

УДК 664.3.66.047.35

**Ле Чан Бинь, ИНТЕНСИФИКАЦИЯ
Ю. П. Луцик, СУШКИ ХЛЕБНЫХ СУХАРЕЙ
А. Ф. Буляндра,
Н. А. Захарченко**

Сушка хлеба является одним из наиболее распространенных методов его консервирования. При сушке хлеб влажностью 46—49 % к общей массе превращается в сухарь влажностью 10—11 %, пригодный для длительного хранения [1]. На большинстве хлебопекарных заводов сдобные и хлебные сухари сушат в хлебопекарных печах. В зависимости от сорта сухарей продолжительность сушки составляет шесть-семь часов.

Пром. теплотехника, 1985, т. 7, № 2

Инфракрасный (ИК) нагрев хлебобулочных изделий, как уже подтверждено практикой [2—4], существенно интенсифицирует процесс сушки. Поэтому значительный интерес представляют исследования кинетики ИК-сушки сухарных заготовок, расположенных горизонтально и под различными углами к облучению. Генератор ИК-излучения должен выбираться с учетом терморadiационных характеристик материала, поскольку большинство связнодисперсных пищевых продуктов обладает четко выраженной селективностью поглощения. Анализ терморadiационных свойств мучных полуфабрикатов [5, 6] и

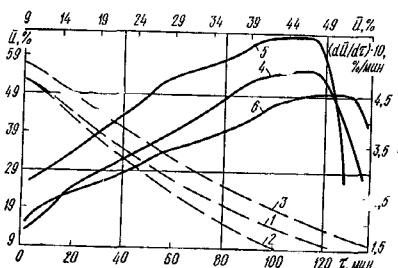


Рис. 1. Кривые сушки (штриховые линии) и скорости сушки (сплошные) хлебных сухарных плит. 1, 4 — $E=2900$; 2, 5 — 4250 ; 3, 6 — 3700 Вт/м²

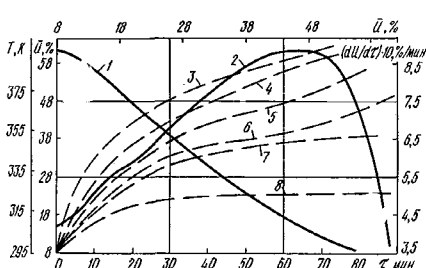


Рис. 2. Кривые сушки (1); скорости сушки (2); температуры в слоях на расстояниях 1, 3, 6, 10 мм от поверхности ломтика (3, 4, 5, 6); воздуха в сушильной камере (7); мокрого термометра (8). $E=6360$ Вт/м²

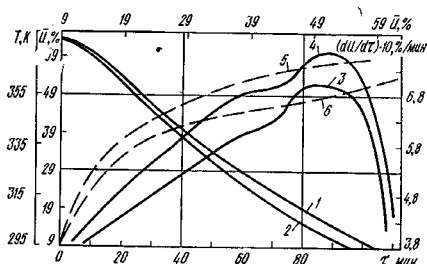
спектральных характеристик хлебобулочных изделий [2, 4] показал, что в диапазоне ИК-спектра от 0,75 до 5,0 мкм зависимости отражательной R_λ и пропускательной T_λ способностей от длины волны λ практически одинаковы. Оптические свойства мучных изделий в значительной мере определяются содержанием влаги и толщиной образца. Наиболее сильное поглощение ИК-излучения при $\lambda=3$ мкм объясняется тем, что при $\lambda=2,92$ мкм находится основная валентная полоса колебаний группы ОН. Наличие ее в структуре молекул пищевых продуктов приводит к появлению интенсивных полос поглощения вблизи длин волн, характерных для воды [6]. В области ИК-спектра $\lambda>2$ мкм максимум излучения «темных» ИК-генераторов приходится на диапазон длин волн от 2,5 до 4,0 мкм, для которого характерна наибольшая поглощательная способность хлебной сухарной плиты.

Хлебные сухари сушились «темными» электронагревателями типа ТЭН при одно- и двухстороннем симметричном энергоподводе и естественной циркуляции воздуха в сушильной камере. В установке можно изменять интенсивность облучения исследуемого объекта. ИК-сушке предшествовал процесс выстойки хлеба длительностью от одних до двух суток. Это позволяло получать образцы с различной начальной влажностью. Пробы для определения начальной влажности отбирались в различных местах хлеба (совместно с коркой, кроме горбушек). Начальное и конечное влагосодержания определялись методом высушивания при температуре 378 К до постоянной массы с предварительным измельчением проб образцов согласно ГОСТу 7698-66. Начальное влагосодержание $\bar{U}_n$ ломтиков хлеба составляло 52,0 ... 65,0 %. Толщина ломтей $\delta=20$ мм стандартная. Суммарная плотность теплового потока при двухстороннем симметричном облучении изменялась от 2900 до 6600 Вт/м².

Результаты исследований ИК-сушки ломтей хлеба, расположенных горизонтально на сетке, представлены на рис. 1 и 2. Видно (кривые 1, 2), что с увеличением облученности E от 2900 до 4250 Вт/м² при одинаковом начальном влагосодержании $\bar{U}_n=52,5$ % продолжительность сушки до достижения конечного стандартного влагосодержания

$\bar{U}_k = 10\%$ сокращается от 120 до 98 мин или на 20 %. При изменении начального влагосодержания от 52,5 до 57,0 % длительность сушки возрастает от 100 до 140 мин (кривые 1 и 3). Установлено, что такое сравнительно сильное влияние начального влагосодержания наблюдается при мягких режимах сушки, при которых $E \leq 4500$ Вт/м². При жестких режимах начальное влагосодержание хлеба оказывает меньшее влияние на продолжительность процесса, чем облученность (рис. 2). Так, продолжительность сушки при облученности 6360 Вт/м² для ломтей хлеба с $\bar{U}_n = 61\%$ сокращается более, чем на 45 % по сравнению

Рис. 3. Кривые сушки (1); скорости сушки при наклоне ломтиков под углом 45° (3); то же под углом 75° (2, 4); температуры в слоях на расстоянии 3 и 10 мм от поверхности при угле наклона 45° (5, 6). $E = 6360$ Вт/м²



с продолжительностью сушки в опыте, представленном на рис. 1 кривыми 3, 6. Это, по-видимому, объясняется тем, что при большей облученности происходит интенсивное поглощение ИК-излучения и, следовательно, интенсивный прогрев по всему объему ломтей, что обеспечивает высокую скорость сушки.

Качество готовых сухарей определялось органолептически. Сравним качественные показатели сухарей, полученных в опытах. При сушке ломтей из хлеба выстоянного (рис. 1, кривая 1) получились сухари без окраски с равномерной просушкой, без трещин, однако сухари оказались хрупкими. В этом опыте хлеб выстаивался двое суток, режим сушки был мягкий ($E = 2900$ Вт/м² и $\bar{U}_n = 52,5\%$) и сушка продолжалась 2 ч. Температура в слое на глубине 6 мм от поверхности и в центре (10 мм от поверхности) ломтя к концу процесса равнялась соответственно 351 и 340 К. Сушка сухарных заготовок, выстоянных одни сутки (рис. 2, кривая 1), велась в более жестком режиме. Температура на глубине 1 мм от поверхности к концу опыта (при достижении $\bar{U}_k = 10\%$) равнялась 399 К (кривая 3). На поверхности ломтей возле корок имелась чуть заметная окраска, с обеих сторон и по сечению просушка ломтей равномерная, вкус нормальный, сухари прочные. Из этих результатов следует, что время выстойки хлеба не должно превышать 1,5 суток.

Исследована кинетика ИК-сушки ломтей хлеба из пшеничной обойной муки, расположенных под углами 45° ... 75° к направлению облучения. В опытах изменялись облученность и начальное влагосодержание. В качестве примера на рис. 3 представлены результаты опытов для углов 45° и 75° при одинаковых значениях $\bar{U}_n$. Из сравнения кривых 1 и 2 следует, что продолжительность сушки различна. Это можно объяснить тем, что с увеличением угла наклона при сохранении расстояния от излучателей возрастает облученность верхней поверхности ломтей. При этом абсолютные скорости сушки (кривая 4) оказываются значительно выше, чем для угла наклона 45° (кривая 3). Укажем, что качество сухарей, полученных при угле 45°, значительно выше, чем сухарей, полученных при угле 75°. У них нет окраски корки и мякиша, что для данного сорта сухарей требуется по ГОСТу, по сечению и всей поверхности сухаря просушка равномерная.

Из кривых скорости сушки ломтей хлеба из пшеничной обойной муки следует, что процесс протекает, в основном, в периоде падающей скорости. Из рис. 1 (кривые 4, 5) видно, что при одинаковом $\bar{U}_n$ аб-

абсолютные скорости сушки возрастают с увеличением облученности. Отметим, что на рис. 1 кривые 3 и 6 относятся к сушке ломтей из хлеба, выстоянного 15 ч после выпечки. Из этих кривых следует, что длительность выстойки, а значит, и происходящее при этом черствение хлеба, существенно влияет на скорость и продолжительность сушки. Снижение скорости сушки начинается приблизительно при одном и том же значении влагосодержания $\bar{U} \approx 42\%$.

При ИК-сушке большую роль играет развитие температурных полей. Из рис. 2 (кривые 3—6) видно, что в начале сушки наблюдается резкий рост температуры. Это естественно, так как в стадии прогрева влажный продукт интенсивно поглощает ИК-излучение и скорость прогрева достигает 283 К/мин; градиент температур на участке между поверхностью и центром образца составляет 280 К/см. В дальнейшем рост температуры замедляется, что объясняется ростом расхода теплоты на фазовые превращения влаги в продукте. Кроме того, удаление влаги в процессе сушки приводит к уменьшению поглощательной способности ломтиков.

Исследование ИК-сушки хлеба при облученностях, превышающих 6360 Вт/м², показали, что качество готового продукта не соответствует ГОСТу. Увеличение облученности всего до 6600 Вт/м² вызывает подгорание поверхности ломтей и появление множества микротрещин. Это связано с большими перепадами температуры и влагосодержания, которые возникают при таком жестком режиме.

При комбинированной конвективно-радиационной сушке хлеба целесообразно ИК-энергоподвод применять при достижении продуктом влагосодержания 29—25 %, которому соответствует вторая точка перегиба на кривой скорости сушки и следующее за ней более резкое снижение скорости сушки. За счет проникновения ИК-излучения в толщу продукта температура нижних слоев возрастает и зона испарения влаги углубляется. Это приводит к интенсификации процесса при низкой влажности, так как при $\bar{U} \leq 25\%$ влага более прочно связана с продуктом и для ее удаления необходима большая энергия, чем в начале сушки.

SUMMARY. The kinetics of bread slice drying for the preparation of dried crusts from wheat flour with 95-96 % extraction is investigated using infra-red heating. It is found that drying period depends on irradiance, initial moisture content as well as on the way of bread slice location.

1. Гинзбург А. С. Сушка пищевых продуктов.— М.: Пищепромиздат, 1960.— 684 с.
2. Буляндра А. Ф., Таранов И. Т., Острик А. С. Сушка мучных изделий.— Киев: Техника, 1977.— 160 с.
3. Сушка измельченного хлеба инфракрасным излучением / Н. М. Галин, В. В. Красников, С. Г. Ильясов, Ю. М. Плаксин.— Хлебопекар. и кондитер. пром-сть, 1976, № 7, с. 25—26.
4. Интенсификация сушки сдобных сухарей / Ю. П. Луцик, А. С. Вдовиченко, А. Ф. Буляндра, И. А. Сысоев.— М.: ВНИИТЭпищепром, 1982, № 3, с. 85—89.
5. Лисовенко А. Т., Михелев А. А. Исследование проникновения инфракрасных лучей в некоторые капиллярно-пористые тела.— М.: ЦИНТИпищепром, 1962, № 3, с. 3—6.
6. Ильясов С. Г., Красников В. В. Физические основы инфракрасного облучения пищевых продуктов.— М.: Пищ. пром-сть, 1978.— 360 с.

КТИПП, Киев

Получено 26.03.84