

# Перспективные направления совершенствования баромембранного разделения жиросодержащих сред

Д-р техн. наук Г. В. АЛЕКСЕЕВ, А. А. ЯКОВЛЕВ, Е. Н. КАРАСЕВА

Санкт-Петербургский государственный университет низкотемпературных и пищевых технологий

---

*The paper discusses potentialities to improve fat-containing media separation that is applied in food industry. The paper contains experimental results on preliminary preparation of a model medium for baromembrane separation by its treatment in a constant magnetic field.*

---

По мнению специалистов, хотя влияние магнитного поля на баромембранные процессы практически не изучалось, можно ожидать определенного эффекта от его воздействия на обрабатываемые обратным осмосом водные растворы электролитов. Прогнозировать направленность и уровень воздействия магнитного поля в этом случае не представляется возможным, поскольку не разработана теория процесса омагничивания растворов и неясны происходящие в нем явления.

В шестидесятые годы был обнаружен эффект изменения констант скоростей бимолекулярных реакций между частицами с ненулевыми электронными спинами — радикалами, триплетными молекулами. При наложении магнитных полей напряженностью уже несколько десятков эрстед наблюдались изменения на десятки процентов скоростей реакций, протекающих в органических кристаллах, органических и водных растворах. Было установлено, что этот эффект обусловлен особенностями динамики столкновений молекул и влиянием магнитного поля на взаимную корреляцию спиновых составляющих волновых функций реагирующих частиц. Какое-то время казалось, что именно в рамках этого направления будет найден механизм магнитной обработки (МО) водных растворов и иных технологических жидкостей. Однако детальный анализ показал, что механизм МО не может быть объяснен в рамках представлений о действии магнитного поля на бимолекулярные реакции, поскольку эффекты изменения скоростей реакций под действием постоянных магнитных полей малозначительны для водных растворов, требуют участия радикалов, прекращаются сразу после снятия воздействия и не сопровождаются появлением «памяти» о магнитной обработке. Короче говоря, изменением констант реакций невозможно объяснить весь спектр наблюдавшихся эффектов МО. Экспериментально обнаруженное на модели биологической

мембраны явление увеличения в магнитном поле скорости трансмембранной диффузии для органических ионов также не подходило для объяснения МО.

В настоящее время специалисты считают, что отправной точкой для постановки экспериментов по выяснению механизма МО должна быть работа сотрудников Московского энергетического института<sup>1</sup>. В этой статье излагаются результаты проведения экспериментов по воздействию постоянным магнитным полем на предотвращение образования накипи на нагревательных элементах. В редакционном комментарии отмечено, что «поле может оказывать влияние на примеси в воде, и уже косвенно, через примеси, на кристаллизацию растворенных веществ». Авторы статьи однозначно показали, что эффект МО возникает, когда в воде присутствуют ферромагнитные коллоидные частицы железа.

Было обнаружено, что после МО многократно увеличивается количество примесей коллоидных частиц.

Поскольку коллоидные частицы ферромагнитного железа необходимы для проявления эффекта и присутствуют в любой технологической воде, возникла гипотеза о том, что в магнитном поле изменяются размеры ферромагнитных частиц. Кандидаты на роль таких частиц нашлись. Ими оказались агрегаты коллоидных частиц окислов и гидроокислов железа. Оказалось, что в природе частицы ферромагнитного железа существуют главным образом в виде стержнеобразных кристаллов длиной менее одного микрона и эти микрокристаллы слипаются в агрегаты достаточно больших размеров, в которых находятся сотни и тысячи частиц. Под действием магнитного поля агрегаты дробятся на фрагменты, представляющие собой агрегаты меньших размеров, и отдельные частицы, которые и изменяют свойства растворов. Прежде всего дробление агрегатов приводит к многократному

<sup>1</sup>См. статью: Мартынова О. И., Гусев Б. Т., Леонтьев Е. А. К вопросу о механизме влияния магнитного поля на водные растворы солей // Успехи физических наук. Т. 98. Вып. 1. 1969.

увеличению количества твердых частиц, которые служат центрами кристаллизации и газообразования.

Был проведен эксперимент по обработке воды московского водопровода с помощью счетчика механических примесей. При этом было обнаружено, что на агрегатах и отдельных частицах железа формируются газовые пузырьки размерами от 1 мкм до 100 мкм и более. Магнитная обработка приводила к многократному увеличению таких образований (газовый пузырек + ферромагнитная частица). Растворение частиц железа с помощью специально подобранного комплексона приводило к снижению количества таких образований вплоть до их полного исчезновения.

В сильном внешнем магнитном поле такой агрегат разрушается, поскольку составляющие его частицы приобретают одинаковую ориентацию вдоль поля и за счет появившихся сил отталкивания отдаляются друг от друга. По истечении времени, если частицы не были израсходованы на химические и физические процессы, агрегаты образуются вновь, вода «забывает» о МО.

Следовательно, агрегаты ферромагнитных частиц окислов железа представляют собой именно такой объект, взаимодействие с которым магнитного поля и приводит к многочисленным эффектам МО. Поскольку примеси таких частиц присутствуют повсюду, в том числе в растениях, в тканях, в крови животных и человека, становится понятным, почему магнитное поле можно использовать и для предотвращения отложения солей и органических веществ, и в промышленных трубопроводах, и в кровеносных сосудах животных. Железо представляет четвертый по степени распространения элемент земной коры, поэтому неудивительно, что вода и любые материалы, изготовленные из минерального сырья, содержат примеси железа. Продукты распада гемоглобина крови представляют собой, в частности, и микрочастицы железа, которые присутствуют в тканях, крови, лимфатической жидкости животных и человека. Микрочастицы окислов железа используют как витаминные препараты для повышения уровня гемоглобина.

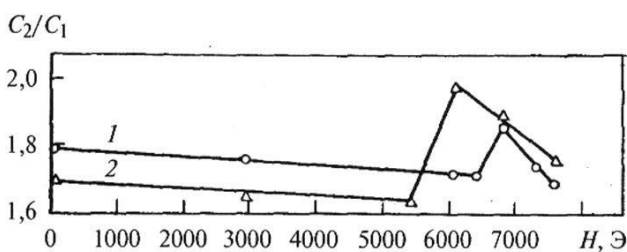


Рис. 1. Влияние напряженности магнитного поля  $H$  на относительное изменение содержания солей жесткости в обрабатываемой воде при разной скорости потока в межмембранном канале:  
1 — 1,48 м/с; 2 — 0,92 м/с

Одним из самых важных результатов МО является возникновение микропузырьков газа на поверхности железосодержащих частиц. Исследования показали, что такие микропузырьки обладают электрическим зарядом и высокой адсорбционной активностью по отношению к органическим и минеральным отложениям.

После МО такие пузырьки придают жидкости моющие свойства, подобные тем, которые возникают при добавлении в воду стирального порошка или мыла. Сталкиваясь со стенками, пузырьки отрывают частички отложений и уносят их на своей поверхности в поток жидкости, очищая стенки трубопроводов, нагревательные элементы, стенки кровеносных сосудов. Благодаря наличию электрического заряда микропузырек, возникший в результате МО, приобретает устойчивость к схлопыванию даже при давлениях в десятки и сотни атмосфер. При понижении давления его диаметр растет и увеличивается поверхность адсорбции для выпавших в кристаллическую фазу солей и органических веществ.

Таким образом, только с проведением широких экспериментальных исследований можно подойти к решению вопроса о влиянии магнитного поля на баромембранные процессы. Более того, подобные эксперименты могут способствовать раскрытию сущности явлений, происходящих при магнитной обработке.

По-видимому, наибольшего эффекта следует ожидать от предварительной магнитной обработки растворов перед их подачей в мембранный аппарат. Проведенные исследования (А. Ш. Шаяхметов, Ю. И. Дыгнерский, В. А. Мороз, В. Л. Павлов) показали, что магнитная обработка воды перед проведением обратного осмоса способствует длительной работе мембраны без заметного ухудшения ее характеристик (рис. 1).

Нами проведены экспериментальные исследования по предварительной подготовке к ультрафильтрации молочной сыворотки. В качестве модельной использовалась среда определенной жирности, полученная восстановлением сухого молока.

Наиболее часто для проведения процесса ультрафильтрации используют аппараты типа фильтр-пресс с плоскокамерными фильтрующими элементами; аппараты с трубчатыми фильтрующими элементами и аппараты с мембранами в виде полых волокон. Сборку и разборку аппаратов первого типа проводят вручную, поэтому их не используют в установках большой производительности. Однако при небольшой потребной производительности они обладают рядом преимуществ по сравнению с другими типами аппаратов ультрафильтрации: возможностью выявления и замены поврежденных мембран, многократного использования сепарирующих и дренажных материалов при замене мембран, отработавших срок службы. Учитывая, что потребная производительность в рассматриваемом случае невелика, выбрали аппарат типа фильтр-пресс.

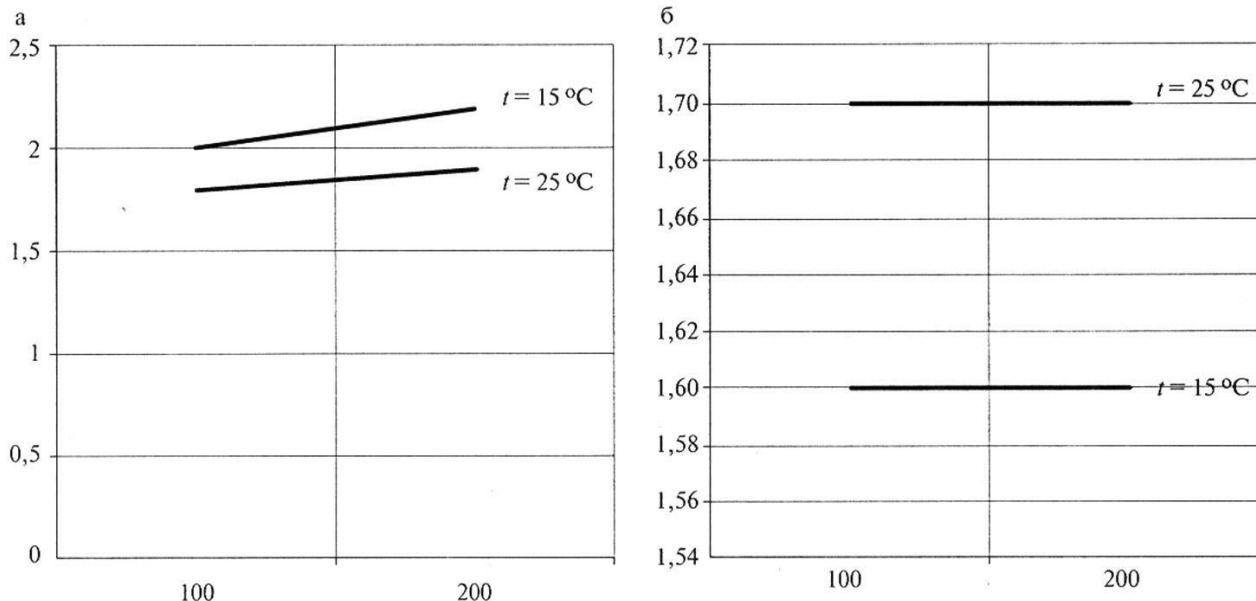


Рис. 2. Зависимость жирности модельной среды от режимов обработки в постоянном магнитном поле: а — при  $Re = 520$ ; б — при  $Re = 2430$

При выборе давления следует учитывать также, что ввиду малых коэффициентов диффузии часто концентрационная поляризация в процессе ультрафильтрации весьма значительна и может вызывать гелеобразование на мембране даже при обработке разбавленных растворов. Поэтому работа при высоких перепадах рабочего давления (более 0,3 МПа) хотя и обуславливает высокие начальные значения удельной производительности, но для длительной эксплуатации установки оказывается неприемлемой, так как приводит к резкому снижению удельной производительности по времени из-за нарастания слоя геля на мембране. Эффекты, связанные с уплотнением ультрафильтрационных мембран, также заметно проявляются при давлениях выше 0,3 МПа. С другой стороны, при давлениях ниже 0,1 МПа удельные производительности невысоки, что вызывает необходимость использования аппаратов с излишне большой поверхностью мембран. Поэтому рекомендуется выбирать рабочие давления в диапазоне 0,1–0,3 МПа.

При проведении эксперимента в качестве варьируемых выбирали температуру среды ( $^\circ C$ ), индукцию постоянного магнитного поля (ПМП) в воздушном зазоре установки (мТл) и число Рейнольдса ( $Re$ ) подаваемого на обработку потока. Эффективность обработки для разных режимов подачи среды (разных  $Re$ ) оценивали по изменению жирности среды на выходе из установки.

На рис. 2 приведены результаты проведенных испытаний. Анализ полученных результатов позволяет говорить о том, что все исследуемые параметры влияют на модельную среду. Особенно интересным является то, что при определенных числах Рейнольдса меняется характер зависимостей исследуемого результирующего параметра (жирности) от режимов обработки в ПМП и температуры. При исследованных режимах обработки, в частности, в варианте рис. 2, б температурные зависимости поменялись местами с вариантом рис. 2, а, частично изменив при этом сам характер поведения.

Полученные результаты объясняют нестабильность результатов, получаемых при обработке в ПМП с неконтролируемыми гидродинамическими параметрами различных пищевых жидкостей. Возможно, турбулентность потока некоторым образом влияет на «магнитную» память этих объектов и создает наблюдаемый в свойствах разброс.

Полученные результаты подлежат уточнению в ходе дальнейших экспериментов, поскольку изменение жирности среды, зафиксированное в случае рис. 2, а, по-видимому, говорит об изменении вязкости среды в процессе обработки. Это в свою очередь влияет на число  $Re$ , которое следует трактовать в данном случае как некоторый усредненный параметр.