлажнение. Установлено, что количество влаги, образуемого за счет конденсации пара в период прогрева комбикорма, связано с его температурой нагрев. Повышение температуры на (12-13) °С связано с увеличением дополнительно увлажнения комбикорма примерно на 1 %.

Анализ увлажнения, рис. 2, показывает рост влагосодержания комбикорма с увеличением продолжительности прогрева.

Выбор параметров теплоносителя производился из условия исключения ухудшения качества питательных веществ комбикорма из-за перегрева, т.е. ограничения по температуре нагрева корма (не более 110 °С). Прогрев зерна перегретым паром в кипящем слое после прогрева его ИК—излучением используется для удаления его кожуры.

Выводы

Представлены технологии и технические параметры микронизации и тепловой обработки комбикормов.

Литература

1. Ромалийский В.С., Карташов С.Г. Способы обеззараживания комбикормов СБ. научных трудов ВНИИМЖ, том 16, часть 3, Подольск 2006 г., С. 64-66.
2. НП. Черняев. Производство комбикормов. М.ВО. Агропромиздат. 1989г. 224 с.
3. Клычев Е.М., Тихомиров Д.А., Карташов С.Г., Мансуров А.Д. Кинетические характеристики обработки комбикорма перегретым паром. Техника в сельском хозяйстве. 2006 г., № 2, С. 78-81.

УДК 663.1:66.047.3.085

ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕТИКИ СУШІННЯ НЕРУХОМОГО ШАРУ ЗЕРНА В ЕЛЕКТРОМАГНІТНОМУ ПОЛІ

**Бурдо О.Г., д-р. техн. наук., професор, Яровий І.І., аспірант, Ружицька Н.В., інженер
Одеська національна академія харчових технологій**

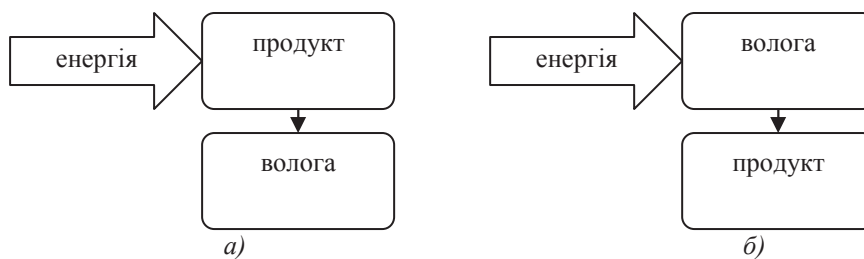
Наведено результати експериментальних досліджень кінетики сушіння нерухомого шару зерна в НВЧ- та ІЧ- полі.

The results of experimental research of kinetics of drying wheat grain in static bed under microwave and IR radiation has been discussed.

Ключові слова: зерно пшениці, сушіння, мікрохвильове поле, ІЧ-сушіння.

Вступ. Суша частина для більшості рослинної сировини є радіо прозорою. Механізм сушіння під дією імпульсного електромагнітного поля (ІЕМП) полягає в тому, що електромагнітне випромінювання певної довжини хвилі активно поглинається водою в продукті, а сухі речовини безпосередньо від проміння не нагріваються [1].

Розглянутий механізм пояснюється схемою (рис.1).



а) традиційне сушіння; б) ІЕМ-сушіння

Рис. 1 – Схеми підведення енергії

Зрозуміло, що за схемою (рис. 1) нагріта волога віддає частину енергії сухій частині продукту, але значно менше, ніж при конвективному сушінні. Тому створення ІЕМ-сушарок [1, 2] є актуальною проблемою.

Постановка завдань дослідження. Визначити вплив потужності ІЕМП, виду ІЕМП та питомої маси продукту на кінетику сушіння, визначити тривалість обробки та температурні характеристики продукту.

Методика досліджень та експериментальний стенд.

Для проведення досліджень розроблено експериментальний стенд, який складається із сушильної камери та електронних ваг. Температура зернової маси визначалась за допомогою пірометра «Термозонд Л» та цифрового термометра «DAN-1000». Камера обладнана НВЧ- та ІЧ-генераторами енергії.

Дослідження кінетики сушіння нерухомого шару зерна у мікрохвильовому полі. В досліді визначались залежності поточної вологості продукту та температури від питомої маси зерна та потужності ІЕМП.

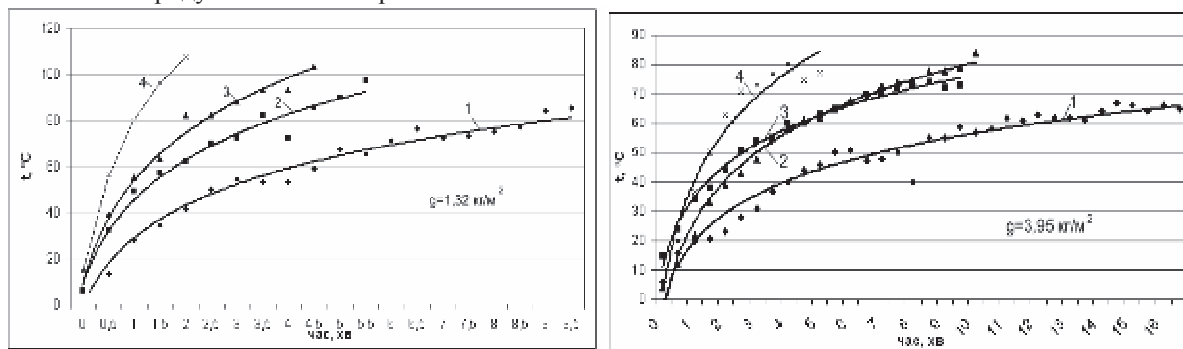
У камері розташовували зерно питомою масою 1...5 кг/м². Фіксувалась тривалість обробки, температура та маса зерна під час обробки. Досліди проведено на зерні пшениці в нерухомому шарі.

Питома маса матеріалу (g) показує масу (m) продукту на одиницю поверхні обробки (F): $g = \frac{m}{F}$.

Сушіння вели до кінцевої вологості зерна 14,5 %. Частота хвиль НВЧ-поля складала 2450 МГц.

Результати експериментального моделювання сушіння в мікрохвильовому полі.

Термограми сушіння (рис. 2) свідчать, що для використаного типу магнетрона є суттєві резерви для збільшення продуктивності камери.



Потужність поля (Вт): 1–240; 2–400; 3–560; 4–800

Рис. 2 – Термограми сушіння зерна

При цьому лише у випадку використання режиму роботи магнетрона з потужністю 240 Вт та при питомій масі 3,95 кг/м² температура продукту не перевищувала граничного значення, що рекомендується [3, 4] на рівні 60 °С.

Лінії процесу сушіння для дослідів з використанням потужності магнетрона 240 Вт наведено на рис. 3, а зміна швидкості сушіння – на рис. 4.

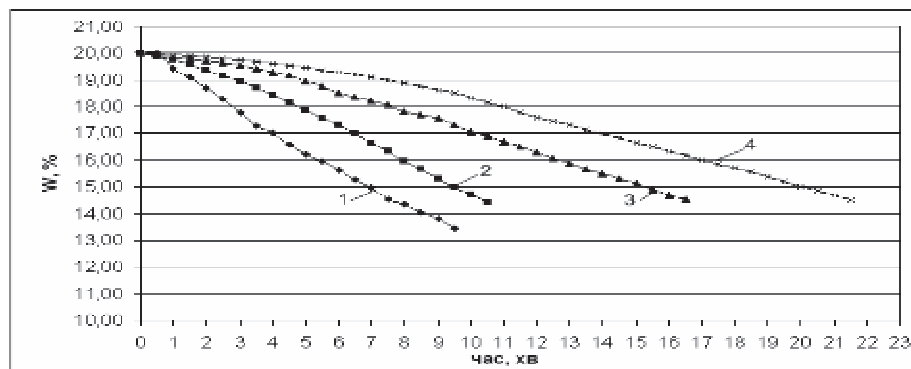


Рис. 3 – Лінії процесу сушіння пшениці в мікрохвильовому полі при значеннях g: 1 – 1,32 кг/м²; 2 – 2,63 кг/м²; 3 – 3,95 кг/м²; 4 – 5,26 кг/м²

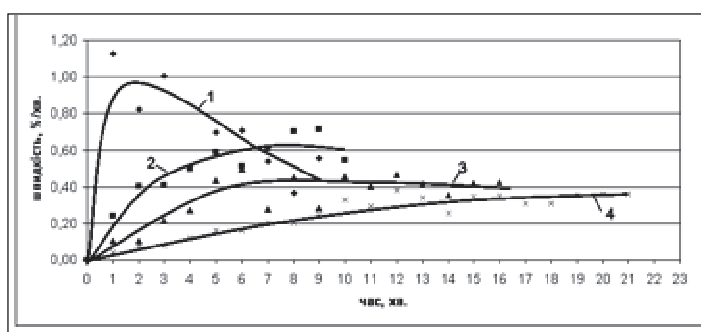


Рис. 4 – Зміна швидкості сушіння при потужності мікрохвильового поля 240 Вт

Як видно з рис. 3 та 4, видалення вологи починається вже на першій хвилині обробки. Зростання швидкості сушіння до максимальних значень 1,1...0,5 %/хв (відповідно до значень питомої маси продукту) відбувається під час видалення вільної вологи. Інтенсивне видалення вологи при досить низьких температурах пояснюється безпосередньою дією мікрохвиль на вологу як на поверхні, так і всередині зернини.

Резерви по інтенсифікації процесів сушіння пшениці визначаються з аналізу ліній швидкостей зневоднення (рис. 5)

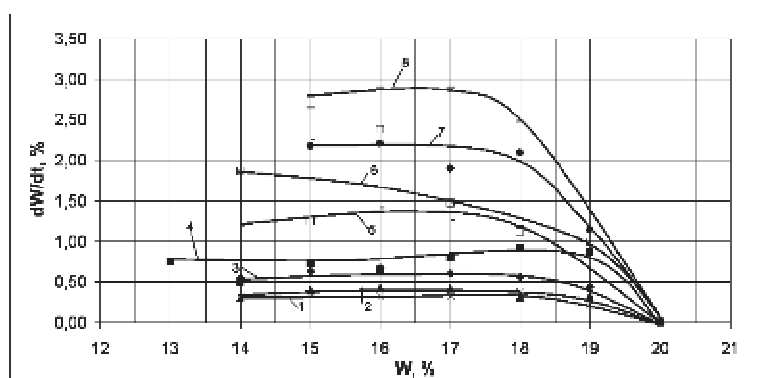


Рис. 5 – Лінії швидкості сушіння пшениці в мікрохвильовому полі

N	g, кг/м ²	N, Вт
1	1,32	240
2	2,63	240
3	3,95	240
4	5,26	240
5	1,32	800
6	2,63	800
7	3,95	800
8	5,26	800

Аналіз показує, що при проектуванні поточних установок слід вирішувати складну оптимізаційну задачу з узгодження параметрів N, g та економічних показників сушарки. Так, при використанні повної потужності НВЧ збільшення g в 4 рази приводить до зниження швидкості сушіння в 2,5 рази, а при використанні 240 Вт потужності – в 4,5 рази (рис. 6).

Дослідження кінетики сушіння в інфрачервоному полі.

Термограми та лінії ІЧ-сушіння наведено на рис. 7.

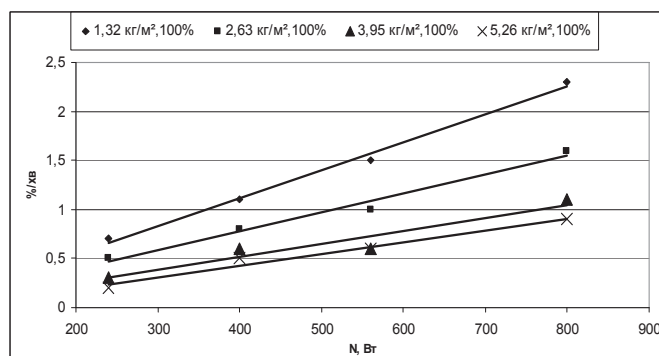
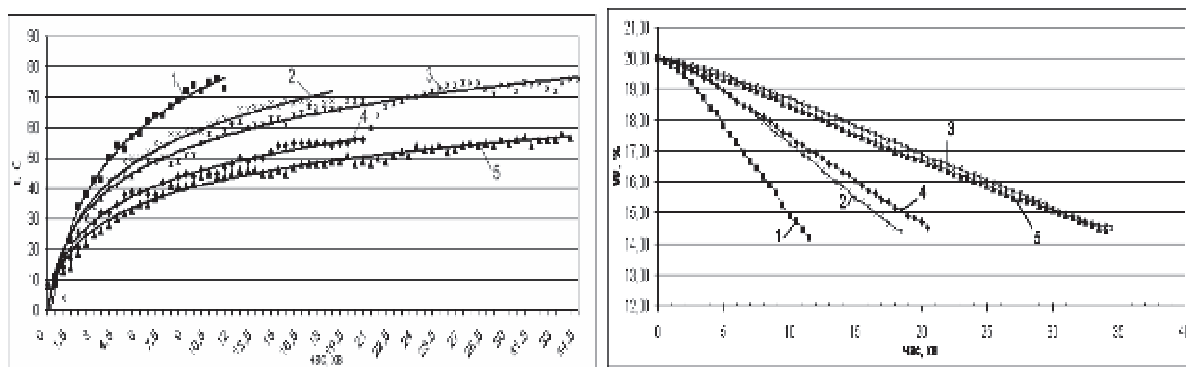


Рис. 6 – Узгодження параметрів N та g



а) 1) – $N = 935 \text{ Вт}$, $g = 1,32 \text{ кг/м}^2$; 2) – $N = 935 \text{ Вт}$, $g = 2,63 \text{ кг/м}^2$; 3) – $N = 935 \text{ Вт}$, $g = 3,95 \text{ кг/м}^2$;
 б) 4) – $N = 550 \text{ Вт}$, $g = 1,32 \text{ кг/м}^2$; 5) – $N = 550 \text{ Вт}$, $g = 2,63 \text{ кг/м}^2$.

Рис. 7 – Термограми (а) та лінії (б) ІЧ-сушіння зерна пшениці при різних значеннях g та N

Як видно з термограм при ІЧ-обробці зерна його температура росте повільніше, ніж при НВЧ-сушінні при тих самих значеннях питомої маси продукту. При цьому швидкість сушіння менша, ніж при НВЧ-обробці, що можна пояснити дією енергії переважно на поверхневий шар продукту. Порівняння швидкості НВЧ- та ІЧ-сушіння наведено на рис. 8.

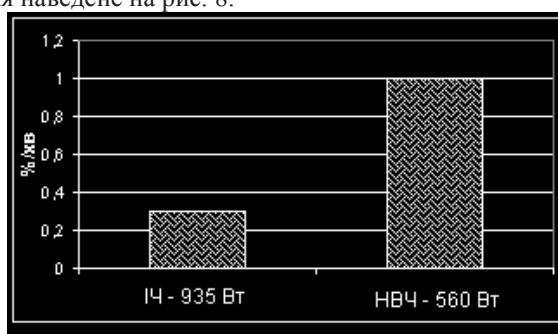


Рис. 8 – Порівняння швидкості НВЧ- та ІЧ-сушіння для зерна пшениці питомою масою 2,63 кг/м²

Висновки

Для сушіння зерна доцільно узгоджувати режими НВЧ-обробки з питомою масою продукту. Критерієм узгодження має бути величина перегріву продукту. Можливе комбінування НВЧ- та ІЧ-обробки. Результати дослідів плануються використати при розробці сушарок [1] нового покоління.

Література

1. Бурдо О.Г. Еволюція сушильних установок. – Одеса: «Полиграф», 2010. – 368 с.

2. Пат. 28889 Україна, МПК F26B 7/100. Спосіб сушіння термолабільних дисперсних матеріалів/ Бурдо О.Г., Казмірук Ю.О. Опубл. 25.12.2007.
3. Сушка пищевых растительных материалов Г.К. Филоненко, М.А. Гришин и др. – М.: «Пищевая промышленность», 1971. – 440 с.
4. Станкевич Г.М., Страхова Т.В., Атаназевич В.І. Сушіння зерна: Підручник. – К.: Либідь, 1997. – 352 с.

УДК 631.563.2

ОПТИМИЗАЦИЯ СТРУКТУРЫ ПОТОКОВ ГАЗА И ТЕПЛОТЫ В ШАХТНЫХ ЗЕРНОСУШИЛКАХ

Андреанов Н.М., д-р техн. наук, профессор, Дубков А.М.
Новгородский государственный университет им. Ярослава Мудрого,
г. Великий Новгород, Россия

Исследуется равномерность распределения потоков газа и теплоты в сушильном пространстве шахтных зерносушилок. Предложен метод выравнивания условий сушки и охлаждения зерна, позволяющий повысить интенсивность и качество процесса.

The uniform distribution of gas and heat streams in the mine grain dryers are researched. The method of uniform distribution the conditions of drying and cooling the grain which increase the intensity and quality of the process is offered.

Ключевые слова: Зерносушилки шахтные, система распределения газа, равномерность сушки

В шахтных сушилках не обеспечиваются равномерные условия сушки и охлаждения зерна, в результате чего разброс температуры зерна в нижнем горизонтальном сечении камеры сушки достигает $\Delta t_3 = 4 - 22$ °С, его влажности – $\Delta W = 4 - 5$ %, что превышает агротехнические требования.

Одной из причин этого является неравномерное распределение газа и теплоты в зерновом слое. Экспериментально подтверждено, что вдоль распределительных коробов поле расходов газа неравномерное [1, 5]. Наибольших значений скорости газа достигают в начале и конце короба, наименьших в его центральной части. Кратность изменения скорости газа вдоль короба $V_{\max}/V_{\min} = 1,3 - 1,8$.

Экспериментальные исследования поля скорости газа выполнили в сушильном пространстве шахтной сушилки серии С. Установлено, что влажность W и скорость перемещения зерна V_3 влияют на абсолютные значения скорости газа в зерновом слое. При изменении влажности W от 30 до 14% скорость газа уменьшается в 1,08–1,19 раза [1], а при изменении скорости зерна V_3 от 8 до 0 мм/с скорость газа уменьшается в 1,07–1,21 раза (рис. 1). Их совокупное влияние приводит к изменению скорости в 1,19–1,25 раза. Культура зерна существенного влияния на скорость газа не оказывает [1].

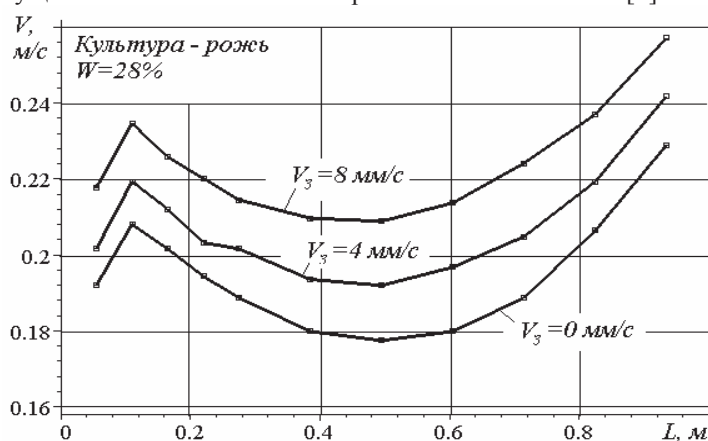


Рис. 1 – Изменение абсолютных значений скорости газа в зерновом слое вдоль распределительного короба в зависимости от скорости перемещения зернового слоя по камере сушки