

УДК 637.232.14.001

Сугаров Хазби Русланович, Чеботарев Евгений Алексеевич,
 Малсугенов Александр Владимирович

МОЛОКО И ЕГО ПРОИЗВОДНЫЕ КАК ОБЪЕКТ ЦЕНТРОБЕЖНОГО РАЗДЕЛЕНИЯ

Рассмотрены свойства молока, сгущенного и восстановленного молока, определяющие величину разделяемости дисперсных систем в этих продуктах, а именно плотность плазмы и дисперсных частиц, вязкость плазмы и дисперсный состав дисперсных фаз. Молоко представляет собой малоконцентрированную высокодисперсную комбинированную (эмульсия + суспензия) дисперсную систему. При сгущении молока увеличивается как плотность, так и вязкость плазмы. Обезжиренное восстановленное молоко перед центробежной очисткой представляет собой малоконцентрированную суспензию, в которой в качестве дисперсной фазы выступают нерастворенные частицы сухого молока. Полученные данные могут использоваться для расчета процессов центробежного разделения молока и его производных.

Ключевые слова: разделяемость, дисперсная среда (плазма), дисперсные частицы, плотность, вязкость, распределение.

Khazbi Sugarov, Evgeny Chebotarev, Aleksandr Malsugenov MILK AND MILK PRODUCTS AS AN OBJECT OF CENTRIFUGAL SEPARATION

The properties of milk, condensed milk and reconstituted milk that are determining the value of separability of disperse systems in these products, namely the density of plasma and disperse particles, the viscosity of plasma and disperse structure of disperse phases are considered. Milk represents a low-concentration finely combined (emulsion + suspension) dispersion system. With the condensing of the milk increases both density and viscosity of plasma. Reconstituted skimmed milk before the centrifugal purification represents a low concentrated suspension, which as a disperse phase has an undissolved particles of dry milk. The data represented can be used in a calculation of processes of centrifugal separation of milk and milk products.

Key words: separability, disperse phase (plasma), disperse particles, density, viscosity, separation.

ВВЕДЕНИЕ

Способность дисперсных систем молока и молочного сырья к разделению, в том числе и путем сепарирования, наиболее полно может быть охарактеризована величиной, названной Г. И. Бремером разделяемостью [1] и определяемой по формуле

$$E = \frac{\rho_1 - \rho_2}{\eta} d^2, \text{ с} \quad (1)$$

где ρ_1 и ρ_2 – плотности, соответственно, дисперсной фазы и дисперсионной среды, кг/м³; η – вязкость плазмы, Па·с; d – диаметр (эквивалентный диаметр) частиц дисперсной фазы, м.

Дробь, входящая в это выражение, является, в первую очередь, функцией температуры. При этом с увеличением последней уменьшается как числитель, так и знаменатель этой дроби. Но темп снижения вязкости в этом случае заметно выше темпа снижения разности плотностей, что и ведет к росту как дроби, так и разделяемости системы в целом при повышении температуры неоднородной системы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для исследования величин, входящих в определение разделяемости, используют пикнометрию и ареометрию, вискозиметрию, в том числе и реовискозиметрию, микрофотографирование [2].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Молоко представляет собой малоконцентрированную высокодисперсную комбинированную (эмульсия + суспензия) дисперсную систему.

Эмульсию в молоке образуют жировые шарики, суспензию – механические примеси, частицы скоагулировавшего белка, а также микроорганизмы.

Плотность и вязкость плазмы молока достаточно точно можно определить по формулам, полученным для обезжиренного молока:

$$\rho_n = 1037,6 - 0,1395t - 0,0033 t^2, \quad (2)$$

где ρ_n – плотность плазмы молока, кг/м³; t – температура, °С;

$$\eta_n = 0,037 t^{-0,92}, \quad (3)$$

где η_n – вязкость плазмы молока, Па·с.

Имеются сведения [3], что вязкость плазмы молока увеличивается при его хранении за счет повышения кислотности, но эти изменения носят несущественный характер, а ухудшение качества сепарирования молока с кислотностью 21...22 °Т обусловлено, в первую очередь, наличием повышенного количества скоагулировавших белков.

Более существенно на вязкость плазмы молока влияет тепловая обработка при температуре выше 100 °С [3], а также продолжительность теплового воздействия, которое начинает хорошо проявляться уже при температурах выше 80 °С [4].

Эти явления связывают с началом денатурации белков, сопровождаемой реакцией меланоидинообразования.

Плотность молочного жира можно определить по формулам:

$$\rho_{ж} = 971,95 - 0,024 t \text{ – при температуре } 5 \dots 30 \text{ °С}; \quad (4)$$

$$\rho_{ж} = 931,78 - 0,6724 t \text{ – при температуре } 30 \dots 80 \text{ °С}. \quad (5)$$

Именно формула (5) представляет интерес для расчета процесса сепарирования молока, которое осуществляют, предварительно подогревая продукт, обычно до температуры 35...45 °С или даже до более высокой температуры.

Количество жировых шариков в молоке колеблется в значительных пределах: в среднем в 1 см³ их от 2 до 6 млрд штук.

Размеры жировых шариков колеблются в широких пределах: от 0,5 до 10 мкм. В основном преобладают частицы размером 2...5 мкм. Жировые шарики размером более 10 мкм и менее 0,5 мкм встречаются редко.

Распределение жировых шариков по размерам, как и жирность молока, зависит от породы коров, возраста животного, периода года и ряда других факторов.

Например, с возрастом в молоке коровы увеличивается количество крупных жировых шариков, а к концу лактации возрастает количество мелких жировых шариков.

Распределение жировых шариков в молоке можно описать формулой нормально-логарифмического распределения [5]:

- счетное

$$D(D) = 133,0 \int_{-\infty}^{\lg D} \exp \left[-\frac{(\lg D - 0,28)^2}{0,18} \right] d(\lg D); \quad (6)$$

- объемное

$$D(D) = 293,3 \int_{-\infty}^{\lg D} \exp \left[-\frac{(\lg D - 0,58)^2}{0,037} \right] d(\lg D). \quad (7)$$

Дисперсный состав жира в молоке может изменяться при механическом воздействии на молоко, которое в процессе его получения и обработки на предприятиях молочной промышленности неизбежно. Это проявляется в дроблении крупных жировых шариков, или наоборот агрегировании, скоплении, слиянии их, и зависит от конструкции аппаратов, условий работы на них, температуры, кислотности молока.

При перекачивании молока, в частности, происходит диспергирование крупных шариков жира (4...6 мкм и более) с одновременным уменьшением количества мелких шариков (менее 2 мкм) и увеличением числа средних, и частичная дестабилизация жира, которая увеличивается с повышением напора в линии нагнетания, жирности и кислотности молока, а также при подсосывании в молоко воздуха. Центробежные насосы разрушают жировую фазу больше, чем ротационные (объемные).

Перемешивание парного молока в процессе хранения существенно не влияет на диспергирование и стабильность жировой фазы. Однако неоднократное перемешивание и переливание молока в процессе длительного хранения до поступления на молочные заводы снижают стабильность жировой эмульсии. Так, в парном молоке содержание дестабилизированного молочного жира составляет 0,3...0,7 %, а в переработанном – 1,1...2,5 %.

Твердые частицы образуют дисперсную фазу, позволяющую рассматривать молоко как суспензию.

Состав этой дисперсной фазы составляют три основных компонента: механические примеси, мельчайшие частицы скоагулировавших белков и микроорганизмы. Причем третьи занимают важное место, поскольку, в отличие от первых и вторых, их количество постоянно увеличивается.

Кроме того, при центробежной очистке молока выделяются только крупные микроорганизмы, а максимально возможное выделение, в том числе и мелких, обеспечивает только процесс бактофугирования.

Выделяемые под действием центробежной силы тяжелые дисперсные частицы оседают в грязевом (шламовом) пространстве барабана сепаратора, образуя так называемую сепараторную слизь.

Внешне сепараторная слизь представляет собой вязкую массу грязно-серого цвета. Во многих случаях она уплотняется настолько, что превращается в кольцеобразный монолит с упругими резиновыми свойствами.

Плотность слизи в верхнем слое грязевого пространства сепаратора составляет 1330...1360 кг/м³, в среднем – 1360...1440 кг/м³, в нижнем – 1440...1920 кг/м³ [3].

Плотность сепараторной слизи в малой степени изменяется с температурой, поэтому практически ее можно считать постоянной.

Поскольку плотность сепараторной слизи неодинакова в разных слоях, то для технологических и конструктивных расчетов молокоочистителей за исходную величину принимают наименьшее значение плотности сепараторной слизи равную 1330 кг/м³. Это позволит рассчитывать процесс очистки при наиболее тяжелых условиях.

При сепарировании молока значительная часть микроорганизмов, содержащихся в нем, удаляется. Количество и состав микроорганизмов, содержащихся в молоке, зависят от многих факторов, связанных с состоянием здоровья коров, обслуживающего персонала, условиями содержания скота, санитарно-гигиеническими условиями получения и первичной обработки молока, условиями транспортировки, длительностью хранения молока перед сепарированием и температурой его во время сепарирования.

В зависимости от тех или иных условий количество микроорганизмов в молоке изменяется в больших пределах (от тысяч до десятков миллионов в 1 см³). Плотность микроорганизмов составляет от 1000 до 1130 кг/м³ [3], что может быть использовано при расчете процесса бактофугирования молока.

О размерах частиц механических примесей в молоке можно судить по данным, полученным Н. Н. Липатовым [3]. Им изучалась сепараторная слизь из разных участков грязевого пространства сепараторов молокоочистителей. Образцы разводили водой и изучали под микроскопом.

Четко выраженной и устойчивой разницы распределения мелких частиц в разных по высоте барабана слоях не обнаружено, хотя некоторое различие все-таки есть. В нижних слоях больше мелких, а в нижних – крупных частиц, но эта разница не превышала 5...10 %, что не существенно.

Более существенной оказалась разница в количестве частиц сепараторной слизи тарельчатых и бестарельчатых сепараторов-молокоочистителей. Большее количество мелких частиц однозначно указывало на более высокую эффективность очистки в тарельчатых молокоочистителях.

Учитывая некоторую относительность приводимых данных, можно, тем не менее, отметить больший размер основного количества механических примесей по сравнению с жировыми шариками.

Размеры микроорганизмов изменяются в широком диапазоне: от 0,01 до 6 мкм. Их распределение по размерным классам в молоке может быть самым различным в зависимости от состояния микрофлоры.

Учитывая меньший размер многих микроорганизмов, чем частиц механических примесей, при бактофугировании молока создают большее по воздействию центробежное поле по сравнению с центробежной очисткой.

Частицы скоагулировавшего белка, переходящие в сепараторную слизь при очистке молока составляют от 2 до 10 мкм, а их количество и дисперсный состав определяются, в первую очередь, кислотностью молока. Точных данных о таком распределении нет, но можно считать, что их центробежное выделение аналогично выделению механических примесей.

При сгущении молока увеличивается как плотность, так и вязкость плазмы, значения которых можно определить по формулам для сгущенного обезжиренного молока.

Приняв плотность сухих веществ обезжиренного молока равной 1375 кг/м³, используя формулу аддитивности и зависимость плотности воды от температуры в интервале 30...70 °С, можно получить следующую зависимость:

$$\rho_{сг} = 1376 \frac{C}{100} + (1009,8 - 0,4472t) \left(\frac{100 - C}{100} \right), \quad (8)$$

где C – массовая доля сухих веществ в продукте, %.

Можно предположить, что плотность жировых шариков в сгущенном молоке будет несколько больше, чем в натуральном, поскольку увеличение содержания белков в продукте приведет к соответствующему увеличению толщины оболочечного слоя частиц.

Обезжиренное восстановленное молоко перед центробежной очисткой представляет собой малоконцентрированную суспензию, в которой в качестве дисперсной фазы выступают мелкие частицы сухого молока, нерастворенные и неотделенные предварительным фильтрованием. Их количество, поступающее в сепаратор-осветлитель сравнительно невелико, зависит от качества и вида сушки сухого молока и, как правило, не превышает 0,5 %. Частицы нерастворенного сухого молочного остатка состоят из цепочек белковых частиц неправильной формы [6].

Плотность дисперсных частиц восстановленного молока может быть принята равной 1100...1150 кг/м³. Именно такую плотность будут иметь частицы сухого молока, имеющие влажность 80...85 %, каковыми они становятся после набухания и растворения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В соответствии с элементарной теорией сепарирования [3] производительность сепаратора зависит от разделяющего фактора аппарата, так и от разделяемости сепарируемой системы. Поэтому полученные данные могут использоваться для расчета процессов центробежного разделения молока и его производных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бремер Г. И. Жидкостные сепараторы. М.: Машгиз, 1957. 243 с.
2. Инихов, Г. С. Методы анализа молока и молочных продуктов [Текст] / Г.С. Инихов, Н.Н. Брио. М.: Пищевая промышленность, 1971. 424 с.
3. Липатов Н. Н. Сепарирование в молочной промышленности. М.: Пищевая промышленность, 1971. 400 с.
4. Раманаускас Р. Влияние хранения молока на изменение его структурно-механических показателей М.: ЦНИИЭТИмясомолпром, 1971. № 8. С.139–141.
5. О законе распределения жировых шариков молока/ В. И.Беляков, Е. А. Михайловский, Н. А. Рогов, Н. Н. Липатов и др. // Молочная промышленность, 1973. № 5. С. 23–25.
6. Липатов Н. Н., Харитонов В. Д. Сухое молоко. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. 264 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Сугаров Хазби Русланович, старший преподаватель кафедры строительства Института строительства, транспорта и машиностроения СКФУ. E-mail: xazbi@yandex.ru

Чеботарев Евгений Алексеевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры строительства Института строительства, транспорта и машиностроения СКФУ. E-mail: eacheb@mail.ru

Малсугенов Александр Владимирович, кандидат технических наук, доцент ТИС (филиал) ДГТУ. E-mail: alexander.malsugenov@yandex.ru

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Sugarov Khazbi Ruslanovich, senior lecturer in the Department of construction, Institute of construction, transport and engineering of NCFU. E-mail: xazbi@yandex.ru

Chebotarev Evgeny Alekseevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Department construction, Institute of construction, transport and engineering of NCFU. E-mail: eacheb@mail.ru

Malsugenov Aleksandr Vladimirovich, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, TSI (branch) of DSTU. E-mail: alexander.malsugenov@yandex.ru