

*О.В. Дымар, Т.В. Трофимова, Е.В. Ефимова, М.Т. Серебрянская
С.И. Вырина*

Институт мясо-молочной промышленности, Минск, Республика Беларусь

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОЛУЧЕНИЯ СУХИХ МОЛОЧНЫХ ПРОДУКТОВ ПОВЫШЕННОЙ РАСТВОРИМОСТИ

В последние годы отмечено значительное увеличение объемов производства сухих молочных продуктов. Важным этапом в технологиях дальнейшей переработки сухих молочных продуктов является процесс их растворения в воде или, в технологической интерпретации – восстановление. Поэтому совершенно очевидно, что в оценке качества и ценности сухих молочных продуктов доминирующую роль играет их способность к растворению. Следует отметить, что свойства, определяющие растворимость сухих молочных продуктов, и факторы их обуславливающие, привлекают особенное внимание, так как в основе совершенствования процессов сушки и создания новых видов молочных продуктов лежит, в том числе, и стремление повысить их растворимость.

Введение. Применительно к сухим молочным продуктам наиболее важную роль играют два аспекта процесса растворения – это полнота и кинетика растворения. Полнота растворения характеризуется количеством сухого вещества, перешедшего в раствор при восстановлении. Данный показатель растворимости характеризует восстанавливаемость сухих порошков независимо от времени растворения. Кинетика растворения характеризует закономерности перехода составных компонентов сухого продукта в раствор во времени, определяет скорость процесса.

Среди многочисленных факторов, определяющих эффективность процесса растворения, т.е. влияющих на полноту и/или скорость растворения, следует выделить следующие:

- свойства, состав и структуру сухих молочных продуктов;
- количественное соотношение сухих молочных продуктов и воды;
- температура воды и сухих молочных продуктов;
- интенсивность механических воздействий при растворении и их продолжительность.

Структура сухих молочных продуктов, обусловленная составом, физико-химическими свойствами сырья и их изменениями в процессе изготовления в большей степени оказывает влияние на полноту растворения. Следует отметить, что добиться повышения полноты растворения сухих молочных продуктов позволяют определенные технологические приемы.

Так, установлено, что повышение температуры пастеризации выше 75°C приводит к увеличению содержания нерастворимого сухого молочного осадка. Например, при пастеризации при температуре $96-98^{\circ}\text{C}$ с введением острого пара содержание нерастворимого сухого молочного осадка возрастает в 1,5-2 раза. Для удаления нерастворимого сухого молочного осадка можно применять после пастеризации центробежную очистку нормализованной смеси, особенно при пастеризации пароконтактным способом.

Сгущение молока и молочных продуктов на пленочных вакуум-аппаратах по сравнению с вакуум-аппаратами циркуляционного типа также позволяет получать сухие продукты с лучшей растворимостью.

Растворимость сухих молочных продуктов уменьшается с повышением температуры воздуха, выходящего из сушильной камеры. При сушке содержание сухих веществ увеличивается, при этом увеличивается и вязкость, и поверхностное натяжение. В предельных случаях происходит так называемое поверхностное твердение, т.е. образование на поверхности жесткой корки, через которую вода и пар или абсорбированный воздух диффундируют очень медленно (рис. 1). В случае поверхностного твердения остаточная влажность частицы

составляет 10-30 %, на этой стадии белки, особенно казеин, очень чувствительны к нагреву и легко денатурируют, в результате образуется трудно растворимый порошок. Кроме того, аморфная лактоза становится твердой и почти непроницаемой для водяных паров, так что температура частицы возрастает еще больше. Несмотря на сравнительную стойкость белковой фазы сухих молочных продуктов, продолжительность их пребывания в зоне повышенных температур должна быть минимальной. К примеру, при 110 °С полная потеря растворимости сухого молока наступает через 3,5 ч, при 170 °С – через 7 мин (рис. 2).



Рисунок 1 – Типичная частица сухого молока. Одноступенчатая сушка

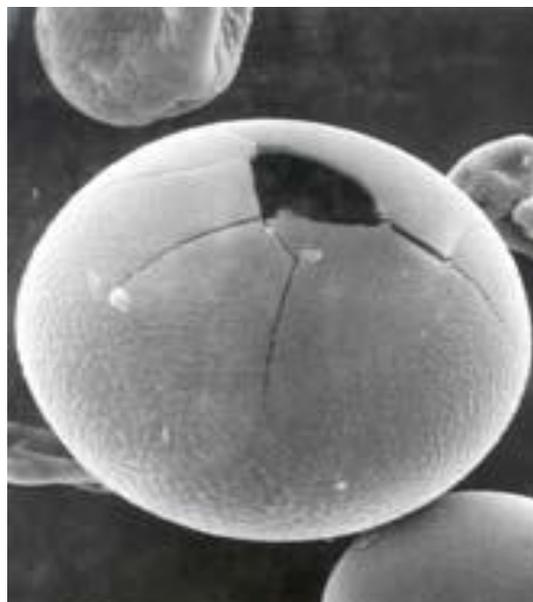


Рисунок 2 – Перегретая частица сухого молока. Одноступенчатая сушка

Плохая растворимость сухих молочных продуктов может объясняться разными причинами. Обычно осадок представляет собой денатурированный казеин или сложную комбинацию казеина и сывороточных белков с лактозой. На индекс растворимости влияют, в основном, следующие факторы:

- низкокачественное молочное сырье с большим содержанием молочной кислоты (из-за высокой активности бактерий) увеличивает

индекс растворимости, так как интенсивная тепловая обработка вызывает необратимую денатурацию белков;

– высокая температура в процессе выпаривания вызывает выраженное загустевание, что ведет к увеличению вязкости и плохому распылению, т.е. к повышению температуры сушки (чем выше температура и вязкость при обработке, тем выше ожидаемый показатель индекса растворимости).

Кинетику процесса растворения сухих молочных продуктов возможно характеризовать по их свойствам, связанными с поверхностными и капиллярными явлениями.

К таким свойствам относятся: смачиваемость – способность частиц продукта смачиваться водой при данной температуре без перемешивания; проникаемость – способность смоченных частиц пропитываться водой до определенной глубины; оседаемость – способность частиц молока после проникновения в них воды оседать на дно сосуда; распускаемость (дисперность) – способность оседающих и осевших частиц распределяться в «спокойной» воде без образования комочков.

Смачиваемость является одним из важнейшим свойств сухих продуктов с точки зрения быстрорастворимости и представляет собой взаимодействие веществ на границе трех фаз: твердой, жидкой и газообразной и характеризуется способностью жидкости растекаться по поверхности твердого тела, т.е. иметь определенное значение краевого угла смачивания. Возможны два случая смачивания. Первый – жидкость растекается по твердой поверхности (краевой угол смачивания $\theta < 90^\circ$), такая поверхность носит название гидрофильной. Второй – ограниченное смачивания (краевой угол смачивания $\theta > 90^\circ$), такая поверхность носит название гидрофобной.

В настоящее время установлено, что наибольшим краевым углом смачивания обладает молочный жир, оказывающий решающее влияние

на смачиваемость жиросодержащих молочных продуктов. Значения краевых углов смачивания зависят от фракционного состава молочного жира, находящегося на поверхности частиц сухих молочных продуктов. На величину краевого угла смачивания различных видов СМП влияет также температура среды и более существенное влияние она оказывает на краевой угол смачивания молочного жира, сухих сливок и сухого цельного молока, чем на краевой угол смачивания сухого обезжиренного молока. Это объясняется тем, что при повышении температуры молочный жир постепенно расплавляется и приобретает большую смачиваемость. В то же время процесс смачивания в воде при температуре 70-75 °С несколько ухудшается вследствие образования плохо растворимой пленки на заваривающих комочках продукта.

На смачиваемость частиц сухих молочных продуктов также оказывает влияние лактоза и белок. При производстве сухих молочных продуктов лактоза менее всего претерпевает физико-химические изменения, она хорошо смачивается водой и не препятствует пропитке водой слоя сухого порошка. Из противоречивых литературных данных по вопросу смачиваемости белка, заслуживает внимания тот факт, что растеканию воды по его поверхности препятствует образование высоковязкого раствора.

Важным показателем смачиваемости является также ее скорость, которую можно оценить скоростью движения фронта смачивающей жидкости в слое порошка. Скорость смачивания определяется главным образом краевым углом смачивания и размером частиц.

Исследованиями, проводимыми многими учеными, установлено, что наибольшая скорость смачивания имеют сухие продукты со средним размером частиц 180 мкм, а количество частиц размером менее 125 мкм не должно превышать 20 %.

Процесс растворения смоченных частиц сухих молочных продуктов начинается с проникания воды в частицу. Доступ воды внутрь

частицы может осуществляться за счет смыва и растворения поверхностных слоев частицы, а также вследствие проникания воды в капилляры и трещины. При этом в случае наличия на поверхности частицы включений жира скорость растворения снижается.

Распускаемость характеризует способность частиц распадаться (диспергироваться) в водном растворе. Процесс распада начинается после прохождения частицей водной поверхности и прилегающей непосредственно к ней зоны повышенной концентрации раствора. Взаимосвязь проницаемости и распускаемости с особенностями физической структуры сухих молочных продуктов не установлена.

Важным свойством сухих молочных продуктов является оседаемость – способность частиц погружаться в воду на определенную глубину до полного их растворения. Медленное погружение способствует растворению частиц, расположенных непосредственно у поверхности воды. Это ухудшает условия растворения новых частиц, так как образуется зона повышенной концентрации раствора. Очень быстрое погружение частиц в ограниченном объеме воды может привести к отложению на дне емкости слоя нерастворившихся полностью частиц. Предполагается, что наиболее приемлемыми свойствами оседаемости обладают сухие молочные продукты с плотностью выше 1200 кг/м^3 , размером одиночных частиц более 70 мкм , агломерированных – более 250 мкм .

Необходимо отметить, что выше перечисленные свойства сухих молочных продуктов, связанные с поверхностными и капиллярными явлениями, могут ухудшаться при хранении. В наибольшей степени это касается показателей смачиваемости, особенно, в первые 2-2,5 месяца.

Количество воды, идущей на восстановление, устанавливается исходя из требований к продукту, т.е. к регламентированному количеству сухих веществ в нем. Однако, известно, что наиболее

эффективно процесс растворения и последующего восстановления протекает при условии первоначального смачивания продукта водой в количестве порядка 100 % к массе сухого молока, при условии интенсивного перемешивания. После чего содержание сухих веществ доводится до требуемого добавлением недостающего количества воды. Также известно, что оптимальными температурными режимами восстановления являются: температура воды в пределах 40-60 °С, температура сухого молока 35-60 °С. При этих режимах достигаются наилучшая смачиваемость и наибольшая скорость растворения. На эффективность процесса растворения особое влияние оказывает интенсивность перемешивания. С повышением интенсивности процесса перемешивания эффективность процесса растворения возрастает. При этом роль продолжительности перемешивания незначительна.

В настоящее время для получения продуктов повышенной растворимости применяют агломерацию и/или покрытие частиц сухого порошка веществами с хорошей смачиваемостью.

Агломерация – это процесс слипания мелких частиц друг с другом, в результате которого образуются более крупные соединения частиц (агломераты). В процессе распылительной сушки возможны два варианта агломерации: спонтанная и вынужденная. В обоих вариантах это может быть первичная или вторичная агломерация.

Спонтанная первичная агломерация – это результат случайного столкновения частиц в одном облаке распыления, обусловленный тем, что частицы разного диаметра имеют разный путь торможения. Это явление характерно и для форсунок, и для роторных распылителей.

Принудительная первичная агломерация – это управляемый процесс создания агломератов за счет столкновения частиц из двух или более числа облаков распыления. Обычно это делается в распылителе со многими форсунками, направленными так, чтобы их факелы распыла сталкивались.

Спонтанная вторичная агломерация – это результат эффекта Вентури при подаче горячего воздуха в камеру, так как он подсасывает сухие частицы порошка во влажное облако распыления.

Принудительная вторичная агломерация – это управляемое получение агломератов, достигаемое возвратом из циклона или рукавного фильтра фракции мелких частиц порошка в облако распыления. Эти мелкие частицы вводятся в сушильную башню вблизи распылителя, где они сталкиваются с распыленными влажными частицами, образуя состоящие из множества частиц агломераты.

Существуют способы улучшения агломерации, среди которых:

- повышение содержания сухих веществ в сгущенной смеси. В диапазоне концентрации 10-54 % выражена тенденция ухудшения свойств быстрорастворимости при понижении степени сгущения продукта;

- снижение температуры пастеризации молока перед выпариванием;

- исключение из процесса пневмотранспорта.

Для улучшения смачивания при производстве сухого цельного быстрорастворимого молока вносят дополнительно эмульгаторы (метарин, пищевые соевые фосфатидные концентраты). Последнее время в качестве эмульгатора повсеместно используется лецитин, который обеспечивает превосходное смачивание цельного сухого молока, способствует гидратации, ускоряет смачивание в холодной/горячей жидкости, дает хорошую функциональность при низком содержании, сохраняет инстантные свойства в течение длительного времени.

В цельных или частично обезжиренных сухих молочных продуктах жир присутствует в виде покрытых оболочкой мелких шариков, равномерно распределенных в частицах порошка. Однако не весь жир защищен оболочкой, особенно на поверхности частиц. Такие «свободные жиры» непосредственно влияют на срок хранения сухого молока и

создают несмачиваемые поверхности при смешивании порошка с холодной водой. Поверхностные свободные жиры невозможно полностью устранить, но их содержание можно снизить.

Свободные жиры очень эффективно снижаются гомогенизацией концентрата, желательна, в двухступенчатом гомогенизаторе. На первой ступени используется перепад давления 7,0-10,0 МПа. Шарики жира распадаются на мелкие шарики, которые под действием статического электричества могут вновь агломерировать. На второй ступени применяется перепад давления 2,5-5,0 МПа для разрушения этих агломератов. После форсунок содержание свободного жира меньше, чем после роторного распылителя, в основном, из-за создаваемого форсунками эффекта гомогенизации. Следует также избегать любых жестких механических воздействий на порошок

Заключение. Таким образом, для получения сухих молочных продуктов повышенной растворимости дополнительными операциями являются:

– для обезжиренных продуктов – *агломерация*, которую в одностадийной сушильной установке осуществляют путем подачи циклонной фракции к распылителю либо определенным распределением потоков сгущенного продукта и сушильного агента, в многостадийной сушильной установке – путем подачи циклонной фракции к распылителю либо определенным распределением потоков сгущенного продукта и сушильного агента и/или досушкой увлажненного продукта в встроенном «кипящем» слое или в инстантайзере;

– для цельного молока и частично обезжиренных продуктов – *агломерация*, которую осуществляют так, как и для обезжиренных продуктов и/или введение веществ, способствующих улучшению смачиваемости (к примеру, лецитина).

Литература

1. Боегорд, С. Распылительная сушилка с псевдоожиженным слоем / С. Боегорд // Переработка молока, 2008. – № 7. – с. 45
2. Бурыкин, А.И. Регулируемая агломерация при производстве сухого быстрорастворимого молока / А.И. Бурыкин // Молочная промышленность, 2006. – № 8. – с. 66-68
3. Кулинич, А. Современное оборудование для сушки и агломерации / А. Кулинич // Переработка молока, 2011. – № 3. – с.62-63
4. Липатов, Н.Н. Восстановленное молоко / Н.Н. Липатов, Н.К. Тарасов. – Москва: Агропромиздат, 1985. – с. 256
5. Липатов, Н.Н. Сухое молоко / Н.Н. Липатов, В.Д. Харитонов. – Москва: Легкая и пищевая промышленность, 1981. – с. 264
6. Петров, А.Н. Производство молочных консервов: инновации в формировании свойств сырья / А.Н. Петров, И.А. Радаева, А.Г. Галстян, С.Н. Туровская // Молочная промышленность, 2010. – № 5. – с. 74-77
7. Тимошенко, Ю.А. Функциональность лецитинов в порошкообразных продуктах / Ю.А. Тимошенко, Е.Б. Федорова // Переработка молока, 2006. – № 11. – с. 12-14
8. Фастова, В.Н. Производство быстрорастворимого молока / Н.В. Фастова, Г.Д. Цыбова // Молочная промышленность, 1963. – № 3. – с. 22-25

**TECHNOLOGICAL ASPECTS PRODUCING DRY MILK PRODUCTS
ENHANCE THE SOLUBILITY**

Summary

In recent years, a marked increase in the production of dry milk products. An important step in the technology further processing of dry milk products is the process of dissolving them in water, or in the process of interpretation - the recovery. Therefore, it is clear that in assessing the quality and value of dry milk products dominates their ability to dissolve. It should be noted that the properties determined by the solubility of dry milk products, and the factors causing them to attract special attention, as by improving the drying process and the creation of new dairy products lies in including, and the desire to improve their solubility.