

## Пенообразование и стабильность молочной пенки

Стойкая, с небольшими порами молочная пенка с рисунком из какао, который не вызывает опадание пены – это ли не идеальный кофе с молоком или капучино? Кофе, приготовленный с молочной пенкой сразу в кружке, стал очень популярным напитком по всему миру, поэтому вырос интерес к изучению характеристик таких молочных пен. В этой статье авторы объединили результаты научных исследований пенообразования, в том числе подкрепленные практическими данными, полученными опытным путем в лаборатории KRUSS.



В процессе исследования были проанализированы 4 типа молока:

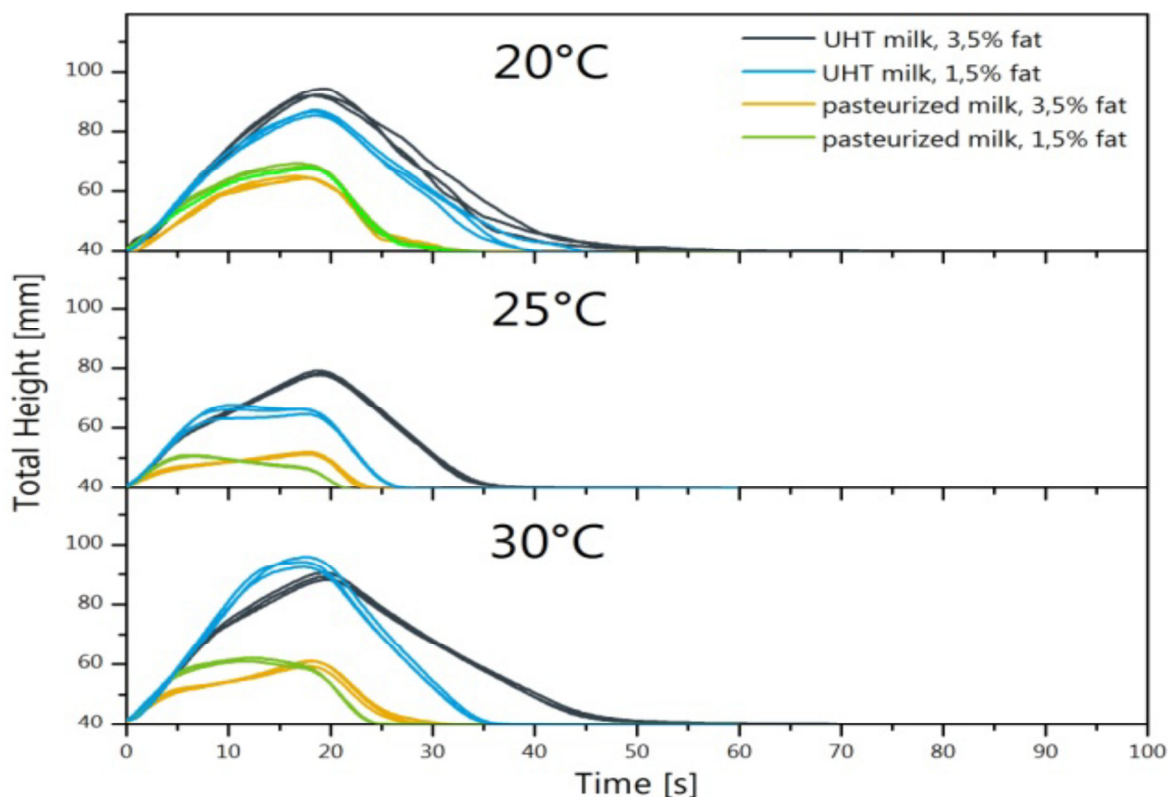
- пастеризованное молоко (1,5% жирности)
- пастеризованное молоко (3,5% жирности)
- ультра пастеризованное молоко (1,5% жирности)
- ультра пастеризованное молоко (3,5% жирности)

Эксперименты выполнялись на анализаторе пены DFA100. Измерения базировались на возможности образования пены и изучении ее стабильности при различных температурных условиях. Кроме того, был проведен анализ структуры полученных пен, изучен размер полученных пузырьков и характер их распределения при различных условиях исследования.

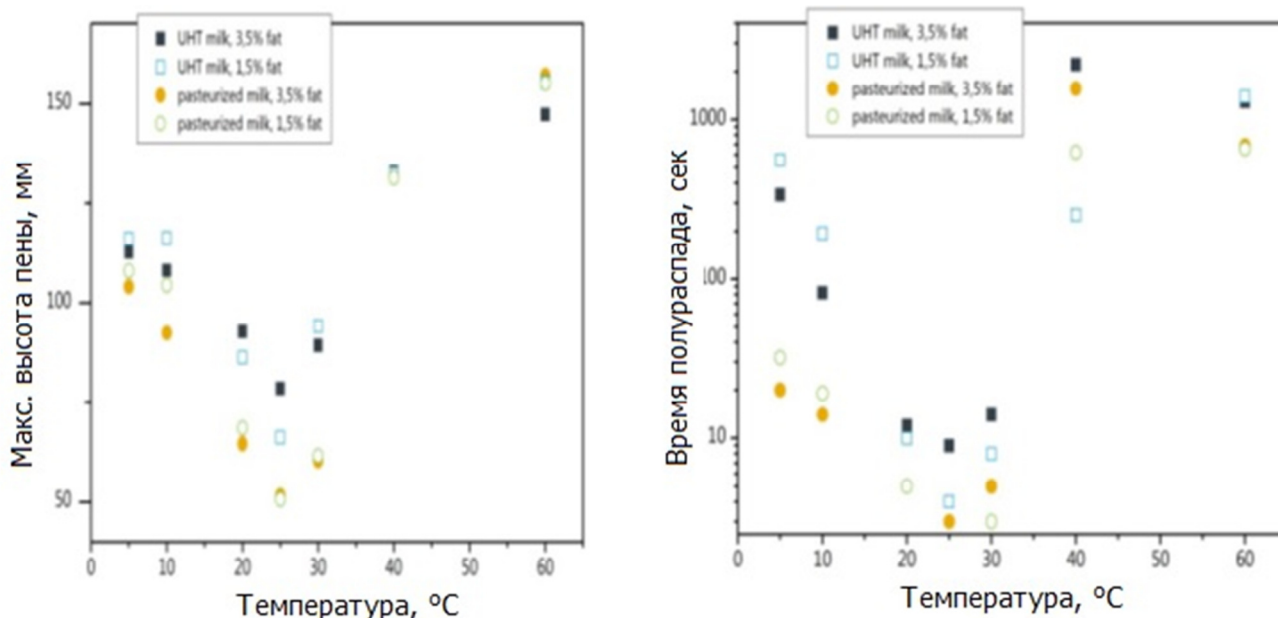
Молоко состоит из протеинов, которые, являясь природными ПАВ, отвечают за стабильность эмульсий и образование пены. Качество и количество пены в напитке определяется типом молока и содержащимся в нем протеинами. С одной стороны жирность и различные методы по сохранности ультра пастеризованного и пастеризованного молока играют важную роль. С другой стороны, температура при которой формируется молочная пена, оказывает влияние на ее свойства.

### Анализ стабильности пены

Молоко разного типа наливалось в измерительную колонку прибора DFA100, после через него продувался воздух с помощью встроенного компрессора, и оно превращалось в пену. Распад сформированной пены по времени фиксировалась ЖК-датчиками, расположенными по всей высоте измерительной колонки, содержащей пробу. Все условия формирования пены: скорость подачи газа, объем пробы, размеры пор в фильтре, время формирования пены были одинаковы для всех образцов. Сначала измерения проводились при трех температурах: 20 °C, 25 °C, 30 °C. Результаты экспериментов представлены в графике.



Из графика видно, что температура оказывает влияние на результат. Поэтому температурный интервал был расширен (5°C - 60°C) и исследовалось не только склонность молока к образованию пены, но время полураспада пены (стабильность пены).



В рамках проведенных экспериментов, удалось подтвердить основополагающие данные: при низких температурах, ультра пастеризованное молоко больше способно к пенообразованию, нежели пастеризованное молоко, а также полу-взбитое, чем полностью взбитое. При повышенных температурах все типы молока легко подвергаются вспениванию и различия между ними почти отсутствуют.

Из графика слева очевидно, что минимум пенообразования приходится на 25°C. Авторы исследования объясняют это явление формированием полукристаллических глобул жира, которые оказывают негативный эффект на формирование пены.

Исследование показало, что процесс образования пены довольно затруднителен при 25°C, но в нем ничего не говорилось о стабильности пены. Примечательно то, что пенообразующие вещества в жидких пробах также оказывают влияние на способность вспенивания.

По мнению авторов, несмотря на то, что вспенивание проводилось при температуре, процесс распада сформированной пены был исследован без температурного контроля. Хотя при распаде пены колонка поддерживалась при заданной температуре, но авторы предположили, что при охлаждении пены существуют неконтролируемые термические эффекты, которые имеют молекулярную природу (механизм). Как результат, пенообразование и ее стабильное «поведение» показало похожую линию поведения от температурной зависимости, как и предполагалось.

### **Анализ структуры пены**

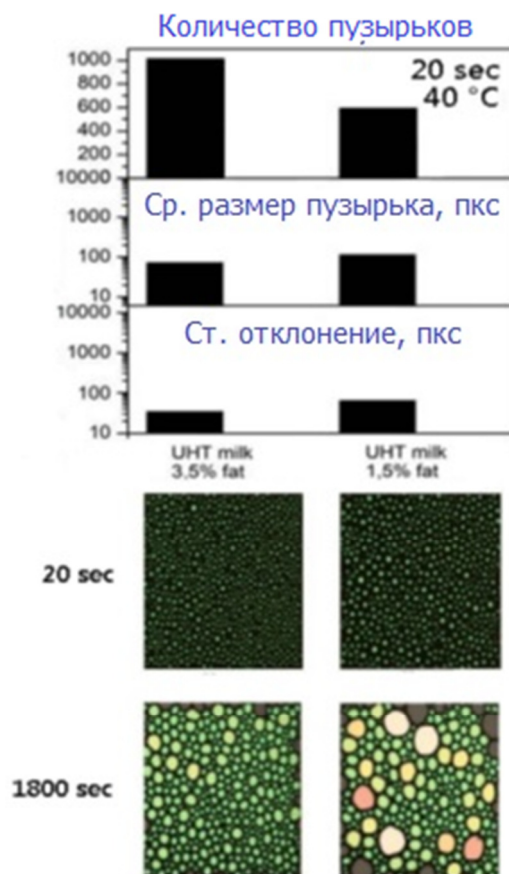
Эксперимент проводился с помощью специального модуля для изучения структуры пены DFA100FSM. Программное обеспечение определяет количество и размер пузырьков, гомогенность их распределения внутри пены, рассчитывает средний размер пузырьков со стандартным отклонением. Все эти параметры записываются программой как функции по времени измерения, кроме того все структурные изменения в фазе распада пены зафиксированы видео изображением.

Оценить структуру молочной пены можно двумя способами. Во-первых, потребитель предпочитал пену с маленькими порами, равномерно распределенными по всему объему, которые имеют прямое отношение к эстетическому виду продукта. Во-вторых, стабильность также зависит от размера пузырьков и распределения их по размеру.

Оствальдовское созревание пузырьков является катализатором механизма распада пены, который зависит от разности давления между большими и малыми пузырьками, посредством чего количество маленьких пузырьков уменьшается со временем, а число больших пузырьков увеличивается. Чем равномернее распределены пузырьки по размеру, тем меньше давление между пузырьками и тем медленнее происходит Оствальдовское созревание. Эти рассуждения подтверждаются также изображениями структуры пены.

В соответствии с измеренной высотой столба пены, наибольшую стабильность показала пена ультра пастеризованного молока (3,5% жирности) при 40 °С. Исследование структуры этой пены выявило мелкие пузырьки с низким стандартным отклонением от среднего размера, и поэтому наблюдалась высокая степень однородности пены (слева). Пена 1,5% ультра пастеризованного молока (справа) оказалась более нестабильной, при распаде показала большие пузыри с низкой однородностью сразу после вспенивания.

Два изображения структуры пены после 20 сек и после 1800 сек времени затухания иллюстрируют разницу между образцами.



### Выводы

В рамках данного эксперимента исследованы пены четырех образцов молока, приготовленного различными технологическими методами (пастеризованное или ультра пастеризованное молоко) и содержанием жира 3,5% и 1,5%. Основной упор делался на влияние температуры и природы молока на пенообразование и стабильность пены. Эксперимент подтвердил минимум пенообразования при 25 °С, как указано в научной литературе. При температурном контроле колонки с пеной, авторы также продемонстрировали аналогичный же курс для минимальной стабильности пены, вопреки доступным исследованиям.

Исследование структуры пены показало корреляцию между размером пузырька и его распределением по объему с одной стороны, и стабильность пены, с другой стороны: наименьший размер пор- наиболее однородная пена (ультра пастеризованное молоко 3,5% жирности при 40 °С).

Наконец, на основании всего изложенного можно вывести некоторые «правила» молочной пены:

- ✓ Для вспенивания, в идеале молоко должно быть непосредственно из холодильника или же наоборот разогрето. Молоко при комнатной температуре не подходит вообще.
- ✓ Молоко с низким содержанием жира является более благоприятными, чем цельное молоко, и ультра пастеризованное молоко лучше, чем пастеризованное, особенно холодное.
- ✓ Большой объем однородной, устойчивой пены возникает при вспенивании теплого ультра пастеризованного цельного молока.