

О КИНЕТИКЕ ТЕРМОРАДИАЦИОННОЙ СУШКИ ДОРОЖНОГО САХАРА-РАФИНАДА

Ю. П. ЛУЦИК, А. Ф. БУЛЯНДРА

Киевский технологический институт пищевой промышленности

Значительная интенсификация сушки сахара-рафинада дорожного может быть достигнута за счет применения терморadiационного метода подвода тепла. Рациональное применение ИК-нагрева для тепловой обработки требует согласования терморadiационных характеристик материалов со спектральными и энергетическими характеристиками промышленных ИК-излучателей. В связи с тем, что большинство пищевых продуктов сильно поглощает падающее ИК-излучение [1, 2], при определении терморadiационных характеристик их можно ограничиться только спектральными отражательными R_λ и пропускательными T_λ способностями.

Значения R_λ , T_λ сахара-рафинада дорожного определяли на установке [3], созданной на базе спектрометра ИКС-12 с использованием метода зеркальной полусферы, который позволяет учитывать рассеянную составляющую ИК-излучения. Установлено, что для сушки сахара-рафинада целесообразнее использовать область ИК-спектра 2,5÷5,0 мкм. Как установлено ранее [4], из промышленных ИК-генераторов для работы в данной области спектра наиболее подходят «темные» ИК-излучатели, максимум излучения которых приходится на длины волн $\lambda=3,0-4,0$ мкм.

Терморadiационную сушку прессованного рафинада дорожного (кусочки размером $30 \times 22 \times 10$ мм) проводили в лабораторных условиях на установке [2], позволяющей применять различные типы ИК-генераторов, создавать необходимые величины облученности, автоматически вести запись температуры в различных слоях образцов и убыль влаги. Сушку осуществляли «темными» ИК-излучателями типа ТЭН-38А13/0,6 С220 (выпускаемыми Фастовским заводом электро-термического оборудования) при двустороннем симметричном подводе тепла к исследуемому объекту при различных величинах (суммарной с двух сторон) облученности: $E = 3200 + 8000$ Вт/м², начальная влажность сахара-рафинада изменялась в пределах $1,2\% \leq U_n \leq 2,0\%$.

Как объект сушки прессованный влажный сахар-рафинад относится к поликапиллярнопористым телам, твердая фаза которого состоит из сцепленных между собой отдельных монокристаллов, покрытых пленкой клерса (жидкая фаза), а в межкристалльных порах, кроме клерса, находится «защемленный» влажный воздух (газообразная фаза). По данным [5], максимальная степень заполнения порового пространства клерсом не превышает 30—40%.

На рис. 1, 2, 3 представлены кривые кинетики терморadiационной сушки дорожного рафинада при облученности 3200, 4000 и 4600 Вт/м² соответственно. Как видно (кривые 1), интенсивность влагоотдачи существенно зависит от величины облученности E и U_n продукта. Для построения кривой скорости сушки применяли формулу дискретного

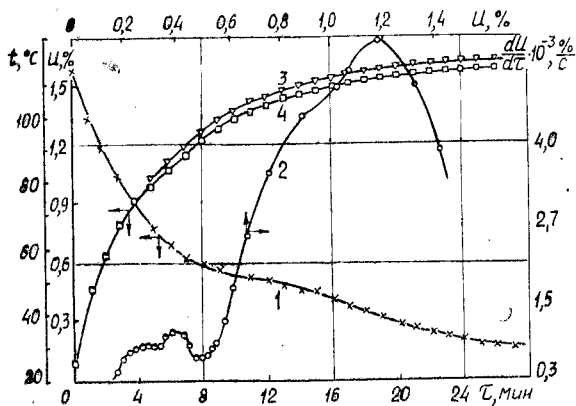


Рис. 1. Кривые: 1 — сушки; 2 — скорости сушки; температурные: 3 — 1,5 мм от поверхности; 4 — центр образца.

дифференцирования по пяти точкам [6], позволяющую находить производную по табличным значениям кривой $U(\tau)$. Характер изменения кривых $dU/d\tau$ обусловлен сложным механизмом внутреннего переноса влаги и объясняется следующим. В начальный период сушки, при двухстороннем подводе тепла ИК-излучением, происходит интенсивный прогрев кусочков рафинада. Влага испаряется с наружных поверхностей кусочков сахара, и скорость сушки достигает максимального значения.

В связи с испарением влаги в поверхностных слоях кусочков рафинада сахарный раствор становится пересыщенным, и сахар кристаллизуется. Последнее приводит к изменению порового пространства, уменьшает живое сечение пор этих слоев, и перемещение влаги в зону испарения затрудняется вследствие увеличения гидравлического сопротивления, интенсивность сушки резко уменьшается. С ростом температуры рафинада при интенсивном его нагреве возрастает и растворимость сахарозы, что приводит к увеличению сахарного раствора. Количество его при дальнейшей сушке уменьшается вследствие испарения влаги, что сопровождается интенсивной кристаллизацией. При этом

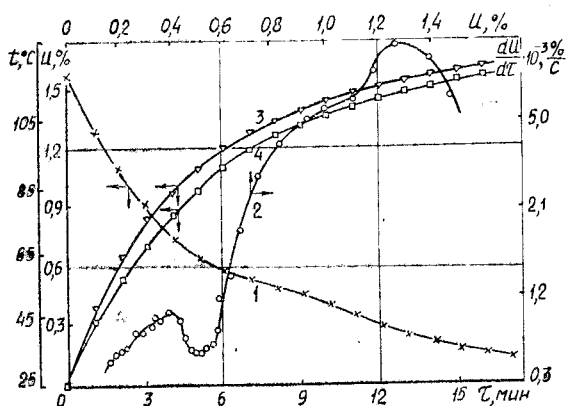


Рис. 2. Значения кривых по рис. 1.

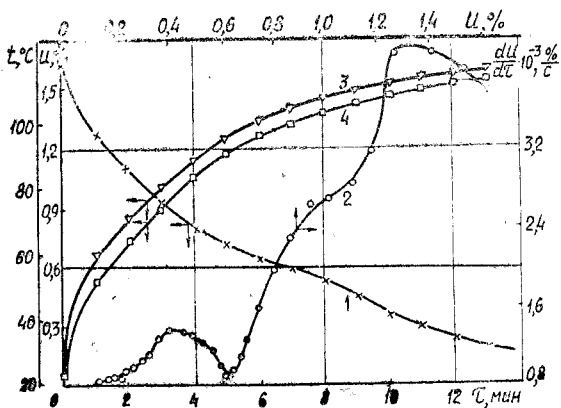


Рис. 3. Значения кривых по рис. 1.

$dU/d\tau$ уменьшается, достигая минимального значения. В конце сушки величина $dU/d\tau$ незначительно возрастает, что можно объяснить сле-

дующим. Перекрытие порового пространства за счет кристаллизации сахара из раствора, интенсивный прогрев кусочков за счет двухстороннего ИК-излучения приводит к объемному испарению влаги. Последнее создает избыточное давление внутри кусочков сахара.

Таким образом, при ИК-сушке дорожного рафинада наблюдаются два основных механизма переноса влаги. В начале сушки влага в виде жидкости за счет градиента концентраций перемещается в зону испарения. В конце сушки преобладает молярный перенос влаги в виде пара под действием градиента избыточного давления.

Исследуя кинетику ИК-сушки дорожного рафинада, мы установили, что на продолжительность процесса влияют U_n и E .

На рис. 1, 2 приведены кривые кинетики сушки при различных E , но, примерно, одинаковой U_n рафинада. Отсюда видно, что увеличение облученности от 3200 до 4000 Вт/м² приводит к сокращению продолжительности сушки до конечного влагосодержания $U_k = 0,3\%$ более чем в 1,5 раза. Для данных режимов сушки необходимо отметить, что максимальное значение скорости сушки $(dU/d\tau)_{max}$ при меньшей облученности E значительно выше по абсолютной величине. При $E = 3200$ Вт/м² $(dU/d\tau)_{max} = 5,5 \cdot 10^{-3} \% / c$, а при $E = 4000$ Вт/м² $(dU/d\tau)_{max} = 3,3 \cdot 10^{-3} \% / c$. Такое различие в величинах $(dU/d\tau)_{max}$ в начале процесса объясняется тем, что при мягком режиме сушки влажного рафинада происходит равномерный прогрев кусочков сахара во всем объеме, о чем свидетельствуют температурные кривые 3, 4 рис. 1. При этом интенсивно испаряется влага со всех поверхностей кусочков рафинада, что и определяет высокую скорость сушки.

Из рис. 1—3 видно, что убывание скорости сушки наблюдается при достижении определенного значения влагосодержания так называемой критической точки [5, 7]. Для данных опытов и ряда серий опытов ИК-сушки дорожного рафинада по исследованию зависимостей $U_n(\tau)_E$ и $\tau(E)_{U_n}$ установлено, что как и при конвективной сушке рафинада величина критического влагосодержания зависит от U_n . Анализируя характер изменения кривых $(dU/d\tau)$ и $U(\tau)$, следует отметить четко выраженный минимум на кривой $dU/d\tau$, который обусловлен изменением структуры кусочков рафинада в процессе сушки, а следовательно, и изменением механизма внутреннего влагопереноса. Для опытов с приблизительно одинаковым U_n рафинада (рис. 1, 2) $(dU/d\tau)_{min}$ достигается при $U = 0,5\%$. С повышением U_n минимум кривой $(dU/d\tau)_{min}$ смещается в сторону увеличения влагосодержания (рис. 3). При этом величина E влияет лишь на время достижения $(dU/d\tau)_{min}$, что видно из кривых $U(\tau)$.

Развитие температурных кривых (рис. 1—3, кривые 3, 4) при ИК-сушке прессованного сахара-рафинада идет очень интенсивно. Скорость прогрева в начальный период в зависимости от величин E и U_n составляет 20—30 град/мин, что объясняется большими значениями E и сильным поглощением ИК-излучения в длинноволновой области при значительных U_n образцов. При дальнейшей сушке большинство подводимой энергии идет на фазовые превращения влаги, и скорость прогрева уменьшается. Интересно отметить, что градиент температуры в первом периоде, когда влажность еще высокая, больше, чем в конце сушки, в то время как для большинства влажных материалов с уменьшением влагосодержания температурный градиент возрастает.

Установлено, что максимальная суммарная величина E составля-

ет от 5000 до 8000 Вт/м² в зависимости от U_n . Для получения продукта с U_k продолжительность процесса сушки составляет 7—12 мин в зависимости от U_n и E . Температура на поверхности кусочков сахара в конце сушки в большинстве опытов не превышала 110°C, при этом качество рафинада оставалось хорошим.

ВЫВОДЫ

1. Для ИК-сушки рафинада целесообразно использовать область ИК-спектра 2,5—5,0 мкм.
2. При ИК-сушке рафинада дорожного на продолжительность процесса влияет U_n сахара и величина облученности.
3. Для рафинада дорожного с $U_n = 2,0\%$ при ИК-сушке величина E не должна превышать 5000 Вт/м².

ЛИТЕРАТУРА

1. Ильясов С. Г., Красников В. В. Методы определения оптических и терморadiационных характеристик пищевых продуктов. М., Пищевая пром-сть, 1972, 175 с.
2. Буляндра А. Ф. Теплофизические основы расчета терморadiационных сушильных установок пищевой промышленности. Автореф. канд. дис., Киев, 1967.
3. Душенко В. П. и др. Изв. вузов СССР, Пищевая технология, 1974, № 5, с. 140.
4. Душенко В. П., Буляндра А. Ф., Кучерук И. М. Исследование спектральных и энергетических характеристик некоторых темных инфракрасных излучателей. В сб.: Электротермия, 1968, вып. 68, с. 30.
5. Рудзицкий А. А. Сушка сахара-рафинада. В сб.: Сушка в пищевой промышленности. Профтехиздат, 1958, с. 43.
6. Ланцош К. Практические методы прикладного анализа. М., Физматгиз, 1961, 225 с.
7. Зеликман И. Ф., Демчинский Ф. А. Производство прессованного сахара-рафинада. М., Пищепромиздат, 1962, 368 с.