

## **Механизм естественного усыхания хлебобулочных изделий. Борьба с потерей массы продукта.**

К.т.н. Данин В.Б., аспирант Пастухов А.С.

Санкт-Петербургский государственный университет  
низкотемпературных и пищевых технологий

*Авторы провели ряд теоретических и экспериментальных исследований. На основе полученных данных был описан механизм процесса естественной усушки хлебобулочных изделий, построены кривые усушки, отражающие изменение (возрастание) численных значений усушки хлеба, как функцию времени его хранения после выпечки. Выявлены факторы, наиболее интенсивно влияющие на процесс усыхания продукта, выделены два периода в процессе усыхания. Сделаны выводы о том, что наиболее интенсивно усушка идёт в первом периоде, и что наиболее эффективным способом сокращения длительности первого периода является ускорение охлаждения хлеба после выхода из печи до температуры воздуха в хлебохранилище.*

Ключевые слова: интенсификация, теплообмен, процесс выпечки.

Современное хлебопекарное производство характеризуется высоким уровнем механизации и автоматизации технологических процессов производства хлеба, внедрением новых технологий и постоянным расширением ассортимента хлебобулочных изделий [6]. Но есть ещё целый ряд сложностей связанный с хранением и охлаждением хлеба перед отправкой в торговую сеть[5]. Охлаждение хлебобулочных изделий в остывочных отделениях длится несколько часов. Это неприемлемо, т.к. при длительном охлаждении показатели качества выпеченного изделия ухудшаются. Хлебобулочные изделия черствеют и подвергаются обсеменению. Поэтому проблема быстрого охлаждения от 90...95 °С в центре мякиша до температур 30...+32°С в центре мякиша остается актуальной.

Повышение требований к микробиологической безопасности хлеба привело к необходимости упаковки его в пленку. Более того, на упакованный товар можно нанести дату производства и марку производителя, поэтому с ним проще работать с точки зрения маркетинга. В свою очередь упаковка в пленку возможна лишь при достаточно низкой температуре продукта. С другой стороны интенсификация процесса охлаждения приводит к увеличению скорости испарения влаги из продукта, в то время как усушка продукта строго нормирована[4].

Для того, чтобы отыскать параметры процесса охлаждения хлеба, обеспечивающие высокую интенсивность процесса при соблюдении нормы усушки необходимо сформулировать и решить задачу тепло- и массообмена.

В момент выемки из печи влажность корки близка к нулю, а влажность мякиша примерно такая же, как начальная влажность теста[3].

Остывание и потеря хлебом массы (усушка) протекают одновременно. Температура корки хлеба в момент выхода из печи достигает на поверхности 180 °С, на границе с мякишем — около 100 °С. Влажность корки в этот момент близка к нулю. Температура мякиша 97...98 °С, а влажность его на 1...2% превышает исходную влажность теста[1].

Сразу же после выхода хлеба из печи начинается его усыхание (усушка). Усушка - уменьшение массы хлеба в процессе хранения за счет испарения влаги с поверхности корки в окружающую среду. Усушка выражается в процентах, которые показывают, на какую часть уменьшилась при хранении масса горячего хлеба. Для определения усушки ( $Y_{yc}$ ) следует из массы горячего хлеба ( $M_{zx}$ ) вычесть массу остывшего хлеба ( $M_{ox}$ ). Обычно усушку выражают в процентах к массе горячего хлеба ( $M_{zx}$ ).

$$Y_{yc} = \frac{M_{zx} - M_{ox}}{M_{zx}} \cdot 100, \quad (1)$$

Остывание корки и увлажнение ее до 12...14% происходит в зависимости от температуры в хлебохранилище, массы штуки хлеба и условий его складирования обычно за первые 2...4 ч хранения хлеба после выпечки.

Влажность корки 12..14% - примерно соответствующая равновесной, сохраняется при дальнейшем хранении хлеба. Влажность мякиша хлеба при его хранении постепенно снижается.

Сразу после выпечки слои мякиша, прилегающие к корке, могут иметь влажность, несколько превышающую влажность самой центральной части мякиша. Это является следствием термовлагопроводности из зоны мякиша, непосредственно прилегающей к корке, к прилегающим к ней слоям мякиша, а также перемещения части пара из зоны испарения в прилегающие к ней менее нагретые слои мякиша и конденсации в этих слоях.

Однако за первые же 30...60 мин хранения хлеба после выпечки влажность слоев мякиша, прилегающих к корке, заметно снижается вследствие миграции влаги в обезвоженную корку, а также последующего испарения из нее в окружающую среду. При этом влажность внешних слоев и центра мякиша становится примерно равной и значительно (на 1...1,5%) более низкой, чем сразу после выпечки.

При дальнейшем остывании и хранении хлеба слой мякиша, смежный с коркой, теряет влагу значительно скорее, чем центральная его часть. Длительное хранение хлеба в течение нескольких суток может привести к тому, что подкорковый слой мякиша вследствие значительной потери влаги станет твердым, не поддающимся деформации при легком нажиме на поверхность хлеба.[2].

Одним из основных факторов, обуславливающих интенсивное усыхание хлеба в первый период его хранения и остывания до температуры хлебохранилища, является повышенная температура мякиша, создающая градиент температуры между коркой и мякишем; этот температурный градиент вызывает перемещение влаги к корке.

Когда хлеб остынет до температуры помещения, температурный градиент равен нулю, термодиффузия влаги прекращается, так же как и интенсивное усыхание хлеба, несмотря на оставшийся значительный градиент влажности между мякишем и коркой.

Из этого, однако, нельзя делать вывод, что только одна термовлагопроводность форсирует усыхание хлеба в период его остывания. Это неверно уже потому, что и скорость концентрационного перемещения влаги, вызываемого градиентом влажности, также зависит от температуры продукта. Чем выше температура продукта, тем скорее идет концентрационная диффузия влаги. Это особенно важно для продуктов, оказывающих большое сопротивление диффузии влаги; к ним относится и хлеб.

Наряду с термовлагопроводностью и концентрационным перемещением влаги в хлебе решающим фактором, определяющим скорость усыхания хлеба в зависимости от его температуры, является скорость влагоотдачи или так называемой внешней диффузии паров влаги через пленку неподвижного воздуха, окружающего поверхность сохнущего продукта.

Внешняя диффузия через неподвижную пленку воздуха при одинаковой поверхности испарения и скорости воздуха, омывающего сохнувший продукт, зависит от разности парциальных давлений пара, насыщающего воздух при температуре продукта, находящегося по одну сторону пленки, и пара, содержащегося в омывающем продукт воздухе по другую сторону пленки.

Парциальное же давление водяного пара резко возрастает по мере повышения температуры продукта.

Таким образом, температура остывающего после выхода из печи хлеба является фактором, обуславливающим испарение воды с поверхности хлеба (внешнюю диффузию) и перемещение влаги внутри хлеба (тепловое и концентрационное) и, следовательно, в основном определяющим скорость усыхания хлеба. После того как хлеб остынет до температуры хлебохранилища, этот фактор перестает ускорять процесс усыхания хлеба и последний протекает значительно медленнее. При исследовании процесса усыхания хлеба для его характеристики можно использовать кривую усушки и (по терминологии сушильной техники) кривые сушки и скорости сушки.

Общая масса хлеба или других видов хлебных изделий ( $g_{xl}$ ) состоит из массы абсолютно сухих веществ ( $g_{св}$ ) и массы влаги ( $g_{вл}$ ).

В хлебопекарной промышленности влажность ( $W_{xl}$ ) хлеба и хлебных изделий или их мякиша принято выражать в процентах к их общей массе. При этом

$$W_{xl} = \frac{g_{вл}}{g_{xl}} \cdot 100 \quad (2)$$

В исследованиях процессов сушки и в их терминологии принято понятие суммарной (интегральной) влажности сушимого материала ( $W^c$ ). Величина  $W^c$  сушимого материала отражает массу содержащейся в нем влаги, выраженную в процентах к массе содержащихся в нем абсолютно сухих веществ.

Применительно к процессу естественного усыхания хлеба после выхода его из пекарной камеры

$$W_{xl}^c = \frac{g_{вл}}{g_{xl}} \cdot 100 \quad (3)$$

Поэтому численные значения  $W_c$  сушимых или сохнувших материалов значительно выше соответствующих значений  $W$ .

Для взаимопересчетов значений этих показателей используют формулу:

$$W_{xl} = \frac{W_c}{(100 + W_c)} \cdot 100 \quad (4)$$

$$\text{и } W^c = \frac{W_{xl}}{(100 - W_{xl})} \cdot 100 \quad (5)$$

Для графической характеристики процесса усыхания хлеба при хранении его после выпечки можно использовать описываемые ниже кривые[7].

Кривые усушки отражают изменения (нарастание) численных значений усушки хлеба (снижения  $g_{xl}$ ), как функцию времени его хранения ( $\tau$ ) после выпечки. Численное значение  $g_{xl}$  при этом снижается за счет испарения из него части  $g_{вл}$  (в начальном периоде хранения хлеба после выпечки, когда он еще не остыл, из него наряду с влагой испаряется очень небольшая доля легколетучих компонентов; в общей массе усушки их доля не более 2 %).

Величину снижения  $g_{xl}$  за определенный период хранения, а следовательно, и величину усыхания определяют взвешиванием хлеба в момент выхода из печи и повторным взвешиванием его через заданный период хранения. В начальном периоде хранения хлеба, до его остывания, повторные определения его массы взвешиванием должны повторяться более часто (через 0,5...1,0 ч), чем у уже остывшего хлеба. При дальнейшем и особенно при длительном хранении хлеба интервалы между определениями его массы могут быть увеличены (до 8, 12 и даже 24 ч).

Это обусловлено практическим постоянством скорости усыхания хлеба в этом периоде.

Кривые сушки отображают изменения  $W^c$  хлеба как функцию времени его хранения после выпечки ( $\tau$ ).

Целесообразно, чтобы частота и моменты определения численных значений  $W_{xl}^c$  совпадали с приведенными выше для определения численных значений усушки по изменению  $g_{xl}$ .

Кривые скорости сушки характеризуют скорость изменения суммарной влажности сушеного (или сохнувшего) материала  $\frac{dW^c}{d\tau}$  как функцию  $W^c$  (или  $W^c - W_{равновесн}^c$ ).

При исследовании процесса усыхания хлеба в течение 120 часов велись наблюдения за изменением массы 467 штук смешанного ржано-пшеничного хлеба из обойной муки (70 % ржаной и 30 % пшеничной), хранившегося на одной вагонетке в обычных условиях хлебохранилища хлебозавода.

На основе полученных экспериментальных данных были построены кривые усушки и сушки (рис. 1) и кривая скорости сушки (рис. 2).

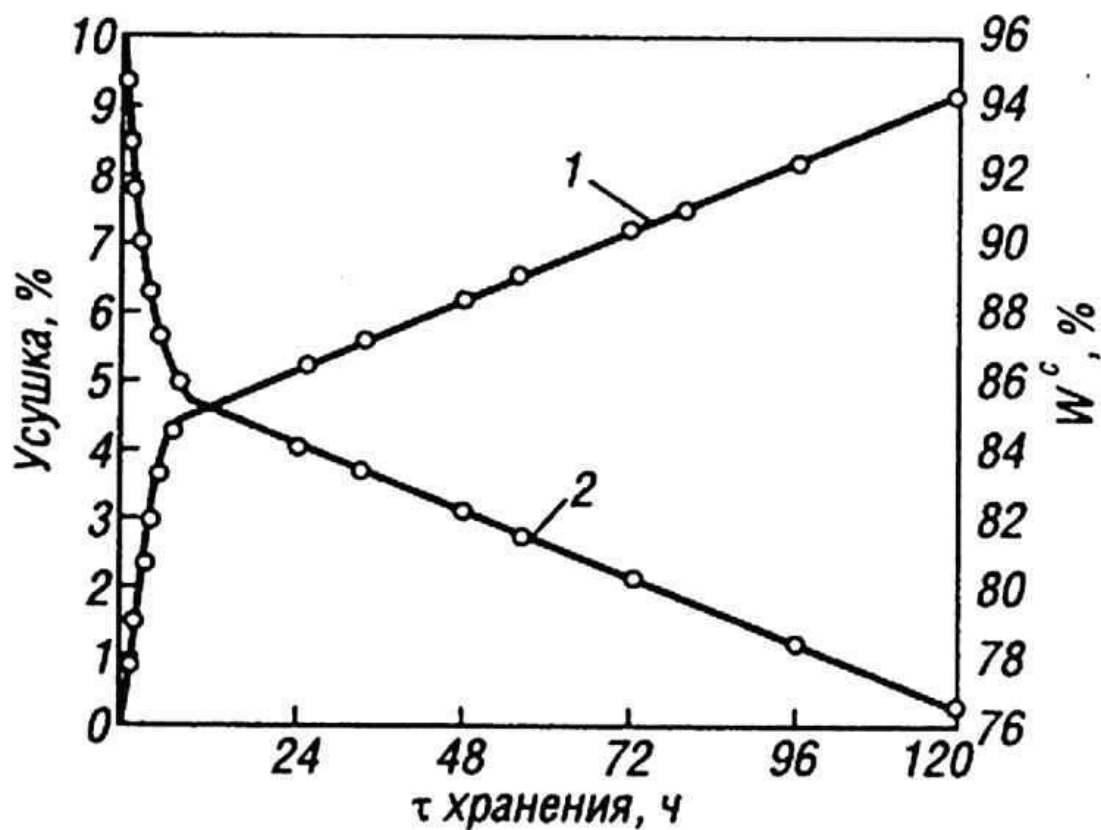


Рис.1 Кривые усушки (1) и сушки (2) хлеба после выпечки в процессе естественного остывания

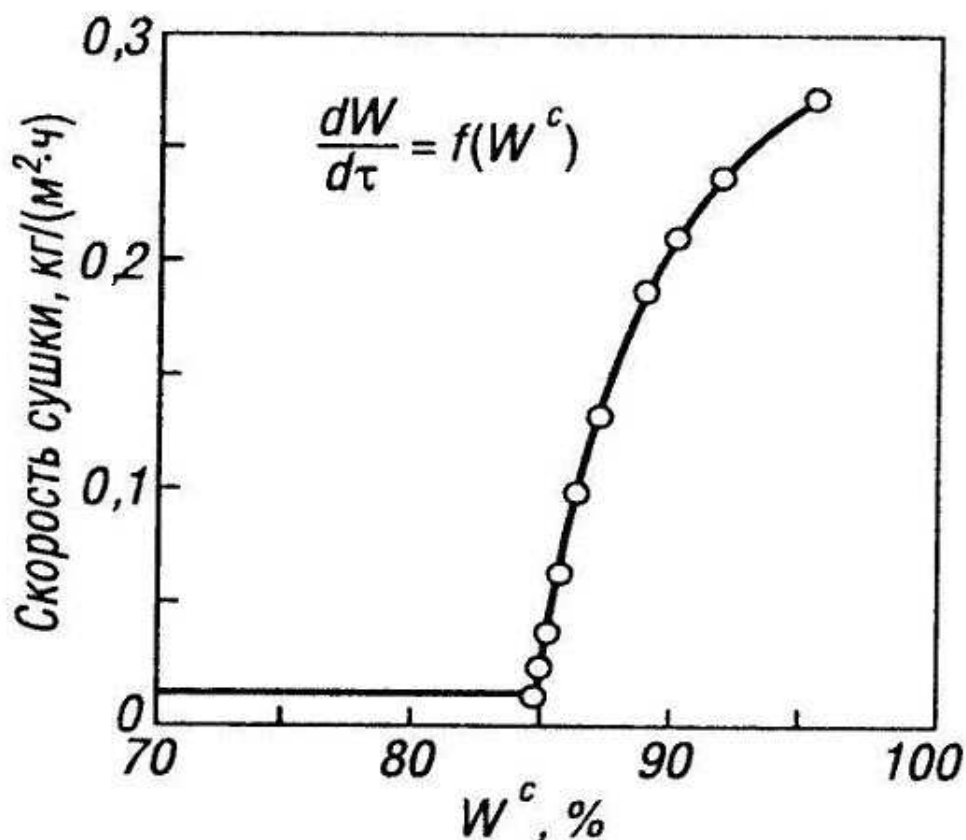


Рис.2 Кривая скорости усушки в процессе естественного остывания

В процессе естественного усыхания хлеба есть момент, начиная с которого скорость усыхания, быстро падающая по мере остывания хлеба, делается практически постоянной. Особенно четко этот момент, соответствующий  $W^c \approx 85\%$ , виден на кривой скорости сушки (см. рис. 2). Обычно переход к постоянной скорости усыхания совпадает с моментом, когда температура хлеба становится равной температуре окружающего хлеб пространства[2].

В первом периоде скорость усыхания уменьшается в результате снижения температуры хлеба и температурного градиента в нем.

Во втором периоде температура хлеба примерно равна температуре окружающего хлеб воздуха и практически постоянна, вследствие чего усыхание идет с постоянной скоростью, обусловленной гидрофильными свойствами хлеба, его размерами, формой и параметрами окружающей среды (температурой, относительной влажностью и скоростью движения воздуха).

Как видно из графиков на рис. 1 и 2, скорость усыхания наибольшая в первом периоде усыхания и намного ниже во втором периоде; поэтому основным путем снижения потерь при усыхании хлеба является сокращение длительности первого периода.

Наиболее эффективным способом сокращения длительности первого периода является ускорение охлаждения хлеба после выхода из печи до температуры воздуха в хлебохранилище.

Иными словами, для снижения усушки следует быстро охладить изделия, а затем хранить их в условиях, замедляющих усыхание [9]. Движение воздуха в остывочном отделении со скоростью 0,3-0,5 м/с приводит к ускорению охлаждения хлеба и, следовательно, к сокращению длительности первого периода усушки. Поэтому в последнее время с целью снижения усушки горячий хлеб охлаждают в специальных устройствах: охладителях— на неподвижных поддонах или тележках (этот способ требует значительных площадей, время охлаждения более 3-х часов), в вакуумных установках с использованием испарительного охлаждения (время охлаждения менее 0.5 часа, но по капитальным и эксплуатационным затратам этот способ наиболее дорогостоящий, производительность установок невелика), на конвейерных установках тоннельного или башенного типа (кулерах), где усушка снижается на 0,5...0,9 % [8]. Наиболее прогрессивным является применение в хлебопечении автоматических кулеров [10]. На основании анализа проблем охлаждения и усушки хлебобулочных изделий, возникающих перед хлебопеками, в СПбГУНиПТ проводится большой объем исследований по разработке новых и адаптации классических технологий охлаждения к современным условиям производства. В проводимых экспериментах охлаждению подвергаются хлеб «Дарницкий» ГОСТ 26983-86 и хлеб «Столичный» ГОСТ 26984-86. Эти продукты обладают наиболее массивной (объемной) и, как следствие «неблагоприятной» с точки зрения тепло- и массообмена формой. Безусловно, фактический темп охлаждения подовых хлебов из-за меньшей массы и размера может быть существенно выше, чем у хлеба «Дарницкий» и хлеба «Столичный».

Всё множество факторов, определяющих процесс конвективного охлаждения хлебобулочных изделий, разделено на три группы:

- контролируемые управляемые, которые изменяются в процессе экспериментирования в соответствии с принятым планом. К ним относятся температура и скорость охлаждающего воздуха, скорость движения продукта на конвейере;
- контролируемые неуправляемые - температура различных слоёв охлаждаемых изделий и масса изделия;
- неконтролируемые возмущения - вибрации установки, излучательная способность конструкций конвейера, теплопритоки через ограждающие конструкции башни, от электропривода и другие тепlopоступления

В качестве выходных величин рассматриваются изменения температур в различных слоях охлаждаемого изделия, изменение его массы, а также время охлаждения изделия до температуры 30 °С в центре буханки. А обобщающей целевой функцией принят темп охлаждения хлебобулочных изделий до заданной температуры.

В соответствии со структурной схемой действующих факторов экспериментальное оборудование подбирается таким образом, что оно позволяет изменять и контролировать температуру и скорость охлаждающего

воздуха, скорость движения продукта на конвейере; измерять неуправляемые переменные факторы температура различных слоёв охлаждаемых изделий, их влажность и массу; уменьшать влияние таких неконтролируемых возмущений, как уровень вибрации установки и передачу теплоты от конструкций конвейера, теплопритоки через ограждающие конструкции башни, от электропривода и другие теплопоступления

В качестве выходных функций контролируются изменения по времени массы и температуры в различных слоях и сечениях охлаждаемого изделия.

Такого рода измерения требуют большого объёма измерений различных по своей природе параметров. Подобное усложнение задачи экспериментального исследования приводит к необходимости применения достаточно сложных систем сбора и представления данных, специальных алгоритмов их обработки.

### **Список литературы**

1. А.А. Алфёров Проблемы модернизации производства//Хлебопечение России, 2005 №1.
2. Л.Я. Ауэрман Технология хлебопекарного производства. 8 изд., перераб. и доп.- М.: Лёгкая и пищевая промышленность,1984. – 416 с.
3. А.С. Гинзбург А.С. Основы теории и техники сушки пищевых продуктов. — М.: Пищевая промышленность, 1976. — 528 с.
4. А.Ф. Горячева А.Ф. Сохранение свежести хлеба./ Р.В. Кузьминский М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. – 236 с.
5. Ф.М. Кветный Производство хлеба длительного хранения. М.: Хлебопродукты, №2, 2000. – 15 с.
6. А.Т. Лисовенко Технологическое оборудование хлебозаводов и пути его совершенствования. -М.: Лёгкая и пищ. промышленность, 1982. – 208 с.
7. Н.Н. Малахов, Плаксин Ю.М., В.А. Ларин - Процессы и аппараты пищевых производств, Орёл:Изд-во ОрёлГТУ, 2001. – 686с.
8. А.С. Пастухов, В.Б. Данин- Способы охлаждения хлебобулочных изделий перед нарезкой и упаковкой.// СПбГУНиПТ. -СПб.: Сборник трудов молодых учёных, 2005. – с. 60-61
9. А.С. Пастухов- Современные методы борьбы с усушкой хлебобулочных изделий при их хранении.// Известия СПбГУНиПТ №1 2006. – СПб, 2006 с. 88-90
10. А.С. Пастухов- Общие сведения об охлаждении хлеба.// Известия СПбГУНиПТ №1 2007. – СПб, 2007 с. 37-41