

# ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОРАДИАЦИОННОЙ СУШКИ КОЛЛОИДНЫХ ТЕЛ

В. П. ДУЩЕНКО  
А. Ф. БУЛЯНДРА  
И. М. КУЧЕРЕНКО

(Киевский технологический институт  
пищевой промышленности)

Терморadiационный нагрев является одним из прогрессивных методов сушки коллоидных тел, так как при этом достигается значительная интенсификация процесса при высоком качестве обрабатываемых материалов.

В данной работе рассматривается вопрос о возможности применения инфракрасного (ИК) излучения для сушки типичного коллоидного тела — нативного картофельного крахмала. Как нам известно из литературы, до сих пор этот вопрос не исследовался. Некоторые отрывочные сведения приведены в работе [5].

При терморadiационной сушке влажных материалов следует прежде всего согласовать оптические свойства обрабатываемого материала со спектральными характеристиками ИК излучателей. Для этого необходимо, чтобы длина волны  $\lambda_{\max}$ , соответствующая максимальному значению спектральной интенсивности величины излучения ИК излучателя, находилась в области длин волн, в которой значение спектрального коэффициента диффузного отражения  $\rho_d$  минимально, а значение спектрального коэффициента пропускания ИК излучения максимально.

С этой целью нами предварительно исследовались спектральные характеристики основных типов «светлых» и «темных» ИК излучателей, а также оптические свойства максимально увлажненного и воздушного сухого крахмала при относительной влажности воздуха  $\varphi = 70\%$ .

Так, величина  $\lambda_{\max}$  для «светлых» ИК излучателей соответствует примерно длине волн  $\lambda = 1,3 \div 1,4$  мкм, а для «темных» —  $\lambda = 3,0 \div 3,5$  мкм. На кривой зависимости коэффициента  $\rho_d$  от длины волны имеют место минимумы, которые при  $\lambda$ , равной 1,3; 1,5; 2,0; 3,0 мкм, соответственно равны 23; 15; 8;

Поэтому на первый взгляд кажется, что для сушки крахмала целесообразно применять «темные» ИК излучатели. Однако, так как коэффициент ослабления ИК излучения максимально увлажненным крахмалом для длин волн  $\lambda \geq 2,5$  мкм велик и, следовательно, лучистая энергия в основном поглощается поверхностным слоем крахмала, температура поверхности крахмала быстро повышается с последующей его клейстеризацией. При  $\lambda \leq 2,5$  мкм некоторая часть лучистой энергии проникает в глубь материала, что ведет к объемному прогреву материала и к интенсификации сушки без перегрева поверхностного слоя. Следовательно, при максимально возможных облученностях на поверхности крахмала при сушке ИК излучениями необходимо использовать «светлые» ИК излучатели.

Во избежание локальных перегревов материала необходимо обеспечить равномерность поля облученности. Для этого нами предварительно были сняты эпюры облученности отдельно взятых «светлых» ИК излучателей и их систем.

В связи с термолабильностью крахмала лучистые потоки, создаваемые ИК излучателями, должны быть такими, чтобы температура на поверхности крахмала в начале сушки не превышала  $60^\circ\text{C}$ , так как при этой температуре происходит резкое возрастание набухания крахмала, приводящее в конечном счете при температуре  $65^\circ\text{C}$  к клейстеризации [1].

В процессе удаления влаги термоустойчивость зерен крахмала повышается, и в области гигроскопического состояния температура материала может достигать  $80^\circ\text{C}$  и выше. Как указывает В. В. Раковский, гидрофильные свойства крахмала изменяются необратимо при температуре выше  $110^\circ\text{C}$  [3].

Кинетика терморadiационной сушки крахмала исследовалась в специально сконструированной лабораторной установке, схема которой представлена на рис. 1. Она состоит из камеры 1, блока автоматической регистрации и записи убыли веса 11, источников ИК излучения и блока их питания 111 и электронного автоматического потенциометра ЭПП-09.

Сушильная камера представляет собой теплоизолированный шкаф размерами  $1,8 \times 1,0 \times 0,8$  м с внутренним ограждением из полированного дюралюминия. Сушка материала в камере может проводиться «светлыми» и «темными» ИК излучателями.

Для изменения расстояния между источниками в нижней 11 и верхней 12 плитах предусмотрены специальные прорези, по которым перемещаются источники 10. Расстояние между источниками и обрабатываемым материалом плиты регулируется при помощи тросиков, которые могут перемещаться по направляющим 13.

Питание ИК источников производилось при помощи двух регуляторов напряжения  $Tp_3$  и  $Tp_4$  типа РНО-10.

Измерение температуры воздуха в камере, поверхности и центральных слоев материала, внутренней поверхности ограждения, «мокрого» термометра, а также контроль равномерности

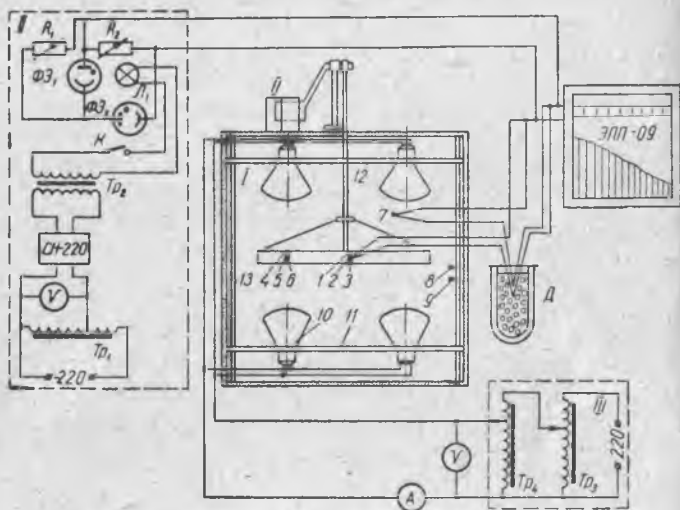


Рис. 1. Схема экспериментальной установки.

поверхностного нагрева на различных глубинах проводилось медно-константановыми термопарами 1—9, холодные спаи которых помещались в сосуд Дюара  $D$ . Термо-э. д. с. термопар записывалась на диаграммной ленте проградуированного потенциометра ЭПП-09.

Некоторые исследователи считают нужным для устранения погрешности, связанной с непосредственным поглощением ИК излучения горячими спаями термопар, последние покрывать слоем золота. В работе [4] показано, что для температуры, не превышающей  $200^{\circ}\text{C}$  (выпечка хлеба), эти погрешности отсутствуют.

Убыль веса материала регистрировалась и автоматически записывалась фотовесами [2], конструкция которых изменена.

На рис. 2,а представлены кривые сушки, скорости сушки и температурные кривые при непрерывном обогреве крахмала (толщина слоя  $h = 8\text{ мм}$ ) сверху лампами ЗС-3, расположенными в вершинах квадрата при  $U = 220\text{ в}$  и отстоящими от поверх-

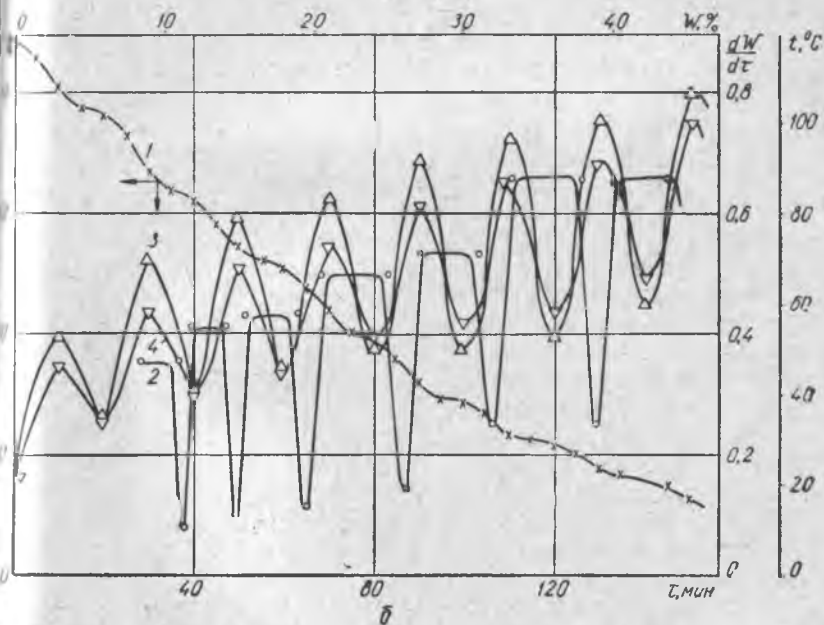
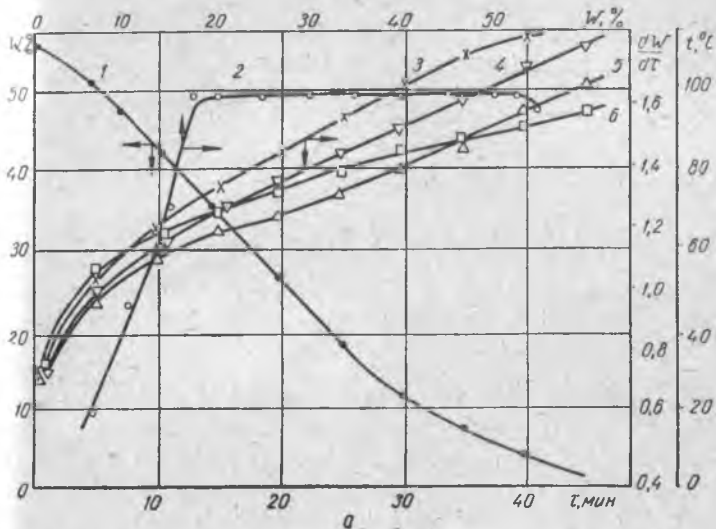


рис. 2. Графики зависимости сушки, температуры слоев материала от времени нагрева и скорости сушки крахмала при непрерывном обогреве (а) и при осциллирующем режиме с циклом 10 мин (б):

1 — сушка; 2 — скорость сушки; 3 — температура поверхности; 4 — температура центра материала; 5 — температура нижнего слоя; 6 — температура окружающего воздуха.

ности материала на расстоянии  $H = 0,5$  м, при расстоянии между осями симметрии ламп  $L = 0,26$  м. Облученность поверхности материала при этом составляет  $5250$   $вт/м^2$ .

Температурные кривые показывают, что прогрев материала происходит, в основном, вследствие кондуктивного теплопереноса, так как вид кривых аналогичен таковым при конвективной сушке нагретым воздухом.

Как показали наши исследования, при терморadiационной сушке скорость развития температурного поля внутри крахмала значительно больше, чем при конвективной сушке, при одинаковых толщинах и начальных влагосодержаниях материала. Это обусловлено отсутствием термического сопротивления пограничного слоя ИК излучению, сильным поглощением поверхностным слоем, а также проникновением ИК излучения на некоторую глубину материала.

На кривой 2 наблюдаются периоды постоянной и падающей скорости сушки. Последний вызван удалением связанной влаги. Поскольку кривые распределения влагосодержания по высоте отсутствуют, трудно судить о том, какая влага удаляется — моно- или полимолекулярной адсорбции. Общий вид кривой скорости сушки сохраняется при различных величинах  $H$  и  $h$ . Положение критических точек зависит от режима сушки и толщины материала.

В промышленных условиях картофельный крахмал подвергается сушке с начальным влагосодержанием 54—58%. В связи с техническими условиями хранения сушку крахмала заканчивают при  $W_k = 25\%$ . Длительность сушки при этом в зависимости от применяемых сушилок составляет 30—90  $мкм$ . В наших условиях продолжительность сушки до  $W_k = 25\%$  составляет 20—22  $мин$ . При увеличении облученности до  $6750$   $вт/м^2$  продолжительность сушки при прочих равных условиях сокращается на 30%. Дальнейшее увеличение облученности приводит к клейстеризации крахмала.

На рис. 2,б представлены температурные кривые, кривые сушки и скорости сушки для тех же  $L$ ,  $H$  и  $h$  при осциллирующем режиме с циклом 10  $мин$ . Хотя начальное влагосодержание в этом случае меньше, чем в первом (43%), продолжительность сушки при этом увеличивается примерно в 2,5 раза. Качество высушенного крахмала, как и при непрерывном обогреве, хорошее. Поэтому следует считать режим сушки картофельного крахмала при непрерывном обогреве оптимальным.

Таким образом, показана принципиальная возможность сушки крахмала при помощи ИК излучения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Б а к а н о в Н. А. и др. Технология и технохимический контроль крахмало-паточного производства. Пищепромиздат, М., 1957.
2. Л и с о в е н к о А. Т., М и х е л е в А. А.— ИФЖ, 1961, 9.
3. Р а к о в с к и й А. В., П о л я н с к и й Т. В.— ЖФХ, 1931, 1.
4. Р о с л я к о в а О. И., Г и н з б у р г А. С., А у э р м а н Л. Я.— В кн.: Труды МТИИПП, 16. Пищепромиздат, М., 1960.
5. Die Stärke, 1955, 3/7, 65.