

РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ УСТАНОВОК ОБРАТНОГО ОСМОСА ДЛЯ ОБЕЗЖИРЕННОГО МОЛОКА

Н.В. Горячий, А.А. Куликов, О.Ю. Боровкова, АО «РМ Нанотех», г. Владимир

Современное развитие индустрии переработки молока неразрывно связано с глубиной его переработки мембранными методами и пониманием физико-химических и реологических свойств новых продуктов, полученных при мембранном разделении. Рост со стороны промышленности интереса к жидким молочным концентратам, как промежуточным продуктам и как способу повышения маржинальности переработки молока, открывает новые возможности применения мембранных процессов. Мембранная фильтрация молока, основанная на методе обратного осмоса, дает возможность обеспечить нетепловое концентрирование молока с сохранением нативных свойств молочных белков.

В промышленной практике оборудование для концентрирования обезжиренного молока обратным осмосом позволяет производить концентрат обезжиренного молока с содержанием сухих веществ до 28 % масс. Такой продукт за рубежом имеет обозначение SMC-RO (*skim milk concentrate – reverse osmosis*). Предприятия, использующие его для собственных нужд, отмечают удобство применения концентрата, технологическую гибкость при дальнейшем производстве молочных продуктов, удобство хранения и транспортировки. В настоящее время этот продукт становится популярным у производителей высокобелковой продукции, благодаря образованию мицелл казеина и возможности формирования вязких структур с заданными функциональными свойствами. Концентрат обезжиренного молока является полуфабрикатом для последующего сгущения перед сушкой и получением

СОМ, основой для производства мороженого, сгущенных молочных продуктов с сахаром.

Как правило, установки обратного осмоса для концентрирования молока проектируются в виде многоступенчатых систем, что позволяет добиться оптимальных капитальных и эксплуатационных затрат при их работе. Выбор гидравлической схемы установки зависит от многих факторов: производительности установки по исходному молоку, требуемой степени концентрирования (сгущения) молока, необходимой цикличности работы установки, доступности насосного оборудования и др. Инженерная практика показывает, что мембранные установки обратного осмоса для концентрирования обезжиренного молока производительностью до 5 т/ч по входу проектируются как 2-х ступенчатые, в диапазоне 5–15 т/ч – 3-х ступенчатые, более 15 т/ч – имеют 4 и более циркуляционные петли. При концентрировании молока полученный пермеат содержит следовое количество растворенных веществ, обычно менее 0,1 % масс. В случае производственной необходимости данный пермеат может быть доочищен на дополнительной установке обратного осмоса (так называемый RO-polisher) до требований, предъявляемых к воде для внутренних нужд предприятия, например СІР-мойки, ополаскивания трубопроводов и технологического оборудования, хозяйственно-бытовых целей.

Работа установок обратного осмоса обезжиренного молока осуществляется на пастеризованном молоке при температуре 4–8 °С, рабочее давление в циркуляционных петлях не превышает 30 бар. При превышении данного значения наблюдается

снижение удельной производительности мембран.

Как правило, остаточное содержание жира в обезжиренном молоке составляет не более 0,05 % масс. Процесс обратного осмоса очень чувствителен к повышению содержания жира в обезжиренном молоке, даже при повышении содержания жира до 0,1 % масс. наблюдается рост давления в установке.

Проектирование установок мембранной фильтрации для работы в непрерывном режиме (*Continuous mode*) может быть выполнено в двух вариантах: при постоянной производительности и растущем рабочем давлении или при постоянном рабочем давлении и падающей производительности. В силу того, что на молочных предприятиях почти всегда необходимо строго соблюдать циклограмму работы всех производственных участков завода, вариант с постоянной производительностью и растущим давлением является предпочтительным.

Создавая рабочий проект установки, как правило, следует заложить запас по рабочему давлению до 20 % от номинального, на которое будет рассчитана установка. При проектировании установки давление питающей (базовой) линии является величиной постоянной. По мере сгущения молока производительность мембран будет снижаться ввиду уменьшения движущей силы процесса, которая определяется как разность рабочего давления и давления, обусловленного суммой осмотического давления раствора, сопротивления, которое оказывает наличие остаточного жира, вязкость разделяемой среды, наличия механических загрязнений. При правильной подготовке обезжиренного молока механические загрязнения

в молоке отсутствуют или их содержанием можно пренебречь. Содержание остаточного жира мало, и при начальной концентрации жира в обрате, например, 0,03 % масс. при факторе концентрирования 3 его содержание в ретентате будет 0,09 % масс.

Молоко является, с одной стороны, дисперсионной системой, так как в нем есть жир, мицеллярный казеин, с другой стороны, истинным раствором, так как в нем присутствуют растворенные соли и лактоза. Как раз последние компоненты и обуславливают осмотическое давление в молоке. Осмотическое давление молока, по факту, есть сумма значений осмотического давления солей и осмотического давления лактозы:

π (ретентата) = π (соли) + π (лактозы).

При сгущении молока по технологии обратного осмоса самым значительным вкладом в лимитирующие

факторы процесса будет осмотическое давление растворенных веществ. Эта величина является расчетной и может быть рассчитана следующим образом:

$$\pi = c \times R \times T,$$

где π – осмотическое давление раствора, бар;

c – концентрация растворенных веществ, моль/л;

R – универсальная газовая постоянная 0,082, (л·бар)/(моль·°К);

T – температура раствора, °К.

Осмотическое давление, создаваемое лактозой, можно рассчитать. Например, в молоке содержание лактозы 46 г/л (4,6 % масс.). Формула лактозы $C_{12}H_{22}O_{11}$. Атомная масса входящих в нее элементов: углерод 12,0 а. е. м., водород 1,0 а. е. м., кислород 16,0 а. е. м. Таким образом, молекулярная масса лактозы составляет 342 г/моль. Мольная концентрация лактозы в молоке – $46/342=0,134$ моль/л. Так как лак-

тоза не диссоциирует в растворе, то расчет осмотического давления раствора лактозы с концентрацией 46 г/л будет следующим:

$$\pi \text{ (лактозы)} = 0,134 \times 0,082 \times (273+8) = 3,1 \text{ бар.}$$

Для растворов с большей концентрацией лактозы расчет осмотического давления лактозы будет аналогичен.

Для расчета осмотического давления солей молока необходимо знать солевой состав молока. Для расчета осмотического давления обезжиренного молока примем состав солей, представленный в табл. 1.

Таким образом,

$$\pi \text{ (соли)} = 0,226 \times 0,082 \times (273+8) = 5,2 \text{ бар;}$$

$$\pi \text{ (обезжиренного молока)} = 3,1 + 5,5 = 8,6 \text{ бар.}$$

Используя приведенный алгоритм расчета, можно проводить вычисления осмотических давлений лактозы и солей молока при сгущении



мембраниум®

МЕМБРАНИУМ (АО «РМ Нанотех») – единственная российская компания среди мировых производителей наноструктурированного мембранного полотна и рулонных мембранных элементов для обратного осмоса, нанофильтрации и ультрафильтрации.

- мембранные элементы для фильтрации молока, сыворотки
- мембранные элементы для водоподготовки
- уплотнительные кольца типа O-ring и Lip Seal для мембранных элементов
- технический, технологический аудит работы мембранных установок
- проведение аутопсии мембранных элементов
- технический консалтинг
- проведение испытаний на пилотных мембранных установках
- моющие средства для мембранного оборудования, антискалант

Почему МЕМБРАНИУМ?

- снимает импортозависимость в мембранных комплектующих для установок фильтрации пищевой, химической и других отраслей промышленности
- осуществляет комплексную техническую поддержку клиентов в период эксплуатации выпускаемой продукции



Россия, 600031, г. Владимир, ул. Добросельская, д. 224Д

Тел.: +7(4922) 47-40-01 / Факс: +7(4922) 47-40-01 доб.355 / sales@membranium.com

Таблица 1. Солевой состав молока

Показатель	Ионы						
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	P ³⁻	Cl ⁻	S ²⁻
Концентрация, г/л	1,00	0,12	1,30	0,45	0,72	0,90	0,26
Молярная масса, г/моль	40	24	40	23	31	35,5	16
Валентность	2	2	1	1	3	1	2
Молярная масса с учетом валентности, г/моль-экв	20	12	40	23	10	35,5	16
Молярная концентрация, г-экв/л	0,050	0,010	0,033	0,020	0,072	0,025	0,016
Общее солесодержание, г-экв/л	0,226						

обезжиренного молока обратным осмосом. Если визуализировать данные расчеты (рис. 1), то будет видно, что по мере концентрирования молока падает движущая сила процесса, которая является разницей между рабочим давлением процесса, создаваемым насосами, и осмотическим давлением ретентата, которое растет по мере концентрирования молока в циркуляционных петлях мембранной установки.

По мере падения движущей силы обратного осмоса происходит падение удельной производительности.

Это падение происходит нелинейно (рис. 2). При температуре 8 °С и давлении 30 бар падение производительности описывается уравнением $y=16,818x-2,003$, где x – фактор концентрирования, y – удельная производительность, л/м²ч.

В виду того, что кроме роста осмотического давления происходит рост вязкости, на циркуляционных петлях для предотвращения телескопирования мембранных элементов и их коробления применяют мембранные элементы с различной турбулизирующей сеткой.

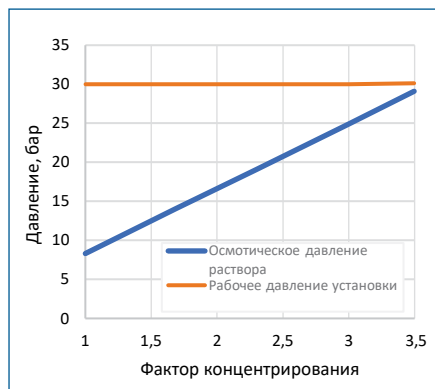


Рис. 1. Давление в установке обратного осмоса обезжиренного молока

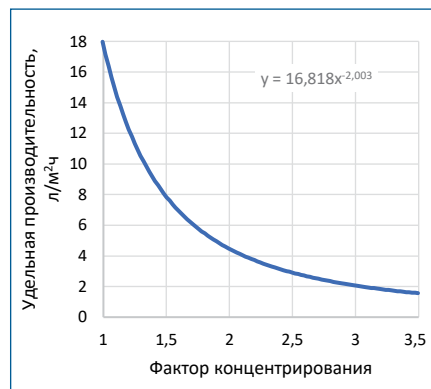


Рис. 2. Зависимость удельной производительности мембран от фактора концентрирования

Таблица 2. Типовая программа мойки мембран при концентрировании обезжиренного молока

Номер шага	Шаг мойки	pH	Температура шага	Длительность шага, мин
1	Ополаскивание		Холодная	15
2	Щелочная протеаза	9,5–10	50 °С	40
3	Ополаскивание		Холодная	20
4	Кислотная мойка	1,8–2	50 °С	30
5	Ополаскивание		Холодная	20
6	Щелочная мойка	10,5–11	50 °С	30
7	Ополаскивание		Холодная	20

Для концентрирования молока методом обратного осмоса используют мембранные элементы типоразмера 8038 или, как вариант, 7838, так как при фильтрации данного продукта не происходит скачкообразного изменения текстуры получаемого продукта или кардинального изменения реологических свойств ретентата. Для получения ретентата с содержанием сухих веществ до 20 % масс. можно ограничиться мембранными элементами SNRO 8038-31. При получении ретентата с сухими веществами 27–28 % масс. для циркуляционных петель, где будет достигнута концентрация сухих веществ более 20 % масс., рекомендуется использование мембранных элементов SNRO 8038-46. Если есть вероятность того, что содержание жира в исходном обрате может быть выше 0,05 % масс., следует использовать мембранные элементы SNRO 8038-31/46 PP с расширенным диапазоном температуры и pH при химических мойках, что позволит использовать высокие дозировки моющих средств для отмывки жировых отложений на мембране.

Мойка мембранных элементов обратного осмоса при концентрировании обезжиренного молока проводится специализированными растворами по циклограмме, приведенной в табл. 2. В зависимости от содержания остаточного жира в молоке может дополнительно применяться обезжиривающая добавка и/или увеличиваться время щелочного шага.

АО «РМ Нанотех» производит мембранные элементы в санитарном исполнении для концентрирования основных продуктов при переработке молока и сыворотки. Мембранные элементы могут быть поставлены в рамках действующих фильтрационных установок или при проектировании новых. Специалисты компании имеют опыт создания фильтрационных установок для сгущения молока и сыворотки. Центр технической поддержки АО «РМ Нанотех» оказывает содействие клиентам компании и технологическую поддержку на всех этапах разработки, изготовления установок, монтажа мембранных элементов и их эксплуатации. 💧