

## АНАЛИЗ ПРОЦЕССА СУШКИ МАКАРОННЫХ ИЗДЕЛИЙ В ИНФРАКРАСНЫХ СУШИЛКАХ

В работе приведены исследования, направленные на изучение терморadiационной сушки макаронных изделий и выявление основных недостатков процесса, негативно влияющих на качество конечного продукта. Исследования проводились на конкретном оборудовании, использующем инфракрасную сушку, – конвейерной сушилке УСК. Оценены показатели качества получаемых макаронных изделий. Получены зависимости температуры и относительной влажности сушильного воздуха, реологических свойств изделий от продолжительности и эффективности сушки. Оговорены возможные пути улучшения качества макаронной продукции, используя современные высокоэффективные технологии в новом направлении.

Одним из наиболее высокоэффективных способов сушки, которые можно встретить на макаронных фабриках, является терморadiационная сушка, применение которой значительно интенсифицирует процесс удаления влаги вследствие значительного увеличения плотности теплового потока на поверхности облучаемого материала и проникновения инфракрасных лучей внутрь материала. Однако нагревание изделий инфракрасными лучами в десятки раз интенсивнее, чем при передаче им теплоты от подогретого сушильного воздуха. Поэтому при длительном воздействии ИК-лучей влага из макаронных изделий удаляется слишком быстро, что приводит к их пересушке и растрескиванию.

Известно сушильное оборудование, использующее инфракрасное облучение, – «Рототерм» фирмы «Паван С.п.А» и отечественная сушилка УСК МКПА 101.132.001 ПС. Сушилка транспортерного типа УСК переоборудована из двух отдельных сушилок, имеет следующие технические характеристики: мощность 50-70 кВт/час, производительность 200 кг/час, ширина ленты 900 мм, двигатель АИР63 В 4Л с частотой вращения 1370 об/мин и состоит из 9 расположенных друг над другом сетчатых транспортеров и установленных над ними, перпендикулярно движению ленты, 100 инфракрасных излучателей. Отсутствуют система автоматического регулирования температуры и влажности воздуха и организованный отвод отработанного воздуха.

В качестве объекта исследования использовали рожки обыкновенные группы В первого класса, внешний диаметр 6 мм, с добавлением морковного красителя «Куркума».

Образцы высушиваемых макаронных изделий отбирали с интервалом времени 10 мин, при этом измеряли температуру и влажность сушильного воздуха в местах отбора проб. Параметры процесса сушки представлены на рис. 1 и 2. Влажность образцов определяли методом вы-

сушивания до постоянной массы в сушильном шкафу СЭШ – 3 (температура 105 °С). Кривая сушки представлена на рис. 3.

Из рисунка видно, что изменение температуры в процессе сушки носит скачкообразный характер. Наиболее точно изменение температуры описывается полиномом четвертой степени:

$$T = 3 \cdot 10^{-7} \cdot \tau^4 - 8 \cdot 10^{-5} \cdot \tau^3 + 7,1 \cdot 10^{-3} \cdot \tau^2 - 0,317 \cdot \tau + 64,194$$

В целом температура воздуха снижается в процессе сушки. Температура воздуха, применяемого на последнем этапе сушки ( $\tau=130-180$  мин), соответствует температуре воздуха помещения (28-31°С), таким образом, фактически происходит охлаждение и стабилизация изделий.

По психрометрической разности сухого и мокрого термометров определяли относительную влажность сушильного воздуха. Так как в сушилке отсутствует принудительный отвод воздуха, то для коррекции показаний мокрого термометра использовали формулу:

$$t_M = t_M^{\Pi} - \frac{\Delta \cdot (t_C - t_M^{\Pi})}{100}, \quad (1)$$

где  $t_M^{\Pi}$  – показания смоченного термометра в психрометре;  $\Delta$  – поправка, найденная по диаграмме, разработанной Гинзбургом А.С., в зависимости от показания смоченного термометра  $t_M^{\Pi}$  и скорости воздуха, % [1].

Изменение относительной влажности воздуха, так же как и изменение температуры, носит скачкообразный характер. Это вызвано тем, что сушилка не снабжена устройствами автоматического регулирования температуры и влажности воздуха. Наиболее точно изменение влажности описывается полиномом четвертой степени:

$$\varphi = -1 \cdot 10^{-6} \cdot \tau^4 + 3 \cdot 10^{-4} \cdot \tau^3 - 3,78 \cdot 10^{-2} \cdot \tau^2 + 1,571 \cdot \tau + 27,584.$$

Относительная влажность воздуха в конце сушки слишком высокая. Это, вероятно, вызвано тем, что, во-первых, на данном этапе используется воздух помещения, имеющий большое влагосодержание и, как следствие, большую относительную влажность при низких температурах, во-вторых, температура изделий на данном этапе значительно выше температуры воздуха, возникает градиент температуры, влага стремится от внутренних слоев к внешним и испаряется в окружающий воздух. Воздух сушилки насыщается парами влаги, а так как принудительный отвод воздуха отсутствует, то влажность воздуха дополнительно повышается.

Анализируя кривую сушки, можно выделить 4 ярко выраженных этапа.

На I этапе на протяжении первых 30 мин наблюдается увеличение влажности изделий, что может быть связано со следующими процессами: температура наружных слоев значительно больше, чем температура внутренних, под действием данного градиента температуры влага перемещается от внешних слоев к внутренним, в результате внешние слои макаронных изделий обезвоживаются настолько, что начинают поглощать влагу из окружающего сушильного воздуха. Данное нарастание влажности нежелательно, и для устранения этого явления в сушилках данного типа необходимо затратить на несколько порядков больше энергии, что нецелесообразно.

На II этапе, от 30 до 80 мин, который называют периодом постоянной скорости сушки, влажность линейно убывает от 26,4 до 15,8%. При этом градиент температуры становится практически равным нулю, происходит интенсивное испарение менее прочно связанной осмотической влаги.

На III этапе, так называемом периоде падающей скорости сушки, от 80 до 130 мин, влажность изделий убывает от 15,8 до 13,7%, при этом удаляется влага микрокапилляров и адсорбционно связанная влага, процесс лимитируется малой интенсивностью внутреннего переноса влаги, поверхность испарения интенсивно углубляется внутрь материала, а образующийся на его поверхности сухой слой имеет значительное гигротермическое сопротивление.

На IV этапе от 130 до 180 мин наблюдается некоторое нарастание влажности от 13,7 до 14%. На данном этапе на предприятиях производится стадия охлаждения, а увеличение влажности вызвано высокой влажностью применяемого на

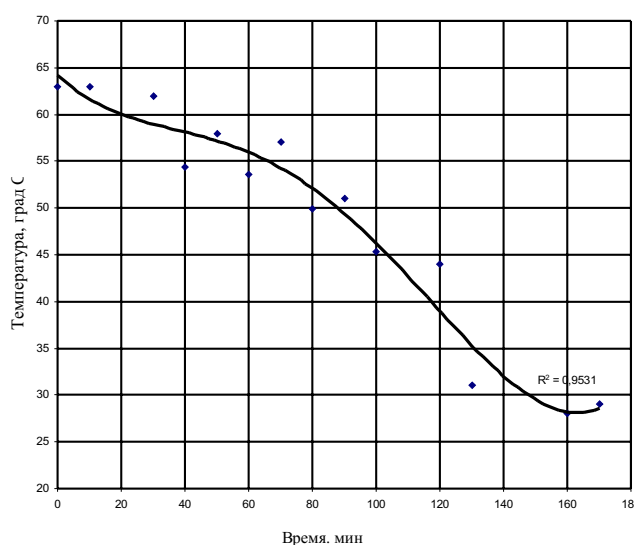


Рисунок 1. Изменение температуры сушильного воздуха в процессе сушки

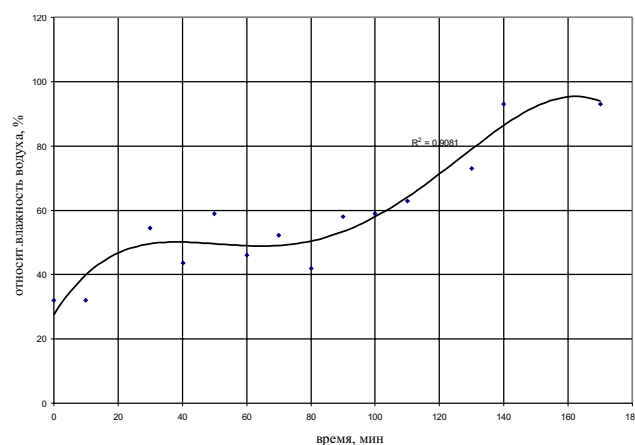


Рисунок 2. Изменение относительной влажности сушильного воздуха в течение сушки

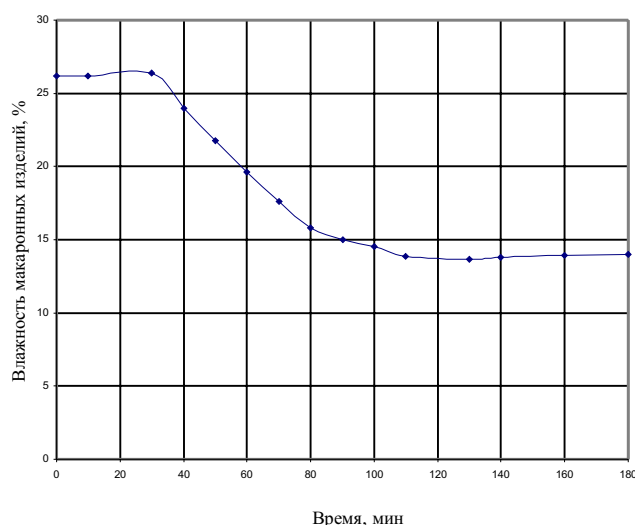


Рисунок 3. Кривая сушки

охлаждение воздуха. Данное нарастание влажности нежелательно, устранить данный недостаток можно путем герметизации сушильного оборудования и его автоматизации.

По кривой сушки методом графического дифференцирования строили кривую скорости сушки, представленную на рисунке 4.

Из рисунка видно, что при влажности изделий 26% скорость сушки возрастает от нуля до 0,2%/мин, затем при изменении влажности от 26 до 15,8% находится в периоде постоянной скорости сушки, а начиная с влажности 15,8 и менее, скорость сушки постепенно падает от 0,2 до 0%/мин.

Для анализа изменения качества полуфабрикатов в процессе сушки определяли физико-механические свойства и показатели качества высушиваемых образцов. Из физико-механических свойств определяли относительное удлинение и продольное напряжение при растяжении и прочность на излом.

Относительное удлинение и продольное напряжение при растяжении определяли путем растягивания образцов на приборе типа ПМ. Зависимость относительного удлинения при растяжении от продолжительности сушки представлена на рисунке 5.

Из рисунка видно, что в течение первых 60 мин сушки до достижения влажности 20% наблюдается монотонное изменение максимального относительного удлинения при растяжении со 106 до 100,5%, что соответствует по данным Медведева Г.М. [3] сохранению в продукте пластичных свойств. В дальнейшем наблюдается более медленное уменьшение относительного удлинения изделий при растяжении, а после 70 мин сушки при влажности изделий 18% и менее изделия утрачивают свои пластические свойства.

Продольное напряжение при растяжении представлено на рисунке 6.

Предельное продольное напряжение, выдерживаемое изделиями, в течение первых 40 мин сушки остается практически неизменным. При дальнейшей сушке от 40 до 130 мин наблюдается упрочнение структуры макаронных изделий, иллюстрирующееся изменением продольных напряжений от 19,1 до 31,8 г/мм<sup>2</sup>.

От 130 до 180 мин наблюдается незначительное увеличение прочности изделий, связанное с релаксацией остаточных напряжений в условиях охлаждения воздухом с высокой относительной влажностью.

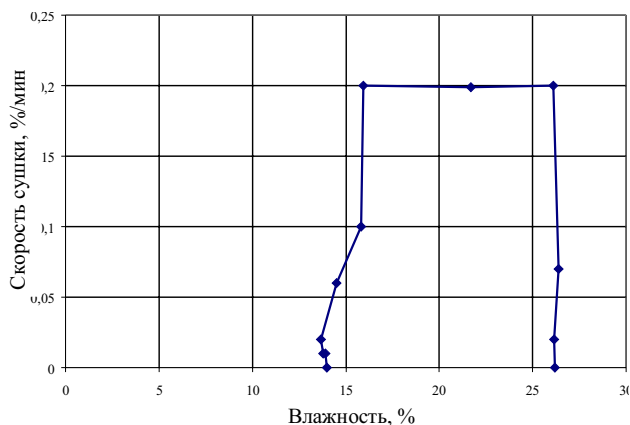


Рисунок 4. Кривая скорости сушки

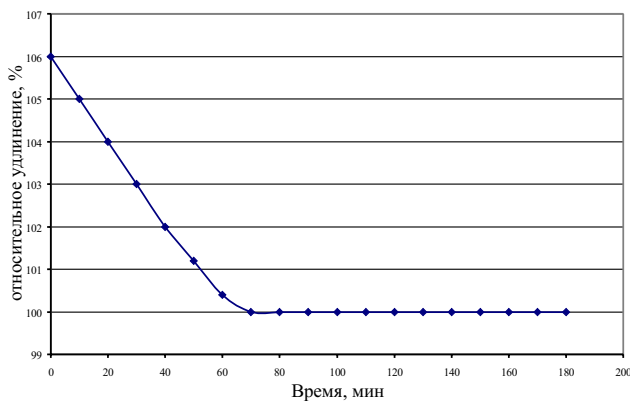


Рисунок 5. Зависимость относительного удлинения при растяжении от времени сушки

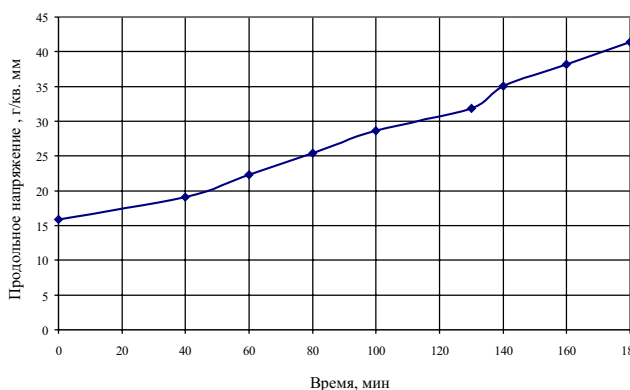


Рисунок 6. Зависимость продольного напряжения при растяжении от продолжительности сушки

Таблица 1. Показатели качества получаемых макаронных изделий

Время сушки, мин	0	10	30	40	50	60	70	80	90	100	110	130	140	160	180
Цвет	белый			бело-желтый			желтый			золотисто-желтый			темно-желтый		
Влажность, %	26,2	26,1	26,4	24	21,7	19,6	17,6	16,0	15,0	14,5	13,8	13,6	13,8	13,9	14
Кислотность, град	3,0	3,0	3,2	3,3	3,3	3,4	3,4	3,4	2,8	2,7	2,6	2,6	2,7	2,7	2,8
Время варки, мин	10														
Коэффициент водопоглощения изделий при варке	1,4	1,3	1,2	1,4	1,5	1,6	1,8	1,9	1,9	1,8	1,7	1,7	1,6	1,7	1,8
Количество СВ перешедших в воду, %	17,4	16,6	15,4	15,2	14,7	14,0	12,7	10,5	10,7	11,0	11,2	11,3	11,5	11,7	11,9
Слипаемость, г	300	280	260	270	250	200	200	200	200	210	220	230	230	240	240

Прочность определяли на модернизированном приборе Строганова, при этом концы изделий закрепляли в специальных зажимах из пористой резины, установленных на стойках прибора. Расстояние между зажимами составляло 25 мм. Зависимость прочности от времени сушки представлена на рисунке 7, из которого следует, что прочность на изгиб макаронных изделий в первые 30 мин не изменяется, что связано с высокой влажностью изделий. При продолжении сушки наблюдается увеличение прочности: интенсивное в течение 80 мин и замедленное далее.

Внешний вид макаронных изделий, характеризующийся цветом, степенью шероховатости поверхности, состоянием излома и правильностью формы определяли органолептическим способом. Кислотность макаронных изделий определяли методом водной болтушки по ГОСТ 14849-89. Время варки до готовности составляло 10 мин, в момент исчезновения мучнистого непроваренного слоя. Показатели качества получаемых макаронных изделий представлены в таблице 1.

Анализируя процесс терморadiационной сушки макаронных изделий, можно сделать выводы:

- что в начальный период сушки идет слишком медленное разогревание продукта;
- наблюдается ухудшение качества изделий, растрескивание в конце сушки;
- удельные затраты энергии на осуществление процесса составляют 350 Вт/кг.

Недостатками процесса сушки на данном сушильном оборудовании являются скачкообраз-

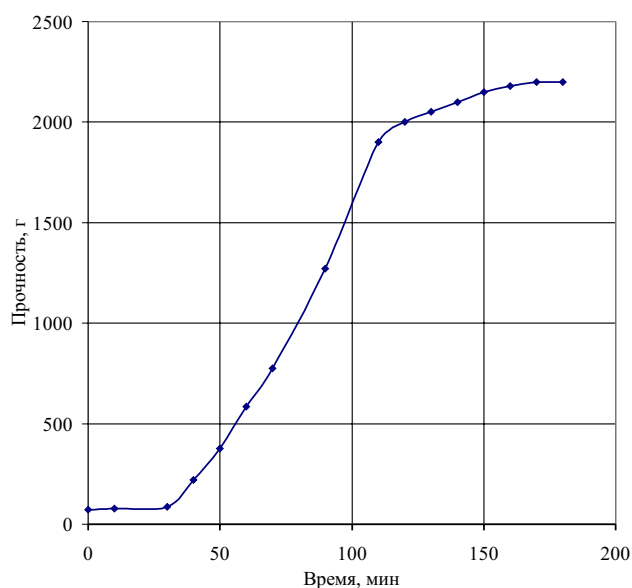


Рисунок 7. Зависимость прочности от продолжительности сушки

ный характер изменения температуры и влажности сушильной среды, а также чрезмерно высокая относительная влажность сушильного воздуха в конце сушки, что вызвано отсутствием принудительной циркуляции и организованного отвода воздуха в самой сушилке. Большой объем макаронной продукции, выпускаемой малыми предприятиями, стимулирует разработку качественной и надежной математической модели для построения эффективных систем управления, позволяющих сократить удельные энергетические и материальные затраты при производстве изделий.

#### Список использованной литературы:

1. Гинзбург А.С. Основы теории и техники сушки пищевых продуктов. – М.: Пищевая промышленность, 1973. – 178 с.
2. Чернов Е.М., Медведев Г.М., Негруб В.П. Справочник по макаронному производству. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 320 с.
3. Медведев Г.М. Технология макаронного производства. – М.: Колос, 1999. – 272 с.
4. Назаров Н.И. Технология и оборудование пищевых производств. – М.: Пищевая промышленность, 1977. – 316 с.
5. Шишкин И.Ф. Основы метрологии, стандартизации и контроля качества. – М.: Из-во стандартов, 1988. – 318 с.