

**Ле Чан Бинь,  
Ю. П. Луцки,  
Б. И. Вербицкий,  
А. Ф. Буляндра**

**О КИНЕТИКЕ СУШКИ  
СУХАРНЫХ ПЛИТ «ТЕМНЫМИ»  
ИК-ИЗЛУЧАТЕЛЯМИ**

Сушка сдобных сухарей проводится в хлебопекарных печах различных типов с температурой греющих поверхностей 150—220 °С продолжительностью 18—35 мин [1, 2].

В литературе имеются сведения о сушке сухарных плит отдельных наименований сухарей «светлыми» инфракрасными (ИК) излучателями [3—6]. С целью создания промышленного образца сушилки ИК-излучателями необходимо разработать оптимальные режимы сушки для каждого конкретного наименования сухарей, что требует дополнительных исследований. Кроме того, представляет интерес изучение процесса сушки сдобных сухарей «темными» ИК-излучателями, которые хорошо себя зарекомендовали в промышленности.

Приготовление сухарных плит осуществляется по индивидуальной рецептуре, включающей различные компоненты (сорт муки, сахар, соль, жиры, дрожжи, поташ, горчицу и др.), которые по-разному поглощают и отдают в процессе сушки влагу. Различна также их термоустойчивость, что в конечном счете требует создания для каждого наименования сухарей своих режимов сушки.

Существует мнение [1], что для сушки сдобных сухарей целесообразно применять комбинированный режим ИК-нагрева: вначале процесс сушки осуществлять «светлыми», а к концу его «темными» ИК-излучателями. Использование «темных» ИК-генераторов позволяет достичь поверхностной окраски сухарей от золотистой до светло-коричневой, что является важным качественным показателем готового продукта.

Эффективное использование ИК-нагревателей для сушки влажных сухарных плит возможно, если спектральные характеристики промышленных ИК-генераторов согласуются с терморadiационными свойствами объекта сушки. Для исследования терморadiационных характеристик пищевых продуктов использована ранее созданная на кафед-

ре физики КТИПП специальная установка [7], основанная на методе зеркальной полусферы. При этом определялись спектральные отражательная  $R_\lambda$  и пропускательная  $T_\lambda$  способности ИК-излучения сухарных плит в диапазоне длин волн 0,7—5,0 мкм, поскольку на этот интервал длин волн приходится 90 % энергии «светлых» и «темных» ИК-излучателей [8].

Исследования проводились при различных влагосодержаниях и толщинах образцов сухарных плит, для которых спектры отражения и пропускания качественно подобны между собой. Как установлено нами и авторами работ [9, 10], зависимости  $R_\lambda=f(\lambda)$  для сухарных

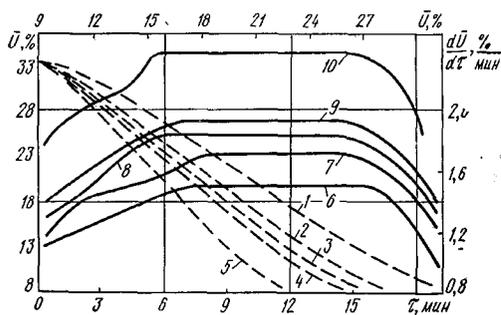


Рис. 1. Кривые сушки  $\bar{u}(\tau)$  (штриховые линии) и скорости сушки  $du/dt$  (сплошные) сухарных плит при их толщине  $\delta=15$  мм: 1, 6 —  $E=5600$ ; 2, 7 — 6400; 3, 8 — 7400; 4, 9 — 8200; 5, 10 — 9400 Вт/м<sup>2</sup>

плит сухарей «Украинские» и «Горчичные» имеют сложный характер. Так, изменение влагосодержания образцов оказывает влияние на величины  $R_\lambda$  только в коротковолновой области ИК-спектра и незначительно влияет в длинноволновой области. Наибольшая отражательная способность ИК-излучения образцов приходится на интервал длин волн от 0,8 до 1,8 мкм. Затем она убывает и при  $\lambda=3$  мкм достигает минимума, равного 5 % значения  $R_\lambda$  при  $\lambda=1,0$  мкм. Дальнейшее увеличение длины волны приводит к незначительному росту величины  $R_\lambda$ .

Изменение толщины образцов также незначительно влияет на величину отражательной способности ИК-излучения в длинноволновой области. Так, увеличение толщины сухарных плит от 8 до 13 мм приводит к возрастанию значений  $R_\lambda$  от 10 до 20 % при  $\lambda=4,5$  мкм и влажности 11 %.

Результаты исследований зависимости  $T_\lambda=f(\lambda)$  показали, что сухарные плиты обладают большой пропускательной способностью, достигающей 30—40 % при толщинах 2—4 мм в области ИК-спектра от 0,8 до 1,5 мкм. Наибольшей поглощательной способностью эти продукты обладают в диапазоне 2,5—6,0 мкм, пропускание ИК-лучей здесь почти отсутствует. Следовательно, из промышленных ИК-генераторов наиболее эффективны для работы в области ИК-спектра  $\lambda > 2,0$  мкм «темные» ИК-генераторы, максимум излучения которых приходится на длины волн от 3,0 до 4,0 мкм.

Исследование кинетики ИК-сушки сухарных плит различных наименований проводилось в лабораторной установке, позволяющей применять различные типы ИК-генераторов и создавать необходимые величины облученности, автоматически вести запись температуры и убыли массы влаги в различных слоях образца в процессе сушки. Сушка осуществлялась «темными» ИК-излучателями типа ТЭН-38 А 13/060 220 в условиях двухстороннего симметричного подвода теплоты к объекту сушки при различных величинах облученности  $5600 \leq E \leq 9400$  Вт/м<sup>2</sup> (с двух сторон) и естественной циркуляции воздуха в сушильной камере. Величину и равномерность полей облученности для систем из двух и трех излучателей определяли по методике работы [8].

Сушке подвергались сухарные плиты с начальным влагосодержанием  $\bar{U}_n=30 \dots 33$  %, конечное стандартное влагосодержание  $\bar{U}_k=$

$= 10\%$ . Эти значения определяли стандартным методом: высушиванием при  $105^\circ\text{C}$  до постоянной массы, согласно ГОСТ 7698-66. Толщина ломтиков сухарной плиты в наших опытах составляла 10, 15 и 20 мм.

Исследованием кинетики ИК-сушки сухарных плит установлено, что на продолжительность процесса сушки существенное влияние оказывают начальное влагосодержание  $\bar{U}_n$ , толщина ломтиков сухарных плит  $\delta$  и величина облученности  $E$ . Результаты этих исследований для сухарей «Украинские» представлены на рис. 1, 2 и 3. Из анализа кривых сушки (рис. 1, 1—5, рис. 2, 1) следует, что для ломтиков с оди-

Рис. 2. Кинетика сушки: 1 и 2 — кривые сушки и скорости сушки; 3, 4, 5 — температурные кривые слоев 1; 4; 7,5 мм от поверхности образца; 6, 7 — температуры сухого воздуха в сушильной камере и мокрого термометра ( $E=8200 \text{ Вт/м}^2$ )

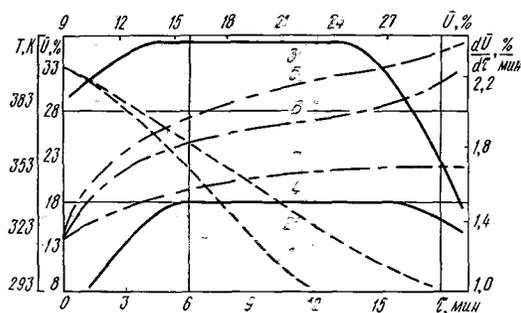
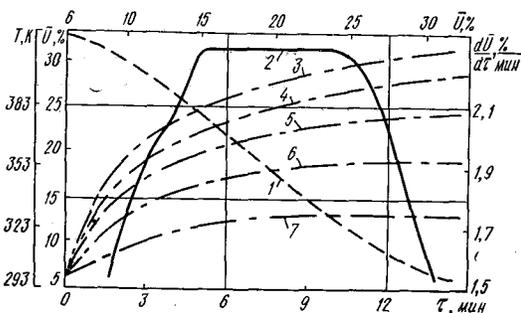


Рис. 3. Кинетика сушки: 1 и 2 — кривые сушки и скорости сушки (при  $\delta=10 \text{ мм}$ ); 3, 4 — то же при  $\delta=20 \text{ мм}$ ; 7 — температура воздуха в камере ( $E=8200 \text{ Вт/м}^2$ )

наковым  $\bar{U}_n=33,0\%$  и  $\delta=15 \text{ мм}$  процесс протекает в два периода — с постоянной и убывающей скоростями сушки. В первый период в основном удаляется свободная влага (сконденсированная влага, находящаяся в микропорах стенок пор сухарных плит). Второй период сушки наступает при влагосодержании 18—15%. При этих значениях влага более прочно связана с продуктом.

Было установлено также, что значение облученности  $8800 \text{ Вт/м}^2$  (суммарной с двух сторон) максимально допустимо. Дальнейшее незначительное увеличение значений  $E$ , хотя и сокращает процесс сушки, однако приводит к появлению трещин, заметному потемнению в центре и подгоранию поверхности у кромок сухарей (рис. 1, 5, 10), т. е. готовые сухари по качеству не соответствуют ГОСТу. Оптимальная величина облученности  $E=8200 \text{ Вт/м}^2$ . Как видно из рис. 2 (кривая 3), к концу процесса сушки температура в слое на глубине 1 мм от поверхности ломтика при  $\bar{U}_n=10\%$  достигает  $408 \text{ К}$ , а при  $E=9400 \text{ Вт/м}^2$  —  $433 \text{ К}$  (на рис. 2 не показано), что недопустимо, так как приводит к порче продукта.

Из анализа кривых скорости сушки следует, что сушка сухарных плит протекает, в основном, в периоде постоянной скорости сушки. Как видно из рис. 1 (кривые 6—10) и рис. 2 (кривая 2), абсолютные значения скорости сушки в ее первом периоде возрастают с увеличением значений величины облученности. Так, при изменении  $E$  от  $5600$  до  $9400 \text{ Вт/м}^2$ , т. е. в 1,7 раза, величина скорости сушки увели-

чивается от 1,5 до 2,4 %/мин, т. е. также в 1,7 раза. Таким образом, в данном интервале значений облученности  $E$  наблюдается линейное увеличение скорости сушки в постоянном периоде сушки. Это возможно благодаря интенсивному внутреннему влагопереносу в зону испарения за счет развитой поровой поверхности сухарных плит. В приведенных опытах  $\bar{U}_n$  образцов одинаково, появление первой критической точки наблюдается при  $\bar{U}_{кр1} = 15 \dots 18$  %.

На рис. 3 приведены результаты исследования кинетики ИК-сушки сухарных плит различной толщины при  $E = 8200$  Вт/м<sup>2</sup>. Из сравнения кривых следует, что увеличение толщины ломтиков от 10 мм (кривая 1) до 20 мм (2) приводит к увеличению в 1,5 раза продолжительности процесса сушки, а скорость сушки (см. соответствующие им кривые 3 и 4) в первом периоде уменьшается в 1,8 раза.

С уменьшением толщины ломтиков от 20 до 10 мм при  $E = 8200$  Вт/м<sup>2</sup> (рис. 1, 4, 9 и рис. 3, 1, 3 и 2, 4) возрастание абсолютных значений скорости сушки в первом периоде, по-видимому, связано с более интенсивным прогревом ломтиков за счет проникновения ИК-излучения в глубь ломтиков.

Для образцов толщиной  $\delta = 20$  мм (рис. 2, 3, 4, 5 и рис. 3, 5, 6) в начальной стадии сушки происходит очень интенсивный прогрев сухарных плит. Скорость прогрева достигает 15—20 К/мин и пропорционально возрастает с увеличением значений величины  $E$ . Такая интенсивность прогрева, на наш взгляд, объясняется сильным поглощением ИК-излучения влажными ломтиками в начальной стадии сушки и проникновением ИК-лучей на некоторую глубину. Происходит объемный прогрев материала. По истечении 4-5 мин влагосодержание образцов уменьшается от 33 до 25-24 %, что приводит к понижению поглощательной и увеличению отражательной способностей сухарных плит, а это, в свою очередь, значительно замедляет темп роста температуры.

На основании полученных экспериментальных данных установлено, что применение «темных» ИК-излучателей типа ТЭН возможно для интенсификации процесса сушки сдобных пшеничных сухарных плит на сухари. При этом величина облученности не должна превышать 8800 Вт/м<sup>2</sup> при стандартной толщине ломтиков сухарной плиты 15 мм. Продолжительность сушки до стандартной конечной влажности при этих условиях составляет 11,5 мин, что в 2,5 раза меньше, чем в промышленных условиях в хлебопекарных печах. В указанном режиме полученная готовая продукция соответствует требованиям ГОСТа по всем качественным показателям.

Результаты исследования будут использованы при проектировании терморadiационной промышленной сушильной установки для производства сдобных сухарей.

**SUMMARY.** Rusk ovens are investigated for their thermoradiative properties and the most effective type of infra-red sources is chosen. Optimal irradiance is shown to be 8200 W/m<sup>2</sup>. Duration of the drying process amounts to 11.5 ms, which is 2.5 times as small as that in industrial baking ovens. Rusk quality corresponds to the All-Union state standard requirements.

1. Гинзбург А. С. Инфракрасная техника в пищевой промышленности. — М.: Пищ. пром-сть, 1966.—407 с.
2. Ройтер И. М. Сырье и материалы. — М.: Пищ. пром-сть, 1977.—368 с.
3. Кульман А. Г. Коллоиды в хлебопечении. — М.: Пищепромиздат, 1953.—248 с.
4. Буляндра А. Ф., Таранов И. Т., Острик А. С. Сушка мучных изделий. — Киев: Техника, 1977.—160 с.
5. Дущенко В. П., Буляндра А. Ф., Вербицкий Б. И. Об обобщении кинетики терморadiационной сушки сдобных сухарей. — Изв. вузов. Пищ. технология, 1973, № 2, с. 138—140.

6. *Интенсификация* сушки сдобных сухарей / Ю. П. Луцик, А. С. Вдовиченко, А. Ф. Буляндра, И. А. Сысоев. — М. 1981.—9 с. — Рукопись деп. в ВНИИТЭИпищепром, 465 Деп.
7. *Установка для определения терморadiационных характеристик пищевых продуктов* / А. Ф. Буляндра, В. П. Дущенко, Б. И. Вербицкий и др.—Изв. вузов. Пищ. технология, 1974, № 5, с. 140—143.
8. *Дущенко В. П., Буляндра А. Ф., Кучерук И. М.* Исследование спектральных и энергетических характеристик некоторых «светлых» инфракрасных излучателей. — *Электротермия*, 1968, вып. 67, с. 26—29.
9. *Вербицкий Б. И.* Исследование процессов сушки некоторых коллоидных капиллярно-пористых пищевых продуктов при инфракрасном нагреве: Автореф. дис. ... канд. техн. наук — Киев, 1974.—35 с.
10. *Терморadiационные* характеристики хлебобулочных изделий при различных условиях облучения / С. Г. Ильясов, В. В. Красников, В. П. Тюрев, Н. М. Галин. — *Хлебопекар. и кондитер. пром-сть*, 1976, № 1, с. 14—16.