

Утфель и меласса: вязкость и пенение неньютоновских жидкостей

В.А. СОТНИКОВ, д-р техн. наук, директор ИП Сотников В.А. («Предприятие ПромАсептика») (e-mail: swa862@mail.ru)

Т.Р. МУСТАФИН, канд. биолог. наук, зав. лабораторией

*Быстро грести вёслами гораздо тяжелее,
нежели если делать это медленно...*

Исаак Ньютон

Введение и цель работы

Выход и качество сахара-песка в значительной степени зависят от того, насколько правильно проводятся процессы кристаллизации сахара и центрифугирования утфелей [1]. Для улучшения и интенсификации технологических процессов, особенно при переработке сырья невысокого качества, применяют различные технологические приёмы и вспомогательные технологические средства (поверхностно-активные вещества (ПАВ) и пеногасители) [2], действие которых направлено на решение важных технологических задач:

- снижение вспенивания;
- уменьшение вязкости сахаросодержащих растворов;
- улучшение процессов получения и центрифугирования утфелей II и III кристаллизаций.

Другой очень важной проблемой в сахароварении является активное вспенивание меласс. Этому процессу способствует ряд факторов: использование высокоскоростных центрифуг (например, фирмы ВМА), которые активно механически взбивают мелассу, и переработка свёклы невысокого качества.

Вспененная меласса в виде безе перекачивается с трудом, так как имеет повышенную вязкость, но при этом её наливная плотность снижается. Хранение такой мелассы требует хранилищ большего объёма, что на производстве не представляется возможным, и порой подобная ситуация вынуждает предприятие к аварийной остановке. Перевозка такой мелассы автомобильным и железнодорожным транспортом экономически невыгодна. Вспененная меласса является биологически нестойкой – в ней активно развиваются микроорганизмы, приводящие к закисанию, и повышается вероятность самовозгорания мелассы (особенно если в ней превышено содержание α -аминного азота).

В настоящее время наряду с прогрессивными способами интенсификации процесса кристаллизации сахара используют различные полу- и синтетические поверхностно-активные вещества (пеногасители) на основе эфиров и производных растительных масел, восков, полиолов и полиэфиров: АМГС-50, АМГС-100, Intrasol FK, «Камея» и др. [4].

Попытки применения ряда современных пеногасителей, которые с успехом решают проблему пеноподавления в ТМВ, диффузионном соке, жомопресовой воде и сиропах для пеногашения мелассы и утфелей, оказались не столь успешными. Более того, действие этих ТВС узконаправленное: они снижают вязкость утфеля, но слабо блокируют пенообразование, и наоборот.

Мы предположили, что эффективность функционирования применяемых ныне ПАВ и пеногасителей обуславливается не только их химическими свойствами, но и реологическими и электростатическими характеристиками тех сахаросодержащих жидкостей, где планируется использование этих ТВС. Реологический ряд полного спектра сахаросодержащих потоков на предприятии весьма широк (рис. 1): от типично ньютоновской жидкости (вода), до типично неньютоновской жидкости (насыпной сахарный песок). На существенные различия в природе этих жидкостей ещё в XVII в. обратил внимание Исаак Ньютон.

Путешествуя на лодке, Исаак Ньютон впервые сформулировал закон течения жидкостей: «Сопротивление, происходящее от недостатка скользкости жидкости, при прочих одинаковых условиях предполагается пропорциональным скорости, с которой частицы жидкости разъединяются друг от друга» (оригинальная формулировка Ньютона в переводе А.Н. Крылова). На основании этого закона жидкости условно можно разделить на ньютоновские и неньютоновские.

Ньютоновская жидкость (названная так в честь великого учёного) – вязкая жидкость, подчиняющаяся в своём течении закону вязкого трения Ньютона, т. е. касательное напряжение и градиент скорости в такой жидкости линейно зависимы [5]. Классическим примером ньютоновской жидкости является

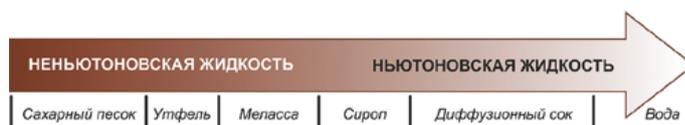


Рис. 1. Реологический ряд сахаросодержащих потоков

вода. Если жидкость не подчиняется этому закону (вязкость изменяется в зависимости от скорости тока жидкости), то её в противоположность называют неньютоновской жидкостью. Примерами таких жидкостей являются растворы полимеров, ряд твёрдых суспензий и большинство высоковязких жидкостей.

Неньютоновские жидкости (высоковязкие) сильно отличаются от ньютоновских низковязких жидкостей: помимо различий в физике их течения в них могут различным образом формироваться сложные трёхфазные коллоидные системы, состоящие из твёрдой фазы (кристаллы сахара, нерастворённые сахара, соли кальция), жидкой фазы (вода, растворённые сахара) и газовой фазы (воздух). Поэтому и подход к управлению этими жидкостями должен быть различен. Особенно это важно при решении проблем с пенообразованием и повышенной вязкостью утфелей, мелассы и сиропов.

Не следует также игнорировать и электростатические свойства вышеперечисленных продуктов, которые относятся к дисперсионным системам и для которых характерно наличие ζ -потенциала дисперсных частиц [6]. Напомним, что ζ -потенциал — это разность потенциалов дисперсионной среды и неподвижного слоя жидкости, окружающего частицу.

Мы предположили, что активному пенообразованию утфелей и мелассы способствуют не только поверхностно-активные свойства несахаров, но и их способность формировать электрические слои с возникновением отрицательного ζ -потенциала. Мощности этого отрицательного ζ -потенциала зависит от количества несахаров, степени их гидратации (растворимости) и, в конечном счёте, от степени гетерогенности. Именно несахара в высококонцентрированных сахарных растворах (мелассе и утфеле), находясь в нерастворённой или полурасстворённой формах, организуют эту дисперсную систему.

На рис. 2 представлена схема сложной дисперсной системы утфеля и мелассы.

В межкристальный раствор, где растворены в воде сахара и органические и неорганические несахара, инкрустированы также фрагменты твёрдой и газовой фаз. Твёрдая фаза представлена кристаллами сахарозы и нерастворимых несахаров, а газовая — пузырьками воздуха, случайно внесённого механическим способом.

Утфели представляют собой сверхмицеллярную структуру с включением в неё дисперсионной среды (растворителя), так как в межкристальном растворе резко возрастает степень гидратации несахаров коллоидной степени дисперсности, т. е. увеличивается объём и агрегирование их частиц. Это и обуславливает рост вязкости системы. Существует предположение, что органические сахара, образуя некие кол-

лоидные сгустки, могут адсорбироваться на границе раздела твёрдой и жидкой фаз, и особенно на границе раздела газовой и жидкой фаз, формируя мощный отрицательно заряженный слой. Именно последнее обстоятельство обуславливает стойкость пены у мелассы и утфеля, а также их высокую вязкость.

Основываясь на вышеуказанной гипотезе мы предположили, что эффективными ТВС будут только те, которые в своём составе будут содержать ПАВ, нацеленные на разрушение сверхмицеллярных структур, и вещества, снижающие отрицательный ζ -потенциал, что позволит существенным образом одновременно снизить вязкость утфеля и мелассы и погасить в них пену.

Нами был разработан отвечающий этим требованиям препарат «Пенакон-М», который состоит из комплекса специфических ПАВ и нейтрализатора ζ -потенциала в форме золя.

Материалы и методы исследований

В качестве объектов исследований были выбраны ПАВ (пеногасители), применяемые в настоящее время на отечественных сахарных заводах («Камея» и «Интразол»), и разработанный нами препарат «Пенакон-М». Все указанные препараты в одинаковых количествах (2–20 г/т) вносились либо в утфель, либо в мелассу.

В качестве исследуемых систем были выбраны свекольная меласса и моделированный утфель. Последний готовили путём смешивания мелассы, сиропа и сахарной пудры так, чтобы чистота утфеля была низкой и составляла 76–80 %, что соответствует утфелю 2-го или 3-го продукта, изготовленного из свёклы с пониженными технологическими качествами. Купажированный утфель стабилизировали при тем-

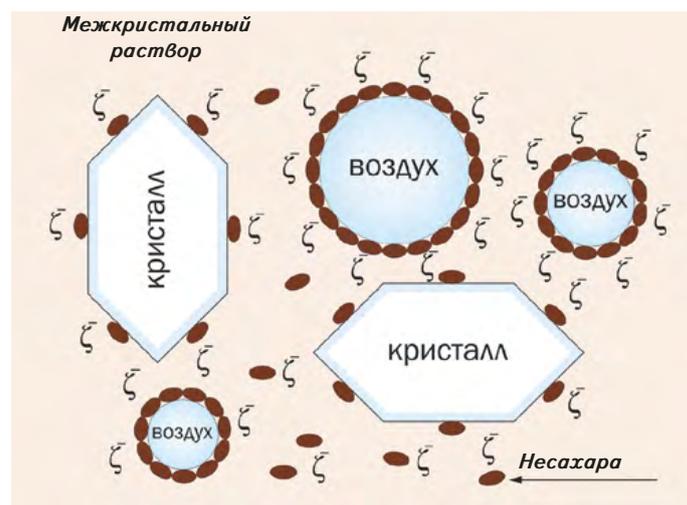


Рис. 2. Дисперсная система утфеля и мелассы



пературе 60 °С в течение 24 суток и только затем использовали его в экспериментах.

Непосредственно перед внесением исследуемых ПАВ утфель насыщали воздухом методом механического миксерования. Насыщение воздухом мелассы осуществляли методом барботирования до 20-кратного увеличения исходного объёма мелассы. Вязкость утфеля оценивали методом фиксированного во времени истечения через щель чашечного вискозиметра термостатированной при 60–65 °С исследуемой пробы.

Результаты экспериментов и их обсуждение

Как показали эксперименты (рис. 3), длительность истечения 20 мл утфеля в контрольном варианте (без добавления каких-либо ПАВ) составила 152 сек.

Максимальное снижение вязкости (в 4,75 раза) наблюдалось при внесении в утфель препарата «Пенакон-М» в количестве 0,008 % к массе утфеля. При этом утфель стал практически свободен от пены. В поле зрения микроскопа (увеличение 100×) утфель, обработанный препаратом «Пенакон-М» (рис. 4), практически полностью освободился от пузырьков воздуха, которые в огромном количестве присутствовали в исходном (контрольном) утфеле (рис. 5).

Другие аналогичные по заявляемому функциональному действию ПАВ способствовали снижению

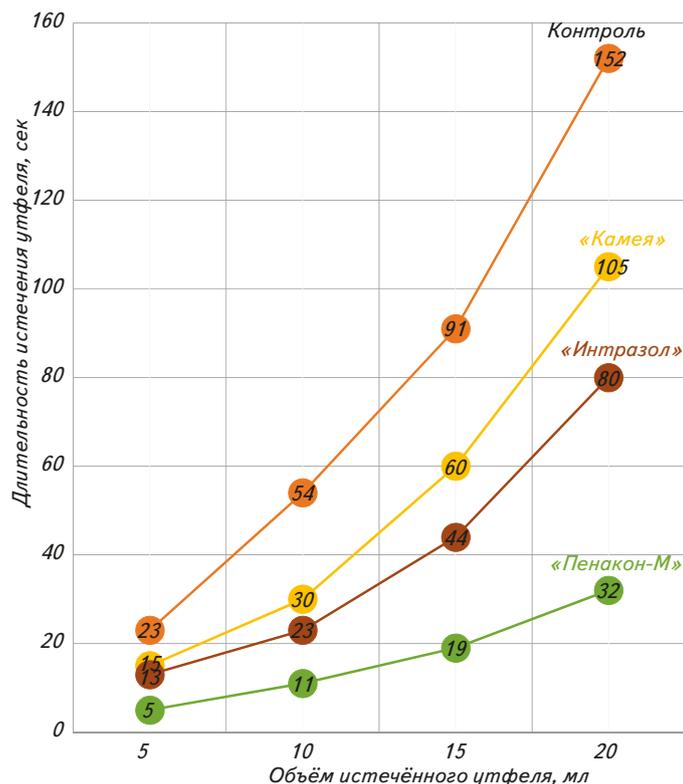


Рис. 3. Влияние ПАВ на вязкость утфеля



Рис. 4. Микроскопия утфеля (с препаратом «Пенакон-М»)

вязкости утфеля (см. рис. 3), но в меньшей степени по сравнению с препаратом «Пенакон-М». Препараты «Камея» и «Интразол» увеличивали скорость истечения пробы только в 1,45 и 1,9 раза соответственно. При этом пеногасящие свойства этих ПАВ также были слабо выражены.

На втором этапе исследований оценивались пеногасящие свойства тестируемых ПАВ. Как и предполагалось, только препарат «Пенакон-М», который содержит две функциональные составляющие – поверхностно-активные вещества и нейтрализатор ζ-потенциала, проявил максимальную пеногасящую активность (рис. 6).

Введение в пенистую мелассу 0,008 % этого препарата привело к моментальному (за 1–3 сек) схлопыванию пены с высоты 200 мл до 3 мл, т. е. зеркало

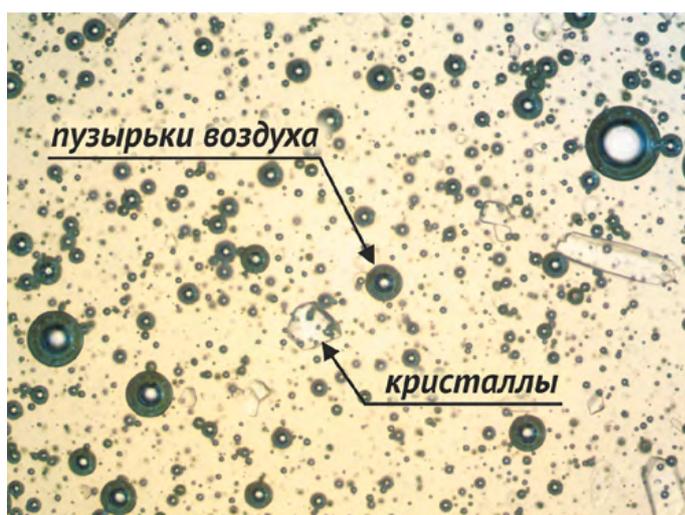


Рис. 5. Микроскопия утфеля (контроль)

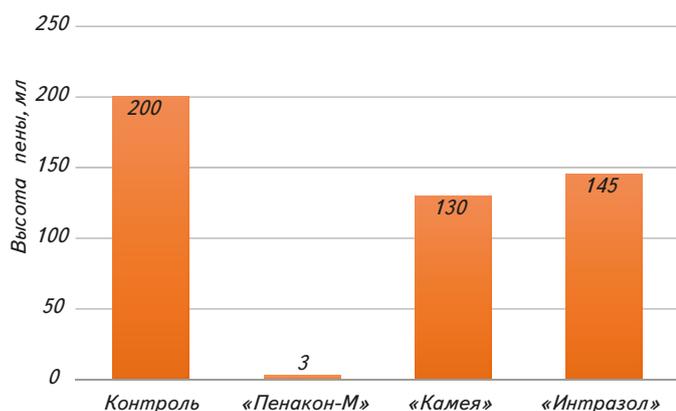


Рис. 6. Влияние ПАВ на пеногашение мелассы

мелассы практически было очищено от пенного слоя (рис. 7). Препараты «Камея» и «Интразол» обладали худшими пеногасящими свойствами по сравнению с препаратом «Пенакон-М».

Выводы

Учитывая специфичность организации дисперсионных систем в неньютоновских жидкостях – утфеле



Рис. 7. Пенообразование в мелассе

и мелассе, – был разработан препарат «Пенакон-М» на основе специфических ПАВ и нейтрализатора отрицательного ζ -потенциала. Совокупное воздействие на сверхмицеллярные структуры и пограничные электростатические слои дисперсных частиц позволило существенно снизить вязкость утфеля и мелассы, а также решить проблему их активного пенообразования.

Список литературы

1. Сапронов, А.Р. Технология сахарного производства / А.П. Сапронов. – М. : Колос, 1999. – 494 с.
2. Мойсеяк, М.Б. Интенсификация процессов получения и центрифугирования утфеля последней кристаллизации с применением поверхностно-активных веществ: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М., 2006. – 22 с.
3. Славянский, А.А. Применение пищевых ПАВ для интенсификации технологических процессов продуктового отделения сахарного завода / А.А. Славянский [и др.]. – М. : МГУПП, 2005. – 22 с.
4. Суходол, В.Ф. Влияние ацетилованных моноглицеридов на вязкость и поверхностное натяжение мелассы и её растворов / В.Ф. Суходол [и др.] // Пищевая промышленность : республ. межведомственный научно-технический сборник. – 1989. – Вып. 35. – С. 70–72.
5. Астарита, Дж. Основы гидромеханики неньютоновских жидкостей : пер. с англ. / Дж. Астарита, Дж. Марруччи. – М., 1978. – 230 с.
6. Добычин, Д.П. Физическая и коллоидная химия / Д.П. Добычин. – М., 1986. – 464 с.

Аннотация. С учётом особенностей реологических и электростатических характеристик утфеля и мелассы как типичных представителей неньютоновских жидкостей разработан подход к созданию нового технологического вспомогательного средства для продуктового отделения предприятия – препарата «Пенакон-М» на основе специфических ПАВ и нейтрализатора отрицательного ζ -потенциала. Сочетанное воздействие этих веществ позволило существенно снизить вязкость утфеля и мелассы, а также решить проблему их активного пенообразования.

Ключевые слова: меласса, утфель, вязкость, ПАВ, ζ -потенциал, препарат «Пенакон-М», пенообразование.

Summary. Taking into account the peculiarities of the rheological and electrostatic characteristics of massecuite and molasses, as typical representatives of non-Newtonian liquids, an approach was developed to create a new technological aid for the product department of the enterprise – the medication «Penacon-M» based on specific surfactants and a neutralizer of negative ζ -potential. The combined effect of these substances made it possible to significantly reduce the viscosity of massecuite and molasses, as well as to solve the problem of their active foaming.

Keywords: molasses, massecuite, viscosity, surfactant, ζ -potential, the medication «Penacon-M», foaming.

